

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Sušnik, M., 2015. Primerjalna analiza ukrepov, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa v prostoru. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentor Jagličič, Z.): 30 str.

Datum arhiviranja: 29-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Sušnik, M., 2015. Primerjalna analiza ukrepov, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa v prostoru. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Jagličič, Z.): 30 pp.

Archiving Date: 29-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO**

Kandidatka:

MIJA SUŠNIK

**PRIMERJALNA ANALIZA UKREPOV, KI VPLIVAJO
NA SPREMEMBO ODMEVNEGA ČASA V PROSTORU**

Diplomska naloga št.: 197/B-GR

**COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASURES THAT
AFFECT REVERBERATION TIME IN A ROOM**

Graduation thesis No.: 197/B-GR

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Somentor:

izr. prof. dr. Zvonko Jagličić

Ljubljana, 17. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana **MIJA SUŠNIK** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:
**PRIMERJALNA ANALIZA UKREPOV, KI VPLIVAJO NA SPREMEMBO ODMEVNEGA
ČASA V PROSTORU.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11. avgust 2015

Mija Sušnik

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 534.843.2:69:725.1(043.2)
Avtor: Mija Sušnik
Mentor: doc.dr. Mitja Košir
Somentor: izr. prof. dr. Zvonko Jagličič
Naslov: Primerjalna analiza ukrepov, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa v prostoru
Tip dokumenta: Diplomaska naloga
Obseg in oprema: 30 str., 6 pregl., 12 sl., 10 graf., 6 en., 3 pril.
Ključne besede: Odmevni čas, meritve odmevnega časa, izračun odmevnega časa, visokošolske predavalnice

IZVLEČEK

V diplomski nalogi obravnavam ukrepe, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa v treh različno velikih predavalnicah. V prvem delu naloge predstavim teoretično ozadje zvoka in odmevnega časa ter opišem nekatere izmed možnih ukrepov za spremembo odmevnega časa. Temu sledi praktični del naloge, kjer so opisani postopki in načini izvajanja meritev ter grafično predstavljeni rezultati. Do njih pridem na tri različne načine, in sicer z uporabo merilca, s simulacijo v računalniškem programu ter z uporabo enačb. Primerjam vrednosti odmevnega časa praznega prostora, polnega prostora ter praznega prostora z zagrnenimi zavesami. Dobljene rezultate ovrednotim in primerjam s slovensko zakonodajo. V zaključku predstavim še nekaj predhodnih študij s tega področja. Te potrjujejo moje ugotovitve, da so izbrani načini za določitev odmevnega časa med seboj različni in imajo svoje omejitve ter da z različnimi ukrepi lahko vplivamo na odmevni čas v prostoru.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 534.843.2:69:725.1(043.2)
Author: Mija Sušnik
Supervisor: assist. prof. Mitja Košir, Ph. D
Co-supervisor: assoc. prof. Zvonko Jagličić, Ph. D
Title: Comparative analysis of measures that affect reverberation time in a room
Document type: Graduation thesis
Notes: 30 p., 6 tab., 12 fig., 10 graph., 6 eq., 3 ann.
Key words: Reverberation time, reverberation time measurements, reverberation time calculations, university lecture rooms

ABSTRACT

The thesis deals with measures that affect reverberation time in three lecture rooms of different sizes. In the first part of the thesis I present theoretical background on sound and reverberation time and I describe some of the possible measures that can change reverberation time in a room. This is followed by the practical part of the thesis in which procedures, methods of measuring and graphical presentation of the results are described. I use three different types of measuring reverberation time in a room - using the meter, by simulation in a computer program and using equations. I compare the values of reverberation time in empty space, occupied space and empty space with closed curtains. The results obtained are evaluated and compared with the Slovenian legislation. In conclusion, I present some preliminary studies in this field. They confirm my findings; the types of measuring reverberation time differ one from another and have their own limitations, and different measures can impact the reverberation time in a room.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mitji Koširju za vso strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre tudi somentorju izr. prof. dr. Zvonku Jagličiču, ki mi je pomagal pri izvajanju meritev ter bil na voljo za vsa dodatna pojasnila.

Zahvalila bi se še družini in prijateljem, ki so mi ves čas študija stali od strani in me podpirali.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD.....	1
1.1 Metoda dela in cilji naloge	1
2 TEORETIČNI DEL.....	2
2.1 Osnovni pojmi.....	2
2.2 Človeško zaznavanje zvoka	3
2.3 Zvok v prostoru.....	3
2.4 Odmevni čas	5
2.4.1 Ukrepi, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa	6
2.4.1.1 Spremenljiv volumen	6
2.4.1.2 Odmevnice (angl. reverberation chamber).....	6
2.4.1.3 Akustični absorberji	7
2.4.1.4 Pomični reflektor.....	8
2.4.1.5 Razpršitev zvoka	8
2.4.2 Pomen odmevnega časa.....	9
2.4.3 Absorpcijski koeficient	9
2.5 Slovenska zakonodaja.....	11
3 PRAKTIČNI DEL.....	12
3.1 Simulacija.....	13
3.2 Meritve	17
3.3 Računsko	20
3.3.1 Sabine	20
3.3.2 Eyring.....	21
4 PRIMERJAVA REZULTATOV	24
5 ZAKLJUČEK.....	27
VIRI	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Vibriranje (vibrating), zgoščina (compression), razredčina (rarefaction), valovna dolžina (wavelength), smer valovanja (direction of wave) [5].....	2
Slika 2: Zvočna raven direktne komponente (direct sound) in odbitih komponent (first reflection, reverberation) v odvisnosti od časa [5]	4
Slika 3: Razpršitev zvoka - Royal Albert Hall [5].....	4
Slika 4: Eksponentno in linearno pojemanje [5].....	5
Slika 5: Odmevni čas [5]	5
Slika 6: Odmevnica [5].....	6
Slika 7: Membranski absorber [5].....	7
Slika 8: Membrane in porozni materiali [5]	7
Slika 9: Pomen odmevnega časa [5].....	9
Slika 10: Polni model predavalnice PI/1	14
Slika 11: Izpis rezultata za PI/1	14
Slika 12: Prenos podatkov iz naprave na računalnik	18

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Optimalni odmevni čas	11
Preglednica 2: Geometrijske karakteristike predavalnic	12
Preglednica 3: Poenostavitve, predpostavke in vplivi	12
Preglednica 4: Primerjava vrednosti predavalnice PI/1	25
Preglednica 5: Primerjava vrednosti predavalnice PI/3	25
Preglednica 6: Primerjava vrednosti v predavalnici PII/3A.....	25

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Absorpcijski koeficienti sedežev [5].....	10
Grafikon 2: Odmevni čas predavalnice PI/1, simulacija.....	15
Grafikon 3: Odmevni čas predavalnice PI/3, simulacija.....	16
Grafikon 4: Odmevni čas predavalnice PII/3A, simulacija	16
Grafikon 5: Odmevni čas predavalnice PI/1, meritev.....	18
Grafikon 6: Odmevni čas predavalnice PI/3, meritev.....	19
Grafikon 7: Odmevni čas predavalnice PII/3A, meritev	19
Grafikon 8: Odmevni čas predavalnic, Sabine	21
Grafikon 9: Odmevni čas predavalnic, Eyring	22
Grafikon 10: Sabinova enačba, brez upoštevanja stolov, klopi in ljudi.....	24

1 UVOD

Vsak izmed nas je verjetno že kdaj opazil, da enak vir zvoka v različnih prostorih drugače zveni. Večina temu ne posveča velike pozornosti z izjemo izvajalcev zvoka in tistih, ki prostore načrtujejo. Tudi v stanovanjskih prostorih velikokrat zanemarimo pomen zvočne izolativnosti, saj se večinoma ukvarjamo le s toplotno in hidro izolacijo. A raven hrupa v stavbi je pomemben faktor, saj vpliva na zdravje in počutje ljudi in zagotavlja ustrezne razmere za njihovo delo.

V sklopu zvočne izolativnosti je potrebno preveriti izolativnost zunanjih in notranjih elementov stavbe. S tem je mišljena izolativnost zaradi prehoda zvoka med prostori, prehoda iz zunanosti v notranjost ter iz notranjosti v zunanost, zaradi udarnega hrupa, zaradi hrupa opreme ter preverjanje zvočne klime prostora oziroma odmevnega časa prostora. [1]

Izolativnost elementov pred preходом zvoka med prostori je odvisna od konstrukcijskih sklopov, odmevni čas pa od absorpcijskih koeficientov in površin. V pričujoči nalogi se posvečam odmevnemu času in ukrepom, ki nanj vplivajo.

Izbrala sem si tri predavalnice na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Zanimalo me je, kakšen vpliv imajo različni ukrepi in volumen prostora na odmevni čas. Ker gre za predavalnice, je prevladujoči izvor zvoka govor. Tega moramo slišati jasno in razumljivo, kakor to predpisuje tehnična smernica TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah. [2]

1.1 Metoda dela in cilji naloge

Za določanje odmevnega časa prostora obstaja več načinov. V sklopu naloge bom izvedla tri, in sicer simulacijo v računalniškem programu Ecotect Analysis [3], meritve z uporabo merilca Model 831 SLM ter računsko s Sabinovo in Eyringovo enačbo. Raziskala bom odvisnost trajanja odmevnega časa od prostornine prostora, števila študentov v prostoru in postavitve zaves v prostoru. Dobljene rezultate bom med seboj primerjala in ugotavljala, kje in zakaj prihaja do razhajanj. Primerjala jih bom tudi z vrednostmi, ki so navedene v tehnični smernici in ugotavljala njihovo ustreznost.

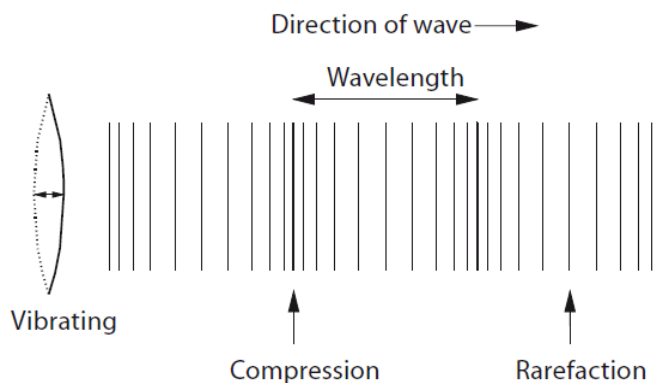
2 TEORETIČNI DEL

2.1 Osnovni pojmi

Zvok nastane z vibriranjem izvora, npr. človeških glasilk. Vibracije preko stisljivega oziroma elastičnega medija potujejo do sprejemnika, ki zvok zazna. Preprost akustični sistem torej sestoji iz vira, prenosnega medija in sprejemnika. Delci zraka se pri zvočnem valu gibljejo naprej in nazaj, vzporedno s smerjo širjenja valovanja, zato je zvočno valovanje longitudinalno. [4], [5]

Beseda akustika izhaja iz grščine. Je znanstvena veda, ki se ukvarja z nastankom, širjenjem in zaznavanjem mehanskih valovanj. Z zvokom se ukvarjata dve področji akustike, in sicer fizikalna akustika in akustika v arhitekturi. Slednja obravnava tudi prostorsko akustiko, kar zajema kakovost zaznavanja zvoka v prostorih z izvorom oziroma zagotavljanje primerne zvočne ugodja. [7]

Zvok opišemo z valovno dolžino [m] ali frekvenco [Hz] in produktom obeh, kar je hitrost zvoka [m/s]. Ta je odvisna od prenosnega medija. V zraku s temperaturo 20°C znaša 343 m/s. Spreminja se s temperaturo in vlažnostjo zraka - v toplejšem in zato manj gostem zraku je hitrost večja. [4], [5], [7]



Slika 1: Vibriranje (vibrating), zgoščina (compression), razredčina (rarefaction), valovna dolžina (wavelength), smer valovanja (direction of wave) [5]

Zvočno polje imenujemo prostornino prostora, kjer zaznamo vibracije, ki jih oddaja vir. Intenziteta zvoka je proporcionalna kvadratu amplitude spreminjanja zvočnega pritiska zaradi valovanja, ta pa se zmanjšuje z oddaljenostjo. Pri standardnih pogojih (gostota zraka $\rho = 1,18 \text{ kg/m}^3$, hitrost zvoka $v = 340 \text{ m/s}$) je amplituda nihanja tlaka $p = \sqrt{2\rho v I}$ [6], pri čemer je I intenziteta, merjena v W/m^2 . Intenziteta zvoka se sešteva, če v zvočnem polju delujeta dva nekoherentna vira zvoka. Pri zvočnem pritisku pa se seštevajo kvadrati vrednosti. Zvočni pritisk in intenziteta sta objektivni merili zvoka. [4]

2.2 Človekovo zaznavanje zvoka

Fechnerjev zakon pravi, da je človekovo zaznavanje zvoka proporcionalno logaritmu dejanske intenzitete, merjene z natančnim instrumentom. [4] To lahko zapišemo z enačbo (1):

$$R = C \times \log S, \quad (1)$$

kjer je:

R = človekovo zaznavanje,

C = konstanta,

S = stimulus.

To pomeni, da pri nizki intenziteti lahko razločimo že majhne razlike, medtem ko se občutljivost ušesa z večanjem intenzitete zmanjšuje. Na podlagi tega je nastala logaritmična skala - raven zvoka:

$$\text{Raven intenzitete zvoka: } SiL = 10 \times \log \frac{I}{I_0}$$

$$\text{Raven tlaka zvoka: } SpL = 20 \times \log \frac{p}{p_0}$$

kjer so referenčne vrednosti standardizirane na povprečno mejo slišnosti:

$$I_0 = 1 \text{ pW/m}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$
$$p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa} = 20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Pri standardnih pogojih sta obe ravni zvoka približno enaki, zato v praksi za oboje uporabljamo izraz raven zvoka. Logaritem razmerja I/I_0 ima enoto Bell, ki pa je prevelika in se zato veliko pogosteje uporablja deci-Bel (dB). Z ravno zvoka, izraženo v decibelih, opisujemo subjektiven občutek glasnosti. Ravni zvoka se ne seštevajo. Potrebno jih je pretvoriti v intenziteto in šele nato sešteti. [4]

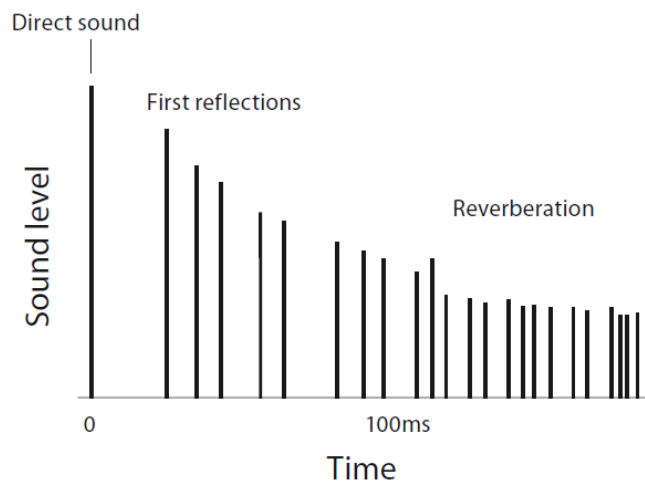
Pri človekovemu dožemanju zvoka je potrebno upoštevati tudi to, da je občutljivost ušesa različna pri različnih frekvencah. Uho je najbolj občutljivo na zvok pri frekvenci 4kHz. Zazna pa zvoke med 20 Hz in 16 kHz, s tem da se zgornja meja s starostjo niža. [4], [5]

2.3 Zvok v prostoru

Širjenje zvoka lahko opišemo z odbojnostjo (ρ), absorpcijo (α) in prepustnostjo (τ).

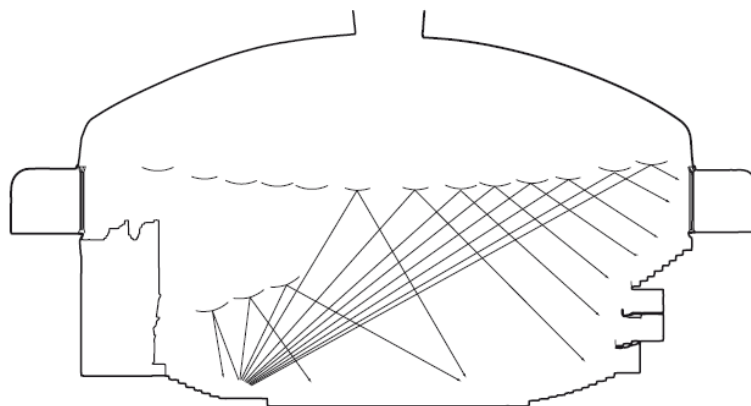
$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2)$$

Zvočno polje v prostoru je torej sestavljeno iz direktnega zvoka in odbitega zvoka. Direktni zvok se z oddaljenostjo od izvora reducira zaradi geometrijskega pojemanja $I = P/4\pi r^2$ in molekularne absorpcije prenosnega medija. Odbiti zvok je odvisen od površin stene – odbija se, dokler ne izgubi energije zaradi absorpcije. Poslušalec najprej zazna direktno komponento, ki potuje v ravni liniji od izvora, temu pa sledijo odbite komponente, ki prihajajo iz smeri sten, stropa,.. in niso tako glasne kot direktna komponenta. [4], [5]



Slika 2: Zvočna raven direktne komponente (direct sound) in odbitih komponent (first reflection, reverberation) v odvisnosti od časa [5]

Tudi oblika prostora bistveno vpliva na zvočno polje, ki ga človek zazna, saj narekuje pot zvoka. Pri ukrivljenih stenah lahko pride do neenakomernega zvočnega polja ali pa ravno nasprotno, zvok se lahko fokusira v eni točki. Te lastnosti se uporabljajo v različnih avditorijih, kjer na primer s konveksnimi segmenti dosegajo razpršitev zvoka ali pa z zvočnimi paneli nad virom zvoka dosegajo, da se zvok odbija v želeno smer. [5]

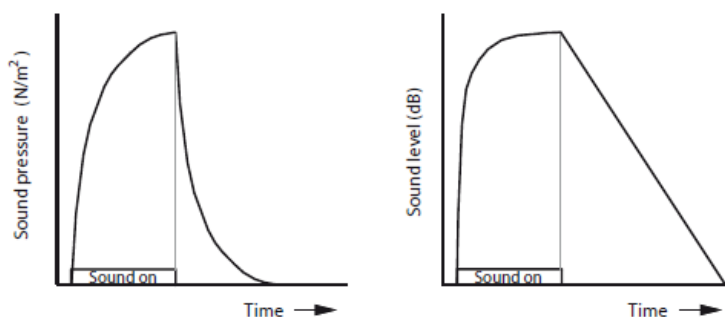


Slika 3: Razpršitev zvoka - Royal Albert Hall [5]

2.4 Odmevni čas

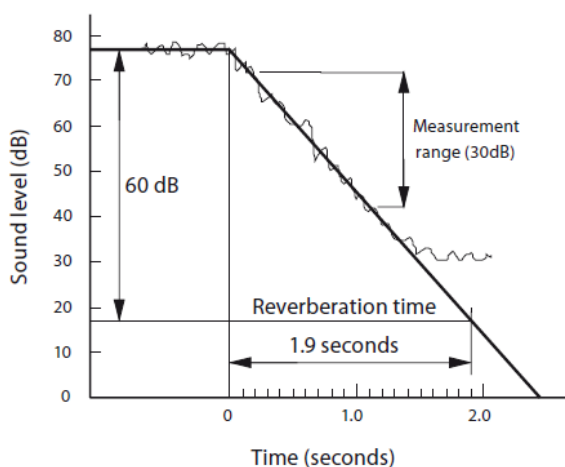
Končni odmev je odziv prostora, ki ga lahko slišimo po tem, ko je bil sprožen glasen in kratek zvok ali pa ko je prekinjen dalj časa trajajoči zvok. Zvočno polje se bo zaradi odbojev za kratek čas ohranilo, nato pa zaradi absorpcije zvoka pri odboju od različnih materialov in absorpcije pri potovanju skozi zrak, postopoma pojemalo. Čas, ki je potreben, da intenziteta pade za faktor milijon (10^6) oziroma da raven zvoka pade za 60 dB, imenujemo odmevni čas. [4], [5]

Zvočni tlak pojema približno eksponentno. Če ga pa pretvorimo v raven zvoka, izraženo v decibelih, pa dobimo linearen pojemek. [5]



Slika 4: Eksponentno pojemanje tlaka (sound pressure) in linearno pojemanje ravni zvoka (sound level) [5]

V realnosti linija ni popolnoma ravna in ima manjša odstopanja, zato vrednosti aproksimiramo na ravno linijo, ki se najboljše prilega rezultatom. V praksi je pri meritvah prvi del pojemanja najbolj izrazit. Najpogosteje merimo padec ravni zvoka za 30 dB oziroma 20 dB, in sicer med -5 dB in -35 dB oziroma -5 dB in -25 dB od začetne ravni. Te vrednosti nato ekstrapolirajo na celotnih 60 dB. Označujemo jih s T30 oziroma T20. [4] [5]



Slika 5: Zvočna raven (sound level) v odvisnosti od časa (time), območje merjenja 30 dB (measurement range 30 dB) in ekstrapoliran odmevni čas (reverberation time) [5]

Zvok pride do poslušalca najprej kot direkten zvok in nato kot odbiti zvok s časovnim zamikom. Če je zamik kratek, odbitega zvoka ne zaznamo, saj ta le ojači direktnega. Če pa je zamik daljši, ga zaznamo kot ponovitev direktnega zvoka oziroma kot odmev. Tega si pri govoru ne želimo, saj je ključni faktor pri govoru jasnost in razumljivost. Drugače je pri glasbi, kjer imamo več kriterijev, ki vplivajo na ustreznost zvočnega okolja. To dejstvo, da je za govor ključen le en faktor, ki ga je sorazmerno lahko doseči, je verjetno razlog, da obstaja zelo malo literature s področja oblikovanja gledališč oziroma akustike za govor. Okvirne vrednosti ustreznega odmevnega časa se gibljejo med 1 sekundo za govor in 2 sekundi za glasbo. [4], [5]

2.4.1 Ukrepi, ki vplivajo na spremembo odmevnega časa

Priporočljiva vrednost odmevnega časa je pogojena z namembnostjo prostora in programom, ki se v njem izvaja. Največji problem predstavljajo večnamenski prostori, ki zahtevajo različne odmevne čase. Pri tem lahko razni kompromisi pripeljejo do tega, da odmevni čas za nobeno dejavnost ni primeren. Rešitev za to so spremenljivi ukrepi. [5]

Obstaja več načinov, kako se takšnega problema lahko lotimo:

2.4.1.1 Spremenljiv volumen

Uporabljajo se pomični vertikalni paneli, najpogostejši pa je pomični strop. S povečanjem volumna se podaljša odmevni čas, a le če ima dodatni prostor ustrezne akustične lastnosti. V praksi se je izkazalo, da sprememba volumna, ki je lahko velika investicija, predstavlja precej majhno spremembo odmevnega časa. [5]

2.4.1.2 Odmevnice (angl. reverberation chamber)

Odmevnica, ki je prikazana na sliki 6, daje zaradi odbojev vtis večjega prostora. Zajema dodaten volumen okoli avditorija, ki se ga s pomočjo loput spreminja oziroma povezuje z avditorijem. Učinkovitost je vprašljiva, saj so spremembe odmevnega časa omejene. [5]



Slika 6: Odmevnica (reverberation chamber) [5]

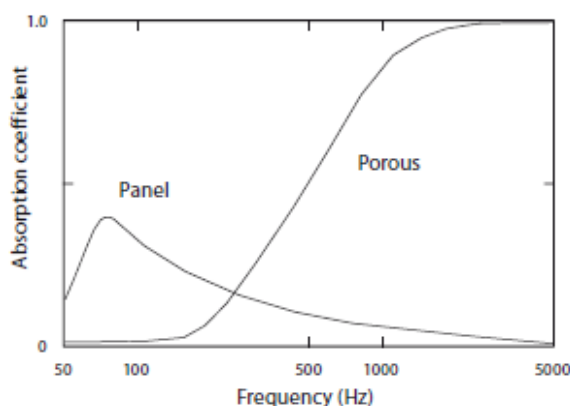
2.4.1.3 Akustični absorberji

Vrste absorberjev:

- Porozni absorberji so lahko mineralna volna, steklena volna, vlaknene ali plastične pene z odprto celično strukturo. Energija zvočnega valovanja se porablja zaradi trenja, ki se pojavi med molekulami zraka v porah. Takšni absorberji so najbolj učinkoviti za visoke frekvence. Za nizke frekvence bi morali uporabiti debelejši absorber, kar bi bilo neekonomično. Bolj ekonomična rešitev je, da porozni material namestimo na plast zraka – efekt je primerljiv.
- Membranski absorberji so prilagodljive membrane, raztegnjene preko podpor. Vibriranje membrane pretvarja zvočno energijo v toploto. Uporablja se jih pri nizkih frekvencah, največji učinek pa imajo pri resonančni frekvenci, ki pa je odvisna od gostote membrane, površine, pritrditve in togosti membrane.



Slika 7: Membranski absorber [5]



Slika 8: Odvisnost absorpcijskega koeficienta (absorption coefficient) od frekvence (frequency) pri membranah (panel) in poroznih materialih (porous) [5]

- Luknjičasti (Helmholz) resonatorji vsebujejo zrak in imajo ozke vratove. Zrak v votlini ima učinek vzmeti pri določeni resonančni frekvenci. Ti absorberji imajo zelo velik absorpcijski koeficient, a v zelo ozkem frekvenčnem pasu. V grških amfiteatrih so po tem principu nameščali lončene kozarce v kamnite zidove.
- Perforirani panelni absorberji združujejo vse tri mehanizme. Lahko so vezane plošče, lesenit ali kovina, ki primarno delujejo kot membrane. Luknje in reže, za katerimi je zrak, delujejo kot luknjičasti resonatorji, ki so izboljšani s poroznimi absorberji.

Namestitev absorberjev:

V avditorijih je večinski absorber publika in nastopajoči. Oblačila delujejo kot učinkovit porozni absorber. V majhnih prostorih se akustiko lahko prilagodi že z zavesami. Za spremembo odmevnega časa v majhnih dvoranah se lahko uporablja tudi pomične lopute, nameščene na absorberje. Te so lahko zaprte, delno odprte ali popolnoma odprte. S tem se zvok lahko od loput odbija, če so zaprte ali pa absorbira, če so odprte in so absorberji izpostavljeni zvoku. Akustične zaveses so prosto viseči pomični paneli oziroma zaveses. Ker gre za porozen material, je največja učinkovitost pri srednjih in visokih frekvencah. Problem pri tem načinu je ta, da je težko določiti idealno lego zaveses, s katero bi udušili le nezaželene zvoke, ne pa tudi tiste, ki so potrebni za ojačitev direktnega zvoka.

2.4.1.4 Pomični reflektor

Pomični reflektorji proizvajajo dodatne odboje in jih usmerijo v želeno smer. Zmanjšujejo tudi odmevni čas, saj reducirajo zvok, ki potuje v zgornji del volumna prostora in se nato odbije do občinstva kot odmevni zvok. Kljub velikemu potencialu za primere govora, je ta način v praksi malokrat uporabljen.

2.4.1.5 Razpršitev zvoka

Razpršitev zvoka lahko dosežemo s spreminjanjem ravnih površin v takšne, ki akustično razpršijo zvok. Na primer, raven strop se lahko spremeni v reliefnega, ali pa se nanj namesti prosto stoječe razpršilne elemente.

Pomembno je, kam postavimo absorberje in odbojne površine, saj z napačno postavitvijo lahko dosežemo nehomogeno razpršitev zvoka. V oddaljenih delih dvorane to lahko pripelje do tega, da namesto direktnega, dominira odbojni zvok, kar za poslušalca predstavlja konflikt med videnim in slišanim. Namestitev absorberjev, poleg zmanjšanja odmevnega časa, zmanjša tudi jakost zvoka, zato je potrebno poiskati primerno razmerje, ki bo zagotovilo primerno jakost in zadosten odmevni čas. [4]

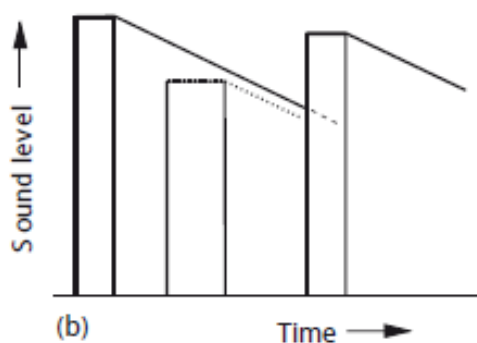
Pri računanju skupne absorpcije prostora moramo upoštevati še t.i. vsebino sobe, kar vključuje predmete, pohištvo, ljudi in pa tudi zrak v prostoru. Nezasedene sedeže v dvoranah kompenzirajo na ta način, da v njih vgradijo absorberje, kar pa seveda ni enakovredno absorpciji človeškega telesa. Manj kot je prostor zaseden, daljši bo odmevni čas. [4]

Odmevni čas pa je odvisen tudi od frekvence. Razne študije raziskujejo to povezavo in obravnavajo odmevni čas kot funkcijo volumna in frekvence. S takšno enačbo lahko predvidevamo odmevni čas prostora. [4]

Lahko se zgodi, da so izpolnjene vse zahteve o dobri akustiki (ni zvoka iz okolice, zvok je jasen in enakomerno razpršen, ni akustičnih nepravilnosti, odmevni čas ustreza namembnosti prostora), a kvaliteta zvoka še vedno ni zadovoljiva. Ustvariti dobre pogoje za primere govora je relativno enostavno, medtem ko je pri glasbi to bolj komplicirano, saj je že definicija dobre akustike nenatančno definiran in subjektiven pojem. [4]

2.4.2 Pomen odmevnega časa

Odbojnost je tista, s katero občutimo, da smo v prostoru in ne na prostem. Omogoča približno določitev oddaljenosti od vira ter velikost prostora. Odmevni čas vpliva na to, kako bo glasba zvenela in kakšna bo jasnost govora. [9]



Slika 9: Pomen odmevnega časa, odvisnost zvočne ravni (sound level) od časa (time)
[5]

Graf na sliki 9 prikazuje raven zvoka v prostoru s prevelikim odmevnim časom. Ta lahko preglasi nek drug zvok, ki mu sledi in ima manjšo jakost od predhodnega. Če pa je odmevni čas prekratek, je kvaliteta zvoka lahko ponovno slaba, saj dobimo občutek, kot da smo na prostem. [5]

Kljub napredku zadnjih let, je odmevni čas še vedno najpomembnejša količina na področju akustike zaprtega prostora. [5]

Akustika za govor in akustika za glasbo sta dva različna pojma, zato je poznavanje obeh pri oblikovanju prostora ključnega pomena. Že iz izkušenj vemo, da je govor v koncertni dvorani težko razumljiv in da je orkestrska glasba v gledališču toga in brez življenja. Te razlike se pojavljajo zaradi različnih potreb po odmevnem času, ki jih ne smemo zanemariti, če želimo primerno akustično okolje. [5]

2.4.3 Absorpcijski koeficient

Absorpcijski koeficient je lastnost materiala, ki nam pove, koliko zvoka lahko pri določeni frekvenci material absorbira. Skupna absorpcija prostora je seštevek vseh površin prostora,

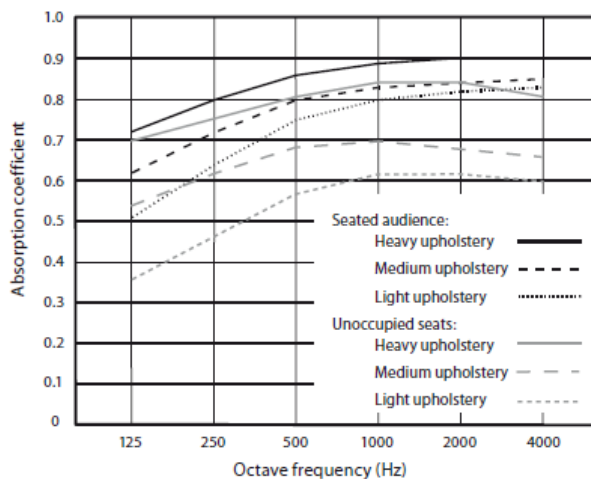
pomnoženih z njihovimi absorpcijskimi koeficienti. [4]

Najboljši način za določanje absorpcijskega koeficienta absorptivnega materiala je metoda odmevne sobe. Kljub temu da ISO standard natančno predpisuje detajle merjenja, so razlike v rezultatih precej velike. Razlike se pojavljajo zaradi absorpcije atmosfere oziroma različnih atmosferskih pogojev (temperatura, vlažnost) v času različnih meritev. Naprave, ki so trenutno v uporabi so zelo natančne in postopek precej preprost, zato to ni razlog za odstopanja med rezultati. [4]

Ostali faktorji, ki vplivajo na izmero absorpcijskega koeficienta:

- pozicija izvora zvoka, predvsem pri nižjih frekvencah,
- razpršenost zvoka v prostoru oziroma enakomernost intenziteta zvoka v vsaki poziciji prostora,
- lega absorpcijskega materiala, ki ga merimo, v primerjavi s stenami odmevne sobe,
- oblika odmevne sobe. [10]

Velik problem pri določanju odmevnega časa je izbira primerne absorpcijskega koeficienta. Na grafu je prikazano, kako zelo se absorpcijski koeficient lahko spreminja v primeru sedežev. To nam pove, da moramo biti pri oceni in izbiri natančni, saj je odmevni čas odvisen od materiala oziroma absorpcijskih koeficientov.



Grafikon1: Absorpcijski koeficienti (absorption coefficient) sedežev v odvisnosti od frekvenčnih oktav (octave frequency) [5]

2.5 Slovenska zakonodaja

Uredba (EU) št. 305/2011 določa »pogoje za dajanje na trg gradbenih proizvodov in omogočanje dostopa do njih z uvedbo usklajenih pravil o načinu navajanja lastnosti gradbenih proizvodov v zvezi z njihovimi bistvenimi značilnostmi in o uporabi oznake CE na teh proizvodih.« V prilogi I so navedene »Osnovne zahteve za gradbene objekte« in pod 5. točko je obravnavana zaščita pred hrupom: »Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da se hrup, ki ga zaznavajo osebe v objektu ali bližnji okolici, vzdržuje na ravni, ki ne bo ogrožala njihovega zdravja in jim bo omogočala zadovoljive razmere za spanje, počitek in delo.« [11]

Na podlagi drugega odstavka 10. člena Zakona o graditvi objektov [12], ki pravi, da »gradbene predpise, ki se nanašajo na stavbe, izdaja minister, pristojen za prostorske in gradbene zadeve, pri čemer lahko te predpise pripravi samostojno, lahko pa tudi na tak način, da mu pristojni resorni minister, v katerega delovno področje sodi posamezna vrsta stavb oziroma delovno področje, pomembno za graditev takšne vrste stavbe, posreduje popoln predlog takšnega predpisa«, je bil napisan Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbi. 5. člen navaja, da se zaščito pred odmevnim hrupom zagotovi »z namestitvijo ustrezne površine zvočno vpojnih elementov ob upoštevanju velikosti ter oblike prostora«. V 6. členu piše, da minister, pristojen za gradbene zadeve, izda tehnično smernico za graditev TSG-1-005 Zaščita pred hrupom v stavbah, ki določa priporočene gradbene ukrepe ali rešitve za doseganje zahtev tega pravilnika. [1]

Tehnična smernica v poglavju »Odmevni čas« predvideva, da se odmevni čas izračuna po Sabinovi in Eyringovi enačbi. Za učilnice in predavalnice je optimalni odmevni čas določen z naslednjo enačbo:

$$T_{opt} = 0,32 \cdot \log V - 0,17 \quad (3)$$

Ta velja za polno zasedene učilnice in predavalnice. Za učilnice in predavalnice, ki jih obravnavam v nalogi, so optimalni odmevni časi prikazani v preglednici 1:

Preglednica 1: Optimalni odmevni čas

	V [m ³]	T _{opt} [s]
PI/3	391,20	0,66
PII/3A	190,20	0,56
PI/1	603,00	0,72

»Vrednost odmevnega časa, določena po tej enačbi, se nanaša na srednjo vrednost odmevnega časa v oktavnih frekvenčnih pasovih 500 Hz in 1000 Hz« [9]

3 PRAKTIČNI DEL

Praktični del naloge zajema račun odmevnega časa prostora na tri različne načine: simulacija, meritve in računsko z uporabo enačb. Izvedla sem jih v treh predavalnicah na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, in sicer PI/1, PI/3 in PII/3A. Izbrala sem jih zato, ker imajo različno prostornino in bom zato lahko primerjala tudi vpliv prostornine na odmevni čas. PI/1 je največja in za razliko od PI/3 in PII/3A, nima oblike kvadra, saj se tla postopoma dvigujejo. Med sprednjim in zadnjim delom predavalnice je višinska razlika 90 cm. Geometrijske karakteristike predavalnic so prikazani v preglednici 2:

Preglednica 2: Geometrijske karakteristike predavalnic

	PI/1	PI/3	PII/3A
Površina tal [m²]	154,69	97,09	46,15
Širina [m]	9,00	9,00	9,00
Dolžina [m]	16,65	11,00	5,35
Višina [m]	4,00	4,00	4,00
Prostornina [m³]	603,00	391,20	190,20
Skupna površina [m²]	736,92	474,94	265,06

V splošnem so pogoji v predavalnicah enaki – v vseh treh najdemo klopi in stole, omare, okna, luči in tablo, stene so delno betonske, delno ometane in tla so prekrita z linolejem.

Za simulacijo in izračun je bilo zaradi lažjega dela potrebno uvesti geometrijske poenostavitve in druge predpostavke. Te so navedene v preglednici 3, kjer je opisan tudi vpliv, ki ga imajo na rezultat.

Preglednica 3: Poenostavitve, predpostavke in vplivi

POENOSTAVITVE, PREDPOSTAVKE	VPLIV
Stena z okni je predpostavljena kot v celoti zastekljena stena	Steklo ima večji absorpcijski koeficient, zato bo izmerjeni odmevni čas krajši od izračunanega
Ocenila sem velikost in absorpcijski koeficient absorberjev, nameščenih na stropu v PI/1	Nenatančnost rezultatov
Absorpcijski koeficienti so okvirni in pridobljeni iz literature ter izbrani glede na inženirsko oceno	S tem bodo tudi rezultati okvirni in ne tako natančni, kot če bi za vsak material v laboratoriju izmerili absorpcijski koeficient
V vseh predavalnicah so predpostavljene enake klopi in stoli	Površina klopi v PI/3 in PII/3A ima večjo odbojnost kot v PI/1, zato bo v PI/1 odmevni čas daljši kot je v resnici

V vsaki predavalnici sem primerjala tri različne situacije:

- prazna predavalnica z odgrnjenimi zavesami
- polna predavalnica z odgrnjenimi zavesami
- prazna predavalnica z zagrnjenimi zavesami

Zaradi izvajanja meritev sta pri prazni predavalnici bili v prostoru vedno prisotni dve osebi, medtem ko je pri polni predavalnici bilo:

- 12 oseb v PI/3, kar je 25% zasedenost
- 11 oseb v PII/3A, kar je 46% zasedenost
- 35 oseb v PI/1, kar je 24% zasedenost

3.1 Simulacija

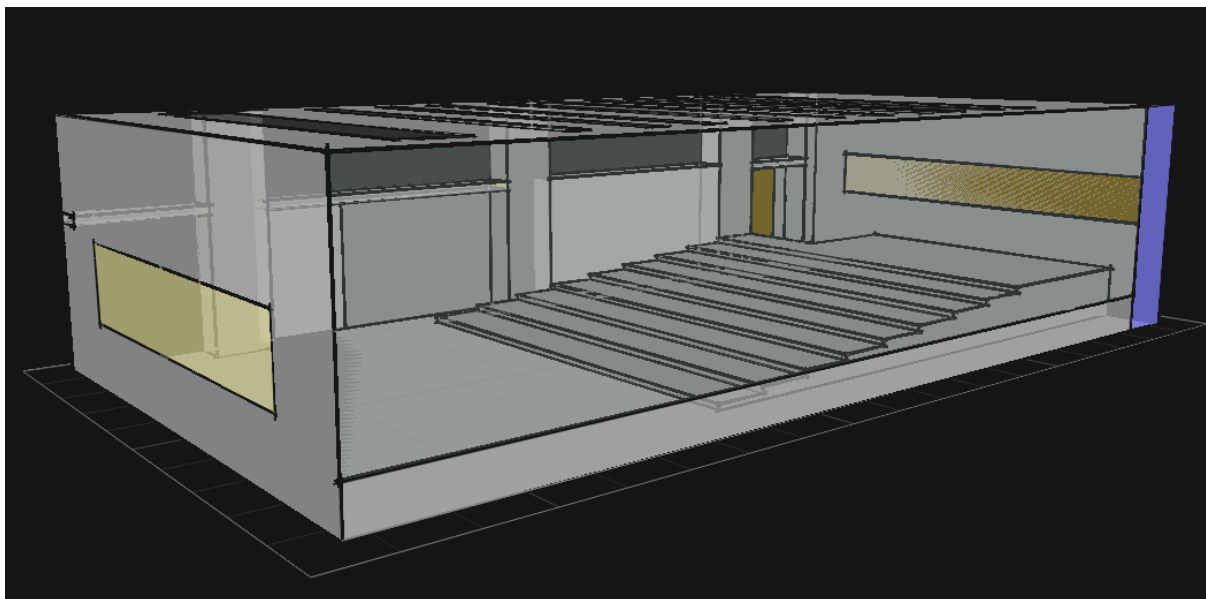
Autodesk Ecotect Analysis 2011 je program za analizo stavb, v katerem lahko s pomočjo 3D modeliranja in uporabo raznih pripomočkov pridobimo podatke o učinkovitosti objekta. Poleg analize osvetljenosti, osončenosti, toplotnega delovanja, vpliva na okolje,... ponuja tudi akustično analizo. Z vnosom podatkov o geometriji in materialih lahko določimo odmevni čas cone po frekvencah. Zaradi različnih geometrij in materialov v prostoru, program ponuja tri različne formule za izračun. Glede na absorptivnost prostora sam določi, katera izmed enačb je najbolj primerna.

Enačbe, ki jih uporablja računalniški program:

- Sabine: $RT = \frac{0,161 \cdot V}{A}$,
- Norris-Eyring: $RT = \frac{0,161 \cdot V}{-S \times \ln(1-a)}$,
- Millington-Sette: $RT = \frac{0,161 \cdot V}{\sum -S_i \times \ln(1-a_i)}$.

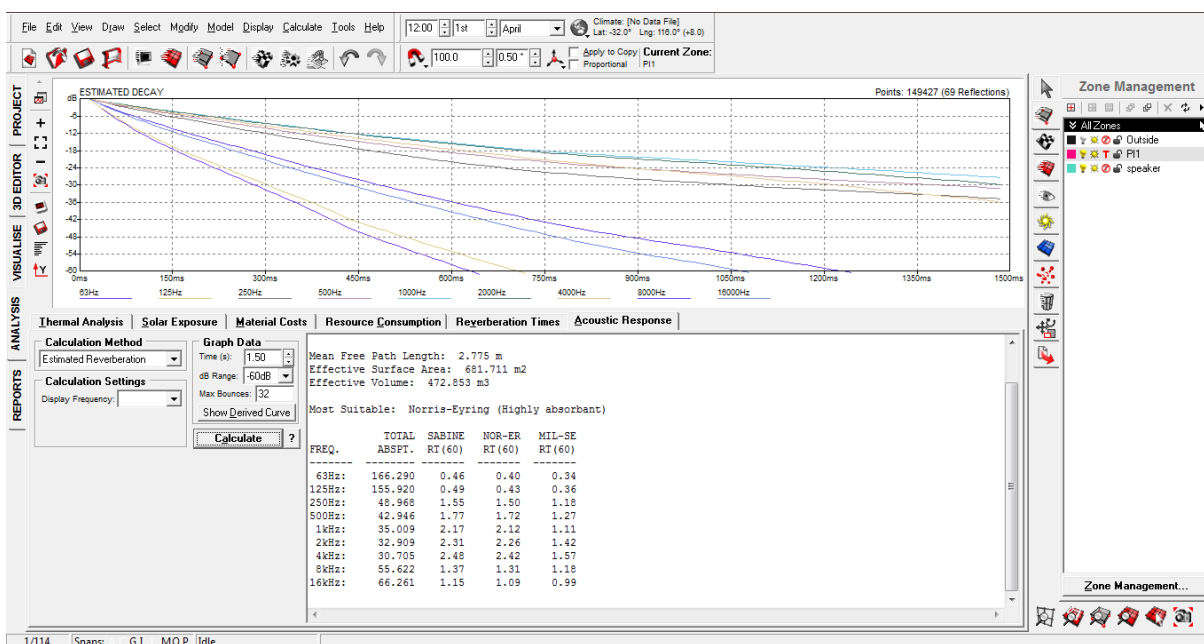
Kjer je V prostornina prostora, A skupna absorpcijska površina, S skupna površina prostora, a povprečna vrednost absorpcijskega koeficienta, S_i površina i -tega materiala in a_i dejanski absorpcijski koeficient tega materiala.

Potek določitve odmevnega časa v programu Ecotect Analysis izgleda tako, da se v 3D Editor najprej nariše črtni 3D model obravnavanega prostora in ga določi kot cono. Potrebno je nakazati tudi izvor zvoka v prostoru. Orodje Visualise omogoča lažjo predstavo narisane polnega modela, kar je razvidno iz slike 10.



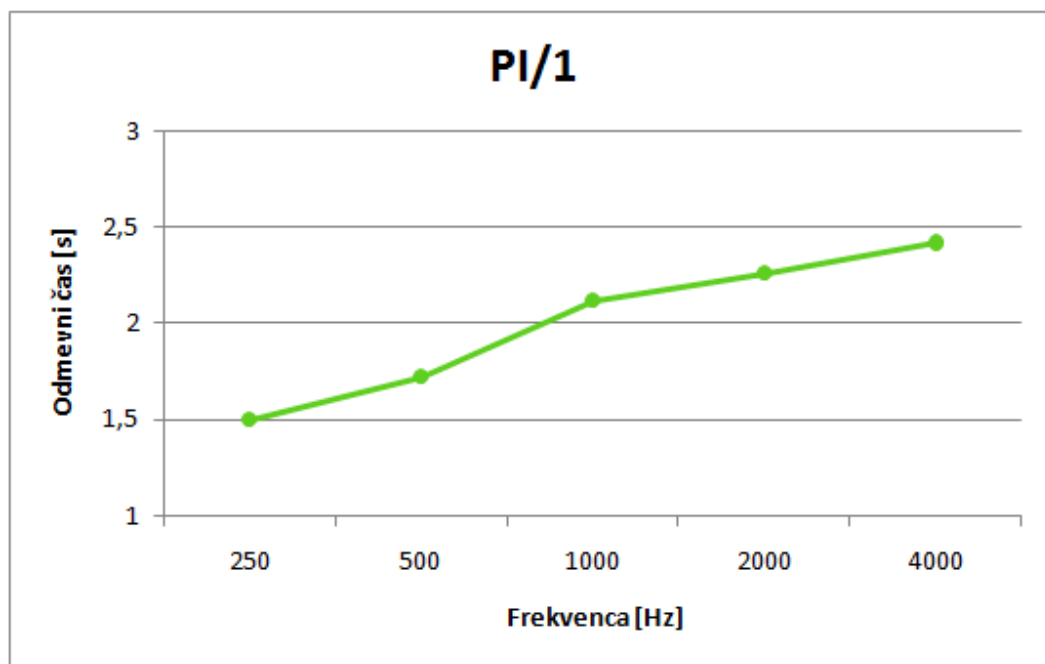
Slika 10: Polni model predavalnice PI/1

Pod zavihkom Analysis se določi eno izmed možnih analiz za obravnavani model. V mojem primeru sem izbrala Acoustic response. Izbira orodja Estimated Reverberation omogoča izračun povprečnega odmevnega časa zaprtega prostora z uporabo naključno proizvedenih žarkov. Ta način sicer ne upošteva ljudi in predmetov (klopi) v prostoru, zato prikazani rezultati veljajo za prazen, neopremljen prostor. Rezultat, ki ga izpiše program je krivulja, ki predstavlja povprečje pojemanja energije zvočnega valovanja za več žarkov, ter številčne vrednosti, pridobljene z enačbami. Izpis je prikazan na sliki 11.

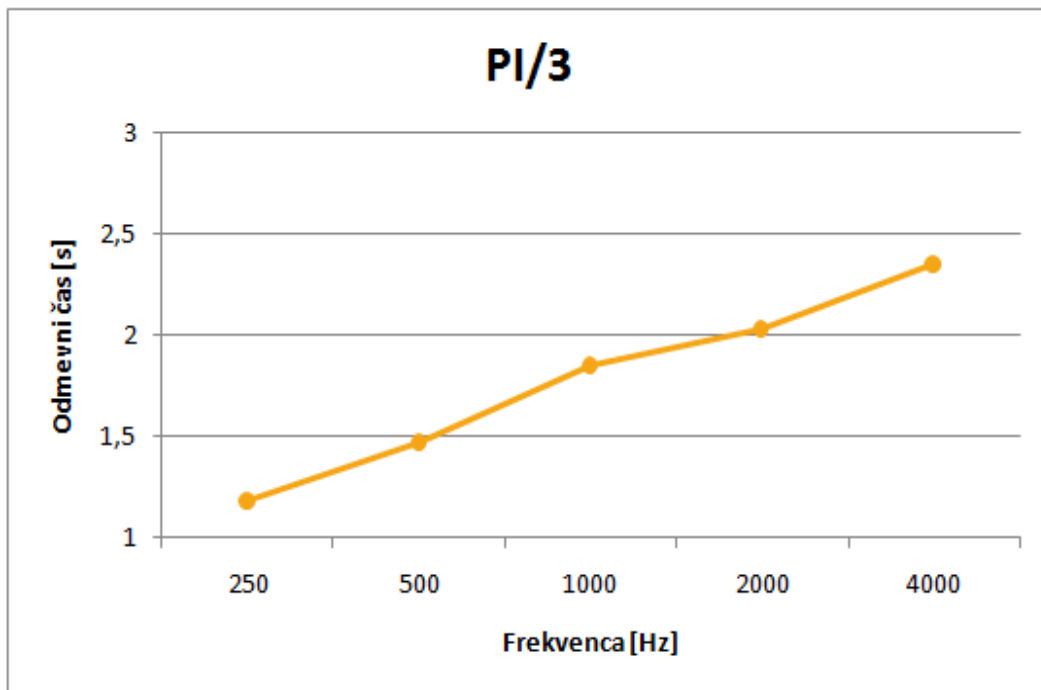


Slika 11: Izpis rezultata za PI/1

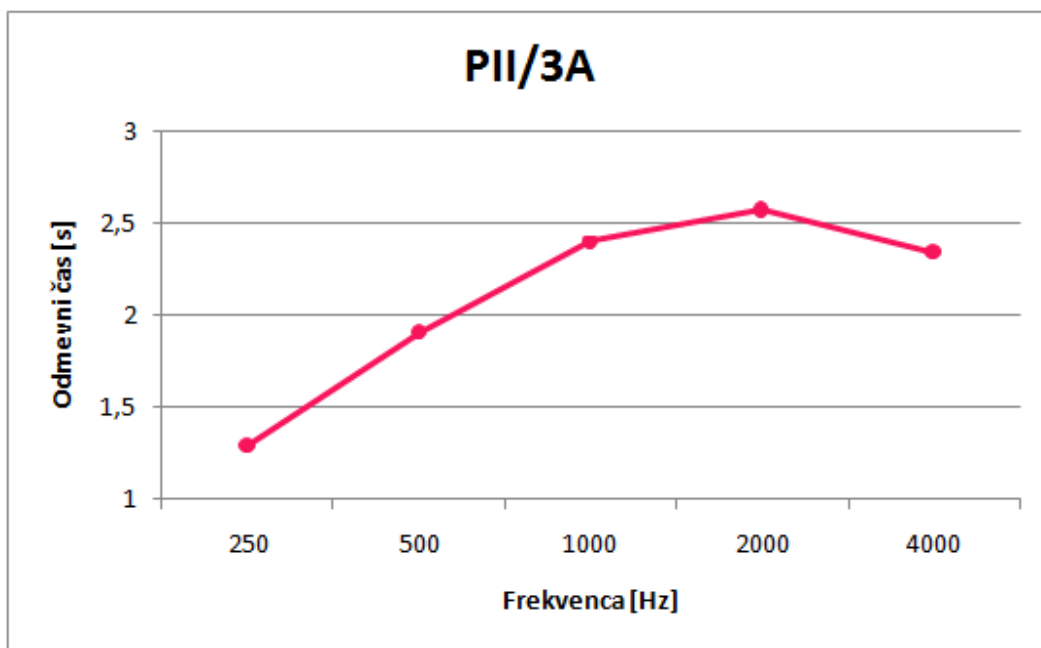
Program poda rezultate vseh treh enačb, pri čemer izpostavi tisto, ki se mu zdi najbolj primerna. Predavalnico PI/1 je program določil kot prostor z veliko absorpcije in kot najprimernejšo enačbo izbral Norris-Eyring. Za predavalnico PI/3 in PII/3A pa je določil Sabinovo formulo, saj so absorptivni materiali enakomerno porazdeljeni. Dobljeni rezultati so prikazani na grafikonih 2, 3 in 4, ki predstavljajo odvisnost med odmevnim časom in frekvenco.



Grafikon2: Odmevni čas predavalnice PI/1, simulacija



Grafikon3: Odmevni čas predavalnice PI/3, simulacija



Grafikon4: Odmevni čas predavalnice PII/3A, simulacija

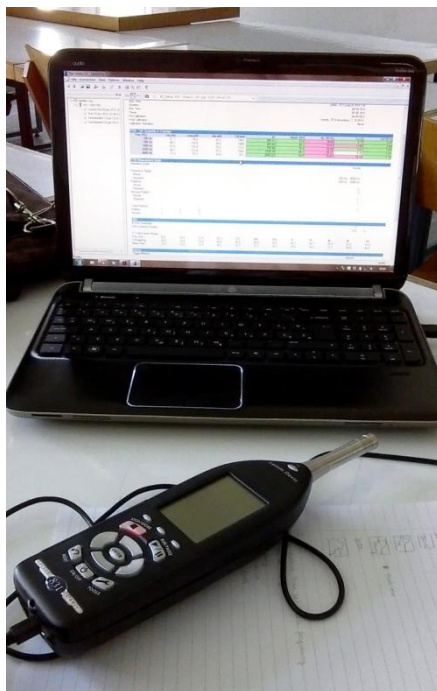
V vseh treh primerih so pridobljene vrednosti s simulacijo precej višje od tistih, ki jih predvideva tehnična smernica. V povprečju gre za 1 sekundo več. Razlog za to je, da simulacija poda rezultat za prazen in neopremljen prostor. Vrednosti bi bile bistveno manjše, če bi upoštevali še klopi in ljudi, saj imata ti dve komponenti precej visoke absorpcijske koeficiente, a žal program tega ne omogoča.

3.2 Meritve

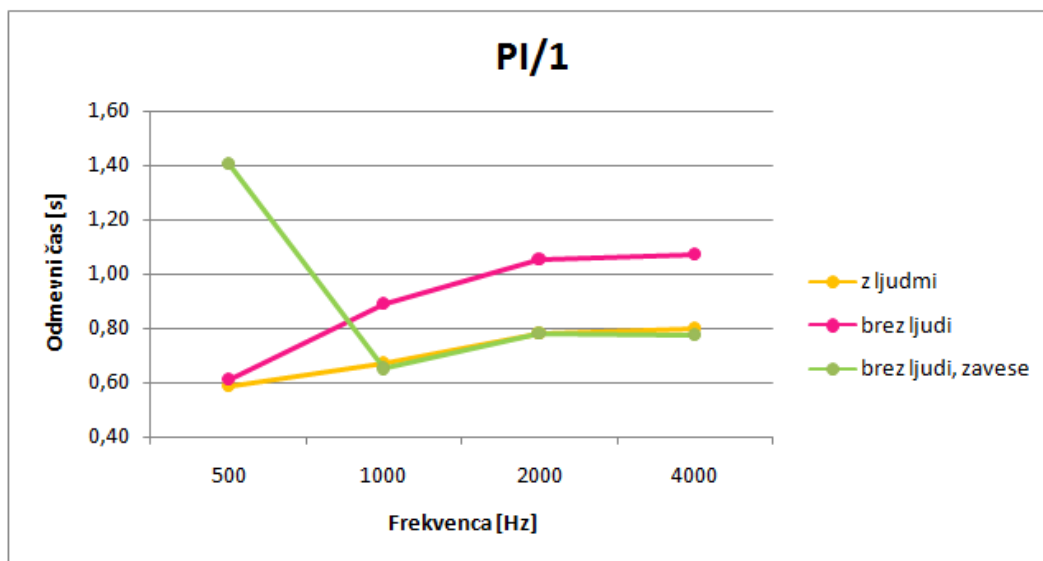
Merilna naprava SLM (Sound Level Meter) je naprava, ki med drugim meri tudi odmevni čas. Na voljo sta dve metodi, s katerima lahko izvedemo meritve in sicer impulzna metoda, vir je kratek močan zvok in metoda s prekinitvijo šuma. Uporabila sem impulzno metodo, kar pomeni, da naprava izmeri odmevni čas, potem ko je bil sprožen kratek in glasen zvok. Tega lahko proizvedemo na več načinov, na primer s startno pištolo, pokom balona ali ploskom z dvema deskama. Izbrala sem slednje.

Postopek merjenja je izgledal tako, da naprava najprej izmeri zvok ozadja in nato da znak, kdaj sprožiti kratek in glasen zvok. Če je bila meritev uspešna, se na zaslonu prikažejo rezultati, ki so razvrščeni po frekvencah. Temeljni glasbeni interval je oktava, kar ustreza podvojitvi frekvence. Večina akustičnih meritev, med drugim tudi meritve s SLM merilcem, se običajno izvajajo po oktavah, s frekvencami 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz itd. Dobljene vrednosti so T20 in T30 za vsako izmed teh frekvenc med 250 Hz in 4000 Hz.[5]

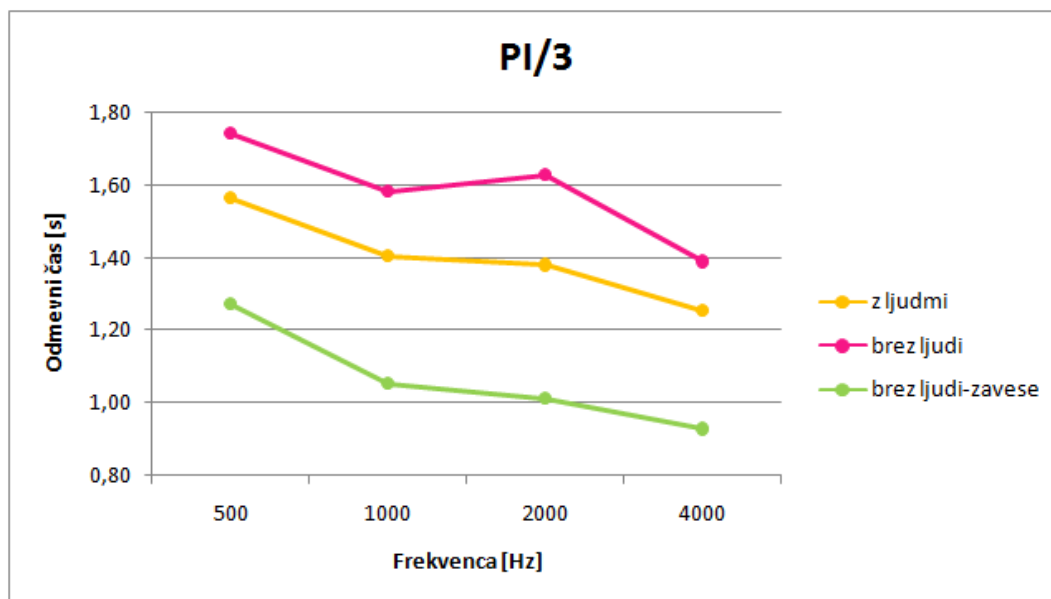
Vsako meritev sem izvedla trikrat in nato podatke iz naprave prenesla na računalnik. Pri tem sem opazila, da so med rezultati tudi negativna števila, kar je pri meritvah časa nesmiseln rezultat. Glede na to, da se je v vseh primerih pojavila enaka negativna številka, gre verjetno za način, kako naprava sporoči napako. Razlog za to bi lahko bil nepopoln izvor zvoka, saj je pomembno, da je izvor zvoka frekvenčno dovolj širok. Lahko pa je razlog tudi nek zunanji zvok, ki se je pojavil, medtem ko je naprava merila pojevanje zvoka ter tako zmotil oziroma vplival na rezultat. Vse negativne vrednosti so se pojavile le pri 250 Hz, zato sem zanemarila vse rezultate za 250 Hz in upoštevala le rezultate od 500 Hz naprej.



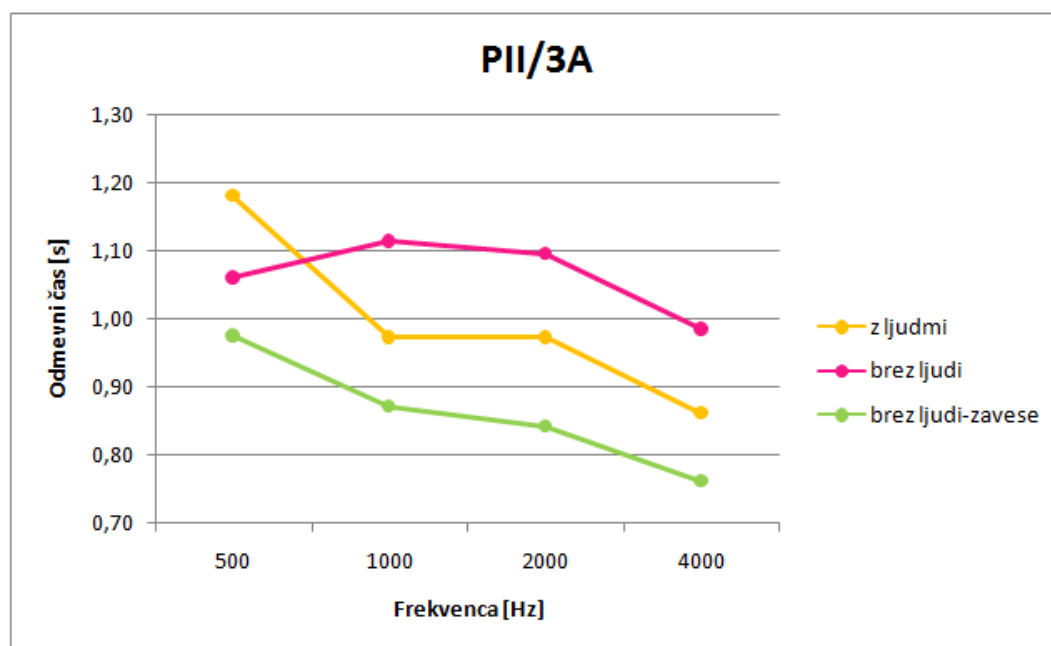
Slika 12: Prenos podatkov iz naprave na računalnik



Grafikon5: Odmevni čas predavalnice PI/1, meritev



Grafikon6: Odmevni čas predavalnice PI/3, meritev



Grafikon7: Odmevni čas predavalnice PII/3A, meritev

Grafikoni 5, 6, 7 prikazujejo odvisnost odmevnega časa od frekvence za vsako predavalnico posebej in pri različnih pogojih. Oblike krivulj so drugačne od tistih, pridobljenih s simulacijo. Merilec namreč upošteva dejansko stanje prostora, torej tudi ljudi in pohištvo. Pri krivuljah »z ljudmi« odmevni čas pri 1000 Hz in 2000 Hz pade. Razlog za to je, da je ravno pri teh vrednostih absorpcijski koeficient ljudi najvišji. Vrednosti so v primeru PI/1 ustrezne glede na priporočene vrednosti iz tehnične smernice. Opazimo lahko le, da je v primeru, ko so zagnjene zavese, pri 500 Hz, rezultat nenavaden. Prisotnost zaves namreč ne more povečati odmevnega časa oziroma bi to bil nesmisel. Zato je to, enako kot negativne

vrednosti, verjetno posledica prej omenjenih razlogov. Meritev predavalnice PI/1 zaradi prenove žal nisem mogla ponoviti. Predavalnica PI/3 ima kar za sekundo daljši odmevni čas od optimalnega, PII/3A pa le za polovico sekunde. V obeh primerih je razvidno, da prisotnost ljudi zmanjša odmevni čas, ta se pa še bolj zmanjša, če so zavese zagnjene. Posledica kombinacije obojega in višjega odstotka zasedenosti prostora, bi verjetno bil ustrezen odmevni čas.

3.3 Računsko

3.3.1 Sabine

Glede enakomerne porazdelitve zvoka v prostoru obstaja več formul. Prvi opis odmevnega časa je podal Wallace C. Sabine, okoli leta 1900. Bil je asistent profesorja na oddelku za fiziko Harvardske univerze. Z akustiko prostora se je začel ukvarjati, ko so ga prosili, naj poišče rešitev za novo predavalnico, ki je imela zelo velik odmevni čas. Raziskoval je obnašanje zvoka v zaprtem prostoru tako, da je meril čas, danes poznan kot odmevni čas, pri različnih količinah absorptivnih blazin v prostoru. [5]

On Saturday evening, 29 October 1898, he suddenly realized the explanation for his results, shouting out to the only other person in the house: »Mother, it's a hyperbola!« He had discovered that the reverberation time was proportional to the reciprocal of the amount of absorption.[5]

Ugotovil je, da odmevni čas določata dve količini: volumen prostora in skupna absorpcijska površina:

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{A} \quad (4)$$

V = volumen prostora v m^3

A = skupna absorpcijska površina v m^2

0,163 = koeficient v s/m, določen empirično.

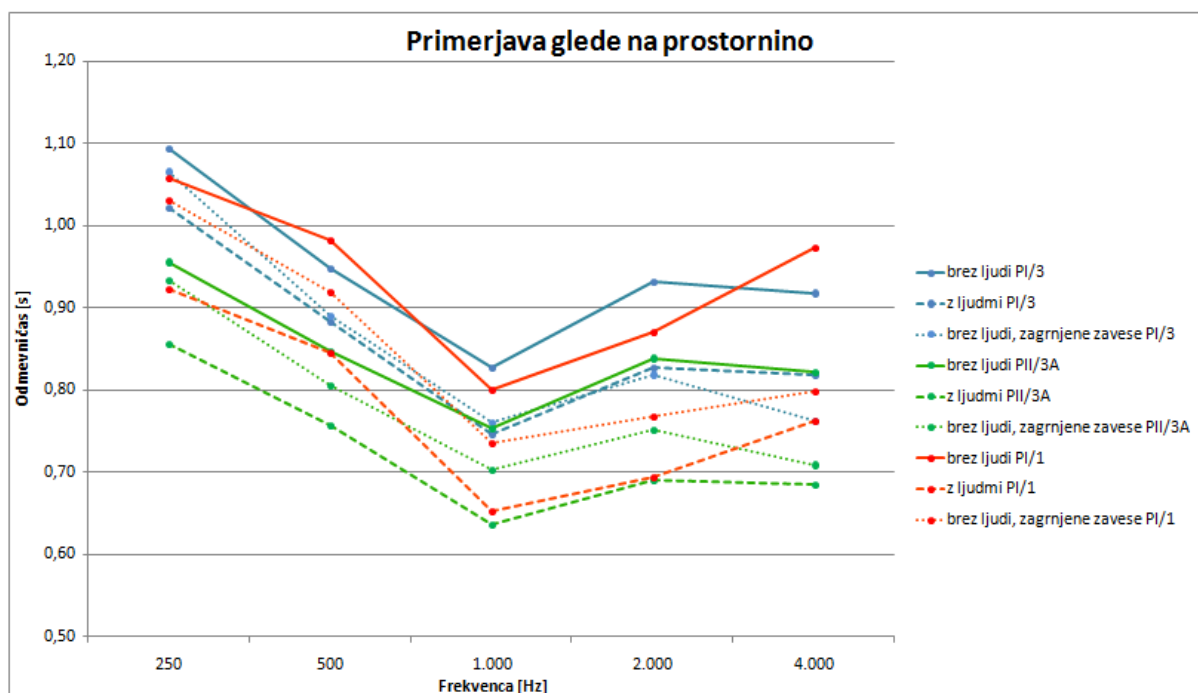
V različnih literaturah se koeficient giblje med 0,160 in 0,164. Najbolj pogosto pa se uporablja kar 0,16. Tehnična smernica predvideva uporabo koeficienta 0,163, zato sem v svojih izračunih izbrala tega. Pod skupno absorpcijsko površino razumemo vsoto vseh površin, pomnoženo s povprečnim absorpcijskim koeficientom: $A = \sum S \cdot \alpha = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots$

Z upoštevanjem slabljenja zvoka zaradi absorpcije zraka (člen 4mV), kar ima največji vpliv pri visokih frekvencah (nad 2 kHz), dobimo končno formulo:

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A + 4mV} \quad (5)$$

m = koeficient absorpcije zraka in je odvisen od vlage in temperature.

Faktor absorpcije zraka pri majhnih prostorih lahko zanemarimo.



Grafikon8: Odmevni čas predavalnic, Sabine

Na grafikonu 8 so združene vse krivulje, dobljene z uporabo Sabinove enačbe. Predstavljajo odvisnost med odmevnim časom in frekvenco. Vrednosti glede na prostornino so približno enako razporejene kot pri simulaciji in meritvah: PI/3 ima najdaljši odmevni čas, nato je PII/3A in najkrajšega ima PI/1. Odstopanja od optimalnih vrednosti so majhna. V PI/3 in PII/3A je odmevni čas daljši za približno 0,2 sekunde, v PI/1 pa za 0,1 sekunde. V vseh primerih so krivulje precej skupaj, kar pomeni, da izvedeni ukrepi ne predstavljajo velikih sprememb. V vseh primerih tudi velja, da ljudje v prostoru bolj zmanjšajo odmevni čas kot pa zagrnjene zavese. To je ravno nasprotno od merjenih vrednosti. Razlog za to je, da merilec izmeri dejanske vrednosti v prostoru, medtem ko pri računanju s formulo sami izberemo absorpcijske koeficiente, ki jih pridobimo s pomočjo literature. Pri tem je naša ocena lahko napačna, saj ne moremo zagotovo vedeti, kakšne so dejanske vrednosti absorpcijskih koeficientov.

3.3.2 Eyring

Carl Eyring je ugotovil, da Sabinova formula slabo opiše razmere, ko ima prostor veliko

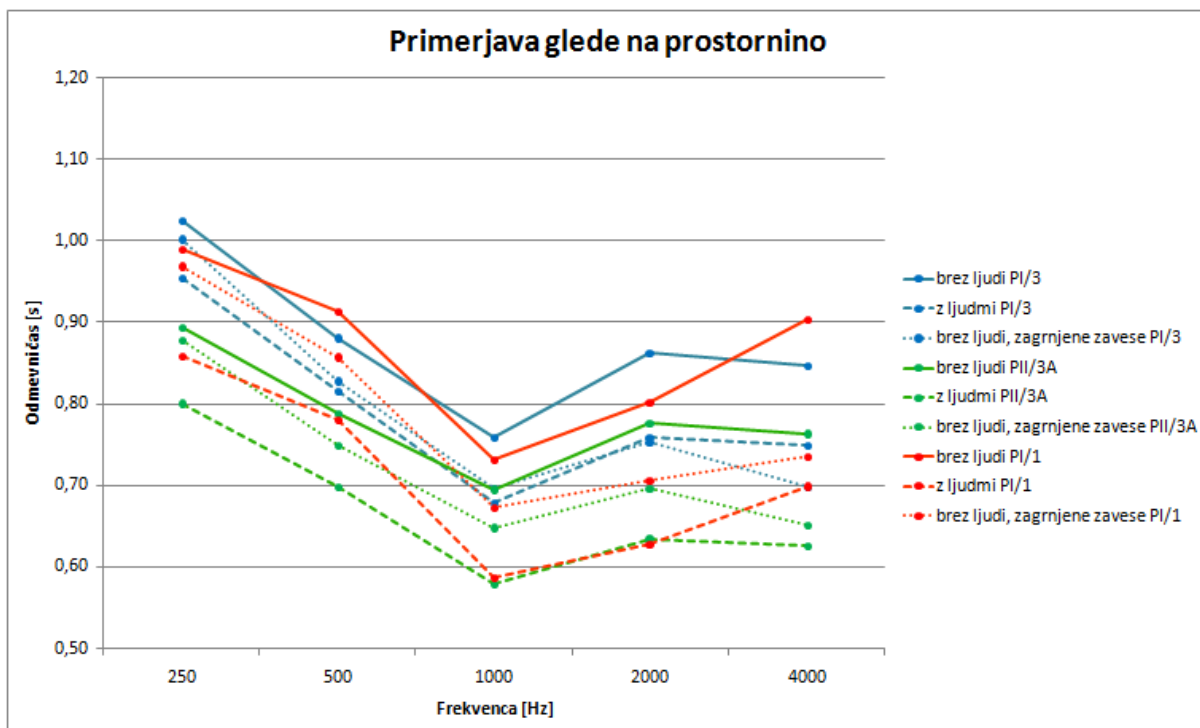
absorptivnost. Predstavil je formulo, ki je bolj splošna od Sabinove.

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (6)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum S \cdot \alpha$$

S = površina ploskve

Predvideval je, da se zvok zaporedoma odbija od ovir, ki imajo povprečno vrednost koeficienta absorpcije. Upošteva, da vsakič ko zvok zadane oviro, se del absorbira, del pa odbije ($1 - \bar{\alpha}$).



Grafikon9: Odmevni čas predavalnic, Eyring

Grafikon 9, ki prikazuje združene krivulje, dobljene z uporabo Eyringove enačbe, je precej podoben grafu krivulj, dobljenih s Sabinovo enačbo. Do razlike pride zato, ker Eyringova enačba drugače obravnava absorpcijo in je predvidena za prostore, ki imajo visoko vrednost absorpcije. Glede na optimalne vrednosti, so odmevni časi v PI/3 in PII/3A le za približno 0,1 sekunde daljši, v PI/1 pa je odmevni čas zopet ustrezen. Tudi pri grafu vrednosti, dobljenih z Eyringovo enačbo, so ljudje boljši absorberji kot zagrnjene zavese. Razlog za to je uporaba enakih absorpcijskih koeficientov kot pri Sabinovi enačbi.

Obe formuli, Sabinova in Eyringova, predpostavita, da se zvok enakomerno porazdeli po

prostoru. Pri nizki absorptivnosti prostora ni velike razlike, katero enačbo uporabimo. [9]

Za izračun odmevnega časa obstaja še veliko podobnih enačb. Vsaka obravnava posamezne specifikacije, na primer velikost prostora in pričakovani zvok, ki bo v tem prostoru oziroma pričakovana prevladujoča frekvenca, količina absorberjev in drugo. To dejstvo nam pove, da odmevnega časa prostora ne moremo zelo natančno izračunati. Rezultate izboljšamo tako, da glede na prostor uporabimo ustrezno enačbo.

4 PRIMERJAVA REZULTATOV

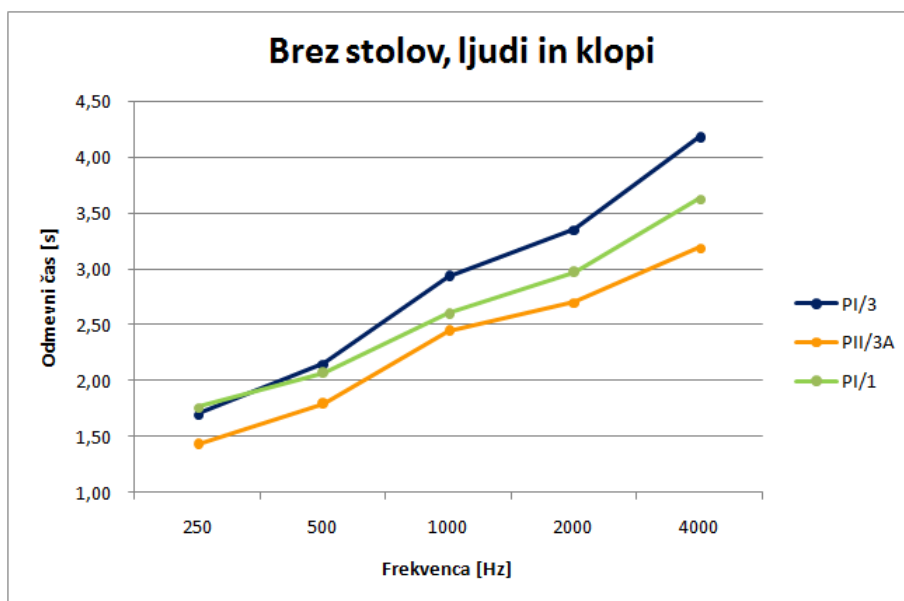
Odmevni čas predavalnic sem pridobila na tri različne načine, ki se med seboj precej razlikujejo in zato podajajo različne rezultate. Vsak izmed njih ima svoje prednosti in slabosti.

Ko enkrat osvojimo Ecotect Analysis, je simulacija s pomočjo računalniškega programa za izvedbo hitra in enostavna. Vendar tako kot pri izračunu s pomočjo formul, je potrebno absorpcijske koeficiente predpostaviti. Program sicer ponuja nek nabor materialov in njihovih lastnosti, pa tudi možnost vnosa novega materiala, vendar gre še vedno za standardizirane vrednosti.

Program odmevni čas izračuna po prej navedenih enačbah, ki pa imajo vse koeficient 0,161. Ta je različen od koeficienta, ki ga predvideva tehnična smernica, t.j. 0,163. V svojih izračunih sem se držala slovenske zakonodaje in uporabila 0,163.

Prednost simulacije je tudi ta, da program sam izračuna vse površine v prostoru, ter jih pomnoži z absorpcijskimi koeficienti, kar je pri računu z enačbo potrebno storiti »na roke«. Ta proces je dolgotrajen in hitro lahko pride do napake. Temu v izogib sem sproti preverjala ujemanje vrednosti površin iz simulacije in izračunov.

Slabost simulacije je pa tudi ta, da ne moremo določiti števila ljudi in pohištva v prostoru. Rezultati se zato razlikujejo od tistih, ki upoštevajo ljudi in pohištvo, a so skladni z rezultati na grafikonu 10, ki jih dobimo z enačbo, če ne upoštevamo ljudi in klopi.



Grafikon10: Sabinova enačba, brez upoštevanja stolov, klopi in ljudi

V primerjavi s simulacijo in izračunom, je uporaba merilca najenostavnejši način. Ta izmeri dejansko stanje prostora, ne da bi bilo potrebno karkoli predpostaviti ali izračunati. Edino, na kar moramo paziti pri merilcu je to, da izberemo primeren izvor zvoka, ki pokriva vse frekvence. Zato, če je izvor primeren, lahko rečemo, da so meritve z merilcem najbolj natančne in zanesljive in najboljše opišejo realno stanje.

Simulacija in izračuni odstopajo od merjenih vrednosti, saj vsebujejo predpostavke in poenostavitve. Predpostavke pri simulaciji so tako obsežne, da je te vrednosti nesmiselno primerjati z merjenimi. Računske vrednosti se tako še najbolj prilegajo dejanskemu stanju in jih zato lahko primerjamo z merjenimi vrednostmi, ter vse skupaj še z vrednostmi, ki jih predvideva tehnična smernica. Rezultati so zbrani v preglednici 4, 5 in 6. Zbrane so srednje vrednosti odmevnega časa v oktavnih frekvenčnih pasovih 500 Hz in 1000 Hz polnega prostora, saj so to vrednosti, ki jih obravnava tehnična smernica.

Preglednica 4: Primerjava vrednosti predavalnice PI/1

	Srednja vrednost v oktavnih frekvenčnih pasovih 500 Hz in 1000 Hz	Odstopanje od vrednosti z merilcem [%]	Odstopanje od vrednosti po TSG [%]
Merilec	0,63	/	-12,50
Sabine	0,75	19,65	4,17
Eyring	0,69	9,28	-4,17

Preglednica 5: Primerjava vrednosti predavalnice PI/3

	Srednja vrednost v oktavnih frekvenčnih pasovih 500 Hz in 1000 Hz	Odstopanje od vrednosti z merilcem [%]	Odstopanje od vrednosti po TSG [%]
Merilec	1,48	/	124,24
Sabine	0,82	-45,05	24,24
Eyring	0,75	-49,43	13,64

Preglednica 6: Primerjava vrednosti v predavalnici PII/3A

	Srednja vrednost v oktavnih frekvenčnih pasovih 500 Hz in 1000 Hz	Odstopanje od vrednosti z merilcem [%]	Odstopanje od vrednosti po TSG [%]
Merilec	1,08	/	92,85
Sabine	0,70	-35,03	25,00
Eyring	0,64	-40,60	14,29

Odstopanja računskih vrednosti od merjenih so kar velika. Ujemanja ne dobimo niti pri primerjavi rezultatov z optimalnimi vrednostmi iz tehnične smernice. V splošnem lahko rečemo, da so Eyringove vrednosti povsod nižje od Sabinovih in da so, z izjemo PI/1,

merjene vrednosti daljše od izračunanih. To je verjetno posledica predpostavke absorpcijskih koeficientov absorberjev v PI/1.

Ukrepa, ki sem ju izvedla v okviru naloge, sta bila dva - zagrnitev zaves in prisotnost ljudi v prostoru. Če primerjam njun vpliv, lahko rečem, da so različni načini podali različne rezultate glede vpliva na odmevni čas. Rezultati z merilcem so pokazali, da zagrnjene zavese bolj zmanjšajo odmevni čas kot prisotnost ljudi, medtem ko so rezultati z enačbami podali obratne vrednosti. Ta razlika je posledica različnih načinov zajemanja podatkov. Skupno jim je pa to, da je ukrep vedno vplival na odmevni čas tako, da ga je zmanjšal. Vzrok za to je, da imajo ljudje in zavese visok absorpcijski koeficient, kar pomeni, da absorbirajo zvok, kar zmanjša odboj zvoka in posledično odmevni čas.

5 ZAKLJUČEK

V literaturi lahko najdemo več različnih raziskav, ki se ukvarjajo s primerjavo rezultatov odmevnega časa, pridobljenih na različne načine in pri različnih pogojih.

Članek »Prediction of reverberation time in rectangular rooms with non uniformly distributed absorption using a new formula« podaja novo enačbo na podlagi že obstoječih enačb za odmevni čas. Razlog za to je, da za Sabinovo in Eyringovo enačbo velja, da ne podajata točnih rezultatov, če je v prostoru absorpcija neenakomerno razporejena. Pri primerjavi rezultatov različnih enačb s Sabinovo enačbo, so ugotovili, da Eyringova enačba podaja nižje vrednosti kot Sabinova, ter da so merjene vrednosti višje od Eyringovih. [13]

V članku »Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas« so primerjane enake količine kot v moji nalogi, torej merjene vrednosti, simulacija in računске vrednosti z uporabo enačb. Potreba po novih enačbah za odmevni čas kaže na to, da obstoječe enačbe ne dajejo zadovoljivih rezultatov. Enačb za račun odmevnega časa je veliko in za analizo učilnic ter predavalnic sta najbolj primerni Sabinova in Eyringova. Pri tem je potrebno le smiselno določiti absorpcijske koeficiente. Tudi v tej raziskavi se izkaže, da daje Eyringova enačba nižje vrednosti od Sabinove. Na natančnost pri simulaciji, poleg natančnosti računalniškega programa, vplivajo tudi drugi parametri. Predvsem je problem določiti absorpcijske koeficiente materialov. Te je v že obstoječem prostoru težko oceniti. Največkrat se uporabljajo kar standardizirane vrednosti. [14]

Rezultati obeh raziskav se ujemajo z mojimi ugotovitvami, da Eyringova enačba podaja nižje vrednosti od Sabinove, da so merjeni odmevni časi daljši od izračunanih, ter da je nenatančnost rezultatov posledica izbire absorpcijskih koeficientov.

Vsak izmed načinov ima torej svoje omejitve. Uporaba merilnika nam sicer daje najbolj realne vrednosti, toda za izvedbo meritev je potreben že obstoječ prostor. Ta možnost zato ne pride v poštev v fazi načrtovanja. Takrat lahko uporabimo le izračune ali simulacije. Pri tem moramo vedeti, da ta dva načina zahtevata predpostavke, poenostavitve in zato lahko pričakujemo odstopanja od dejanskih vrednosti.

Rezultati te naloge nam pokažejo, da nam napačna ocena materialov lahko prinese tudi 50% odstopanja, kar je ogromno. A ravno ta nezanesljivost rezultatov je vzrok za obstoj velike in

peste izbire ukrepov za spremembo odmevnega časa prostora.

Pri načrtovanju prostora se torej lahko poslužimo raznih metod za določitev odmevnega časa prostora, vendar se moramo pri tem zavedati, da rezultati verjetno ne bodo enaki realnemu stanju. Neustrezen odmevni čas v prostoru pa se vedno da prilagoditi z uporabo absorberjev, reflektorjev ali drugih ukrepov.

VIRI

- [1] Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah. Uradni list RS št. 10/2012
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=107408> (Pridobljeno 22. 7. 2015.)
- [2] Tehnična smernica TSG-1-005:2012. Zaščita pred hrupom v stavbah. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev_objektov/tsg_005_zascita_pred_hrupom.pdf (Pridobljeno 22. 7. 2015.)
- [3] Računalniški program Ecotect Analysis
<http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> (Pridobljeno 11. 8. 2015.)
- [4] Szokolay, S. 2008. Introduction to architectural science. Oxford, Architectural Press: 204-345 str.
- [5] Barron, M. 1993. Auditorium acoustics and architectural design. London, E & FN Spon: 504 str.
- [6] Peternelj, J., Jagličič Z. 2014. Osnove Gradbene Fizike. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 166 str.
- [7] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 317 str.
- [8] Díaz, C., Pedrero, A. 2005. The reverberation time of furnished rooms in dwellings. Applied Acoustics, 66(8): 945-956 str.
- [9] Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with Non- Uniformly Distributed Sound Absorption.
http://sound.eti.pg.gda.pl/papers/prediction_of_reverberation_time.pdf (Pridobljeno 11. 8. 2015.)
- [10] Cops, A., Vanhaecht, J., Leppens, K. 1995. Sound absorption in a reverberation room: Causes of discrepancies on measurement results. Applied Acoustics, 46(3): 215-232 str.
- [11] UREDBA (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGŠ.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF> (Pridobljeno 22. 7. 2015.)
- [12] Zakon o graditvi objektov (ZGO-1) Uradni list RS, št. 102/04.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO3490#> (Pridobljeno 22. 7. 2015.)
- [13] Prediction of reverberation time in rectangular rooms with non uniformly distributed absorption using a new formula.

<http://www.researchgate.net/publication/228584738> Prediction of reverberation time in rectangular rooms with non uniformly distributed absorption using a new formula (Pridobljeno 11. 8. 2015.)

- [14] Passero, C., Zannin, P. 2010. Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas. Applied Acoustics: 1204-1210 str.
- [15] Huntington, W., Mickadeit, R., Cavanaugh, W. 1981. Building construction. Materials and types of construction. 5.ed. New York, NY: Wiley.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: MERITVE

Priloga A.1: Rezultati meritev za predavalnico PI/1

Priloga A.2: Rezultati meritev za predavalnico PI/3

Priloga A.3: Rezultati meritev za predavalnico PII/3A

PRILOGA B: RAČUNSKO

Priloga B.1: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.2: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.3: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

Priloga B.4: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.5: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.6: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

Priloga B.7: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.8: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.9: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

Priloga B.10: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.11: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.12: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

Priloga B.13: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.14: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.15: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

Priloga B.16: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – brez ljudi

Priloga B.17: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – z ljudmi

Priloga B.18: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

PRILOGA C: ABSORPCIJSKI KOEFICIENTI

PRILOGA A: MERITVE

Priloga A.1: Rezultati meritev za predavalnico PI/1

PI/1

		Z ljudmi			Brez ljudi			Brez ljudi, zavese		
		Meritev [ms]			Meritev [ms]			Meritev [ms]		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
T20	250 Hz	354	201	1116	734	-99,94	-99,94	691	1751	390
	500 Hz	590	622	496	592	779	477	605	3132	650
	1000 Hz	586	667	728	758	935	953	571	683	673
	2000 Hz	687	796	814	1027	1062	1076	728	769	806
	4000 Hz	746	776	818	1058	1070	1107	694	790	796
T30	250 Hz	-99,4	-99,4	927	-99,94	-99,94	-99,94	593	1585	-99,94
	500 Hz	756	616	434	611	782	418	638	2778	631
	1000 Hz	641	636	750	840	926	930	623	658	693
	2000 Hz	745	821	821	1052	1028	1082	753	803	825
	4000 Hz	787	825	834	1054	1043	1095	748	818	808

Število ljudi: 35 Število ljudi: 2 Število ljudi: 2

Priloga A.2: Rezultati meritev za predavalnico PI/3

PI/3

		Z ljudmi			Brez ljudi			Brez ljudi - zagrnjene zavese		
		Meritev [ms]			Meritev [ms]			Meritev [ms]		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
T20	250 Hz	1020	1812	1609	-99,94	926	1573	3689	1346	918
	500 Hz	1510	1480	1677	1867	1686	1788	1304	1227	1277
	1000 Hz	1413	1413	1341	1601	1064	1840	1106	1035	1030
	2000 Hz	1368	1344	1384	1595	1655	1616	1039	1004	947
	4000 Hz	1251	1250	1251	1357	1432	1375	929	920	913
T30	250 Hz	870	1585	1480	-99,94	787	1402	3671	1049	644
	500 Hz	1538	1645	1531	1823	1543	1754	1320	1240	1264
	1000 Hz	1423	1419	1407	1669	1616	1713	1113	1009	1025
	2000 Hz	1388	1372	1414	1620	1649	1636	1053	1045	984
	4000 Hz	1255	1237	1271	1372	1408	1387	943	923	933

Število ljudi: 12 Število ljudi: 2 Število ljudi: 2

Priloga A.3: Rezultati meritev za predavalnico PII/3A

		PII/3A								
		Z ljudmi			Brez ljudi			Brez ljudi - zagnjene zavese		
		Meritev [ms]			Meritev [ms]			Meritev [ms]		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
T20	250 Hz	1276	1561	1429	1696	700	901	1050	1055	-99,94
	500 Hz	1202	1051	1176	989	1157	1230	992	1052	1061
	1000 Hz	960	1017	910	1114	1060	1116	865	874	907
	2000 Hz	1005	974	939	1130	1109	1060	839	862	803
	4000 Hz	852	872	860	981	977	969	737	756	747
T30	250 Hz	1185	1407	1330	-99,94	-99,94	-99,94	1084	-99,94	-99,94
	500 Hz	1240	1194	1229	779	1073	1133	874	942	930
	1000 Hz	991	964	996	1092	1151	1153	857	860	869
	2000 Hz	987	972	959	1092	1116	1068	833	875	844
	4000 Hz	835	890	864	1003	995	982	768	784	780

Število ljudi: 11 Število ljudi: 2 Število ljudi: 2

PRILOGA B: RAČUNSKO

Priloga B.1: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – brez ljudi

PI/1 - brez ljudi												
V neto [m ³]	603,00											
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A					
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03	
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70	
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75	
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79	
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74	
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00	
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68	
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09	
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51	
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40	
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30	
							92,89	100,07	122,90	112,83	101,07	

ODMEVNI ČAS:

1,06	0,98	0,80	0,87	0,97
------	------	------	------	------

Priloga B.2: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – z ljudmi

PI/1 - z ljudmi

V neto [m ³]	603,00					Površina [m ²], število	A				
Material/element	Absorpcijski koeficient						250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	35,00	14,35	17,15	29,40	30,45	29,40
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30
							106,42	116,24	150,62	141,54	128,79

ODMEVNI ČAS:

0,92	0,85	0,65	0,69	0,76
------	------	------	------	------

Priloga B.3: Izračuni za predavalnico PI/1 s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

PI/1 - brez ljudi, zavese

V neto [m ³]	603,00					Površina [m ²], število	A				
Material/element	Absorpcijski koeficient						250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	66,60	2,66	7,33	11,32	15,98	23,31
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30
							95,39	106,95	133,54	127,85	122,98

ODMEVNI ČAS:

1,03	0,92	0,74	0,77	0,80
------	------	------	------	------

Priloga B.4: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – brez ljudi

PI/3 - brez ljudi

V neto [m ³]	391,20										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22
							58,32	67,23	76,99	68,39	69,57

ODMEVNI ČAS:

1,09	0,95	0,83	0,93	0,92
------	------	------	------	------

Priloga B.5: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – z ljudmi

PI/3 - z ljudmi

V neto [m ³]	391,20										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	12,00	4,92	5,88	10,08	10,44	10,08
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22
							62,42	72,13	85,39	77,09	77,97

ODMEVNI ČAS:

1,02	0,88	0,75	0,83	0,82
------	------	------	------	------

Priloga B.6: Izračuni za predavalnico PI/3 s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

PI/3 - brez ljudi, zavese

V neto [m3]		Absorpcijski koeficient					Površina [m2], število	A				
Material/element	391,20	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet		0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20
beton		0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53
les (obešalniki, vrata, omare)		0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95
tabla		0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)		0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38
stoli		0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40
ljudje		0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej		0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94
absorberji		0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese		0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	44,00	1,76	4,84	7,48	10,56	15,40
klopi		0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22
							59,92	71,63	83,79	77,99	83,57	

ODMEVNI ČAS:

1,06	0,89	0,76	0,82	0,76
------	------	------	------	------

Priloga B.7: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – brez ljudi

PII/3A - brez ljudi

V neto [m3]		Absorpcijski koeficient					Površina [m2], število	A				
Material/element	190,20	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet		0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40
beton		0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26
les (obešalniki, vrata, omare)		0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72
tabla		0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
steklo (okna, luči)		0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18
stoli		0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20
ljudje		0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej		0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92
absorberji		0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese		0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi		0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11
							32,49	36,57	41,14	37,03	37,71	

ODMEVNI ČAS:

0,95	0,85	0,75	0,84	0,82
------	------	------	------	------

Priloga B.8: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – z ljudmi

PII/3A - z ljudmi

V neto [m ³]	190,20										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	11,00	4,51	5,39	9,24	9,57	9,24
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11
							36,18	40,98	48,70	44,86	45,27

ODMEVNI ČAS: 0,86 0,76 0,64 0,69 0,68

Priloga B.9: Izračuni za predavalnico PII/3A s Sabinovo enačbo – brez ljudi, zavese

PII/3A - brez ljudi, zavese

V neto [m ³]	190,20										
Material/element	Absorptivnost					Površina [m ²]	AS				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	21,40	0,86	2,35	3,64	5,14	7,49
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11
							33,18	38,48	44,10	41,20	43,80

ODMEVNI ČAS: 0,93 0,81 0,70 0,75 0,71

Priloga B.10: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – brez ljudi

PI/1 - brez ljudi

V neto [m ³]	603,00										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30
						Σ= 736,92	92,89	100,07	122,90	112,83	101,07
							ᾱ= 0,13	0,14	0,17	0,15	0,14

ODMEVNI ČAS:

0,99	0,91	0,73	0,80	0,90
------	------	------	------	------

Priloga B.11: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – z ljudmi

PI/1 - z ljudmi

V neto [m ³]	603,00										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	35,00	14,35	17,15	29,40	30,45	29,40
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30
						Σ= 769,92	106,42	116,24	150,62	141,54	128,79
							ᾱ= 0,14	0,15	0,20	0,18	0,17

ODMEVNI ČAS:

0,86	0,78	0,59	0,63	0,70
------	------	------	------	------

Priloga B.12: Izračuni za predavalnico PI/1 z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

PI/1 - brez ljudi, zavese

V neto [m ³]	603,00												
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A						
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	250,73	22,57	17,55	12,54	12,54	10,03		
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	23,40	0,23	0,47	0,47	0,47	0,70		
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,65	1,17	1,07	0,75	0,64	0,75		
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79		
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08		
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	93,38	23,34	16,81	11,21	6,54	3,74		
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	150,00	28,50	33,00	58,50	57,00	45,00		
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68		
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	154,69	4,64	4,64	4,64	4,64	3,09		
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	7,00	2,03	5,25	6,86	6,51	6,51		
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	66,60	2,66	7,33	11,32	15,98	23,31		
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	30,00	7,80	18,60	24,90	21,00	27,30		
						Σ=	799,52	95,39	106,95	133,54	127,85	122,98	
								ᾱ=	0,12	0,13	0,17	0,16	0,15
						ODMEVNI ČAS:			0,97	0,86	0,67	0,71	0,74

Priloga B.13: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – brez ljudi

PI/3 - brez ljudi

V neto [m ³]	391,20												
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A						
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20		
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53		
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95		
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79		
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08		
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38		
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40		
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68		
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94		
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40		
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22		
						Σ=	474,94	58,32	67,23	76,99	68,39	69,57	
								ᾱ=	0,12	0,14	0,16	0,14	0,15
						ODMEVNI ČAS:			1,02	0,88	0,76	0,86	0,85

Priloga B.14: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – z ljudmi

PI/3 - z ljudmi

V neto [m ³]	391,20										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	12,00	4,92	5,88	10,08	10,44	10,08
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22
Σ =						484,93	62,42	72,13	85,39	77,09	77,97
$\bar{\alpha}$ =							0,13	0,15	0,18	0,16	0,16

ODMEVNI ČAS:

0,95	0,82	0,68	0,76	0,75
------	------	------	------	------

Priloga B.15: Izračuni za predavalnico PI/3 z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

PI/3 - brez ljudi, zavese

V neto [m ³]	391,20										
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	180,01	16,20	12,60	9,00	9,00	7,20
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	17,60	0,18	0,35	0,35	0,35	0,53
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	13,56	1,49	1,36	0,95	0,81	0,95
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	3,88	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	59,60	14,90	10,73	7,15	4,17	2,38
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	48,00	9,12	10,56	18,72	18,24	14,40
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	97,09	2,91	2,91	2,91	2,91	1,94
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	44,00	1,76	4,84	7,48	10,56	15,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	42,00	10,92	26,04	34,86	29,40	38,22
Σ =						514,93	59,92	71,63	83,79	77,99	83,57
$\bar{\alpha}$ =							0,12	0,14	0,16	0,15	0,16

ODMEVNI ČAS:

1,00	0,83	0,70	0,75	0,70
------	------	------	------	------

Priloga B.16: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – brez ljudi

PII/3A - brez ljudi

V neto [m ³]	190,20						A				
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11
						Σ= 265,06	32,49	36,57	41,14	37,03	37,71
							ᾱ= 0,12	0,14	0,16	0,14	0,14

ODMEVNI ČAS:

0,89	0,79	0,69	0,78	0,76
------	------	------	------	------

Priloga B.17: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – z ljudmi

PII/3A - z ljudmi

V neto [m ³]	190,20						A				
Material/element	Absorpcijski koeficient					Površina [m ²], število	A				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	11,00	4,51	5,39	9,24	9,57	9,24
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	4,00	0,16	0,44	0,68	0,96	1,40
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11
						Σ= 274,06	36,18	40,98	48,70	44,86	45,27
							ᾱ= 0,13	0,15	0,18	0,16	0,17

ODMEVNI ČAS:

0,80	0,70	0,58	0,63	0,63
------	------	------	------	------

Priloga B.18: Izračuni za predavalnico PII/3A z Eyringovo enačbo – brez ljudi, zavese

PII/3A - brez ljudi, zavese

V neto [m ³]	Absorptivnost					Površina [m ²]	AS					
Material/element	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	109,97	9,90	7,70	5,50	5,50	4,40	
beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	8,80	0,09	0,18	0,18	0,18	0,26	
les (obešalniki, vrata, omare)	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	10,33	1,14	1,03	0,72	0,62	0,72	
tabla	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	7,20	1,58	1,22	0,65	0,72	0,79	
ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	
steklo (okna, luči)	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	29,50	7,37	5,31	3,54	2,06	1,18	
stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	24,00	4,56	5,28	9,36	9,12	7,20	
ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84	2,00	0,82	0,98	1,68	1,74	1,68	
tla - linolej	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	46,15	1,38	1,38	1,38	1,38	0,92	
absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	21,40	0,86	2,35	3,64	5,14	7,49	
klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91	21,00	5,46	13,02	17,43	14,70	19,11	
						Σ= 282,46		33,18	38,48	44,10	41,20	43,80
							ᾱ= 0,12	0,14	0,16	0,15	0,16	

ODMEVNI ČAS:

0,88	0,75	0,65	0,70	0,65
------	------	------	------	------

PRILOGA C: ABSORPCIJSKI KOEFICIENTI [15]

		250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Plaster, on concrete block	omet	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04
Concrete poured, unpainted	beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Wood	les	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Students, informally dressed, seated in tablet arm chair	ljudje	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84
Glass, ordinary window	steklo	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Light curtains	zavese	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Marble or glazed tile	ploščice	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Plywood paneling, 7/8 in. thick	tabla	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
Chair, metal or wood seat, unoccupied	stoli	0,19	0,22	0,39	0,38	0,3
Floors, linoleum, vinyl on concrete	tla	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Silicate-treated wood fiber	klopi	0,26	0,62	0,83	0,7	0,91
Acoustic coating 1,5"	absorberji	0,29	0,75	0,98	0,93	0,93