

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:

Podbelšek, L., 2016. Računska analiza zvočne izoliranosti med prostori skladno z aktualno zakonodajo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentor Prezelj, J.): 54 str.

Datum arhiviranja: 08-09-2016

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:

Podbelšek, L., 2016. Računska analiza zvočne izoliranosti med prostori skladno z aktualno zakonodajo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Prezelj, J.): 81 pp.

Archiving Date: 08-09-2016

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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
SMER OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

**LUKA PODBELŠEK**

**RAČUNSKA ANALIZA ZVOČNE IZOLIRANOSTI MED  
PROSTORI SKLADNO Z AKTUALNO ZAKONODAJO**

Diplomska naloga št.: 544/SOG

**COMPUTATIONAL ANALYSIS OF SOUND  
INSULATION BETWEEN ROOMS IN ACCORDANCE  
WITH CURRENT LEGISLATION**

Graduation thesis No.: 544/SOG

**Mentor:**

doc. dr. Roman Kunič

**Somentor:**

doc. dr. Jurij Prezelj

Ljubljana, 05. 09. 2016

## **POPRAVKI**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

(Ta stran je namenoma prazna)

## IZJAVE

Spodaj podpisani študent **Luka Podbelšek**, vpisna številka **26105556**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Računska analiza zvočne izoliranosti med prostori v skladu z aktualno zakonodajo**

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljana

Datum: 18. 8. 2016

Podpis študenta/-ke:

---

(Ta stran je namenoma prazna)

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 328.34:699.844(497.4)(043.2)  
**Avtor:** Luka Podbelšek  
**Mentor:** doc. dr. Roman Kunič  
**Somentor:** doc. dr. Jurij Prezelj  
**Naslov:** Računska analiza zvočne izoliranosti med prostori v skladu z aktualno zakonodajo  
**Tip dokumenta:** diplomska naloga – visokošolski strokovni študij  
**Obseg in oprema:** 54 str., 38 pregl., 15 sl., 2 pril.  
**Ključne besede:** zvočna izolirnost med prostori, prehod zvoka po zraku med prostori, zvočna izolirnost monolitnih elementov, računalniški programi za izračun zvočne izoliranosti med prostori, SIST EN 12354-1:2001

### **Izvleček**

V diplomski nalogi je predstavljen izračun ocene zvočne izolirnosti pred zvokom v zraku med prostori, skladno s standardom SIST EN 12354-1 in Tehnično smernico TSG – 1 – 005: 2012. Pridobljeni in izračunani so podatki o zvočni izolirnosti nekaterih pogosto uporabljenih gradbenih elementov, ki se uporabljajo v gradbeništvu (opečne stene, mavčno kartonske stene, armirano betonske stene in medetažne konstrukcije ...).

Iz podatkov o zvočni izolirnosti elementov so izvedeni izračuni o zvočni izolirnosti med prostori, saj poleg zvočne izolirnosti samega mejnega elementa na zvočno izolirnost med prostori vplivajo tudi drugi parametri (velikosti prostorov, stiki med elementi prostorov ...). V izračunu so upoštevane samo poti širjenja zvoka po konstrukciji, ne pa tudi direktni prehod zvoka in indirektni prehod zvoka preko drugega prostora.

Na kratko so predstavljeni trije slovenski in en tuj računalniški program, ki skladno z aktualno zakonodajo izračunavajo zvočno izolirnost med prostori in so trenutno dostopni na našem trgu

V prilogah diplomske naloge je za obravnavane konstrukcije izvedena še primerjava z minimalnimi zahtevami iz tehnične smernice glede na vrsto objekta in namembnost prostorov, med katerima preverjamo zvočno izolirnost.

(Ta stran je namenoma prazna)



## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 328.34:699.844(497.4)(043.2)  
**Author:** Luka Podbelšek  
**Supervisor:** Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.  
**Cosupervisor:** Assist. Prof. Jurij Prezelj, Ph.D.  
**Title:** Computational analysis of sound insulation between rooms in accordance with current legislation  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Scope and tools:** 54 p., 38 tab., 15 fig., 2 ann.  
**Keywords:** zvočna izolirnost med prostori, prehod zvoka v zraku med prostori, zvočna izolirnost monolitnih elementov, računalniški programi, SIST EN 12354-1:2001

### **Abstract**

Graduation thesis presents calculated estimation of the sound insulation of airborne sound between rooms in accordance with standard SIST EN 12354-1 and Technical guideline TSG - 1 - 005: 2012. We have obtained and calculated sound insulation data for common structural elements (wall and floor) that are used in construction (brick walls, plasterboard walls, concrete wall and floor constructions ...).

Sound insulation data for the element is the base for calculation of sound insulation between rooms, because in addition to the sound insulation of border element, the sound insulation between rooms is also influenced by other parameters (size of rooms, contacts between the elements of rooms ...). The calculation only takes into account propagation of the sound through construction and not the direct passage of sound and indirect sound transmission through the second room.

It also includes brief presentation of three Slovenian and one foreign computer programs used for calculating the sound insulation between rooms that are in accordance with current legislation and available on the Slovenian market.

The appendix chapter includes comparison of the minimum requirements from the technical guidelines according to the type of the building and purpose of the room between which we're checking the sound insulation.

(Ta stran je namenoma prazna)

## **ZAHVALA**

Za pomoč, podporo, nasvete in spodbudo bi se rad zahvalil vsem, ki so kakor koli pripomogli k nastanku te diplomske naloge.

Posebej bi se rad zahvalil mentorju doc. dr. Romanu Kuniču, somentorju doc. dr. Juriju Prezlju, kolektivu podjetja Geoplan d.o.o. ter Zbornici za arhitekturo in prostor.

(Ta stran je namenoma prazna)

## KAZALO VSEBINE

<b>IZJAVE</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>ZAHVALA</b>	<b>IX</b>
<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1. Zvok in hrup	1
1.2. Standardi	5
1.3. Pravilnik in tehnična smernica	6
<b>2. NAMEN IN CILJI DIPLOMSKE NALOGE</b>	<b>8</b>
<b>3. PREHOD ZVOKA MED PROSTORI IN MERJENJE ZVOČNE IZOLIRNOSTI</b>	<b>10</b>
3.1. Splošno o prehodu zvoka med prostori	10
3.2. Merjenje zvočne izolirnosti med prostori	12
3.3. Računski model ocene zvočne moči v sprejemnem prostoru	13
<b>4. ANALIZA OCENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI MED PROSTORI</b>	<b>15</b>
4.1. Splošno	15
4.2. Točnost modela in omejitve.	15
4.3. Zvočna izolirnost monolitnih elementov na podlagi površinske gostote	16
4.4. Izboljšanje zvočne izolirnosti elementa zaradi dodatnih slojev	20
4.5. Izračun zvočne izolirnosti med prostori	25
4.5.1. Poenostavljen izračun prenosa zvoka med prostori z upoštevanjem prehoda zvoka po konstrukcijah	26
4.5.2. Parametri upoštevani pri izračunu zvočne izolirnosti med prostori	27
4.5.3. Primeri in empirične enačbe spojev	28
4.6. Opis izdelanega programa in način izračuna zvočne izolirnosti med prostori	30
4.7. Ocena zvočne izolirnosti med prostoroma preko stene	32
4.8. Pomembnost pravilne izbire spojev	36
<b>5. NAPOTKI ZA PROJEKTANTE</b>	<b>37</b>
<b>6. PRIMERJAVA PROGRAMOV</b>	<b>41</b>
6.1. Predstavitev programov	41
6.2. Primerjava rezultatov	48
<b>7. ZAKLJUČEK</b>	<b>49</b>
<b>VIRI</b>	<b>51</b>
<b>PRILOGE</b>	<b>53</b>

(Ta stran je namenoma prazna)

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Zvočna jakost nekaterih virov .....	2
Preglednica 2:	Največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, 2006, Priloga 1).....	3
Preglednica 3:	Mejne ekvivalentne ravni hrupa v prostorih (TSG, 2012, str, 10).....	4
Preglednica 4:	Mejne ravni hrupa v prostorih (TSG, 2012, str, 10).....	5
Preglednica 5:	Izračun zvočnih izolirnosti ( $R_w$ ) nekaterih standardnih elementov, ki se uporabljajo v gradbeništvu skladno z dodatkom B standarda SIST EN 12354-1 .....	18
Preglednica 6:	Zvočna izolirnost ( $R_w$ ) nekaj sten skladno s tehničnimi listi proizvajalcev (povzeto po tehničnih listih proizvajalcev).....	19
Preglednica 7:	Izboljšanje zvočne izolirnosti ( $R_w$ ) zaradi dodatne obloge v odvisnosti od resonančne frekvence sistema skladno z dodatkom D standarda SIST EN 12354-1 .....	21
Preglednica 8:	Izboljšanje zvočne izolirnosti $R_w + \Delta R_w$ zaradi plavajočega estriha izolacijo iz mineralne volne .....	22
Preglednica 9:	Izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi plavajočega estriha z izolacijo iz elastificiranega EPS.....	23
Preglednica 10:	Izboljšanje zvočne izolirnosti $R_w + \Delta R_w$ sten zaradi enostranske obloge z mavčno kartonastimi ploščami debeline 1,25 cm in vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm.....	23
Preglednica 11:	Izboljšanje zvočne izolirnosti $R_w + \Delta R_w$ sten zaradi enostranske obloge z mavčno kartonastimi ploščami v dveh slojih skupne debeline 2,50 cm in vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm.....	24
Preglednica 12:	Izboljšanje zvočne izolirnosti $R_w + \Delta R_w$ armirano betonske medetažne plošče zaradi cementnega estriha in mavčno kartonaste obloge .....	25
Preglednica 13:	Izboljšanje zvočne izolirnosti $R_w + \Delta R_w$ sten zaradi mavčno kartonaste obloge na strani oddajnega in sprejemnega prostora.....	25
Preglednica 14:	Zvočna izolirnost med prostori iz izračunanih podatkov .....	33
Preglednica 15:	Zvočna izolirnost med prostori iz pridobljenih podatkov .....	34
Preglednica 16:	Zvočna izolirnost med prostori glede na izbrano vrsto spoja in smer prehoda skozi spoj.....	36
Preglednica 17:	rezultatov zvočne izolirnosti različnih programov.....	48
Preglednica 18:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 1/7 .....	A1
Preglednica 19:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 2/7 .....	A3
Preglednica 20:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 3/7 .....	A4
Preglednica 21:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 4/7 .....	A5
Preglednica 22:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 5/7 .....	A6
Preglednica 23:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 6/7 .....	A7

---

Preglednica 24:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 7/7 .....	A8
Preglednica 25:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 1/7 .....	B1
Preglednica 26:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 2/7 .....	B3
Preglednica 27:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 3/7 .....	B4
Preglednica 28:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 4/7 .....	B5
Preglednica 29:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 5/7 .....	B6
Preglednica 30:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 6/7 .....	B7
Preglednica 31:	Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 7/7 .....	B8



## KAZALO SLIK

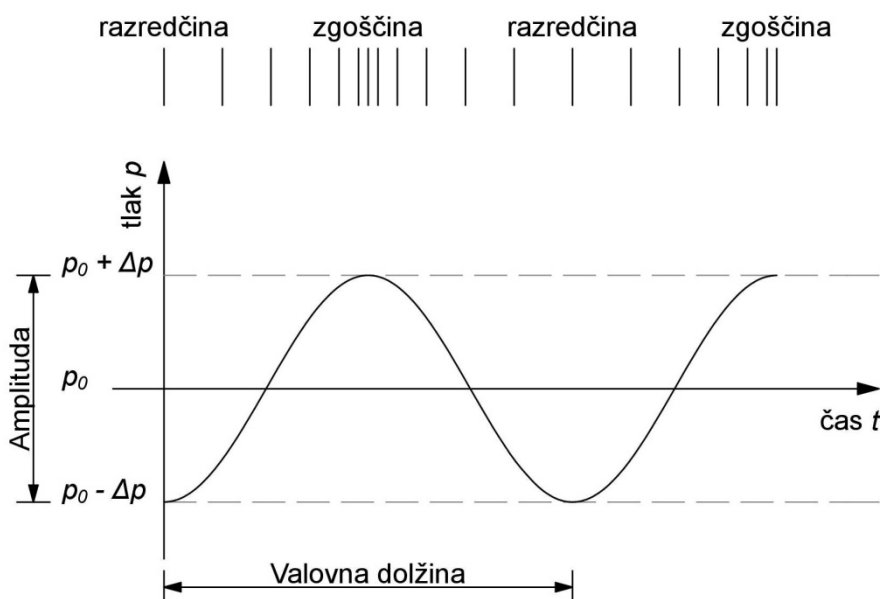
Slika 1:	Porazdelitev delcev pri valovanju, prikaz valovne dolžine in amplitude valovanja .....	1
Slika 2:	Ponazoritev prostorov in prehodov hrupa med njima (SIST EN 12354-1, 2001) .....	10
Slika 3:	Shema prostorov in njunih elementov .....	11
Slika 4:	Definicija poti prenosa zvoka med dvema prostoroma (SIST EN 12354-1, 2001) .....	12
Slika 5:	Zvočna izolirnost elementa v odvisnosti od površinske gostote skladno z dodatkom B standarda SIST EN 12354-1 .....	17
Slika 6:	Dimenzije obravnavanih prostorov .....	28
Slika 7:	Prikaz prehoda zvoka skozi spoje v različnih smereh skladno z enačbami (SIST EN 12354-1, 2001).....	30
Slika 8:	Program v okolju MS Excel .....	31
Slika 9:	Idealiziran potek izolirnosti sten v odvisnosti od frekvenc, primer enojne pregradne stene (Medved, 2014, str. 260).....	38
Slika 10:	Prikaz zmanjšanja izolirnosti elementa zaradi odprtine, ki jo zapolnjuje predmet manjše zvočne izolirnosti (Cvikl, 2002, str, 271).....	39
Slika 11:	Izračun zvočne izolirnosti s programom Sonitus Projekt.....	42
Slika 12:	Izračun zvočne izolirnosti s programom Hrup 13 stran 1 .....	44
Slika 13:	Izračun zvočne izolirnosti s programom Hrup 13 stran 2 .....	45
Slika 14:	Izračun zvočne izolirnosti s programom Ursa Fragmat - Akustika .....	46
Slika 15:	Izračun zvočne izolirnosti s programom Bastian .....	47

(Ta stran je namenoma prazna)

## 1. UVOD

### 1.1. Zvok in hrup

Zvok je mehansko nihanje delcev snovi, po katerih se širi (trdnini, kapljevini ali plinu). Nihanje delcev v snovi povzroča zgoščine in razredčine snovi, kar zaznamo kot večanje ( $+\Delta p$ ) in padanje ( $-\Delta p$ ) tlaka v snovi glede na referenčni tlak ( $p_0$ ). Razdalja med dvema zgoščinama ali razredčinama je valovna dolžina valovanja ( $\lambda$ ) (Slika 1). V kapljevinah in plinih je zvok vedno vzdolžno (longitudinalno) valovanje, to je valovanje, pri katerem delci periodično nihajo v smeri širjenja zvoka. V trdninah snoveh je mogoče izzvati tudi prečno zvočno valovanje (Peternelj in Kranjc, 2014; Medved 2014).



Slika 1: Porazdelitev delcev pri valovanju, prikaz valovne dolžine in amplitude valovanja

Zvok nastane tako, da izvor zvoka vibrira v zraku (ali drugem mediju) in s tem prenaša vibracije v snov, v kateri se v obliki zvoka širijo z elastičnim nihanjem delcev medija. Hitrost širjenja zvoka je odvisna od snovi, po kateri se zvok širi, gostote in stisljivosti snovi. V zraku je odvisna tudi od temperature zraka: pri  $15^\circ\text{C}$  znaša  $341\text{ m/s}$ , pri  $0^\circ\text{C}$  pa  $332\text{ m/s}$ . Hitrost zvoka v vodi znaša  $1480\text{ m/s}$ , kar je približno štirikrat hitreje kot v zraku. Pri kovinah je hitrost zvoka veliko večja, v jeklu npr.  $4800\text{--}5000\text{ m/s}$ . Hitrost zvoka skozi snov ni odvisna od njegove frekvence. Zvok v vakuumu ne obstaja in se ne more razširjati, saj ni delcev, ki bi nihali (Peternelj in Kranjc, 2014).

Zvok opredelimo s frekvenco (Hz) kar je število nihanj delcev v časovni enoti (odvisna je od valovne dolžine in hitrosti zvoka) in amplitudo zvočnega tlaka  $\Delta p$  (Pa). Frekvenca je povezana z višino tona, amplituda pa z glasnostjo zvoka.

Človek in mnoge živali za zaznavanje zvoka uporabljajo svoja ušesa, nizke zvoke oz. zvoke z niskimi frekvencami pa zaznavamo tudi z drugimi deli telesa denimo s pomočjo čutila za tip. Človeško uho zaznava zvočno valovanje v območju frekvenc med  $20\text{ Hz}$  in  $20.000\text{ Hz}$ , kar ustreza valovni dolžini zvoka med  $17\text{ m}$  in  $17\text{ mm}$ . V gradbeni akustiki obravnavamo zvok v terčnih frekvenčnih pasovih v frekvenčnem območju med  $100\text{ Hz}$  in  $3150\text{ Hz}$ . Skladno z

novimi standardi, ki so v pripravi, pa se bodo meje spremenile na med 50 Hz in 5000 Hz (Bilban, 2005; Medved, 2014).

S pojmom zvok označujemo mehansko valovanje s frekvenco med 20 Hz in 20.000 Hz (torej v slišnem območju človeškega ušesa), mehansko valovanje s frekvencami pod 20 Hz imenujemo infrazvok, s frekvencami nad 20.000 Hz pa ultrazvok (Bilban, 2005; Medved, 2014).

Glasnost (jakost) zvoka določimo glede na amplitudo valovanja (spremembo tlaka). Človeško uho zaznava zvok z velikim obsegom amplitud. Najnižja sprememba zvočnega tlaka, ki ga je v območju slišnih frekvenc človeško uho še sposobno zaznati, znaša 0,00002 Pa (paskal) oz. 20  $\mu$ Pa (mikropaskal) in ga imenujemo meja slišnosti. Najvišja vrednost spremembe zvočnega tlaka, ki jo človeško uho še lahko varno prenese, znaša 20 Pa in jo imenujemo bolečinska meja ali prag bolečine. Za prikaz zvočnega tlaka se uporablja logaritmična decibelna lestvica, saj človeško uho jakost zvoka ne zaznava linearno, temveč logaritemsko. Pri tem je tudi številčno opisovanje olajšano, saj ne operiramo z razmerji reda milijon in več. Logaritmični odziv ušesu omogoča veliko razmerje med zvočnimi tlaki, ki jih je sposobno zaznati. Decibelna lestvica je definirana tako, da je meja slišnosti enaka 0 dB (20  $\mu$ Pa), bolečinska meja pa je pri +120 dB (20 Pa). Raven zvočnega tlaka, ki presega 130 dB, je višja, kot jo človeško uho lahko varno kratkotrajno vzdrži in lahko povzroči resne bolečine ter trajne poškodbe sluha. Že daljša izpostavljenost zvočnemu tlaku, ki presega 85 dB, lahko trajno poškoduje uho, te poškodbe pa povzročijo zvenenje v ušesih ali slušne okvare. Pri zelo visokih amplitudah lahko zvočni valovi povzročijo nelinearne posledice, vključno s šoki. V Preglednici 1 so prikazane približne zvočne intenzivnosti za posamezne vire, s katerimi se pogosto srečujemo v vsakdanjem življenju (Bilban, 2005).

Preglednica 1: Zvočna jakost nekaterih virov

Zvočna intenzivnost [dB]	Ekvivalenten zvočni vir
130	Reaktivno letalo (tudi meja bolečine)
120	Bližina vzleta letala
100	Pnevmatsko kladivo
90	Glasi radio
75	Avtomobil
60	Pogovor
50	Mirna soseska podnevi
40	Študijski prostor
10	Dihanje
0	Meja slišnosti

Zvok je lahko konstanten (nespremenljiv), spremenljiv (v časovnih intervalih) ali impulzen. Konstanten zvok se v časovnem obdobju ne spreminja. V našem okolju smo le redko dlje časa izpostavljeni samo konstantnemu zvoku. Vir takšnega zvoka je npr. klimatska naprava. Večji del zvokov v našem okolju se spreminja, pojavljajo se v časovnih intervalih. Čeprav zvok proizvaja en vir, gre običajno za proizvodnjo različnih zvokov v različnih časovnih intervalih. Raven zvoka se s časom spreminja. Spremembe ravni hrupa povzročajo različni viri, kot npr. stroji, orodje, razne naprave, video in avdio oprema, promet in tudi človek (pogovor, kričanje) ... Impulzen zvok je glasi zvok, ki običajno traja manj kot sekundo, na

primer strel iz puške, zvok pri stiskalnicah, zvok pri kovičenju pločevine itd. Kljub kratkotrajnosti lahko tak zvok povzroči trajne posledice, vključno z izgubo sluha in trajnim tinitusom (zvonjenjem v ušesih) (Tratnik, 2009).

Hrup je vsak zvok v prostoru ali okolju, ki ni zaželen oziroma nas moti, iz česar lahko sklepamo, da je hrup subjektiven pojem, saj različni zvoki niso moteči vsem ljudem. Hrup v človeku vzbudi nemir, ga moti pri delu, drugih dejavnostih in počitku ter lahko škoduje njegovemu zdravju in počutju. Zaradi omenjenega se prekomernemu hrupu v našem bivalnem okolju skušamo izogniti v največji možni meri glede na ekonomsko upravičenost ukrepov za zmanjševanje hrupa. Z zmanjševanjem hrupa se ukvarja veliko strokovnjakov tako s področja hrupa v okolju kot hrupa v zaprtih prostorih (tehnična smernica, 2012). V Preglednici 2 so prikazane največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil.

Preglednica 2: Največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, 2006, Priloga 1).

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

a – velja za splošni hrup na delovnem mestu zaradi drugih proizvodnih virov v okolici delovnega mesta;

b – velja za hrup na delovnem mestu zaradi neproizvodnih virov (ventilacija, klimatizacija, sosednji obrati, hrup prometa ipd.);

Tehnična smernica navaja dve tabeli zahtev o dovoljenem hrupu v prostoru, in sicer za hrup iz zunanosti (mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa) ter za hrup obratovalne opreme ali hrup iz sosednjih prostorov druge namembnosti (mejne ravni hrupa). Zahteve za mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa ( $L_{Aeq}$ ) v prostorih so strožje od mejnih ravni hrupa ( $L_{AFmax}$ ), meje pa so postavljene zelo strogo. Pri projektiranju je potrebno paziti, da uporabimo podatke iz prave tabele.

Da se zagotovi udobje bivanja v stavbah, hrup v varovanih in poslovnih prostorih v posameznih obdobjih dneva ne sme presegati mejnih ekvivalentnih ravni hrupa ( $L_{Aeq}$ ) za hrup iz zunanosti, ki so navedene v Preglednici 3 (Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah, 2012). To dosežemo z zadostno zvočno izolirnostjo zunanjih in notranjih sten, medetažnih konstrukcij, oken in vrat ...

Preglednica 3: Mejne ekvivalentne ravni hrupa v prostorih (TSG, 2012, str, 10)

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

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

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

Hrup, ki ga v posameznih varovanih in poslovnih prostorih stavbe povzroča obratovalna oprema ali hrup iz prostorov druge namembnosti, ne sme presegati mejnih ravni hrupa ( $L_{AFmax}$ ) iz Preglednice 4 (Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah, 2012). To dosežemo z zadostno zvočno izolirnostjo notranjih sten, medetažnih konstrukcij, stavbnega pohištva in pravilno izvedbo inštalacij.

Preglednica 4: Mejne ravni hrupa v prostorih (TSG, 2012, str, 10)

Namembnost prostora	Mejne ravni hrupa $L_{AFmax}^{1,2}$ dB(A)
Varovani prostori v stanovanjih, prenočitvene enote, bolniške sobe	30
Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35
Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice ipd.	40

<sup>1</sup> Mejne vrednosti ravni hrupa se nanašajo na opremljene prostore.

<sup>2</sup> Posamezne kratkotrajne konice hrupa, ki nastajajo pri uporabi vodo-vodnih instalacij in armatur v sosednjih prostorih, se ne upoštevajo.

## 1.2. Standardi

Da bi se zagotovile mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa in mejne ravni hrupa v stavbah, v Republiki Sloveniji veljajo številni standardi, pravilniki in smernice s področja varstva pred hrupom v objektih, ki se nanašajo na področje ocenjevanja akustičnih lastnosti stavb in elementov stavb ter merjenja dejanske zvočne izolirnosti v stavbah.

Standarde glede na področje uporabe v grobem lahko razdelimo na tri skupine: merjenje zvočne izolirnosti konstrukcijskih sklopov, stavbnih sistemov ali elementov stavbe (okna, vrata, stene, medetažne konstrukcije ...), ocena zvočne izolirnosti elementov v dejansko zgrajeni stavbi (izolirnost proti zunanjemu hrupu, hrupu med prostori, udarnemu hrupu ...) in merjenje zvočne izolirnosti v stavbi (izolirnost proti zunanjemu hrupu, hrupu med prostori, udarnemu hrupu ...). Nekaj veljavnih standardov v Republiki Sloveniji in področja uporabe:

- skupina standardov SIST EN 12354: Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov (Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori, Izolirnost pred udarnim zvokom med prostori, Izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti, Zvočne ravni obratovalne opreme in Absorpcija zvoka v zaprtih prostorih),
- SIST EN 20140-2: Akustika – Merjenje zvočne izolirnosti v zgradbah in zvočna izolirnost gradbenih elementov – 2. del: Ugotavljanje, preverjanje in uporaba natančnost podatkov,
- Skupina standardov SIST EN ISO 140: Akustika – Merjenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti stavbnih elementov (Terenska merjenja izolirnosti med prostori pred zvokom v zraku, Terensko merjenje izolirnosti fasadnih elementov in fasad pred zvokom v zraku, Terensko merjenje izolirnosti medetažnih konstrukcij pred udarnim zvokom, Smernice za posebne primere na terenu),
- Skupina standardov SIST EN ISO 3382: Akustika – Merjenje akustičnih parametrov v prostorih (Odmevni čas v prireditvenih prostorih, Odmevni čas v običajnih prostorih),
- SIST EN ISO 18233 – Akustika – Uporaba novih merilnih metod na področju gradbene in prostorske akustike,
- SIST EN ISO 717-1 – Akustika – Vrednotenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku.

V nadaljevanju se v diplomski nalogi v večjem delu sklicujem na standard SIST EN 12354-1, ki govori o oceni zvočne izolirnosti pred zvokom, ki se med prostori širi po zraku glede na konstrukcijske lastnosti stavb (obravnavanih prostorov). Na podlagi standarda so izračunane zvočne izolirnosti za nekatere pogosto uporabljene konstrukcije v gradbeništvu in izolirnosti med dvema prostoroma za predhodno določene parametre ocene izračuna.

### 1.3. Pravilnik in tehnična smernica

V Republiki Sloveniji je dne 10. 2. 2012 v veljavo stopil **Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah** in pripadajoča **Tehnična smernica TSG – 1 – 005 : 2012: ZAŠČITA PRED HRUPOM V STAVBAH**. Pravilnik in tehnično smernico je izdalo Ministrstvo za okolje in prostor v soglasju z Ministrstvom za gospodarstvo na podlagi 11. člena Zakona o graditvi objektov.

Pravilnik določa zahteve, s katerimi se v stavbah in njihovih delih omeji raven hrupa, s čimer se prepreči ogrožanje zdravja ljudi in ustvari ustrezne razmere za njihovo delo, druge dejavnosti in počitek. Pravilnik se uporablja za projektiranje in gradnjo novih stavb ter rekonstrukcijo in vzdrževanje obstoječih stavb. Uporablja se tudi za rekonstrukcije, a le če so dane tehnične možnosti in to ne nasprotuje pogojem varstva kulturne dediščine. Za enostanovanjske stavbe se ta pravilnik uporablja samo za zaščito pred zunanjim hrupom, pri ostalih stavbah pa je potrebno preveriti vse vrste hrupa med posameznimi bivalnimi enotami (Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah, 2012).

Pravilnik predpisuje izdelavo elaborata in izkaza zaščite pred hrupom v stavbah že v fazi izvedbe projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja. Potrebno je preveriti konstrukcije v nameravani gradnji in jih dimenzionirati tako, da zadostujejo minimalnim zahtevam iz tehnične smernice. Po končani gradnji se izračunane vrednosti preveri še z meritvami dejansko vgrajenih konstrukcij na samem objektu.

V Zakonu o graditvi objektov je tehnična smernica opredeljena kot dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta uredi natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov in materialov, ki se vgrajejo ter načini vgradnje in izvajanja gradnje. S tem se zagotovi zanesljivost objekta za ves čas njegove življenjske dobe, pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene (TSG, 2012).

Pravna narava in uporabnost tehnične smernice je podrobneje obravnavana v 9. členu Zakona, kjer je določeno, da se z gradbenimi predpisi (vrste izvršilnih predpisov, izdanih na podlagi zakona) za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti in sicer tako, da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse naslednje osnovne zahteve (TSG, 2012):

- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- higienska in zdravstvena zaščita ter zaščita okolice,
- varnost pri uporabi,
- zaščita pred hrupom,
- varčevanje z energijo in ohranjanje toplote,
- varovanje okolja.



V zakonski določbi je navedeno, da se gradbeni predpisi lahko sklicujejo na standarde ali tehnične smernice, ki se nanašajo na vrsto objekta in določajo njihovo obvezno uporabo ali določajo, da velja domneva, da je posamezni del skladen z zahtevami gradbenega predpisa, če ustreza zahtevam standardov ali tehničnih smernic. Če je v gradbenih predpisih določena domneva o skladnosti, morajo gradbeni predpisi opredeliti tudi pristojne organe za določanje in postopek, v katerem se dokaže, da projekt, v katerem niso bili uporabljeni standardi ali tehnične smernice, temveč je projektant pri svojem delu uporabil rešitve iz zadnjega stanja gradbene tehnike, zagotavlja vsaj enako stopnjo varnosti kakor projekt, pripravljen z uporabo standardov in tehničnih smernic (TSG, 2012).

Omenjena tehnična smernica, na katero se sklicuje pravilnik, obravnava pet vrst zaščite pred hrupom v stavbah:

- zunanji hrup: to je hrup, ki v objekt prehaja iz okolice (npr. hrup zaradi prometa, industrije, kmetijstva skladno s standardom SIST EN 12354-3,
- hrup, ki po zraku prehaja iz drugih prostorov: to je hrup, ki nastaja pri uporabi objekta (npr. govorjenje, poslušanje glasbe, hrup iz predavalnice, kotlovnice ali strojnice) skladno s standardom SIST EN 12354-1,
- udarni hrup: to je hrup, ki se iz drugih prostorov prenaša preko konstrukcije (npr. hrup, ki nastaja pri hoji) skladno s standardom SIST EN 12354-2,
- hrup obratovalne opreme: to je hrup, ki ga proizvaja obratovalna oprema v objektu (npr. hrup zaradi prezračevalnih ali ogrevalnih naprav) skladno s standardom SIST EN 12354-5,
- odmevni hrup: to je hrup, ki nastaja zaradi predolгих odmevnih časov v prostoru – akustika notranjih prostorov (npr. hrup v neopremljenem prostor z betonskimi stenami in medetažnimi ploščami, ali v akustično neobdelanih športnih dvoranah) skladno s standardom SIST EN 12354-6.

Pravilnik predpisuje izdelavo elaborata in izkaza o zaščiti pred hrupom v stavbah kot sestavni del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD). V kasnejših fazah (projekt za izvedbo in med gradnjo) pa ni predpisanih sestavnih delov projekta in drugih potrebnih ukrepov za doseg zvočnih izolirnosti, izračunanih v fazi PGD. Med projektiranjem projekta za izvedbo pogosto pride do sprememb uporabljenih materialov, konstrukcij ali drugih sprememb, ki vplivajo na zvočne izolirnosti. Največje napake pa se dogajajo pri sami izvedbi objektov, in sicer zaradi poenostavitev in napak na zvočni izolaciji. Po končani gradnji pravilnik predvideva izvedbo meritev zvočne izolirnosti na končanem objektu, a ko so napake že storjene, je sama odprava le-teh zelo draga.

## 2. NAMEN IN CILJI DIPLOMSKE NALOGE

Pravilnik in tehnična smernica sta opozorila na problematiko zvočne izolirnosti objektov, ki so namenjeni občasnemu in stalnemu bivanju ljudi. V preteklosti se je premalo pozornosti posvečalo zvočni izolirnosti v večstanovanjskih objektih, grajenih za trg. Zaradi zniževanja stroškov ter hitre in površne izdelave so imeli uporabniki pogosto težave zaradi hrupa iz prostorov drugih uporabnikov in udarnega hrupa v objektu. V večini primerov je sanacija slabo zvočno-izoliranega objekta zelo draga ali celo nemogoča. Iz tega lahko sklepamo, da je varstvu pred hrupom potrebno posvetiti pozornost že v fazi projektiranja in skozi celotno gradnjo objekta. V praksi se je izkazalo, da ima zvočna izolirnost elementov prostorov manjši vpliv na izolirnost med prostori, kot pa slabo izvedeni detajli, oslabitve in preboji v elementih ter tako imenovani zvočni mostovi (npr. slabo izveden stik plavajočega estriha in stene med prostoroma, preboj stene zaradi strojnih ali elektro inštalacij, doze in druge oslabitve elektro inštalacij v steni med prostori).

S stališča varstva pred hrupom v stavbah poznamo dve vrsti hrupa: hrup v zraku in strukturni (udarni) hrup. Hrup v zraku predstavlja zvok, ki nastaja in se širi zaradi vibracij v zraku (govor, glasba, zvok okolice ...). V to skupino spadajo naslednje vrste varstva pred hrupom: zunanji hrup, hrup, ki po zraku prehaja iz drugih prostorov, hrup obratovalne opreme in odmevni hrup. Strukturni ali udarni hrup predstavlja zvok, ki nastane in se širi zaradi vzbujanja vibracij konstrukcije stavbe (hoja, obratovanje pralnega stroja, stvar, ki pade na tla ...). V to skupino spada varstvo pred udarnim hrupom.

Tehnična smernica za posamezne vrste hrupa navaja standarde z matematičnimi modeli izračuna ocene zvočne izolirnosti konstrukcij in mejne ravni zvočne izolirnosti za posamezne vrste hrupa v stavbah. V diplomski nalogi je prikazan postopek izračuna ocene zvočne izolirnosti med prostori, ki po zraku prehaja iz drugih prostorov, skladno s tehnično smernico TSG – 1 – 005 : 2012: Zaščita pred hrupom v stavbah in standardom SIST EN 12354-1: Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori. V tehnični smernici so v poglavju 1.2 na straneh od 11 do 14 navedene mejne vrednosti izolirnosti med prostori in maksimalne ravni zvočnega tlaka udarnega hrupa notranjih ločilnih elementov za posamezne ločilne elemente v stavbah različnih namembnosti.

V nadaljevanju diplomske naloge je prikazan izračun zvočne izolirnosti med izbranimi prostoroma za nekatere pogosto uporabljene gradbene konstrukcije skladno s Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah. Izračunane so zvočne izolirnosti homogenih elementov različnih debelin in materialov, kot to predvideva standard na podlagi površinske gostote elementov (betonske stene in medetažne plošče, stene iz porobetona in opečne stene z in brez ometa). Pridobljeni so dejanski laboratorijsko testirani podatki zvočnih izolirnosti elementov s strani proizvajalcev (mavčno kartonska stene, lesene masivne stene, opečne stene ...). Iz izračunanih in pridobljenih zvočnih izolirnosti elementov so izračunane zvočne izolirnosti med dejanskima prostoroma na podlagi upoštevanja poenostavljenega modela s stranskimi prenosi zvoka po konstrukciji med dvema izbranimi prostoroma ter določenimi parametri teh prostorov. V prilogi A in B je kot pomoč projektantom pri določanju minimalnih potrebnih konstrukcij izvedena primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij po standardu z minimalnimi pogoji za določene konstrukcije iz tehnične smernice. **Rezultate te primerjave so uporabni le kot primerjava in ne kot dokaz za učinkovitost zvočne**

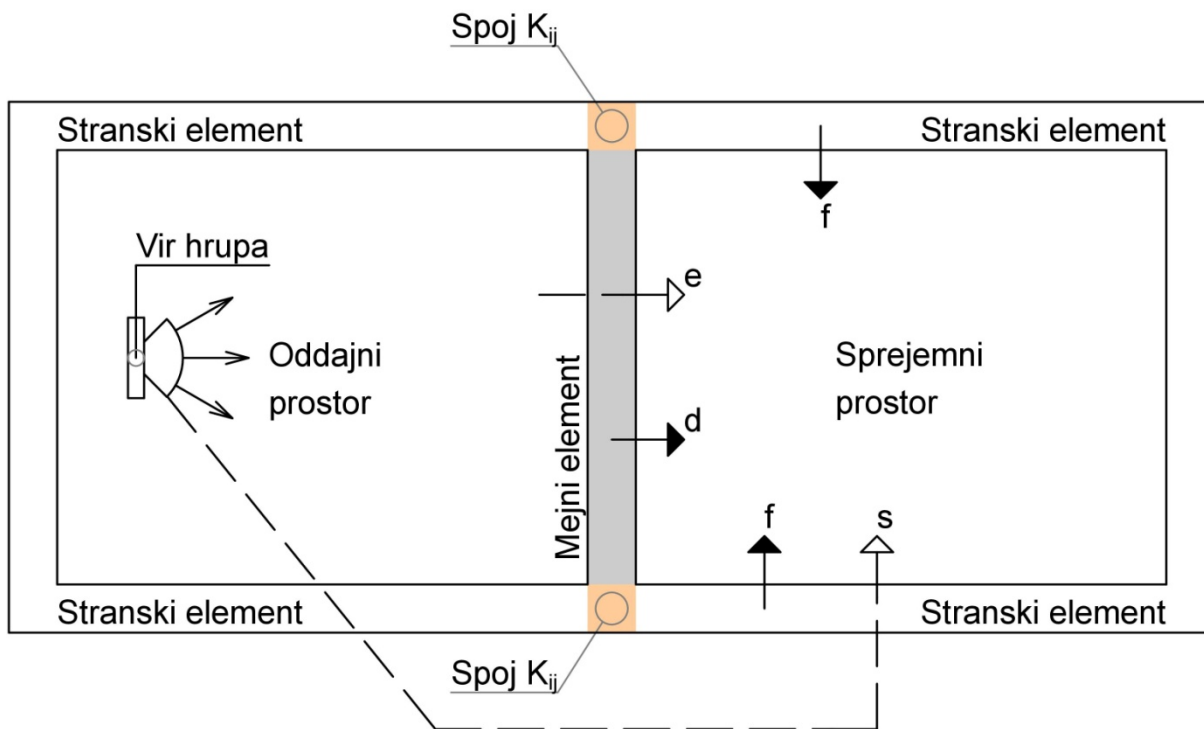
**izolirnosti posameznih konstrukcijskih sklopov, saj je dejanska zvočna izolirnost poleg uporabljenih materialov in konstrukcij odvisna tudi od same velikosti in oblike prostorov, vrste stikov elementov, dodatnih slojev na konstrukcijah ...** V poglavju Parametri izračuna zvočne izolirnosti med prostori so opisani predpostavljeni parametri, pod katerimi so izvedeni izračuni zvočne izolirnosti med prostoroma, ki sta obravnavana v tej diplomski nalogi. Za konec pa je izdelana primerjava programov, ki so namenjeni izračunu zvočne izolirnosti med prostori po pravilniku in tehnični smernici, za izdelavo elaborata, potrebnega za projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD). V primerjavi so prikazani trije slovenski programi Sonitus, Hrup 13, URSA FRAGMAT – Akustika 2.1 in tuj program izračuna hrupa v stavbah Bastian.

### 3. PREHOD ZVOKA MED PROSTORI IN MERJENJE ZVOČNE IZOLIRNOSTI

#### 3.1. Splošno o prehodu zvoka med prostori

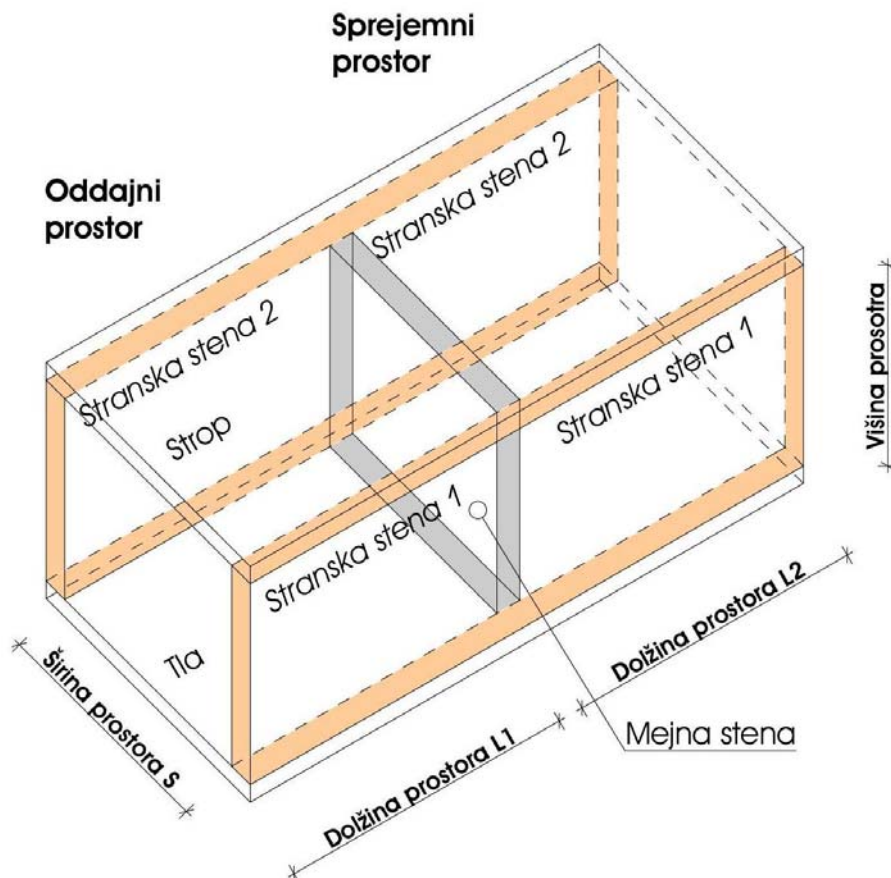
Raven zvočnega tlaka v opazovanem (sprejemnem) prostoru je posledica zvočnega polja v prostoru z zvočnim virom (oddajni prostor), ki ga v opazovani prostor z vibracijami površine sevajo ločilni konstrukcijski element in stranski konstrukcijski elementi (stene, strop in tla) v opazovanem prostoru. Od zvočnega vira se vibracije preko zraka širijo do ločilnega in stranskih elementov, posledično pride do vibracij v elementih, ki vzbudijo vibracije površine ločilnega in stranskih elementov v sprejemnem prostoru.

Iz oddajnega v sprejemni prostor se vibracije širijo po štirih različnih poteh: zvok, izsevan iz ločilnega (mejnega) elementa (oznaka **d** Slika 2), direktni prehod zvoka preko ločilnega (mejnega) elementa (oznaka **e** Slika 2), zvok, izsevan iz stranskih elementov (oznaka **f** Slika 2) in indirektni prenos zvoka preko sosednjega prostora (oznaka **s** Slika 2). Prostor, v katerem nastaja hrup, imenujemo oddajni prostor. Prostor, v katerem nas zanima raven hrupa iz oddajnega prostora, imenujemo sprejemni prostor (SIST EN 12354-1, 2001).



Slika 2: Ponazoritev prostorov in prehodov hrupa med njima (SIST EN 12354-1, 2001)

Opazovana prostora (oddajni in sprejemni) sta obdana z elementi (mejne ploskve prostora). Element, ki meji oddajni prostor od sprejemnega, imenujemo mejni (ločilni) element (stenska ali medetažna konstrukcije med prostoroma), elemente, ki omejujejo posamezni prostor in imajo z mejnim elementom skupen rob, imenujemo stranski elementi (stenske in medetažne konstrukcije). Običajno so v prostorih po štirje stranski elementi za vsak prostor posebej in en skupni mejni element. Shema prostorov in elementov (stranskih in mejnega) je prikazana na Slika 3.



Slika 3: Shema prostorov in njihovih elementov

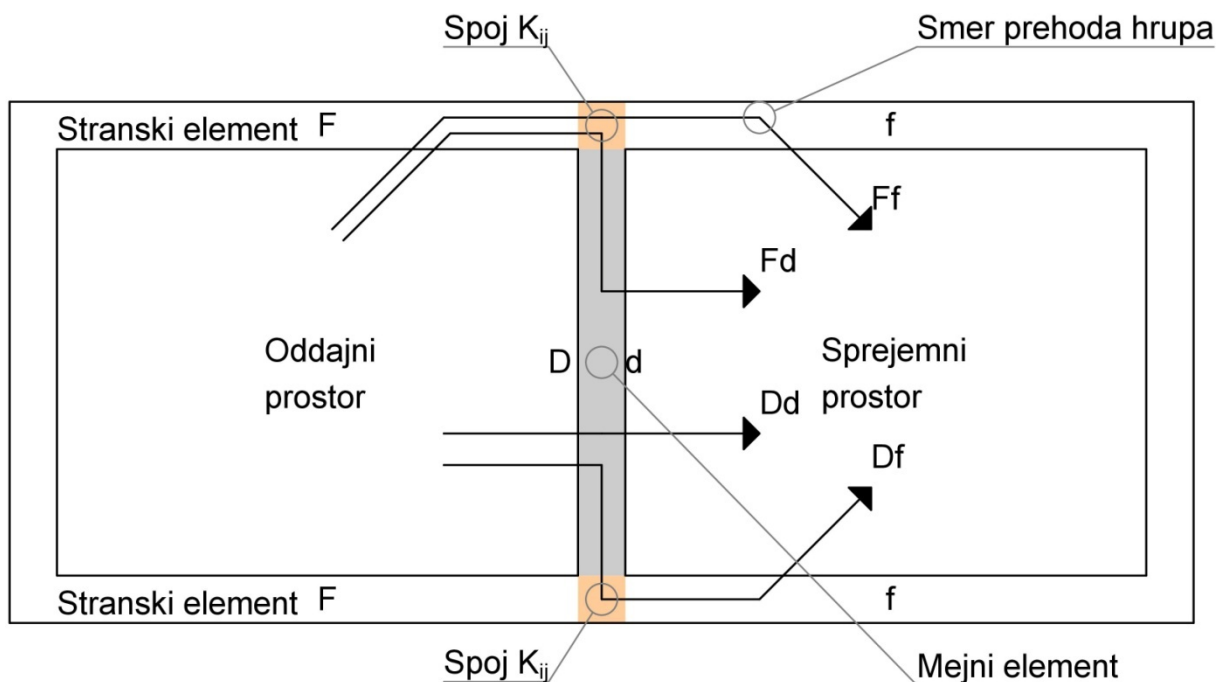
Zvok, izsevan iz mejnega in stranskih elementov, se deli na štiri podskupine, ki so medsebojno odvisne:

- zvok, ki v oddajnem prostoru pade na mejni element, se na strani sprejemnega prostora izseva iz mejnega elementa (smer zvoka označena z **Dd** glej Slika 4),
- zvok, ki na strani oddajnega prostora vpade na mejni element, se na strani sprejemnega prostora izseva iz enega od stranskih elementov (smer zvoka označena z **Df** glej Slika 4),
- zvok, ki na strani oddajnega prostora vpade na enega od stranskih elementov, se na strani sprejemnega prostora izseva iz mejnega elementa (smer zvoka označena s **Fd** glej Slika 4),
- zvok, ki na strani oddajnega prostora vpade na enega od stranskih elementov, se na strani sprejemnega prostora izseva iz enega od stranskih elementov (smer zvoka označena s **Ff** glej Slika 4) (SIST EN 12354-1, 2001).

Direkten prenos zvoka preko mejnega elementa predstavlja zvok, ki iz oddajnega v sprejemni prostor preide direktno preko mejnega elementa med dvema prostoroma kot zvok, ki se širi prek odprtij ali oslabitev v mejnem elementu (reže, prezračevalne odprtine, cevi elektrike in drugih instalacij ...) (smer zvoka označena z **e** glej Slika 2).

Indirekten prenos zvoka preko sosednjega prostora predstavlja zvok, ki skozi stranski element oddajnega prostora preide v sosednji prostor in preko stranskega elementa sprejemnega prostora v sprejemni prostor, npr. iz oddajnega prostora skozi vrata v hodnik in

skozi vrata v sprejemni prostor ali preko spuščenega stropa oddajnega prostora v medprostoru med medetažno konstrukcijo in spuščanim stropom ter preko spuščene stropa v sprejemni prostor (smer zvoka označena s **s** glej Slika 2),



Slika 4: Definicija poti prenosa zvoka med dvema prostoroma (SIST EN 12354-1, 2001)

### 3.2. Merjenje zvočne izolirnosti med prostori

Zvočna izolirnost elementa je odvisna od frekvence zvoka, zato se meri in zapisuje v frekvenčnem območju od 100 Hz do 3200 Hz (območje, na katerem je človeško uho najbolj občutljivo), ta interval je razdeljen na frekvenčne pasove (oktave in terce). Oktava pomeni spremembo frekvence za faktor 2, vsaka oktava pa je razdeljena še na tri podintervale imenovane terca (Cvikl, 2002). Skladno s standardom EN ISO 717-1 se iz izmerjenih zvočnih izolirnosti v oktavnih pasovih določi enoštevilčno zvočno izolirnost elementa s korekcijskimi faktorji za spektralno prilagoditev. Tako ovrednotena zvočna izolirnost elementa se zapiše kot  $R_w(C, C_{tr})$ , kjer predstavlja  $R_w$  ovrednoteno zvočno izolirnost elementa,  $C$  korekcijski faktor za spektralno prilagoditev 1 in  $C_{tr}$  korekcijski faktor za spektralno prilagoditev 2.

Zvočna izolirnost gradbenega elementa je definirana z zvočno močjo  $P_1$  v prostoru z virom hrupa pred elementom in zvočno močjo  $P_2$  za elementom, kot se ju izmeri z ustreznim mikrofonom (Cvikl, 2002).

$$R = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1)$$

kjer je:

$P_1$  zvočna moč v prostoru pred elementom (oddajni prostor)

$P_2$  zvočna moč v prostoru za elementom (sprejemni prostor).

V standardu je izolirnost gradbenega elementa definirana kot (SIST EN 12354-1, 2001, str. 6):

$$R' = -10 \log \tau' = -10 \log \left( \frac{W_{tot}}{W_0} \right) \quad (2)$$

kjer je:

- $R'$  gradbena zvočna izolirnost elementa, v dB
- $W_{tot}$  skupna zvočna moč prenesena v sprejemni prostor, v dB
- $W_0$  vpadla zvočna moč na ločilni element, v dB.

V naravi je prehod zvoka iz prostora v prostor poleg izolirnosti mejnega elementa med prostoroma odvisen tudi od deleža zvočne moči, izsevane iz stranskih elementov, drugih komponent in karakteristik prostorov ter direktnega in indirektnega prehoda zvoka. Dejansko gradbeno zvočno izolirnost med prostori določimo na podlagi meritev zvočnih tlakov v prostorih (SIST EN 12354-1, 2001, str. 6):

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{S_s}{A} \right) \quad (3)$$

kjer je:

- $R'$  gradbena zvočna izolirnost, v dB
- $L_1$  povprečna raven zvočnega tlaka v prostoru z virom, v dB
- $L_2$  povprečna raven zvočnega tlaka v sprejemnem prostoru, v dB
- $A$  ekvivalentna absorpcijska površina v sprejemnem prostoru, v  $m^2$
- $S_s$  površina ločilnega elementa, v  $m^2$ .

### 3.3. Računski model ocene zvočne moči v sprejemnem prostoru

Zvočna moč v sprejemnem prostoru je odvisna od sevanja zvoka iz oddajnega prostora po poteh prehoda zvoka, skladno s Slika 4. Skupna zvočna prepustnost se razdeli v zvočne prepustnosti, ki se nanašajo na poti prehoda zvoka skozi mejni element, poti skozi stranske elemente ter direktni in indirektni prenos zvoka. To v formuli zapišemo kot (SIST EN 12354-1, 2001, str. 10):

$$R' = -10 \log \tau' = -10 \log \left( \tau_d + \sum_{f=1}^n \tau_f + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{s=1}^k \tau_s \right) \quad (4)$$

kjer je

- $\tau'$  razmerje med celotno zvočno močjo, izsevano v sprejemni prostor, ter zvočno močjo, vpadlo na del ločilnega elementa, skupen obema prostoroma,
- $\tau_d$  razmerje med zvočno močjo, izsevano iz mejnega elementa, skupnega obema prostoroma in zvočno močjo, vpadlo na del ločilnega elementa, skupen obema prostoroma – vključuje poti prehoda zvoka  $D_d$  in  $F_d$  (glej Slika 4),
- $\tau_f$  razmerje med zvočno močjo, izsevano iz stranskega elementa  $f$  v sprejemnem prostoru in zvočno močjo vpadlo na mejni element – vključuje poti prehoda zvoka  $F_f$  in  $D_f$  (glej Slika 4),
- $\tau_e$  razmerje med zvočno močjo, izsevano zaradi direktnega prenosa zvoka v zraku v sprejemni prostor iz mejnega elementa, ter zvočno močjo vpadlo na mejni element (glej Slika 4),

$\tau_s$  razmerje med zvočno močjo, izsevano v sprejemni prostor iz sistema (s) zaradi indirektnega prenosa zvoka v zraku, vpadlega na ta sistem, ter zvočno močjo, vpadlo na del ločilnega elementa, skupen obema prostoroma (glej Slika 4),

$n$  število stranskih elementov, običajno  $n = 4$ ,

$m$  število elementov z direktnim prenosom zvoka v zraku,

$k$  število sistemov z indirektnim prenosom zvoka v zraku.



## 4. ANALIZA OCENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI MED PROSTORI

### 4.1. Splošno

V standardu SIST EN 12354-1 je opisan podroben računski model za oceno zvočne izolirnosti med prostori v stavbah pred zvokom v zraku, ki je narejen na podlagi laboratorijsko izmerjenih zvočnih izolirnosti elementov (ločilnih in stranskih elementov prostora) v frekvenčnih pasovih. Iz izračuna izolirnosti po frekvenčnih pasovih je izpeljan poenostavljeni model z omejenim področjem uporabe, pri katerem se enoštevilčna zvočna izolirnost oceni iz enoštevilčnih laboratorijsko izmerjenih ravni zvočne izolirnosti elementov. Enoštevilčna ocena zvočne izolirnosti pred hrupom v zraku se lahko iz podrobnega modela določi tudi skladno s standardom EN ISO 717-1.

V dodatku B standard obravnava zvočno izolirnost monolitnih elementov, kjer na podlagi površinske gostote elementa ( $\text{kg/m}^2$ ) izračunamo zvočno izolirnost pred direktnim preходом zvoka skozi element. V površinsko gostoto se šteje osnovni gradbeni material in trdo pritrjeni dodatni sloji, kot npr. omet. Izračun omogoča oceno zvočne izolirnosti po frekvenčnih pasovih ali enoštevilčno oceno.

V dodatku D je obravnavano izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih slojev, kjer izračunamo, za koliko se poveča zvočna izolirnost elementa zaradi dodatne obloge (sloja), dodane na osnovni element, katerega zvočno izolirnost že poznamo. V standardu sta obravnavane dve vrsti pritrjevanja dodatnih slojev na osnovni element: neposredno pritrjeni dodatni izolacijski sloji na osnovni element brez nosilcev in letev (npr. armiran plavajoči estrih na zvočni izolaciji) in dodatni sloji, ki so pritrjeni na osnovni element s podkonstrukcijo iz kovinskih ali lesenih nosilcev oziroma letev (npr.: mavčno kartonska obloga na kovinski podkonstrukciji z vmesno mehko izolacijo iz mineralne volne).

V dodatku H so navedeni računski primeri določanja ocene zvočne izolirnosti med dvema prostoroma skladno s podrobnim in poenostavljenim modelom.

### 4.2. Točnost modela in omejitve

Ocena zvočne izolirnosti ločilnih elementov med prostoroma, ki se izdelata na podlagi teh modelov, se lahko preveri z meritvami na zgrajenem objektu, pri čemer sta predvidena dobra izvedba in majhna merilna negotovost. Natančnost ocene zvočne izolirnosti s tema modeloma je odvisna od več vplivov: od točnosti vhodnih podatkov, kakovosti modeliranja, vrste elementov in obravnavanih spojev med elementi, do oblike obravnavanih prostorov v stavbi in predvsem same izvedbe elementov stavbe. Zaradi številnih spremenljivk in same kvalitete izvedbe elementov natančnosti napovedi ni mogoče navesti za vse vrste razmer v stavbi in za vse primere. Iz dosedanjih izkušenj uporabe podrobnih modelov v stavbah s homogenimi elementi (npr. opečne stene, beton ...) je napoved enoštevilčne ocene zvočne izolirnosti v povprečju pravilna, pri čemer je standardno odstopanje med 1,5 in 2,5 dB. Za poenostavljeni model ocene zvočne izolirnosti znaša standardno odstopanje okoli 2,0 dB, rezultati pa se nagibajo k rahli precenjenosti zvočne izolirnosti (SIST EN 12354-1, 2001).

Omejitve podrobnega modela prenosa zvoka skladno s standardom SIST EN 12354-1:

- model se lahko uporablja le za kombinacije elementov, za katere je faktor dušenja vibracij znan ali pa se lahko oceni iz znanih vrednosti,

- model je uporaben le za osnovne gradbene elemente, katerih sevalne lastnosti so na obeh straneh elementov približno enake,
- pri zelo velikih medetažnih konstrukcijah ter medetažnih konstrukcijah s stebri in lahkimi notranjimi stenami medetažna konstrukcija v prostor ne more biti več obravnavana kot neodvisni element, zato je vključitev te konstrukcije po opisanem modelu le groba ocena,
- delež sekundarnih poti prenosa, ki vključujejo več kot en spoj, se zanemari. To se delno nadomesti pri vrednostih faktorja dušenja vibracij, če le-ta izhaja iz meritev v stavbi, kar pa ima lahko za posledico prenizko oceno stranskega prenosa homogenih elementov v drugih primerih. Sekundarne poti prenosa lahko postanejo pomembne, kadar je velik del elementov obložen z dodatnimi sloji.

Model opisuje le prenos med sosednjimi prostori.

Omejitve poenostavljenega modela prenosa zvoka skladno s standardom SIST EN 12354-1:

- omejitve pri podrobnem modelu so enake omejitvam pri poenostavljenem modelu,
- poenostavljeni model se uporablja predvsem za stanovanja, kjer so mere elementov podobne meram v laboratoriju. Odstopanja od tega lahko povzročijo manjšo zanesljivost rezultatov,
- poenostavljeni model predpostavlja elemente, ki imajo podobno odvisnost zvočne izolirnosti od frekvence. Pri elementih, kjer obstajajo razlike v odvisnosti od frekvence (npr. dvojni lahki elementi), je zanesljivost rezultatov manjša.

#### 4.3. Zvočna izolirnost monolitnih elementov na podlagi površinske gostote

Na podlagi dodatka B (zvočna izolirnost monolitnih elementov) standarda SIST EN 12354-1 sem s programskim orodjem MS Excel izdelal računalniški program, ki omogoča izračun zvočne izolirnosti elementa pred hrupom v zraku na podlagi površinske gostote ( $\text{kg/m}^2$ ) elementa. Program izračuna enoštevlično zvočno izolirnost elementa s korekcijskimi faktorji za spektralno prilagoditev. Primerjave med tem računskim modelom in dejansko opravljenimi laboratorijskimi meritvami kažejo, da so merjeni rezultati v območju -4 dB do +8 dB od krivulje uporabljenega računskega modela. Relativno velik raztros je posledica več dejavnikov, med drugim lastnosti laboratorijev in uporabljenih merilnih metod. Z uvedbo nove verzije standarda EN ISO 140 se pričakuje, da se bo raztros meritev prepolovil (SIST EN 12354-1, 2001).

Za izračun zvočne izolirnosti na podlagi površinske gostote sem uporabil formulo iz poglavja B.2 v standardu SIST EN 12354-1. Ovrednotena zvočna izolirnost, ki velja za homogene elemente s površinsko gostoto večjo od  $150 \text{ kg/m}^2$ , se lahko uporabiza enojne elemente iz betona, glinaste opeke, blokov iz kalcijevega silikata, mavčne bloke in različne vrste lahkega betona. Ometana stena se upošteva kot enojen element, saj je malta kot omet trdo pritrjena na elemente osnovne konstrukcije. Da se gradbeni elementi lahko obravnavajo kot homogeni, morajo imeti manj kot 15 % odprtih skupne prostornine elementa.

Enačba za izračun zvočne izolirnosti skladno z dodatkom B standarda (SIST EN 12354-1, 2001, str. 31):

$$R_w = 37,5 \log \frac{m'}{m'_0} - 42 \text{ dB} \quad (5)$$

kjer je:

$R_w$  ovrednotena zvočna izolirnost, v dB

$m'$  površinska gostota elementa, v  $\text{kg/m}^2$

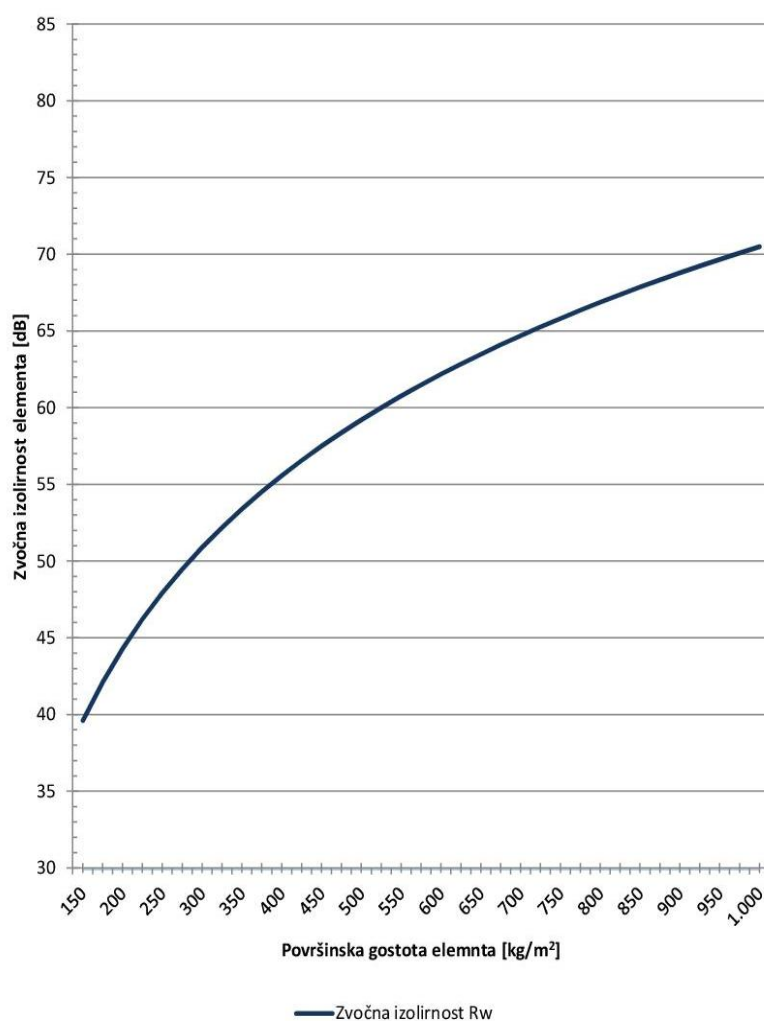
$m'_0$  referenčna površinska gostota ( $=1 \text{ kg/m}^2$ ), v  $\text{kg/m}^2$ .

Korekcijske faktorje za spektralno prilagoditev določimo skladno s pogoji:

C je približno konstanta: -1 do -2 dB za večje mase,

$C_{tr} = 16 - 9 \log(m'/m'_0)$  dB, omejeno z  $-7 \leq C_{tr} \leq -1$  dB.

Na Slika 5 je prikazan graf zvočne izolirnosti v odvisnosti od površinske gostote elementa skladno s formulo (5).



Slika 5: Zvočna izolirnost elementa v odvisnosti od površinske gostote skladno z dodatkom B standarda SIST EN 12354-1

Na podlagi formule (5) sem iz podatkov o specifični gostoti gradbenih materialov in debeline le-teh, ki se standardno (pogosto) uporabljajo v gradbeništvu, izračunal zvočne izolirnosti za posamezne elemente, glej Preglednico 5.

Preglednica 5: Izračun zvočnih izolirnosti ( $R_w$ ) nekaterih standardnih elementov, ki se uporabljajo v gradbeništvu skladno z dodatkom B standarda SIST EN 12354-1

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu / medetažne konstrukcije	Gostota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Debelina [m]	Površinska gostota elementa [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	C	Ctr
1.	Modularna opeka	1.800,00	0,19	342,00	53	-1	-7
2.	Modularna opeka	1.800,00	0,29	522,00	60	-2	-7
3.	Klinker opeka	1.900,00	0,12	228,00	46	-1	-5
4.	Armiran beton	2.400,00	0,15	360,00	54	-1	-7
5.	Armiran beton	2.400,00	0,20	480,00	59	-2	-7
6.	Armiran beton	2.400,00	0,25	600,00	62	-2	-7
7.	Armiran beton	2.400,00	0,30	720,00	65	-2	-7
8.	Obojestransko ometana modularna opeka s podaljšano malto debeline 2 cm	*	0,23	414,00	56	-1	-7
9.	Obojestransko ometana modularna opeka s podaljšano malto debeline 2 cm	*	0,33	594,00	62	-2	-7
10.	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona	650,00	0,24	156,00	40	-1	-4
11.	Bloki iz porobetona večje trdnosti	500,00	0,30	150,00	40	-1	-4
12.	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona z mavčno malto 1 cm	**	0,26	176,00	42	-1	-4
13.	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti z mavčno malto 1 cm	***	0,32	170,00	42	-1	-4

\* modularna opeka s specifično maso 1.800,00 kg/m<sup>3</sup> debelin 0,19 m ali 0,29 m, obojestransko ometana z 2 cm podaljšane malte s specifično maso 1.800,00 kg/m<sup>3</sup>

\*\* zvočno izolacijski bloki iz porobetona s specifično maso 650,00 kg/m<sup>3</sup> debelin 0,20 m, 0,24 m ali 0,30 m, obojestransko ometana z 1 cm mavčne malte s specifično maso 1.000,00 kg/m<sup>3</sup>,

\*\*\* bloki iz porobetona večje trdnosti s specifično maso 500,00 kg/m<sup>3</sup> debelin 0,24 m ali 0,30 m, obojestransko ometana z 1 cm mavčne malte s specifično maso 1.000,00 kg/m<sup>3</sup>.

Proizvajalci sistemov in gradbenih elementov sten svoje proizvode testirajo v certificiranih laboratorijih. Rezultati teh testiranj so dostopni pri proizvajalcih, običajno v tehničnih listih elementov. V Preglednici 6 so navedene pridobljene zvočne izolirnosti, površinske mase in debeline nekaterih proizvodov (sistemov sten), ki so dostopni na slovenskem trgu in se pogosto uporabljajo v gradbeništvu.

Preglednica 6: Zvočna izolirnost ( $R_w$ ) nekaj sten skladno s tehničnimi listi proizvajalcev (povzeto po tehničnih listih proizvajalcev)

Vrsta konstrukcije	Zap. Št.	Oznaka konstrukcije	Opis konstrukcije	Skupna debelina	Površinska gostota elementa [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$
Mavčno kartonska stena z enojno mavčno kartonsko oblogo	14.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	7,5 cm	27,00	41
	15.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	10,0 cm	28,00	45
	16.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	12,5 cm	29,00	47
Mavčno kartonska stena z dvojno mavčno kartonsko oblogo	17.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	10,0 cm	48,00	51
	18.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	12,5 cm	49,00	54
	19.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	15,0 cm	50,00	56
Mavčno kartonska stena z trojno mavčno kartonsko oblogo	20.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	12,5 cm	68,00	56
	21.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	15,0 cm	69,00	58
	22.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	17,5 cm	70,00	60
Mavčno kartonska stena z trojno mavčno kartonsko oblogo	23.	W115W	Med stanovanjska stena - dvojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga + 5. sloj plošč v notranjosti stene	16,5 cm	83,00	72
	24.	W115W	Med stanovanjska stena - dvojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga + 5. sloj plošč v notranjosti stene	21,5 cm	65,00	70
Lesene montažne stene	25.	iwmxx01a 00	Lesena križno lepljena plošča obojestranska enoslojna mavčno kartonska obloga	11,5 cm	67,50	38

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 6

Lesene montažne stene	26.	iwmxx01b 00	Lesena križno lepljena plošča obojestranska dvoslojna mavčno kartonska obloga	12,8 cm	87,50	38
Opečna stena obojestransko ometana	27.	Goro max 19-50 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 19 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	24 cm	237,00	52
	28.	Goro term 39	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 39 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	44 cm	396,00	56
	29.	Go term 29 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 29 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	34 cm	223,00	53
	30.	Goro term 25 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	30 cm	298,00	52
	31.	MB 29 - 19	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 29 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	34,00	295,00	54
	32.	Zvočno izolacijska opeka	Obojestransko ometana zvočno izolacijska opečna stena zapolnjena z malto, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	30,00	1.528,00	61
	33.	Porotherm 25 SSZ HD	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	30,00	410,00	56

#### 4.4. Izboljšanje zvočne izolirnosti elementa zaradi dodatnih slojev

Zaradi dodatnih slojev na osnovnem gradbenem elementu (npr lesena obloga, mavčno kartonska obloga, plavajoči estrih) se zvočna izolirnost celotne konstrukcije lahko poveča ali zmanjša, kar označimo z  $\Delta R$ . Izboljšanje zvočne izolirnosti je odvisno do resonančne frekvence ( $f_0$ ) sistema obloga-osnovni gradbeni element. Standard v dodatku D obravnava izračun dodatne zvočne izolirnosti za dve vrste dodatnih slojev in sicer za neposredno pritrjene dodatne sloje na osnovno gradbeno konstrukcijo in za posredno pritrjene dodatne sloje na kovinskih ali lesenih nosilcih oziroma letvah.

Izboljšanje zvočne izolirnosti sistema gradbenega elementa (z zvočno izolirnostjo med 20 dB  $\leq R_w \leq 60$  dB) in dodatnega sloja se oceni na podlagi resonančne frekvence celotnega sistema  $f_0$  skladno s Preglednico 7:

Izračun resonančne frekvence za sistem dodatne obloge in elementa, pri katerem je dodatni sloj (obloga) pritrjen neposredno na osnovno konstrukcijo (element) brez pritrdilnih elementov (SIST EN 12354-1, 2001, str. 37):

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (6)$$

kjer so:

- $f_0$  resonančna frekvenca sistema masa – vzmet, v Hz,
- $s'$  dinamična togost izolacijskega sloja skladno z EN 29052-1, v MN/m<sup>3</sup>,
- $m'_1$  površinska gostota osnovnega gradbenega materiala, v kg/m<sup>2</sup>,
- $m'_2$  površinska gostota dodatnega sloja, v kg/m<sup>3</sup>.

Izračun resonančne frekvence za sistem dodatne obloge in elementa, pri katerem je dodaten sloj (obloga) pritrjen posredno na osnovno konstrukcijo (element) preko lesenih ali kovinskih nosilcev (SIST EN 12354-1, 2001, str. 37):

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (7)$$

kjer so:

- $f_0$  resonančna frekvenca sistema masa – vzmet, v Hz,
- $d$  širina medprostora, m,
- $m'_1$  površinska gostota osnovnega gradbenega materiala, v kg/m<sup>2</sup>,
- $m'_2$  površinska gostota dodatnega sloja, v kg/m<sup>3</sup>.

Preglednica 7: Izboljšanje zvočne izolirnosti ( $R_w$ ) zaradi dodatne obloge v odvisnosti od resonančne frekvence sistema skladno z dodatkom D standarda SIST EN 12354-1

Resonančna frekvenca obloge [Hz]	Izboljšanje zvočne izolirnosti $\Delta R_w$ [dB]
≤ 80	35 - $R_w$ / 2
100	32 - $R_w$ / 2
125	30 - $R_w$ / 2
160	28 - $R_w$ / 2
200	-1,00
250	-3,00
315	-5,00
400	-7,00
500	-9,00
630 - 1600	-10,00
> 1600	-5,00

Skupno izboljšanje zvočne izolirnosti sistema ocenimo na podlagi izračunane resonančne frekvence sistema skladno s Preglednico 7. Zvočna izolirnost sistema pri frekvencah, manjših od 200 Hz, je odvisno od zvočne izolirnosti osnovnega gradbenega elementa. V Preglednici 7 so za resonančne frekvence sistema, ki so <80 Hz, 100 Hz, 125 Hz in 160 Hz, navedene formule, ki za izboljšanje zvočne izolirnosti sistema upoštevajo tudi zvočno izolirnost osnovnega elementa. Pri resonančnih frekvencah sistema, večjih od 200 Hz, pa so navedene enoštevilske vrednosti izboljšanja zvočne izolirnosti sistema. Najmanjša vrednost izboljšanja zvočne izolirnosti na tem območju znaša 0 dB. Za resonančne frekvence v vmesnem območju uporabimo najbližjo resonančno frekvenco (SIST EN 12354-1, 2001).

Kadar je osnovni gradbeni element z obeh strani obdan z dodatno oblogo, se izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodanih oblog v smeri prehoda zvoka (torej obloga na strani oddajnega prostora in obloga na strani sprejemnega prostora), izračuna s seštevanjem izboljšanja zvočne izolirnosti, kjer se za oblogo, z zvočno izolirnostjo manjše vrednosti, vzame polovična vrednost (SIST EN 12354-1, 2001):

$$\Delta R_{ij,w} = \Delta R_{i,w} + \frac{\Delta R_{j,w}}{2} \text{ ali } \Delta R_{ij,w} = \Delta R_{j,w} + \frac{\Delta R_{i,w}}{2} \quad (8)$$

kjer so:

$\Delta R_{ij,w}$  izboljšanje zvočne izolirnosti v smeri ij prehoda zvoka, v dB,

$\Delta R_{i,w}$  izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodate obloge na strani oddajnega prostora, v dB,

$\Delta R_{j,w}$  izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodate obloge na strani sprejemnega prostora, v dB,

V Preglednici 8 je prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti medetažnih armirano betonskih plošč iz Preglednice 5 zaradi dodatne enostranske obloge plavajoči estrih v sestavi 2 cm keramične ploščice položene v lepilu, 6 cm cementni estrih in 4 cm zvočna izolacija iz mineralne volne z deklarirano dinamično togostjo 15 MN/m<sup>3</sup>.

Preglednica 8: Izboljšanje zvočne izolirnosti  $R_w + \Delta R_w$  zaradi plavajočega estriha izolacijo iz mineralne volne

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$m'_1$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$m'_2$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Resonančna frekvenca $f_0$	Izboljšanje izolirnosti $\Delta R_w$	$R_w + \Delta R_w$
4.	Armiran beton 15 cm	360,00	54	166	58	8	62
5.	Armiran beton 20 cm	480,00	59	166	56	6	65
6.	Armiran beton 25 cm	600,00	62	166	54	4	66

V Preglednici 9 je prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti medetažnih armirano betonskih plošč iz Preglednica 5 zaradi dodatne enostranske obloge plavajoči estrih v sestavi 2 cm keramične ploščice v lepilu, 6 cm cementni estrih in 4 cm zvočna izolacija iz elastificiranega ekspandiranega polistirena (EPS) z deklarirano dinamično togostjo 30 MN/m<sup>3</sup>.



Preglednica 9: Izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi plavajočega estriha z izolacijo iz elastificiranega EPS

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$m'_1$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$m'_2$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Resonančna frekvenca $f_0$	Izboljšanje izolirnosti $\Delta R_w$	$R_w + \Delta R_w$
4.	Armiran beton 15 cm	360,00	54	166	82	8	62
5.	Armiran beton 20 cm	480,00	59	166	79	6	65
6.	Armiran beton 25 cm	600,00	62	166	77	4	66

V Preglednici 10 je prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti sten iz Preglednice 5 zaradi dodatne enostranske obloge iz enojnih mavčno kartonskih plošč debeline 1,25 cm na kovinski podkonstrukciji z vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm (izračun po formuli za posredno pritrjene dodatne sloje).

Preglednica 10: Izboljšanje zvočne izolirnosti  $R_w + \Delta R_w$  sten zaradi enostranske obloge z mavčno kartonastimi ploščami debeline 1,25 cm in vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$m'_1$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$m'_2$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Resonančna frekvenca $f_0$	Izboljšanje izolirnosti $\Delta R_w$	$R_w + \Delta R_w$
1.	Modularna opeka 19 cm	342,00	53	16	61	9	62
2.	Modularna opeka 29 cm	522,00	60	16	61	5	65
3.	Klinker opeka 12 cm	228,00	46	16	62	12	58
4.	Armiran beton 15 cm	360,00	54	16	61	8	62
5.	Armiran beton 20 cm	480,00	59	16	61	6	65
6.	Armiran beton 25 cm	600,00	62	16	60	4	66
7.	Armiran beton 30 cm	720,00	65	16	60	3	68
8.	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	414,00	53	16	61	9	62
9.	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	594,00	60	16	60	5	65
10.	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	156,00	40	16	63	15	55
11.	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	150,00	40	16	63	15	55
12.	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	176,00	40	16	62	15	55
13.	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	170,00	40	16	62	15	55

V Preglednici 11 je prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti sten iz Preglednice 5 zaradi dodatne enostranske obloge iz dvojnih mavčno kartonskih plošč skupne debeline 2,50 cm na kovinski podkonstrukciji z vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm (izračun po formuli za posredno pritrjene dodatne sloje).

Preglednica 11: Izboljšanje zvočne izolirnosti  $R_w + \Delta R_w$  sten zaradi enostranske obloge z mavčno kartonastimi ploščami v dveh slojih skupne debeline 2,50 cm in vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne debeline 5 cm

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$m'_1$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$m'_2$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Resonančna frekvenca $f_0$	Izboljšanje izolirnosti $\Delta R_w$	$R_w + \Delta R_w$
1.	Modularna opeka 19 cm	342,00	53	26	48	9	62
2.	Modularna opeka 29 cm	522,00	60	26	48	5	65
3.	Klinker opeka 12 cm	228,00	46	26	49	12	58
4.	Armiran beton 15 cm	360,00	54	26	48	8	62
5.	Armiran beton 20 cm	480,00	59	26	48	6	65
6.	Armiran beton 25 cm	600,00	62	26	48	4	66
7.	Armiran beton 30 cm	720,00	65	26	48	3	68
8.	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	414,00	53	26	48	9	62
9.	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	594,00	60	26	48	5	65
10.	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	156,00	40	26	50	15	55
11.	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	150,00	40	26	51	15	55
12.	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	176,00	40	26	50	15	55
13.	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	170,00	40	26	50	15	55

S primerjavo Preglednice 10 obloge z enojno mavčno kartonsko ploščo in Preglednice 11 obloge z dvojno mavčno kartonsko ploščo opazimo, da se izboljšanje zvočne izolirnosti kljub skoraj podvojeni površinski gostoti dodatne obloge praktično ne spremeni.

V primeru, ko zvočna izolirnost sistema glavnega elementa in dodatnega sloja z ene strani ne zadošča želenim zahtevam, lahko predvidimo dodaten sloj z obeh strani osnovnega elementa. Tako imamo sistem osnovnega gradbenega elementa z obeh strani obdan z dodatnim slojem (oblogo).

V Preglednici 12 je skladno z enačbo (8) prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti medetažnih armirano betonskih plošč z dodatnimi oblogami, ki vplivajo na izboljšanje zvočne izolirnosti sistema. Na zgornji strani plošče je upoštevan plavajoči cementni estriha (enako kot v Preglednici 8), na spodnji strani pa iz mavčno kartonskih plošč na podkonstrukciji (enako kot v Preglednici 10).

Preglednica 12: Izboljšanje zvočne izolirnosti  $R_w + \Delta R_w$  armirano betonske medetažne plošče zaradi cementnega estriha in mavčno kartonaste obloge

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$R_w$	Izboljšanje izolirnosti zaradi cementnega estriha $\Delta R_{i,w}$	Izboljšanje izolirnosti zaradi mavčno kartonske obloge $\Delta R_{i,w}$	$\Delta R_{ij,w}$	$R_w + \Delta R_{ij,w}$
4.	Armiran beton 15 cm	54	8	8	12	66
5.	Armiran beton 20 cm	59	6	6	9	68
6.	Armiran beton 25 cm	62	4	4	6	68

V Preglednici 13 je skladno z enačbo (8) prikazan izračun izboljšanja zvočnih izolirnosti sten z upoštevanjem izboljšanja zvočne izolirnosti zaradi obojestranske obloge iz mavčno kartonskih plošč (enako kot v Preglednici 10) s strani oddajnega in sprejemnega prostora.

Preglednica 13: Izboljšanje zvočne izolirnosti  $R_w + \Delta R_w$  sten zaradi mavčno kartonaste obloge na strani oddajnega in sprejemnega prostora

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu	$R_w$	Izboljšanje izolirnosti zaradi cementnega estriha $\Delta R_{i,w}$	Izboljšanje izolirnosti zaradi mavčno kartonske obloge $\Delta R_{i,w}$	$\Delta R_{ij,w}$	$R_w + \Delta R_{ij,w}$
1.	Modularna opeka 19 cm	53	9	9	14	67
2.	Modularna opeka 29 cm	60	5	5	8	68
3.	Klinker opeka 12 cm	46	12	12	18	64
4.	Armiran beton 15 cm	54	8	8	12	66
5.	Armiran beton 20 cm	59	6	6	9	68
6.	Armiran beton 25 cm	62	4	4	6	68
7.	Armiran beton 30 cm	65	3	3	5	70
8.	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	53	9	9	14	67
9.	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	60	5	5	8	68
10.	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	40	15	15	23	63
11.	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	40	15	15	23	63
12.	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	40	15	15	23	63
13.	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	40	15	15	23	63

#### 4.5. Izračun zvočne izolirnosti med prostori

V tem poglavju diplomske naloge je obravnavan izračun, na podlagi katerega ocenimo zvočno izolirnosti med prostori z upoštevanjem zvoka izsevanega iz mejnega in stranskih elementov. Za izvedbo izračuna zvočne izolirnosti med prostori potrebujemo podatke o obliki

in velikosti prostorov (volumnu prostorov, velikosti mejnega in stranskih elementov ter dolžine stikov elementov), akustičnih karakteristik mejnega elementa ter akustičnih karakteristik stranskih elementov oddajnega in sprejemnega prostora (izmerjene ali izračunane zvočne izolirnosti elementov prostorov  $R_w$  z upoštevanim morebitnim izboljšanjem ali poslabšanjem izolirnosti), faktorju dušenja za vsako pot prenosa preko spoja  $K_{ij}$  in razmerju površinskih mas, povezanih v spojih  $K_{ij}$  (SIST EN 12354-1, 2001).

Podatki, potrebni za izračun zvočne izolirnosti med prostori so:

$R_s$	zvočna izolirnost ločilnega (mejnega) elementa,
$R_i$ in $R_j$	zvočna izolirnost za stranski element $i$ v oddajnem prostoru in element $j$ v sprejemnem prostoru,
$\Delta R_D$ in $\Delta R_d$	izboljšanje zvočne izolirnosti ločilnega (mejnega) elementa z dodatnimi sloji na strani oddajnega prostora (D) in/ali na strani sprejemnega prostora (d),
$\Delta R_i$ in $\Delta R_j$	izboljšanje zvočne izolirnosti stranskega elementa z dodatnimi sloji na strani oddajnega prostora (i) in/ali sprejemnega prostora (j),
$T_{s,lab}$	odmevni čas elementa v laboratoriju,
$S_s$	površina ločilnega (mejnega) elementa,
$S_i$ in $S_j$	površina stranskega elementa v oddajnem prostoru (i) in površina stranskega elementa v sprejemnem prostoru (j),
$K_{ij}$	faktor dušenja vibracij za poti prenosa zvoka od elementa $i$ do elementa $j$ ,
$l_{ij}$	dolžina skupnega spoja med elementoma $i$ in $j$ .

Podatke o obliki in dimenzijah prostorov (posledično elementov) dobimo iz načrta objekta. Akustične podatke obravnavanih elementov oziroma konstrukcij privzamemo predvsem iz meritev standardiziranih laboratorijev. V primeru, da za izbrano konstrukcijo (element) laboratorijski podatki niso dostopni, se le-ti lahko izpeljejo tudi na druge načine (zanesljivi in priznani teoretični izračuni, empirične ocene in merilni rezultati, pridobljeni z meritvami na drugih podobnih objektih). Vir podatkov je potrebno jasno navesti.

#### 4.5.1. Poenostavljen izračun prenosa zvoka med prostori z upoštevanjem prehoda zvoka po konstrukcijah

V enačbi 2 je prikazan uporabljen izračun zvočne izolirnosti med dvema prostoroma v dejanskem okolju z upoštevanjem direktnega in stranskega prehoda zvoka med prostori. Predpostavimo, da sta prostora obdana s stranskimi elementi brez odprtih in oslabitev (npr. oslabitev zaradi inštalacij ipd.), ter z idealno izdelanimi spoji stranskih in mejnega elementa prostorov.

Na podlagi dosedanjih predstavljenih izračunov in formul lahko ocenimo zvočno izolirnost med dvema prostoroma z uporabo poenostavljenega modela za prenos zvoka po konstrukcijah, ki predvideva prehode direktnega in stranskega prehoda zvoka po smereh Dd, Ff, Df in Fd (Slika 4), ne pa tudi direktnega in indirektnega prenosa zvoka (SIST EN 12354-1, 2001, str. 20):

$$R'_w = -10 \log \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F_{f_1}}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f_1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F_1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \quad (9)$$

kjer so:

- $R_{Dd,w}$  ovrednotena zvočna izolirnost za direktni prenos, v dB,  
 $R_{Ff,w}$  ovrednotena izolirnost pred stranskim prenosom zvoka za pot prenosa Ff, v dB,  
 $R_{Df,w}$  ovrednotena izolirnost pred stranskim prenosom zvoka za pot prenosa Df, v dB,  
 $R_{fd,w}$  ovrednotena izolirnost pred stranskim prenosom zvoka za pot prenosa Fd, v dB,  
 $n$  število stranskih elementov v prostoru, običajno 4 (lahko več ali manj).

Izračunamo jih po formulah (SIST EN 12354-1, 2001, str. 20-21):

$$\begin{aligned}R_{Ff,w} &= R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \\R_{Ff,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \log \frac{S_S}{l_0 l_f} \\R_{Fd,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \log \frac{S_S}{l_0 l_f} \\R_{Df,w} &= \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \log \frac{S_S}{l_0 l_f}\end{aligned} \tag{10}$$

kjer so:

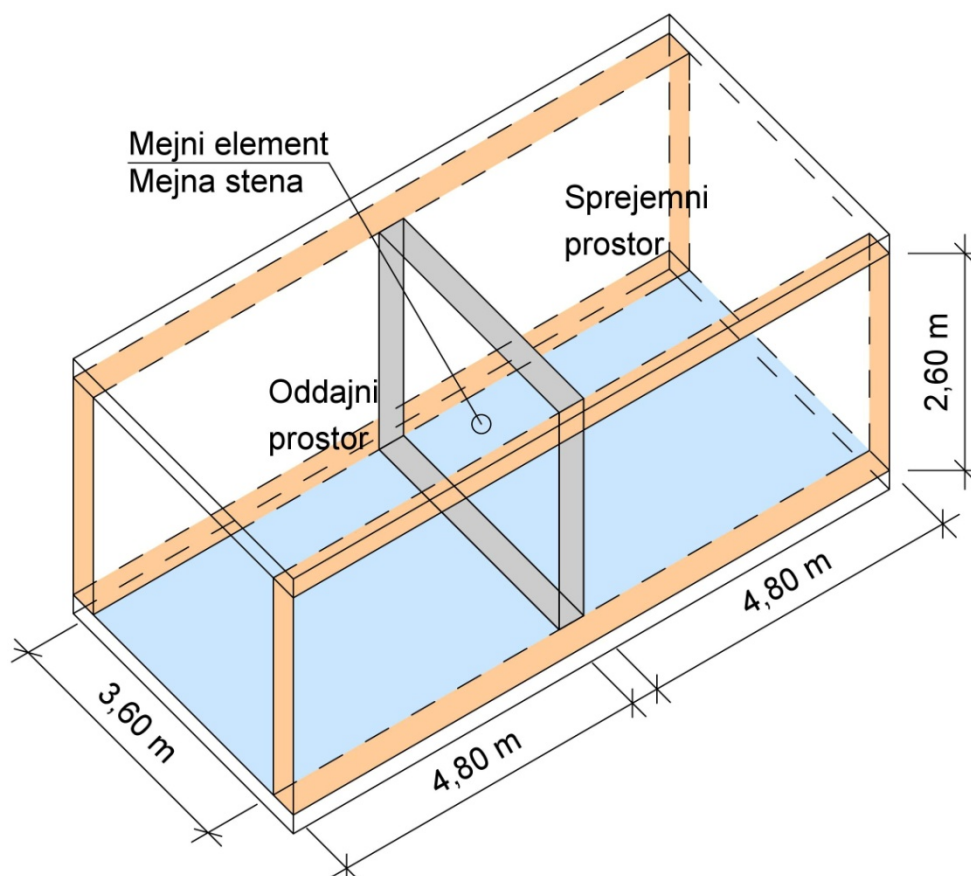
- $R_{s,w}$  ovrednotena zvočna izolirnost ločilnega elementa, v dB,  
 $\Delta R_{Dd,w}$  ovrednoteno skupno izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih oblog na ločilnem elementu in sicer na strani vira ter/ali na sprejemni strani, v dB,  
 $R_{F,w}$  ovrednotena zvočna izolirnost stranskega elementa F v prostoru z virom, v dB,  
 $R_{f,w}$  ovrednotena zvočna izolirnost stranskega elementa f v sprejemnem prostoru, v dB,  
 $\Delta R_{Ff,w}$  ovrednoteno skupno izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih oblog na stranskem elementu in sicer na strani vira ter/ali na sprejemni strani, v dB,  
 $\Delta R_{Fd,w}$  ovrednoteno skupno izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih oblog na stranskem elementu in sicer na strani vira ter/ali na sprejemni strani, v dB,  
 $\Delta R_{Df,w}$  ovrednoteno skupno izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih oblog na stranskem elementu in sicer na strani vira ter/ali na sprejemni strani, v dB,  
 $K_{Ff}$  faktor dušenja vibracij za pot prenosa Ff, v dB,  
 $K_{Fd}$  faktor dušenja vibracij za pot prenosa Fd, v dB,  
 $K_{Df}$  faktor dušenja vibracij za pot prenosa Df, v dB,  
 $S_S$  površina ločilnega elementa, v m<sup>2</sup>,  
 $l_f$  dolžina spoja, ki je skupen ločilnemu elementu ter stranskima elementoma F in f, v m',  
 $l_0$  referenčna dolžina spoja,  $l_0=1$  m

#### 4.5.2. Parametri upoštevani pri izračunu zvočne izolirnosti med prostori

V nadaljevanju so navedeni predpostavljene parametri uporabljeni za potrebe izračuna zvočne izolirnosti med prostori, saj vplivajo na ocenjeno zvočno izolirnost in so specifični za vsak primer posebej, kar nakazuje na tako rekoč neskončno mogočih kombinacij. Cilj diplomske naloge ni izračunati zvočne izolirnosti za vse mogoče kombinacije prostorov, konstrukcij in kombinacij mejnega ter stranskih elementov in vrst stikov, ampak prikazati izračun zvočne izolirnosti za lažje razumevanje.

Uporabljeni parametri (glej Slika 6):

- velikost obravnavanih prostorov sem omejil na š / g / v: 3,60 m / 4,80 m / 2,60 m, to pomeni, da je mejni element velikosti š / v: 3,60m / 2,60 m,
- konstrukcije mejnega in stranskih elementov 1 in 2 so enake (sestava sten),
- konstrukcija mejnega elementa 3 (tla prostorov) je upoštevana armiranobetonska plošča, debeline 15 cm s cementnim estrihom na kameni volni (zaporedna številka 4. Preglednica 8),
- konstrukcija mejnega elementa 4 (strop prostorov) je upoštevana armiranobetonska plošča, debeline 15 cm (zaporedna številka 4. Preglednica 5),
- upoštevane so zgolj stene brez dodatnih slojev, ki bi izboljšali izolirnost sten,
- v primeru togih homogenih konstrukcij (masivne stene) so upoštevani togi T spoji, saj predstavljajo slabšo izbiro z vidika varstva pred hrupom,
- v primeru lahkih večplastnih konstrukcij (mavčno kartonska in lesene montažne stene) so upoštevani spoji lahke dvojne stene s homogenimi elementi za stike mejnega elementa s stranskima elementoma 3 in 4 (tla, strop),
- v primeru lahkih večplastnih konstrukcij (mavčno kartonska in lesene montažne stene) so upoštevani spoji lahkih povezanih dvojnih steni za stike mejnega elementa s stranskima elementoma 1 in 2 (stranski steni).



Slika 6: Dimenzije obravnavanih prostorov

#### 4.5.3. Primeri in empirične enačbe spojev

V izračunu so torej upoštevani prehodi zvoka  $D_d$ ,  $F_f$ ,  $D_f$  in  $d_f$  Slika 4. V nadaljevanju so opisani empirični podatki za izračun faktorja dušenja vibracij  $K_{ij}$  pri spojih skladno z dodatkom E standarda SIST EN 12354-1. V dodatku so podane formule za običajne vrste spojev v

odvisnosti od površinske gostote elementov, povezanih v spoju. Podatki veljajo za spoje, pri katerih je površinska gostota elementov na obeh straneh spoja v isti ravnini enaka (smer  $m_1 \leftrightarrow m_3$  in  $m_2 \leftrightarrow m_4$ ).

$K_{ij}$  je odvisen od vrste spoja in veličine  $M$  (brez enote), ki je definirana kot:

$$M = \log \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \quad (11)$$

kjer sta:

$m'_i$  površinska gostota elementa  $i$  v sklopu prenosa po poti  $ij$ , v  $\text{kg/m}^2$ ,

$m'_{\perp i}$  površinska gostota drugega elementa (pravokotno), ki sestavlja spoj, v  $\text{kg/m}^2$ .

Poti zvoka so opisane s številkami, 13 pomeni ravno linijo prehoda zvoka skozi spoj (v smeri Ff Slika 4), 12 pomeni pravokotno linijo prehoda zvoka skozi spoj (v smeri Fd ali Df Slika 4), 24 pomeni ravno linijo prehoda zvoka skozi spoj v pravokotni smeri na osnovno smer 13 v spojih s fleksibilnimi vmesnimi sloji, glej standard. Na Slika 7 so označeni spoji in poti prehoda zvoka skozi spoje za posamezne enačbe (SIST EN 12354-1, 2001, str. 41-47):

**Togi križni spoj:**

$$\begin{aligned} K_{13} &= 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ K_{12} &= K_{23} = 8,7 + 5,7M^2 \end{aligned} \quad (12)$$

**Togi T spoj:**

$$\begin{aligned} K_{13} &= 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \\ K_{13} &= K_{13} = 5,7 + 5,7M^2 \end{aligned} \quad (13)$$

**Spoj sten s fleksibilnimi vmesnimi sloji:**

$$\begin{aligned} K_{13} &= 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 + 2\Delta_1 \\ K_{24} &= 5,7 + 5,7M^2 + 2\Delta_1 \\ K_{12} &= K_{23} = 5,7 + 5,7M^2 + \Delta_1 \end{aligned} \quad (14)$$

**Kjer je:**

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 10 \log \frac{f}{f_1} \text{ za } f > f_1 \\ f_1 &= 125\text{Hz, če je } \frac{E_1}{t_1} \approx \frac{100\text{MN}}{m^3} \text{ glej standard} \end{aligned} \quad (15)$$

**Spoj z lahko fasado:**

$$\begin{aligned} K_{13} &= 5 + 10M \text{ in najmanj } 5 \text{ dB} \\ K_{12} &= K_{23} = 10 + 10|M| \end{aligned} \quad (16)$$

**Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi:**

$$\begin{aligned} K_{13} &= 10 + 20M - 3,3 \log \frac{f}{f_k} \text{ in najmanj } 10 \text{ dB} \\ K_{24} &= 3,0 - 14,1M + 5,7M^2 \text{ za } \frac{m_2}{m_1} > 3 \\ K_{12} &= 10 + 10|M| + 3,3 \log \frac{f}{f_k} \end{aligned} \quad (17)$$

kjer je:

$$f_k = 500 \text{ Hz}$$

### Spoj lahkih povezanih dvojnih sten:

$$K_{13} = 10 + 20M - 3,3 \log \frac{f}{f_k} \text{ in najmanj } 10 \text{ dB}$$

$$K_{12} = 10 + 10|M| + 3,3 \log \frac{f}{f_k} \quad (18)$$

kjer je:

$$f_k = 500 \text{ Hz}$$

### Kotni spoj ali sprememba debeline:

A Kotni spoj:

$$K_{13} = 15|M| - 3 \text{ dB in najmanj } - 2 \text{ dB} \quad (19)$$

B sprememba debeline:

$$K_{12} = K_{21} = 5M^2 - 5 \text{ dB} \quad (20)$$

VRSTA SPOJA	Togi križni spoj	Togi T spoj	Spoj s fleksibilnimi vmesnimi sloji	Spoj z lahko fasado	Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi	Spoj lahkih povezanih dvojnih sten	Kotni spoj
	smer prehoda K13	smer prehoda K13	smer prehoda K13	smer prehoda K13	smer prehoda K13	smer prehoda K13	Kotni spoj
smer prehoda K12	smer prehoda K12	smer prehoda K24	smer prehoda K12	smer prehoda K24	smer prehoda K12	Sprememba debelina	
		smer prehoda K12		smer prehoda K12			

Slika 7: Prikaz prehoda zvoka skozi spoje v različnih smereh skladno z enačbami (SIST EN 12354-1, 2001)

#### 4.6. Opis izdelanega programa in način izračuna zvočne izolirnosti med prostori

Na Slika 8 je prikazan izdelan program izračuna zvočne izolirnosti med prostori s programskim orodjem MS Excel. Podatki, ki jih je potrebno vnesti v program, so zvočna izolirnost vseh elementov, morebitno izboljšanje zvočne izolirnosti elementov (zaradi dodatnih slojev ...), površinsko gostoto elementov in vrste stikov med posameznimi potmi za vsako od poti zvoka po konstrukciji skladno s Slika 4. Prav tako so potrebni podatki o dimenzijah obravnavanih prostorov (višina in širina mejnega elementa ter globina posameznega prostora).



Polja, označena z rumeno predstavljajo vnosna polja za potrebne podatke izračuna zvočne izolirnosti med prostori. V nadaljevanju so opisana posamezna polja za lažje razumevanje delovanja programa.

Zvočno izolirnost program izračunava na podlagi enačbe (9) in vnesenih podatkov o dimenzijah sprejemnega in oddajnega prostora, zvočni izolirnosti posameznih elementov, izboljšanja zvočne izolirnosti zaradi dodatnih slojev ter vrste spojev med elementi.

Opis obravnavanih prostorov	
Opis količine	[m]
Višina mejnega elementa (prostorov) H =	2,60
Širina mejnega elementa (prostorov) S =	3,60
Dolžina oddajnega prostora L1 =	5,40
Dolžina sprejemnega prostora L2 =	5,40

Opis elementa in njegove lokacije v obravnavanih prostorih	Površinska gostota m' [kg/m <sup>2</sup> ]	Zvočna izolirnost elementa R <sub>w</sub> [dB]	Izboljšanje zvočne izolirnosti ΔR <sub>w</sub> [dB]	Prehod zvoka po konstrukcijah iz strani oddajnega prostora proti sprejemnemu prostoru	Oznaka poti zvoka	Veličina M	Izbira vrste spoja	Faktor dušenja vibracij K <sub>v</sub>	Zvočna izolirnost v smeri ij R <sub>ij,w</sub> [dB]	Vmesni rezultat 10 <sup>R<sub>ij,w</sub>/10</sup>	
ODDAJNI PROSTOR	Stranski element 1 (stena 1)	237	52	0	Glavna stena -> Glavna stena	R <sub>D1</sub>	/	/	52	6,30957E-06	
	Stranski element 2 (stena 2)	237	52	0	Stranska stena 1 -> stranska stena 1	R <sub>F1</sub>	0,000	Spoj F1	10,000	1,75266E-07	
	Stranski element 3 (tla)	526	54	8	Stranska stena 2 - stranska stena 2	R <sub>F2</sub>	0,000	Spoj F1	10,000	1,75266E-07	
	Stranski element 4 (strop)	360	54	0	Tla -> Tla	R <sub>F3</sub>	0,000	Spoj E2	3,000	69,1	1,21626E-07
	Mejni element (stena)	237	52	0	Strop -> Strop	R <sub>F4</sub>	0,000	Spoj E2	3,000	61,1	7,67409E-07
SPREJEMNI PROSTOR	Stranski element 1 (stena 1)	237	52	0	Glavna stena -> Stranska stena 1	R <sub>D1</sub>	0,000	Spoj F2	10,000	67,6	1,75266E-07
	Stranski element 2 (stena 2)	237	52	0	Glavna stena -> Stranska stena2	R <sub>D2</sub>	0,000	Spoj F2	10,000	67,6	1,75266E-07
	Stranski element 3 (tla)	526	54	8	Glavna stena -> Tla	R <sub>D3</sub>	-0,346	Spoj E3	13,186	78,3	1,46704E-08
	Stranski element 4 (strop)	360	54	0	Glavna stena -> Strop	R <sub>D4</sub>	-0,182	Spoj E3	11,740	68,9	1,29144E-07
					Stranska stena 1 -> Glavna stena	R <sub>F41</sub>	0,000	Spoj F2	10,000	67,6	1,75266E-07
					Stranska stena 2 -> Glavna stena	R <sub>F42</sub>	0,000	Spoj F2	10,000	67,6	1,75266E-07
					Tla -> Glavna stena	R <sub>F43</sub>	0,346	Spoj E3	13,186	78,3	1,46704E-08
					Strop -> Glavna stena	R <sub>F44</sub>	0,182	Spoj E3	11,740	68,9	1,29144E-07

Zvočna izolirnost med prostori R' <sub>w</sub> [dB]:	<b>50,7</b>
--	-------------

Slika 8: Program v okolju MS Excel

### Opis polj v programu:

Prvi sklop programa:

Opis obravnavanih prostorov: v tem delu vpišemo velikost obravnavanih prostorov v metrih, vpisati je potrebno višino in širino mejnega elementa ter globini sprejemnega in oddajnega prostora (merodajne so notranje svetle mere prostora).

Drugi sklop programa:

Opis elementa in njegove lokacije v obravnavanih prostorih: tu so opisani elementi, na katere se nanašajo polja za vnos podatkov v naslednjih treh stolpcih, zgornji štirje elementi se nanašajo na oddajni prostor, srednji element predstavlja mejni element, spodnji štirje elementi pa se nanašajo na sprejemni prostor. Elementa, ki sta v isti ravnini na strani oddajnega in sprejemnega prostora, zapišemo pod elementa z isto zaporedno številko. Površinska gostota: vpišemo površinsko gostoto celotne konstrukcije obravnavanega elementa v kg/m<sup>2</sup>.

Zvočna izolirnost elementa: vpišemo podatek o zvočni izolirnosti elementa; laboratorijsko izmerjeno zvočno izolirnost, izračunano oceno zvočne izolirnosti (glej poglavje 4.3) ali drugače pridobljeni zvočni izolirnosti elementa, v dB.

Izboljšanje zvočne izolirnosti: vpišemo podatek o izboljšanju zvočne izolirnosti elementa zaradi dodatnih oblog, slojev; izmerjeno izboljšanje zvočne izolirnosti, izračunano oceno izboljšanja zvočne izolirnosti (glej poglavje 4.4) ali drugače pridobljeno izboljšanje zvočne izolirnosti elementa, v dB

Tretji sklop programa:

Prehod zvoka po konstrukcijah iz strani oddajnega prostora proti sprejemnemu prostoru: tu so opisani prehodi zvoka po konstrukciji v smereh Dd, Ff, Df in Fd (glej Slika 4), na katere se nanašajo podatki in vnosna polja desno od stolpca.

Oznaka poti zvoka: oznake poti zvoka skladno s smermi Dd, Ff, Df in Fd (glej Slika 4).

Veličina M: logaritem količnika med površinskima gostotama elementov v spoju, na podlagi katerega program izračuna faktor dušenja pri spojih (program izračuna sam).

Izbira vrste spoja: na podlagi izbranega spoja program izračuna faktor dušenja vibracij pri spojih elementov, kot to opisuje dodatek E standarda SIST EN 12354-1. Za posamezen sklop elementov je potrebno izbrati pravilno vrsto spoja in smer prehoda zvoka preko spoja.

Opis vrste spojev:

- A1 Togi križni spoj: prenos vibracij iz prostora v prostor v smeri  $K_{13}$ ,
- A2 Togi križni spoj: prenos vibracij iz prostora v prostor v smeri  $K_{12}$ ,
- B1 Togi T – spoj: prenos vibracij s smeri  $K_{13}$ ,
- B2 Togi T – spoj: prenos vibracij s smeri  $K_{12}$ ,
- C1 Spoj sten s fleksibilnim vmesnim slojem: prenos vibracij s smeri  $K_{13}$ ,
- C2 Spoj sten s fleksibilnim vmesnim slojem: prenos vibracij s smeri  $K_{24}$ ,
- C3 Spoj sten s fleksibilnim vmesnim slojem: prenos vibracij s smeri  $K_{12}$ ,
- D1 Spoj z lahko fasado: prenos vibracij s smeri  $K_{13}$ ,
- D2 Spoj z lahko fasado: prenos vibracij s smeri  $K_{12}$ ,
- E1 Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi: prenos vibracij s smeri  $K_{13}$ ,
- E2 Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi: prenos vibracij s smeri  $K_{24}$ ,
- E3 Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi: prenos vibracij s smeri  $K_{12}$ ,
- F1 Spoj lahkih povezanih dvojnih sten: prenos vibracij s smeri  $K_{13}$ ,
- F2 Spoj lahkih povezanih dvojnih sten: prenos vibracij s smeri  $K_{12}$ ,
- G1 Kotni spoj
- G2 Sprememba debeline

Faktor dušenja vibracij: izračunani faktorji dušenja vibracij pri spojih za posamezen sklop elementov (program izračuna sam).

Zvočna izolirnost v smeri  $ij$   $R_{ij,w}$ : izračunana zvočna izolirnost za pot zvoka skozi posamezen sklop elementov (program izračuna sam).

Vmesni rezultat  $10^{R_{ij,w}/10}$ : predstavlja vmesni rezultat  $10^{R_{ij,w}/10}$  iz (9) za posamezno pot zvoka skladno s smermi Dd, Ff, Df in Fd (glej Slika 4) (program izračuna sam).

Zvočna izolirnost med prostori  $R'_w$ : izračunana zvočna izolirnost med oddajnim in sprejemnim prostorom, negativni desetkratni logaritem seštevka vmesnih rezultatov za posamezno pot hrupa (glej (9)) (program izračuna sam).

#### 4.7. Ocena zvočne izolirnosti med prostoroma preko stene

V nadaljevanju je prikazan izračun zvočne izolirnosti med dvema prostoroma z izdelanim programom in upoštevanjem izračunanih zvočnih izolirnosti iz Preglednice 5 ter pridobljenih podatkov proizvajalcev iz Preglednice 6.

V Preglednici 14 so prikazane izračunane zvočne izolirnosti med prostori za konstrukcije iz Preglednice 5 z upoštevanjem stikov in prehodov hrupa skladno s poglavji 4.5.1, 4.5.2 in 4.5.3. Vidimo, da je zvočna izolirnost v dejanskem okolju občutno manjša od izračunane

zvočne izolirnosti samostojnega elementa. Večja kot je zvočna izolirnost osnovnega elementa, večja je razlika.

Preglednica 14: Zvočna izolirnost med prostori iz izračunanih podatkov

Zap. Št.	Vrsta materiala zidu / medetažne konstrukcije	Površinska gostota elementa [kg/m <sup>2</sup> ]	Zvočna izolirnost elementa $R_w$	Zvočna izolirnost med prostori $R'_w$
1.	Modularna opeka 19 cm	342,00	53	50,6
2.	Modularna opeka 29 cm	522,00	60	56,2
3.	Klinker opeka 12 cm	228,00	46	44,1
4.	Armiran beton 15 cm	360,00	54	51,3
5.	Armiran beton 20 cm	480,00	59	55,5
6.	Armiran beton 25 cm	600,00	62	57,6
7.	Armiran beton 30 cm	720,00	65	59,3
8.	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	414,00	56	53,1
9.	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	594,00	62	57,6
10.	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	156,00	40	38,3
11.	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	150,00	40	38,3
12.	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	176,00	42	40,2
13.	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	170,00	42	38,2

V Preglednici 15 so prikazane izračunane zvočne izolirnosti med prostori za konstrukcije iz Preglednice 6 z upoštevanjem stikov in prehodov hrupa skladno s poglavji 4.5.1, 4.5.2 in 4.5.3.

Vidimo, da je zvočna izolirnost v dejanskem okolju manjša od zvočne izolirnosti samostojnega elementa. Razlike pri lahkih montažnih večslojnih konstrukcijah niso tako velike kot pri težkih homogenih konstrukcijah. To je posledica uporabe različnih vrst stikov pri izračunu in manjših površinskih gostot elementov. Zvok se po težkih togih homogenih konstrukcijah prenaša bolje kot po lahkih večplastnih konstrukcijah.

Preglednica 15: Zvočna izolirnost med prostori iz pridobljenih podatkov

Vrsta konstrukcije	Zap. Št.	Oznaka konstrukcije	Opis konstrukcije	Površinska gostota elementa [kg/m <sup>2</sup> ]	Zvočna izolirnost elementa $R_w$	Zvočna izolirnost med prostori $R'_w$
Mavčno kartonska stena z enojno mavčno kartonsko oblogo	14.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	27,00	41	40,3
	15.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	28,00	45	44,2
	16.	W111	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, enoslojna obloga	29,00	47	46,1
Mavčno kartonska stena z dvojno mavčno kartonsko oblogo	17.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	48,00	51	49,9
	18.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	49,00	54	52,5
	19.	W112	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga	50,00	56	54,1
Mavčno kartonska stena z trojno mavčno kartonsko oblogo	20.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	68,00	56	54,1
	21.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	69,00	58	55,5
	22.	W113	Pregradna stena - enojna podkonstrukcija, troslojna obloga	70,00	60	56,8
Mavčno kartonska stena z trojno mavčno kartonsko oblogo	23.	W115W	Medstanovanjska stena - dvojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga + 5. sloj plošč v notranjosti stene	83,00	72	60,1
	24.	W115W	Medstanovanjska stena - dvojna podkonstrukcija, dvoslojna obloga + 5. sloj plošč v notranjosti stene	65,00	70	59,9
Lesene montažne stene	25.	iwmxx01a 00	Lesena križno lepljena plošča obojestranska enoslojna mavčno kartonska obloga	67,50	38	37,3

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 15

Lesene montažne stene	26.	iwmxx01b 00	Lesena križno lepljena plošča obojestranska dvoslojna mavčno kartonska obloga	87,50	38	37,3
Opečna stena obojestransko ometana	27.	Goro max 19-50 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 19 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	237,00	52	50,7
	28.	Goro term 39	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 39 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	396,00	56	53,9
	29.	Go term 29 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 29 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	223,00	53	51,6
	30.	Goro term 25 PU	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	298,00	52	50,7
	31.	MB 29 - 19	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 29 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	295,00	54	52,4
	32.	Zvočno izolacijska opeka	Obojestransko ometana zvočno izolacijska opečna stena zapolnjena z malto, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	1.528,00	61	57,3
	33.	Porotherm 25 SSZ HD	Obojestransko ometana opečna stena, debelina opeke 25 cm, debelina ometa 2,5 do 3,0 cm	410,00	56	53,9

Po opisanem postopku lahko izračunamo tudi prehod zvoka med prostori, kadar je mejni element horizontalna medetažna konstrukcija. V tem primeru se izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih slojev nanaša na mejni element (plavajoči estrih), ostali elementi pa so stene. S programom se izračuna zvok v zraku med prostori preko medetažne plošče, ne pa tudi udarnega hrupa, le-ta se izračuna skladno s standardom SIST EN 12354 – 2 Akustika v

stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb – 2. del: Izolirnost pred udarnim hrupom med prostori.

#### 4.8. Pomembnost pravilne izbire spojev

V tem poglavju je prikazana pomembnost pravilne izbire spoja pri izračunu zvočne izolirnosti med prostori. V Preglednici 16 je prikazana zvočna izolirnost za konstrukcije sten pod zap. št. 4 iz Preglednice 5 (armirano betonska stena, debeline 15 cm) brez izboljšanja zaradi dodatnih slojev in konstrukcijo medetažnih plošč pod zap. št. 4 iz Preglednice 8 z upoštevanjem izboljšanja zvočne izolirnosti zaradi plavajočega estriha (armirano betonska plošča debeline, 15 cm in plavajoči estrih v sestavi: 2 cm keramične ploščice položene v lepilu, 6 cm cementni estrih in 4 cm zvočna izolacija iz mineralne volne z deklarirano dinamično togostjo  $15 \text{ MN/m}^3$ ). Izračun je opravljen skladno s poglavji 4.5.1, 4.5.2 in 4.5.3. Izračunana zvočna izolirnost je odvisna samo od izbranih spojev konstrukcij in smeri prehoda zvoka. S tem sem pokazal pomembnost pravilne izbire in vpliv vrste spojev na zvočno izolirnost med prostori.

Dimenzije prostorov so  $\text{š} / \text{d} / \text{v}$  3,60 m / 5,40 m / 2,60 m, površinska gostota elementov prostora znaša  $360 \text{ kg/m}^2$ , zvočna izolirnost elementa je 54 dB, z izjemo tal, kjer je površinska gostota  $526 \text{ kg/m}^2$ , zvočna izolirnost pa 54 dB z upoštevanim izboljšanjem zaradi plavajočega estriha 8 dB.

Preglednica 16: Zvočna izolirnost med prostori glede na izbrano vrsto spoja in smer prehoda skozi spoj

Zap. Št.	Oznaka izbranega spoja	Opis izbranega spoja	Zvočna izolirnost med prostori $R'_w$
1.	A	Togi križni spoj	52,5
2.	B	Togi T – spoj	51,4
3.	C	Spoj sten s fleksibilnim vmesnim slojem smer prehoda m1 -> m3	52,5
4.	C	Spoj sten s fleksibilnim vmesnim slojem smer prehoda m2 -> m4	52,5
5.	E	Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi smer prehoda m1 -> m3	52,9
6.	E	Spoj lahke dvojne stene s homogenimi elementi smer prehoda m2 -> m4	51,7
7.	F	Spoj lahkih povezanih dvojnih sten	52,9
8.	G2	Sprememba debeline	43,8

Vidimo, da izbira vrste spoja in smeri prehoda vibracij skozi spoj vpliva na izračun zvočne izolirnosti med prostori. Spoji z oznakami od A do F so spoji, ki bi jih v primeru izračuna med prostori, lahko uporabili ali izvedli, spoj G2 pa predstavlja spremembo debeline konstrukcije in je v tabeli naveden kot napaka pri izbiri spoja. Odstopanje med spoji od A do F znaša 1,5 dB, kar z vidika akustike ni veliko. V primeru napake in izbire spoja G2, pa s primerjavo med spojema E in G2 dobimo odstopanje 9,1 dB, kar pa je že zelo veliko. Seveda je sam vpliv vrste izbranega spoja odvisen tudi od drugih parametrov, predvsem površinske gostote konstrukcij in dimenzij prostorov (dolžine stikov posameznih elementov).

## 5. NAPOTKI ZA PROJEKTANTE

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah predvideva, da je za projektiranje in gradnjo novih stavb ter rekonstrukcijo in vzdrževanje obstoječih stavb v fazi projektiranja potrebno izdelati elaborat in izkaz zaščite pred hrupom v stavbah, po končani gradnji pa izvesti meritve zvočne izolirnosti za konstrukcije, obravnavane v elaboratu in izkazu (za enostanovanjske objekte meritve niso potrebne).

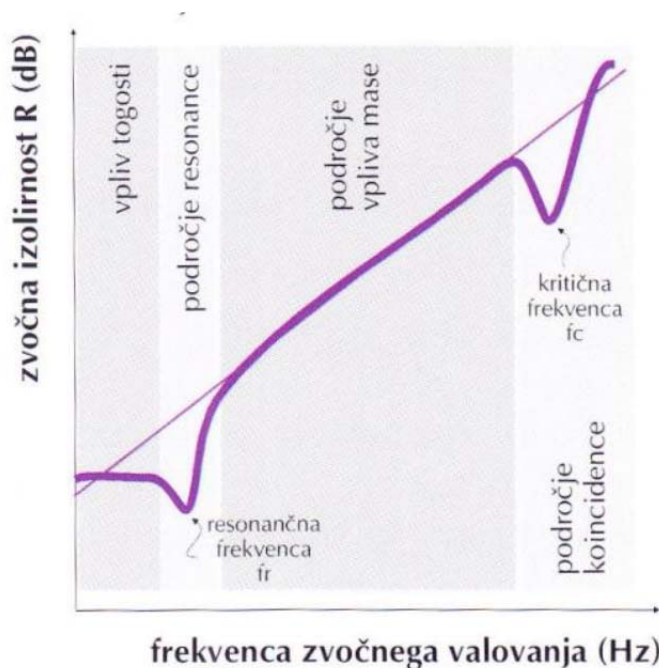
Za enostanovanjske objekte pravilnik predvideva samo izračun zvočne izolirnosti pred zunanjim hrupom, za ostale objekte pa je potrebno preveriti tudi ostale vrste hrupa (hrup, ki po zraku prihaja iz drugih prostorov, udarni hrup, hrup obratovalne opreme in odmevni hrup). V pravilniku so navedene izjeme, za katere elaborat in izkaz nista potrebna. Elaborat in izkaz sta sestavni del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, s tem so projektanti prisiljeni razmišljati o zvočni izolirnosti objekta že v času projektiranja objekta, v kasnejših fazah projektiranja in same gradnje pa ni predvidenih nobenih ukrepov za zagotavljanje varstva pred hrupom vse do izvedbe meritev na že končanem objektu.

V diplomu sem se osredotočil na hrup, ki v prostor prehaja po zraku iz drugih prostorov. Prikazano je, da zvočna izolirnost konstrukcije (elementa) ni enaka zvočni izolirnosti med prostori. Zvočna izolirnost med prostori je poleg zvočnih izolirnosti konstrukcij (elementov) odvisna tudi od dimenzij obravnavanih prostorov, vrste stikov med konstrukcijami, dodatnih slojev na konstrukciji, oslabitev konstrukcij in drugih prehodov hrupa med prostori (direktni prehod zvoka, prehod zvoka preko drugih prostorov).

Projektant lahko na podlagi zahtev iz pravilnika in pripadajoče tehnične smernice ter tipa gradnje objekta iz izračunanih zvočnih izolirnosti med prostori izbere konstrukcijo in njeno debelino, ki zadostuje zahtevam in si tako olajša v iterativnem procesu projektiranja „ugibanje“ o potrebni konstrukciji. Ustreznost konstrukcije je kasneje treba dejansko dokazati v elaboratu zaščite pred hrupom z upoštevanjem dejanskih razmer v predvidenem objektu.

Pri zagotavljanju ustrezne zvočne izolirnosti med prostori je potrebno upoštevati sledeča pravila:

- večje površinske gostote ločilnih elementov na splošno zagotavljajo večjo zvočno izolirnost elementov,
- z uporabo večslojnih ločilnih elementov se zagotovi večja zvočna izolirnost elementov,
- zvočna izolirnost elementa se v splošnem povečuje z višanjem frekvence zvoka, vendar ima vsaka stena frekvenčni interval, pri katerem pride do področje resonance, in t. i. koincidence (resonance prostora), kjer zvočna izolirnost stene upade in je lahko nezadostna (glej Slika 9),
- izogibati se je potrebno kakršnim koli odprtina skozi mejni element in oslabitvam elementa, tudi zaradi instalacij,
- okna in vrata je potrebno akustično obdelati,
- popolnoma se je potrebno izogniti zvočnim mostovom pri gradnji objekta (pogoste so napake pri izdelavi plavajočih estrihov in izvedbi prebojev skozi elemente za izvedbo inštalacij).



Slika 9: Idealiziran potek izolirnosti sten v odvisnosti od frekvenc, primer enojne pregradne stene (Medved, 2014, str. 260)

Oslabitve in odprtine v elementu predstavljajo najšibkejši člen v zvočni izolirnosti elementa. Večji kot je delež teh odprtin, slabša je skupna zvočna izolirnost konstrukcije. Enako velja tudi za oslabitve v konstrukciji, kot so okna, vrata, oslabitve zaradi inštalacij ... V primeru, da imamo v osnovnem elementu akustično neobdelano odprtino, skupno zvočno izolirnost izračunamo po enačbi (SIST EN 12354-1, 2001):

$$R'_w = -10 \log(p) \quad (21)$$

kjer je:

$p$  delež odprtin glede na celotno površino.

Iz tega sledi, da je največja mogoča zvočna izolirnost konstrukcije pri deležu odprtin:

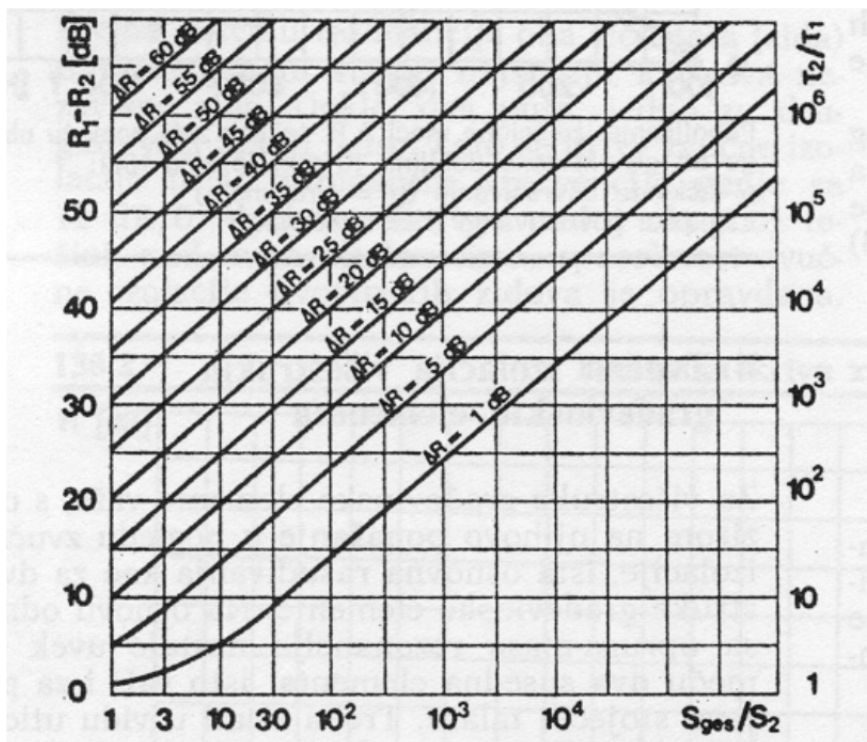
$$p = 1/1000 \rightarrow 30 \text{ dB},$$

$$p = 1/100 \rightarrow 20 \text{ dB},$$

$$p = 1/10 \rightarrow 10 \text{ dB}.$$

Podobno velja za vpliv oken in vrat v elementu, ki predstavljajo poslabšanje zvočne izolirnosti. Običajno je zvočna izolirnost oken ali vrat relativno majhna v primerjavi z zvočno izolirnostjo osnovnega elementa, zato je njihov vpliv na skupno zvočno izolirnost dokaj velik. Vpliv stavbnih elementov (odprtin) na izolacijsko moč danega gradbenega elementa je odvisen od površine in oblike oken in vrat, t. j. objektov manjše zvočne izolirnosti, kot jo poseduje sama stena (Cvikl, 2002).





Slika 10: Prikaz zmanjšanja izolirnosti elementa zaradi odprtine, ki jo zapolnjuje predmet manjše zvočne izolirnosti (Cvikl, 2002, str. 271)

Na Slika 10 je prikazano zmanjšanje zvočne izolirnosti elementa zaradi vstavljenega elementa z manjšo zvočno izolirnostjo, kjer so:  $R_1$  je izolirnost gradbenega elementa,  $R_2$  je izolirnost vgrajenega predmeta površine  $A_2$  (t. j.  $S_2$  na diagramu) manjše zvočne izolirnosti in  $A_{ges}$  (t. j.  $S_{ges}$ ) je celotna površina stene vključno s odprtino površine  $A_2$  (Cvikl, 2002).

Na dejansko raven hrupa v sprejemnem prostoru vpliva poleg zvočne izolirnosti tudi odmevni čas oddajnega in sprejemnega prostora. Na strani oddajnega prostora z zmanjšanjem odmevnega časa zmanjšamo zvočno moč vpadlo na elemente, na strani sprejemnega prostora pa zmanjšamo zvočno moč v prostoru, saj se hrup ne akumulira v prostoru. Odmevni čas in odmevni hrup skladno s tehnično smernico obravnava standard SIST EN 12354-6 Absorpcija zvoka v zaprtih prostorih.

V Tehnični smernici TSG – 1 – 005 : 2012 Zaščita pred hrupom v stavbah so v poglavju 1.2 Mejne vrednosti izolirnosti in maksimalne ravni zvočnega tlaka udarnega hrupa notranjih ločilnih elementov v Preglednicah od 4 do 10 opredeljene mejne vrednosti izolirnosti pred zvokom v zraku med prostori in maksimalne ravni zvočnega tlaka udarnega hrupa za posamezne notranje ločilne konstrukcije glede na namembnost prostorov in CC-SI klasifikacijo objektov. Pri projektiranju objektov je potrebno (z izračunom kot v tej diplomski nalogi) dokazati, da bodo minimalne zahteve ob tem zagotovljene.

Na koncu diplomske naloge sem v prilogah izdelal primerjavo izračunanih zvočnih izolirnosti iz Preglednice 14 in Preglednice 15 z mejnimi vrednostmi zvočne izolirnosti iz preglednic od 4 do 10 na straneh od 11 do 14 Tehnični smernici TSG – 1 – 005 : 2012 Zaščita pred hrupom v stavbah. Za vsako od izračunanih konstrukcij je opisano, ali je primerna (DA/NE) za posamezno funkcijo ločilne konstrukcije iz tehnične smernice. Vrednosti v prilogah se

nanašajo na izračunane vrednosti iz te diplomske naloge skladno s predpostavkami in pogoji, podanimi v poglavjih 4.5.1, 4.5.2 in 4.5.3.

V Prilogi A je izvedena primerjava konstrukcij iz Preglednice 14 zvočne izolirnosti, izračunane na podlagi površinske gostote pogosto uporabljenih gradbenih materialov z mejnimi vrednostmi zvočne izolirnosti iz tehnične smernice.

V Prilogi B je izvedena primerjava konstrukcij iz Preglednice 15 zvočne izolirnosti, izračunane na podlagi tehničnih listov proizvajalcev z mejnimi vrednostmi zvočne izolirnosti iz tehnične smernice.

V stolpcih so pod zaporednimi številkami opisane stenske konstrukcije in njihove zvočne izolirnosti (kot v poglavju 4.7). V vrsticah so pod zaporedno številko opisane konstrukcije notranjih ločilnih elementov in njihove mejne vrednosti zvočne izolirnosti skladno s tehnično smernico. Tabele so razdeljene glede na CC-SI klasifikacijo objektov, kot je to narejeno v tehnični smernici.

**Omenjena primerjava je izvedena za izbrani prostor (kot je opisano v poglavju 4.5.2 Parametri upoštevani pri izračunu zvočne izolirnosti med prostori) in ne velja za poljubne prostore in kombinacije elementov! Izračun zvočne izolirnosti med prostori je potrebno izvesti za dejanske razmere v projektiranem objektu, navedena primerjava pa vam lahko služi kot smernica pri izbiri vrste in dimenzij konstrukcije.**

## 6. PRIMERJAVA PROGRAMOV

V Sloveniji so trenutno dostopni trije programi za izračun zaščite pred hrupom v stavbah, ki nam omogočajo izračun hrupa skladno z veljavnim pravilnikom zaščite pred hrupom v stavbah in pripadajoče tehnične smernice ter izdelavo potrebnega elaborata in izkaza, ki sta sestavni del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja.

V nadaljevanju so predstavljeni v Sloveniji dostopni programi SONITUS, HRUP 13 in URSA FRAGMAT - Akustika 2.1., za primerjavo pa sem dodal še program BASTIAN The Building Acoustics Planning System. Izračun vseh naštetih programov bazira na sklopu standardov SIST EN 12354.

Za primerjavo med programi sta uporabljena identična prostora, kot sta opredeljena v poglavju 4.5.2. Vsi elementi prostorov (stene, plošče in mejna stena) so upoštevani kot masivni elementi iz armiranega betona, debeline 10 cm brez dodatnih oblog. Upoštevana površinska gostota stene v programih Sonitus in Hrup 13 je  $240 \text{ kg/m}^2$ , podatki o zvočni izolirnosti po frekvenčnih pasovih za programa Ursa Fragmat in Bastian pa so povzeti iz podatkovne baze Bastian.

### 6.1. Predstavitev programov

#### SONITUS

Program je dostopen na spletni strani Zbornice za arhitekturo in prostor Slovenije. Deluje na spletni strani zbornice in je brezplačen za vse člane zbornice z veljavno številko A, ki opravijo preizkus znanja uporabe programa. V osnovi je program razdeljen na dva dela in sicer SONITUS 1 in SONITUS PROJEKT. SONITUS 1 omogoča izračun zaščite pred zunanjim hrupom, ki je potreben za enostanovanjske objekte. Program SONITUS PROJEKT omogoča izračun vseh ravni zaščite pred hrupom skladno s pravilnikom, tehnično smernico in standardi SIST EN 12354-1, 12354-2, 12354-3, 12354-5 in 12354-6, torej lahko izračunamo vse vrste hrupa, ki so opredeljene v pravilniku in tehnični smernici.

Zvočno izolirnost med prostori s tem programom izračunavamo na podlagi poenostavljenega izračuna (enoštevilčna zvočna izolirnost elementa) iz površinske gostote elementov, tako kot je prikazano v tej diplomski nalogi ali iz znane zvočne izolirnosti (laboratorijsko izmerjene zvočne izolirnosti), ki jo vpišemo ročno. Na Slika 11 je prikazano pogovorno okno programa SONITUS PROJEKT.

Pred pričetkom izberemo, na kakšen način bomo določili zvočno izolirnost in za katere vrste mejni element gre (horizontalni ali vertikalni). Iz tabele skladno s tehnično smernico izberemo vrsto obravnavane konstrukcije in mejno vrednost zvočne izolirnosti pred zvokom v zraku iz drugih prostorov. Vpišemo dimenzije prostorov, iz katerih program avtomatično izračuna potrebne količine za izračun zvočne izolirnosti med prostori.

Za posamezni element vpišemo površinsko gostoto in ocenjeno izboljšanje zvočne izolirnosti zaradi dodatnih slojev na elementu. Vrsta spoja in smer prehoda vibracij se izbereta iz preglednice. Program sproti izračunava zvočno izolirnost med prostori in nas obvešča o ustreznosti konstrukcije.

## Izračunana zvočna izolirnost s programom Sonitus za izbrana prostora znaša 44,8 dB.

&lt;&lt; nazaj na projekt

## Izračun zvočne izolirnosti med prostori

Tip konstrukcije:  masivna  montažna (rezultat vnesite po podatkih iz **zbirke montažnih konstrukcij**)Naziv izračuna: **Test stena**Ločilni element:  vertikalni  horizontalnimin R'w: **52** [tabela]Višina predelne stene oz. obeh prostorov H = **2.6**Širina predelne stene S = **3.6**Dolžina prostora v katerem je izvor hrupa L1 = **4.8**Dolžina sprejemnega prostora L2 = **4.8**

		m' [kg/m <sup>2</sup> ]	Ocena iz gostote Rw [dB]	Ocena izboljšave zaradi dodatkov DRw [Db]	površina [m <sup>2</sup> ]	
Oddajni prostor	Stena1	240	47.2579215642	0	12.48	Specifična gostota nekaterih materialov <b>Material</b> <b>Gostota kg/m<sup>3</sup></b> Zid iz modularne opeke 1800 Zid iz betonskih blokov 1200 Armiran beton 2400 Podaljšana malta 1800 Apnena malta 1700 Cementna malta 2100 Mavčni omet 1000 Mavčna plošča 1700
	Stena2	240	47.2579215642	0	12.48	
	Tla	240	47.2579215642	0	17.28	
	Strop	240	47.2579215642	0	17.28	
Meja	Mejna stena	240	47.2579215642	0	9.36	
Sprejemni prostor	Stena1	240	47.2579215642	0	12.48	
	Stena2	240	47.2579215642	0	12.48	
	Tla	240	47.2579215642	0	17.28	
	Strop	240	47.2579215642	0	17.28	

## OPIS PRENOSA VIBRACIJ PO SPOJU

Oddajni prostor &gt; Sprejemni prostor

	M	Izbira spoja	a	b	c	d	abs(M)	Kij	Parcialna zvočna izolirnost	
Glavna stena > Glavna stena	RDd								47.25792	1.88022e-5
Stranska stena 1 > stranska stena 1	RFf1	0	B1 - [izberi iz tabele]	5.7	14.1	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Stranska stena 2 > stranska stena 2	RFf2	0	B1 - [izberi iz tabele]	5.7	14.1	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Tla > Tla	RFf3	0	A1 - [izberi iz tabele]	8.7	17.1	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7
Strop > Strop	RFf4	0	A1 - [izberi iz tabele]	8.7	17.1	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7
Glavna stena > Stranska stena 1	RDF1	0	B2 - [izberi iz tabele]	5.7	0	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Glavna stena > Stranska stena2	RDF2	0	B2 - [izberi iz tabele]	5.7	0	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Glavna stena > Tla	RDF3	0	A2 - [izberi iz tabele]	8.7	0	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7
Glavna stena > Strop	RDF4	0	A2 - [izberi iz tabele]	8.7	0	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7
Stranska stena 1 > Glavna stena	RFd1	0	B2 - [izberi iz tabele]	5.7	0	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Stranska stena 2 > Glavna stena	RFd2	0	B2 - [izberi iz tabele]	5.7	0	5.7	0	5.7	58.52095	1.40574e-6
Tla > Glavna stena	RFd3	0	A2 - [izberi iz tabele]	8.7	0	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7
Strop > Glavna stena	RFd4	0	A2 - [izberi iz tabele]	8.7	0	5.7	0	8.7	60.10766	9.75516e-7

Skupna zvočna izolirnost: **44.8** **ne ustreza**

Opombe:



shrani

Slika 11: Izračun zvočne izolirnosti s programom Sonitus Projekt

### **HRUP 13**

Program je komercialno dostopen na spletni strani podjetja, ki ga je izdelalo, in je plačljiv. Deluje v okolju MS Excel. Vnos podatkov se opravlja preko posameznih „delovnih listov”. Pri vnosu lahko izberete med predhodno vnesenimi konstrukcijami različnih proizvajalcev (Wienerberger, Goriške opekarne itd.), lahko pa vnesete lastne konstrukcije po standardu DIN 4109 oz. izračunane po metodologiji SIST EN 12354-1, dodatek B.

Izračun se opravlja na podlagi tehnične smernice in standardov SIST EN 12354-1, 12354-2 ter 12354-3. Program omogoča izračun zaščite pred zunanjim hrupom, hrupom v zraku med prostori, udarnim hrupom in odmevni hrup.

Pripomoček je na voljo v dveh različicah:

- za enodružinske stavbe – vsebuje le poglavje Zaščita stavb pred zunanjim hrupom.
- za vse ostale stavbe – elaborat poleg zaščite pred zunanjim hrupom vsebuje tudi poglavja Izolacija notranjih ločilnih sten pred hrupom v zraku, Izolacija konstrukcij pred udarnim zvokom in Obvladovanje odmevnega hrupa.

Zvočno izolirnost med prostori s tem programom izračunavamo na podlagi poenostavljenega izračuna (enoštevilčna zvočna izolirnost elementa) iz predhodno vnesenih konstrukcij različnih proizvajalcev, z lastnim vnosom konstrukcije po standardu DIN 4109 ali na podlagi površinske gostote elementov, tako kot je prikazano v tej diplomski nalogi. Na Slika 12 in Slika 13 je prikazano pogovorno okno programa Hrup 13.

Iz tabele skladno s tehnično smernico izberemo obravnavano konstrukcijo in vpišemo volumen sprejemnega prostora. Za vsakega od elementov prostorov iz baze podatkov izberemo osnovno konstrukcijo in morebitne dodatne obloge (konstrukcije lahko dodamo tudi sami). Za vsak element posebej vpišemo njegovo površino, za stranske elemente pa tudi dolžino stika z mejnim elementom. Iz baze izberemo tip spoja in vpišemo smeri prehoda vibracij. Program sproti izračunava zvočno izolirnost med prostori in jo primerja z zahtevano.

**Izračunana zvočna izolirnost s programom Hrup 13 za izbrana prostora znaša 44,8 dB.**

## Elaborat zaščite pred hrupom LOČILNE STENE

Stavba: CC-Si: Tabela: 

### IZRAČUN ZVOČNE IZOLATIVNOSTI ELEMENTA

Št. Opis ločilne konstrukcije:

Vrsta ločilne konstrukcije:

Volumen sprejemnega prostora:  m<sup>3</sup>

### LOČILNI ELEMENT

Konstrukcija:	Št. k.	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	ΔR [dB]
I. Armirani beton 2400, 10 cm	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="47,3"/>	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="9,4"/>	
Ojačitev/oslabitev na vsaki strani stene:	s' [MN/m <sup>3</sup> ]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	d [m]	ΔR [dB]	
1.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
2.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Izračun izolativnosti:		Rw[dB] 47,3	+ ΔR [dB] 0,0	=	<input type="text" value="47,3"/>

### 1. STRANSKI ELEMENT

Konstrukcija:	Št. k.	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	
II. Armirani beton 2400, 10 cm	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="47,3"/>	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="2,60"/>	
Ojačitev/oslabitev na vsaki strani ločilne konstrukcije:	s' [MN/m <sup>3</sup> ]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	d [m]	ΔR [dB]		
3.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
4.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tip spoja z ločilnim elementom:	Št. s.				Št. el.	
S1. Togi T-spoj	<input type="text" value="2"/>				Ločilni element:	<input type="text" value="2"/>
					Stranski el. F:	<input type="text" value="1"/>
					Stranski el. f:	<input type="text" value="3"/>

### 2. STRANSKI ELEMENT

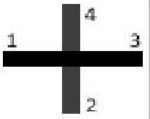
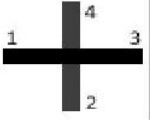
Konstrukcija:	Št. k.	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	
III. Armirani beton 2400, 10 cm	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="47,3"/>	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="2,60"/>	
Ojačitev/oslabitev na vsaki strani ločilne konstrukcije:	s' [MN/m <sup>3</sup> ]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	d [m]	ΔR [dB]		
5.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
6.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tip spoja z ločilnim elementom:	Št. s.				Št. el.	
S2. Togi T-spoj	<input type="text" value="2"/>				Ločilni element:	<input type="text" value="2"/>
					Stranski el. F:	<input type="text" value="1"/>
					Stranski el. f:	<input type="text" value="3"/>

Slika 12: Izračun zvočne izolirnosti s programom Hrup 13 stran 1

## Elaborat zaščite pred hrupom LOČILNE STENE

Stavba:

CC-Si:  Tabela:

IZRAČUN ZVOČNE IZOLATIVNOSTI ELEMENTA							
Št. Opis ločilne konstrukcije:							
1	Stena med stanovanjema						
Vrsta ločilne konstrukcije:							
Stena med stanovanjem ali oskrbovanima stanovanjema <span style="float: right;">▼</span>							
3. STRANSKI ELEMENT							
Konstrukcija:		Št. k.	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	
IV.	Armirani beton 2400, 10 cm <span style="float: right;">▼</span>	1	47,3	240	17,3	3,60	
Ojačitev/oslabitev na vsaki strani ločilne konstrukcije:			s' [MN/m <sup>3</sup> ]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	d [m]	ΔR [dB]	
7.	<span style="float: right;">▼</span>						
8.	<span style="float: right;">▼</span>						
Tip spoja z ločilnim elementom:		Št. s.				Št. el.	
S3.	Togi križni spoj <span style="float: right;">▼</span>	1				Ločilni element:	2
						Stranski el. F:	1
						Stranski el. f:	3
4. STRANSKI ELEMENT							
Konstrukcija:		Št. k.	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	
V.	Armirani beton 2400, 10 cm <span style="float: right;">▼</span>	1	47,3	240	17,3	3,60	
Ojačitev/oslabitev na vsaki strani ločilne konstrukcije:			s' [MN/m <sup>3</sup> ]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]	d [m]	ΔR [dB]	
9.	<span style="float: right;">▼</span>						
10.	<span style="float: right;">▼</span>						
Tip spoja z ločilnim elementom:		Št. s.				Št. el.	
S4.	Togi križni spoj <span style="float: right;">▼</span>	1				Ločilni element:	2
						Stranski el. F:	1
						Stranski el. f:	3
<b>Zahtevana izolirnost [dB]:</b>			<b>R'w</b>	<b>DnT,w</b>			
<b>Izračunana izolirnost [dB]:</b>			52,0	46,8			
<b>USTREZNOST ZAŠČITE:</b>			44,8	NE			
Licenca za uporabo pripomočka Hrup 13: ARHIM d.o.o., Slakova ulica 36, 8210 Trebnje							

Slika 13: Izračun zvočne izolirnosti s programom Hrup 13 stran 2

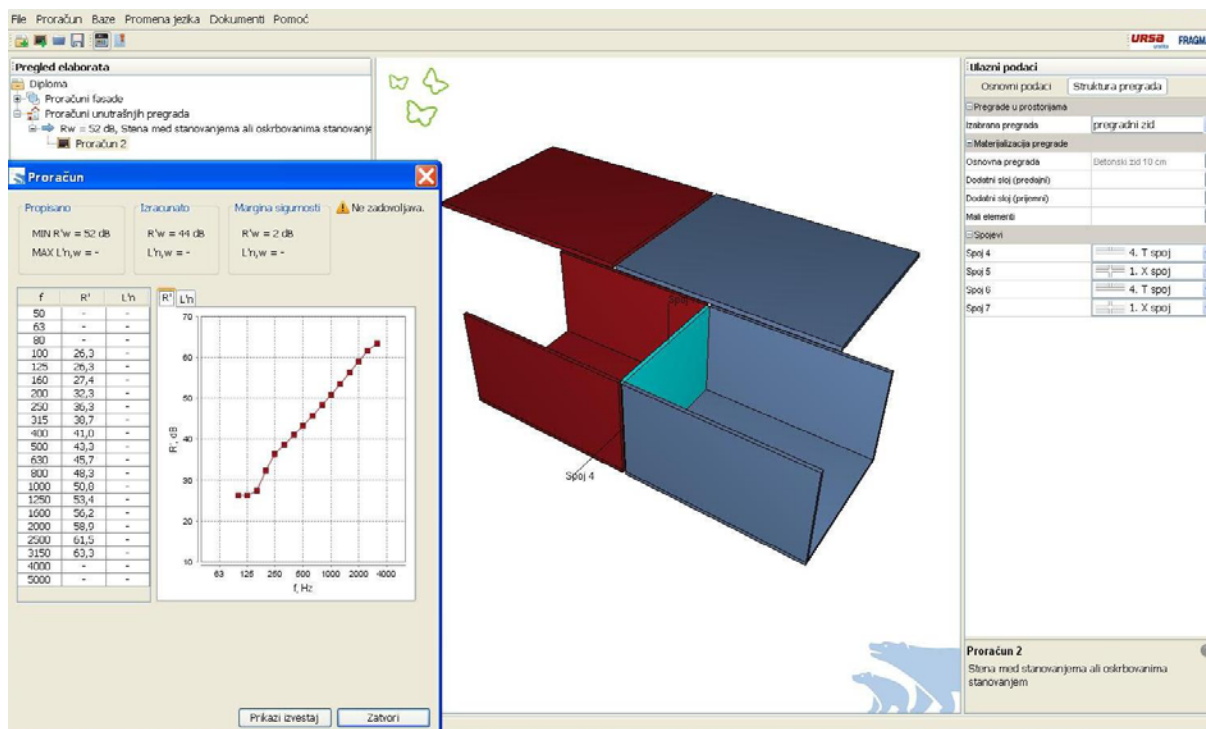
## URSA FRAGMAT - Akustika 2.1.

Računalniški program je komercialno dostopen na spletni strani podjetja, ki ga je izdelalo, in je plačljiv. Ursa Fragmat – Akustika je programski paket za izračun zvočne izolirnosti gradbenih konstrukcij. Razvit je v skladu s sklopom standardov SISIT EN 12354 ter Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah. Izračun zajema tako izolirnost oboda objekta pred zunanjim hrupom, izolirnost pred hrupom, ki se širi po zraku (pregradne in medetažne konstrukcije) in izolirnost pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij.

Zvočno izolirnost med prostori s tem programom izračunavamo na podlagi natančnega izračuna (po frekvenčnih pasovih) iz predhodno vnesenih konstrukcij ali z lastnim vnosom zvočne izolirnosti konstrukcije po frekvenčnih pasovih. Na Slika 14 je prikazano pogovorno okno programa Ursa Fragmat - Akustika.

Za obravnavana prostora najprej vpišemo dimenzije prostorov, nato za vsak posamezni element iz baze podatkov izberemo osnovno konstrukcijo in morebitne dodatne obloge konstrukcije. Za vsak spoj izberemo vrsto spoja, ni pa nam potrebno določati poti prehoda vibracij. Posebnost tega programa je, da moramo izbrati tudi stike med stranskimi elementi. Program izračuna zvočno izolirnost v frekvenčnih pasovih, na podlagi izračunanih vrednosti izdela graf, skladno s standardom SIST EN 717-1 pa nam poda tudi enoštevilčno zvočno izolirnost.

### Izračunana zvočna izolirnost s programom Ursa Fragmat – Akustika za izbrana prostora znaša 44 dB.



Slika 14: Izračun zvočne izolirnosti s programom Ursa Fragmat - Akustika



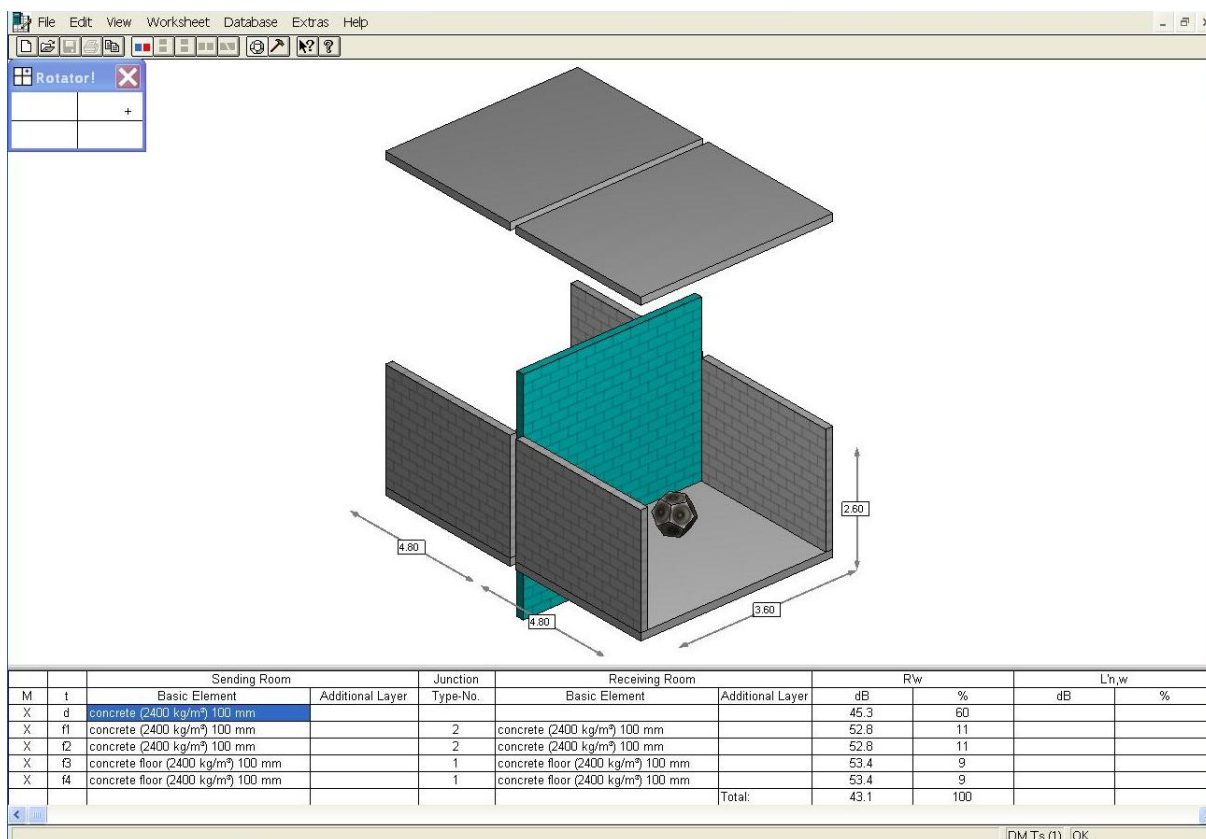
## BASTIAN - The Building Acoustics Planning System

Bastian je tuj računalniški program, ki je komercialno dostopen, in je plačljiv, za delo je potrebno dokupiti različne baze podatkov za posamezne konstrukcije tako od samih proizvajalcev kot znanih podatkov iz posameznih standardov (za osnovne konstrukcije, dodatne obloge, okna, vrata ...). Ročni vnos podatkov v program ni mogoč. Bastian je programski paket za izračun zvočne izolirnosti gradbenih konstrukcij proti hrupu v zraku in udarnemu hrupu. Razvit je v skladu s sklopom standardov SISIT EN 12354. Izračun zajema tako izolirnost oboda objekta pred zunanji hrupom, izolirnost pred hrupom, ki se širi po zraku (pregradne in medetažne konstrukcije) in izolirnost pred udarnim zvokom medetažnih konstrukcij.

Zvočno izolirnost med prostori s tem programom izračunavamo na podlagi natančnega izračuna (po frekvenčnih pasovih) iz baze podatkov v programu. Na Slika 15 je prikazano pogovorno okno programa Bastian.

Za obravnavana prostora najprej vpišemo dimenzije prostorov, nato za vsak posamezni element iz baze podatkov izberemo osnovno konstrukcijo in morebitne dodatne obloge konstrukcije. Za vsak spoj izberemo vrsto spoja, ni pa nam potrebno določati poti prehoda vibracij. Program izračuna zvočno izolirnost v frekvenčnih pasovih, skladno s standardom SIST EN 717-1 pa nam poda tudi enoštevilično zvočno izolirnost. Vse izračunane podatke lahko izvozimo v Excel datoteko za nadaljnjo uporabo.

### Izračunana zvočna izolirnost s programom Bastian za izbrana prostora znaša 43,1 dB.



Slika 15: Izračun zvočne izolirnosti s programom Bastian

## 6.2. Primerjava rezultatov

V Preglednici 17 so prikazani rezultati izračuna z različnimi programi pod enakimi pogoji. Za primerjavo je dodana tudi izračunana zvočna izolirnost z orodjem, izdelanim in uporabljenim v tej diplomski nalogi.

Preglednica 17: Primerjava rezultatov zvočne izolirnosti različnih programov

Program	Zvočna izolirnost med prostori R'w
DIPLOMA	44,5
SONITUS	44,8
HRUP 13	44,8
URSA FRAGMAT - AKUSTIKA	44,0
BASTIAN	43,1

Vidimo da so rezultati v območju 1,7 dB, Sonitus in Hrup 13 uporabljata enak postopek izračuna zato so tudi rezultati enaki. V diplomi sem upošteval celoštevilčno zvočno izolirnost (zaokroženo na spodnjo celo številko), zaradi česar je rezultat nekoliko manjši. Ursa Fragmat in Bastian uporabljata enak postopek, kljub uporabi enakih podatkov zvočne izolirnosti pa se rezultati nekoliko razlikujejo. Ursa Fragmat upošteva varnostni faktor 2 dB in rezultat zaokrožuje na celo število. Pri Bastianu pa sem opazil, da se zvočna izolirnost stene in medetažne konstrukcije razlikuje kljub uporabi enakih materialov in debelin. To pa je verjetno vzrok za različne rezultate.

## 7. ZAKLJUČEK

Hrup v sodobnem okolju predstavlja velik problem, saj je dokazano, da slabo vpliva na človekovo počutje in zdravje, hkrati pa nas obkroža vedno več naprav in drugih virov, ki povzročajo hrup v bivalnem okolju. S tem znižujejo kakovost bivanja, povzročajo nepotreben stres in škodujejo našemu zdravju. Pri projektiranju in gradnji objektov se varovanje pred hrupom pogosto zanemari, saj se vsa pozornost posveča drugim področjem gradnje in delovanja objektov (npr. učinkoviti rabi energije, zmanjšanju stroškov gradnje ...). Takšen odnos do onesnaževanja s hrupom je verjetno tudi v osnovi lastnost človeka, saj se onesnaževanje preneha takoj po izključitvi vira. Same psiho-fizične posledice pa zanemarjamo (Čudina, 2014, Krainer, 1993).

S področja varovanja pred hrupom v stavbah so najpomembnejše vrste hrupa: hrup iz okolja, hrup iz sosednjih prostorov, ki se širi po zraku in udarni hrup v stavbah, ki se širi po konstrukciji. Poleg omenjenih pa je pozornost potrebno posvetiti tudi odmevnemu hrupu in hrupu obratovalne opreme. Odmevni hrup je lahko zelo moteč predvsem v predavalnicah, koncertnih dvoranah, telovadnicah, športnih dvoranah, hodnikih in ostalih prostorih večjih dimenzij, kjer je potrebno nastopajočo osebo razločno slišati oziroma želimo omejiti hrup, ki nastaja v prostoru. Hrup obratovalne opreme pa je problematičen predvsem pri prezračevalnih napravah, kjer se pogosto sliši ropot ventilatorja, pretok zraka po sistemu in skozi rešetke, nemalokrat pa se zgodi, da preko prezračevalnega sistema slišimo dogajanje iz sosednjega prostora. Moteč pa je lahko tudi hrup, ki ga povzročajo vodovodni in ogrevalni sistemi in druge instalacije (TSG -1-005, 2012).

Pri izdelavi diplomske naloge sem se osredotočil na hrup med prostori, ki se iz sosednjih prostorov širi po zraku. Ta vrsta hrupa je problematična predvsem v večstanovanjskih stavbah, hotelih in na splošno v objektih, ki jih uporabljajo različni uporabniki oziroma imajo več enot, prostori pa so namenjeni različnim dejavnostim. Da bi zagotovili udobno bivanje v objektih in zdravje uporabnikov objektov, je potrebno hrup iz sosednjih prostorov zmanjšati na minimum. Le to pa dosežemo z učinkovito zvočno izolirnostjo mejnih in stranskih elementov prostorov, kot tudi notranjega stavbnega pohištva.

V diplomski nalogi sem predstavil izračun zvočne izolirnosti pred zvokom v zraku med prostori skladno s standardom SIST EN 12354-1 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori, Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah Uradni list RS, št. 10/2012 z dne 10. 2. 2012 in Tehnično smernico TSG – 1 – 005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah.

Tehnična smernica je predpisala minimalne zvočne izolirnosti elementov in konstrukcij med prostori za posamezne vrste objektov skladno s CC-SI klasifikacijo. Predpisane minimalne zvočne izolirnosti so v območju med 46 in 62 dB, to pa je raven hrupa, ki jo preseže že govorjenje. Minimalne zvočne izolirnosti so predpisane tudi za vrata med nekaterimi prostori in sicer na 27 oziroma 37 dB. Čeprav je enoštevilčna zvočna izolirnost elementa ali vrat lahko zadostna, se je potrebno zavedati, da je zvočna izolirnost elementov pri nižjih frekvencah manjša kot pri visokih. To pa pomeni, da bo raven hrupa v prostoru sicer ustrezala predpisom, vendar bo v prostoru slišati hrup z nizkimi frekvencami, kar človek zazna kot bobnenje.

Iz računskega modela, predstavljenega v poglavju 4.3 diplomske naloge je razvidno, da je zvočna izolirnost elementa odvisna od njegove površinske mase (težji elementi imajo večjo zvočno izolirnost). Prav tako pa je razvidno, da je bolj kot površinska gostota elementa pomembna večplastnost elementa s pravilnim kombiniranjem in stikovanjem plasti. Iz certificiranih podatkov, pridobljenih od proizvajalcev stenskih sistemov, je razvidno, da ima večplastna mavčno kartonska stena, debeline 15 cm z vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne (površinske gostote  $50 \text{ kg/m}^2$ ), skoraj enako zvočno izolirnost kot običajna zidana stena iz obojestransko ometane opeke, skupne debeline 34 cm (površinske gostote  $295 \text{ kg/m}^2$ ), ali armiranobetonska stena, debeline 15 cm (površinske gostote  $360 \text{ kg/m}^2$ ). Razlog za to je delovanje zidane in armiranobetonske stene kot celote, pri mavčno kartonski steni pa se hrup dodatno absorbira pri prehodu iz ene plasti v drugo. Če bi zvočno izolirnost merili pri nižjih frekvencah, pa bi bili rezultati za večplastne mavčno kartonske stene slabši od masivnih sten, zaradi tega je tudi predlagano, da se bodo zvočne izolirnosti po novem merile od 50 Hz naprej. Občutno izboljšanje zvočne izolirnosti elementa lahko dosežemo z dodajanjem dodatne akustične obloge na osnovni element, npr. mavčno kartonska obloga na podkonstrukciji z vmesno zvočno izolacijo iz mineralne volne, plavajoči cementni estrih na zvočni izolaciji, spuščeni strop ...

Pri oceni zvočne izolirnosti med prostori se je potrebno zavedati, da je le-ta odvisna od številnih dejavnikov in ne le od zvočne izolirnosti elementa, kar je prikazano v tej diplomski nalogi. Laboratorijsko izmerjene zvočne izolirnosti elementov so samo del ocene zvočne izolirnosti med posameznimi prostori. Zvočna izolirnost je odvisna tudi od dimenzij prostorov, vrste stikov med mejnim in stranskimi elementi, površinske gostote konstrukcij, predvsem pa od kvalitete vgradnje elementov in oslabitev le-teh zaradi morebitnih prebojev, odprtih itd., na kar je potrebno biti pozoren tako v fazi projektiranja, še posebej pa med samo gradnjo objekta.

Minimalno določene zvočne izolirnosti, ki so določene s tehnično smernico, ne zadoščajo vedno dejanskim potrebam v objektu. Za primer vzemimo hotelsko sobo, ki je namenjena prenočevanju in meji na prostore druge namembnosti (konstrukcija 5.8 iz preglednice 5 na strani 12 tehnične smernice, katere mejna vrednost izolirnosti znaša 55 dB). Pod to konstrukcijo spada tudi prehod hrupa med prenočitveno sobo in gostinskim lokalom na drugi strani. Iz Preglednice 2 (stran 10, tehnične smernice) je razvidno, da je mejna vrednost ekvivalentnih ravni hrupa v prenočitveni enoti v obdobju noči 30 dB, kar pomeni, da hrup v gostinskem lokalu v primeru minimalne zvočne izolirnosti med prostori ne sme presegati 85 dB. Iz Preglednice 1 pa vidimo, da tako raven hrupa presega že glasen radio. To pa pomeni, da moramo zagotoviti večjo zvočno izolirnost med omenjenima prostoroma oziroma se moramo izogibati neposrednim stikom varovanih prostorov in prostorov z virom hrupa.

## VIRI

BASTIAN 2.3 - The Building Acoustics Planning System: programska oprema: DataKustik GmbH

Bilban, M. 2005. Hrup kot spremljevalec sodobnega življenja.

[http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban\\_Spremljevalec\\_sodobnega\\_zivljenja.pdf](http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban_Spremljevalec_sodobnega_zivljenja.pdf) (Pridobljeno 16. 05. 2016.)

Catalogue of reviewed timber building components for thermal, acoustic, fire performance requirements and ecological drivers - tehnični listi s podatki o zvočni izolirnosti in površinski masi lesenih montažnih sten.

[http://dataholz.de/cgi-](http://dataholz.de/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?klasse=Innenwand&language=en)

[bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?klasse=Innenwand&language=en](http://dataholz.de/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?klasse=Innenwand&language=en) (Pridobljeno 02. 04. 2016.)

Cvikl B. 2002. Gradbena fizika (delovno gradivo). Maribor. Univerza v Mariboru. Fakulteta za gradbeništvo: 271 str.

Čudina, M. 2014. Tehnična akustika. Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Hrup'13: programska oprema. Arhim d.o.o.

Medved, S. 2014. Gradbena fizika 2. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 260 str.

Peternelj, J., Kranjc, T. 2014. Osnove fizike. Mehanika, termodinamika, molekularna fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 487 str.

Podgrajšek, B. 2015. Analiza parametrov zvočne zaščite stavbe s predlogi ukrepov za zaščito uporabnikov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Zdravstvena fakulteta.

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah. Uradni list RS, št. 10/2012 z dne 10. 2. 2012.

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni list RS, št. 17/06, 18/06 – popr. in 43/11 – ZVZD-1), Priloga I: Največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil

Schoenwald, S. 2008. Flanking sound transmission through lightweight framed double leaf walls Prediction using statistical energy analysis. Proefschrift. Technische Universiteit Eindhoven.

SIST EN 12354-1: 2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori.

SIST EN 12354-2: 2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 2. del: Izolirnost pred udarnim zvokom med prostori.

SIST EN 12354-3: 2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 3. del: Izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti.

SIST EN 12354-5: 2009. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 5. del: Zvočne ravni obratovalne opreme.

SIST EN 12354-6: 2004. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 6. del: Absorpcija zvoka v zaprtih prostorih.

SIST EN ISO 717-1: 2013. Akustika - Vrednotenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov - 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku.

SONITUS PROJEKT: programska oprema. Zbornica za arhitekturo in prostor slovenije.

Tehnična smernica TSG-1-005:2012. Zaščita pred hrupom v stavbah.

Tehnični list s podatki o dinamični togosti izolacije proizvajalca Knauf Insulation.  
<http://www.knaufinsulation.si/izbolj-anje-izolativnosti-glede-na-dinami-no-togost> (Pridobljeno 20. 04. 2016.)

Tehnični listi s podatki o zvočni izolirnosti in površinski masi mavčno katronskih sten z zvočno izolacijo proizvajalca Knauf.  
<http://www.knauf.si/tehnici-listi/stenski-sistemi/> (Pridobljeno 02. 04. 2016.)

Tehnični listi s podatki o zvočni izolirnosti in površinski masi opečnih sten proizvajalca Goriške Opekarne.  
[http://www.go-opekarne.si/index.php?vie=ctl&str=l1c2\\_slo&mlOpen=2](http://www.go-opekarne.si/index.php?vie=ctl&str=l1c2_slo&mlOpen=2) (Pridobljeno 02. 04. 2016.)

Tehnični listi s podatki o zvočni izolirnosti in površinski masi opečnih sten proizvajalca Wienerberger.  
<http://wienerberger.si/tehnica-podpora/tehn%C4%8Dna-dokumentacija> (Pridobljeno 02. 04. 2016.)

Tratnik, E. 2009. Prenehajte s tem hrupom! : priročnik z osnovnimi informacijami in navodili. 2. ponatis. Ljubljana. Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve: 18 str.

URSA Fragmat Akustika 2.1.08, 2013: programska oprema. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Beogradu.

Zakon o graditvi objektov (Uradni list RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07, 108/09, 61/10 – ZRud-1, 20/11 – odl. US, 57/12, 101/13 – ZDavNepr, 110/13 in 19/15)

Žitnik, D., Logar, J., Slak, T., Vratuša, S. 2012. Gradbeniški priročnik Peta, dopolnjena izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije.

## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij izračunanih v Preglednici 14 z zahtevami iz tehnične smernice

PRILOGA B: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij izračunanih v Preglednici 15 z zahtevami iz tehnične smernice

(Ta stran je namenoma prazna)



**PRILOGA A: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij izračunanih v Preglednica 14 z zahtevami iz tehnične smernice:**

Preglednica 18: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 1/7

		Zap. Št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.		
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm		
Zap. Št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2		
Večstanovanjske stavbe in stanovanja v nestanovanjskih stavbah in stanovanjske stavbe za posebne družbene skupine (CC-SI 112 in 113)	4.1	Stena med stanovanjema ali oskrbovanima stanovanjema	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	4.2	Stena med sosednjima stanovanjema v vrstnih hišah	55	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.3	Stena brez vrat med stanovanjem in skupnim stopniščem ali hodnikom	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.4	Stena med bivalnima enotama v stanovanjskih stavbah za posebne družabne skupine	46	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.5	Stena med stanovanjem in jaškom dvigala	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.6	Stena med stanovanjem in garažo ali uvozom vanjo	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.7	Stena med stanovanjem in poslovnim ali trgovskim delom stavbe	55	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.8	Stena med stanovanjem in manj hrupno restavracijo	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.9	Stena med stanovanjem in hrupno restavracijo	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	4.10	Stena med stanovanjem in manj hrupno strojnico	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.12	Stena v katero so vgrajena vhodna vrata v stanovanje	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.15	Medetažna konstrukcija med stanovanjema	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.16	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in prostori, ki niso varovani, ali poslovnimi prostori pod njim	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.18	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in nestanovanjskim delom stavbe pod njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	4.19	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in nestanovanjskim delom stavbe nad njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
4.20	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in garažo ali uvozom do nje pod stanovanjem	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	
4.22	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in manj hrupno restavracijo pod njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	
4.23	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in manj hrupno restavracijo nad njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	

se nadaljuje...

## nadaljevanje Preglednica 18

4.24	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in hrupno restavracijo pod njim	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.25	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in hrupno restavracijo nad njim	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.26	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in manj hrupno restavracijo pod njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
4.27	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in manj hrupno restavracijo nad njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE

Preglednica 19: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 2/7

		Zap. št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojstransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojstransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm
Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2
Hotelske in podobne sobe za kratkotrajno nastanitev in druge gostinske stavbe za kratkotrajno nastanitev (CC-SI 12111 in 1212)	5.1	Stena med prenočitvenimi enotami hotelov višjih kategorij (štiri zvezdice ali več)	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	5.2	Stena med prenočitvenimi enotami hotelov nižjih kategorij in drugih gostinskih stavb za kratkotrajno nastanitev	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	5.5	Stena brez vrat med prenočitveno enoto in skupnim hodnikom	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	5.6	Ločilna konstrukcija med prenočitveno enoto s predprostorom in skupnim hodnikom	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	5.7	Ločilna konstrukcija med prenočitveno enoto brez predprostora in skupnim hodnikom	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	5.8	Stena med prenočitveno enoto in prostorom za druge namene	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	5.9	Stena proti manj hrupni strojnici	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	5.11	Medetažna konstrukcija med prenočitvenimi enotami	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	5.12	Medetažna konstrukcija med prenočitveno enoto in prostorom za druge namene nad njo	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	5.13	Medetažna konstrukcija med prenočitveno enoto in prostorom za druge namene pod njo	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	5.14	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici spodaj	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	5.15	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici zgoraj	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE

Preglednica 20: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 3/7

		Zap. št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojstransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojstransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	
Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2	
Gostilne, restavracije in točilnice (CC-SI 12112)	6.1	Stena med manj hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	6.2	Stena med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	6.3	Medetažna konstrukcija med manj hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov nad njo	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	6.4	Medetažna konstrukcija med manj hrupno restavracijo in delom stavbe Druge namembnosti ali različnih uporabnikov pod njo	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	6.5	Medetažna konstrukcija med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov nad njo	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	6.6	Medetažna konstrukcija med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov pod njo	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE

Preglednica 21: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 4/7

Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	Opis konstrukcije													
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	
		50,6	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	
		56,2	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
		44,1	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
		51,3	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
		55,5	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
		57,6	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	
		59,3	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
Poslovne in upravne stavbe, trgovske stavbe in stavbe za storitvene dejavnosti, postajna poslopja, terminali, muzeji in knjižnice (CC-SI 122, 123, 1241, 1262)	7.1	Stena med deli stavbe različne namembnosti in prostorih različnih uporabnikov	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.2	Stena brez vrat med prostori za zahtevno delo in sejnimi sobami, muzejskimi prostori, knjižnicami ter med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika	48	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.3	Stena brez vrat med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika	46	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.4	Stena proti manj hrupni strojnici	46	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.6	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižnimi deli stavbe	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.7	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižnimi deli stavbe in preddverji, hodniki, vhodnimi prostori ter podobnimi prostori nad njimi	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	
	7.8	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami pod njimi	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	7.9	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami nad njimi	59	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Preglednica 22: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 5/7

		Zap. št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.		
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojstransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojstransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm		
Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2		
Industrijske stavbe (CC-SI 1251)	8.1	Stena med industrijskim delom stavbe in stanovanjem	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	8.2	Stene med proizvodnim delom stavbe ter med pisarno, sejno sobo, delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	8.3	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in stanovanjem pod njim	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	8.4	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in stanovanjem nad njim	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	8.5	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov nad njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	8.6	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov pod njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	8.8	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in pisarno ali sejno sobo nad njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE
	8.9	Medetažna konstrukcija med industrijskim delom stavbe in pisarno ali sejno sobo pod njim	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE

Preglednica 23: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 6/7

		Zap. št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojestransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojestransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojestransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	
Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2	
Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo (CC-SI 1263)	9.1	Stena med učilnicama, stene med učilnico in kabinetom, stena med učilnico in prostorom za druge namene	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.2	Stena med kabinetoma, stena med laboratorijema	48	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.3	Stena med učilnico in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	9.4	Stena med hrupno učilnico in učilnico, delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	60	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	9.7	Stena med učilnico ali kabinetom in hodnikom v katero so vgrajena vrata	47	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.8	Stena med učilnico ali kabinetom in hodnikom v stavbah za visokošolsko izobraževanje - stene, v katero so vgrajena vrata	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.9	Stene brez vrat med učilnico ali kabinetom in hodnikom ali stopniščem	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.10	Stena proti manj hrupni strojnici	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	9.12	Vse medetažne konstrukcije, razen konstrukcij 8.13, 8.14, 8.15 in 8.16	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	9.13	Medetažna konstrukcija med učilnico ali kabinetom in med hrupno učilnico pod njim	60	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	9.14	Medetažna konstrukcija med učilnico ali kabinetom in med hrupno učilnico nad njim	60	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	9.15	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici spodaj	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	9.16	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici zgoraj	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE

Preglednica 24: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 7/7

		Zap. št.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	
		Opis konstrukcije	Modularna opeka 19 cm	Modularna opeka 29 cm	Klinker opeka 12 cm	Armiran beton 15 cm	Armiran beton 20 cm	Armiran beton 25 cm	Armiran beton 30 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 19 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Obojstransko ometana modularna opeka 29 cm s podaljšano malto debeline 2 cm	Zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm	Bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm	Obojstransko ometani zvočno izolacijski bloki iz porobetona 24 cm z mavčno malto 1 cm	Obojstransko ometani bloki iz porobetona večje trdnosti 30 cm z mavčno malto 1 cm	
Zap. št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	50,6	56,2	44,1	51,3	55,5	57,6	59,3	53,1	57,6	38,3	38,3	40,2	38,2	
Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo (CC-SI 1263)	10.1	Stena med delom stavbe za zdravstveno oskrbo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.2	Stena med bolniškima sobama	47	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.3	Stena med bolniško sobo in sosednjim prostorom za druge namene istega uporabnika	50	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.5	Stena med ordinacijami, stena med ambulantami	48	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.7	Stene iz točke 9.6 v katere so vgrajena vrata	47	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.8	Stene proti manj hrupni strojnici	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	10.10	Vse medetažne konstrukcije, razen konstrukcij 9.1, 9.12 in 9.13	52	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	10.11	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici spodaj	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	10.12	Medetažna konstrukcija proti manj hrupni strojnici zgoraj	57	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	NE	NE	NE	NE



**PRILOGA B: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij izračunanih v Preglednici 15 z zahtevami iz tehnične smernice:**

Preglednica 25: Primerjava izračunanih zvočnih izolirnosti konstrukcij z zahtevami iz tehnične smernice 1/7

Zap. Št.	Notranji ločilni element	Izolirnost [dB]	Opis konstrukcije																						
			14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.			
			40,3	44,2	46,1	49,9	52,5	54,1	54,1	55,5	56,8	60,1	59,9	37,3	37,3	50,7	53,9	51,6	50,7	52,4	57,3	53,9			
Večstanovajske stavbe in stanovanja v nestanovanjskih stavbah in stanovanjske stavbe za posebne družbene skupine (CC-SI 112 in 113)	4.1	Stena med stanovanjema ali oskrbovanima stanovanjema	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	
	4.2	Stena med sosednjima stanovanjema v vrstnih hišah	55	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	
	4.3	Stena brez vrat med stanovanjem in skupnim stopniščem ali hodnikom	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA
	4.4	Stena med bivalnima enotama v stanovanjskih stavbah za posebne družabne skupine	46	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	4.5	Stena med stanovanjem in jaškom dvigala	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA
	4.6	Stena med stanovanjem in garažo ali uvozom vanjo	57	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE
	4.7	Stena med stanovanjem in poslovnim ali trgovskim delom stavbe	55	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE
	4.8	Stena med stanovanjem in manj hrupno restavracijo	57	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE
	4.9	Stena med stanovanjem in hrupno restavracijo	62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	4.10	Stena med stanovanjem in manj hrupno strojnico	57	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE
	4.12	Stena v katero so vgrajena vhodna vrata v stanovanje	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA
	4.15	Medetažna konstrukcija med stanovanjema	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA
	4.16	Medetažna konstrukcija med stanovanjem in prostori, ki niso varovani, ali poslovnimi prostori pod njim	52	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA

se nadaljuje...













