

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:

Uršič, M., 2015. Analiza zvočne zaščite stavbnih ovojev glede na različne nivoje zunanlega hrupa. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Dovjak, M., somentor Kunič, R.): 42 str.

Datum arhiviranja: 28-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Uršič, M., 2015. Analiza zvočne zaščite stavbnih ovojev glede na različne nivoje zunanlega hrupa. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Dovjak, M., co-supervisor Kunič, R.): 42 pp.

Archiving Date: 28-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

MATEJA URŠIČ

**ANALIZA ZVOČNE ZAŠČITE STAVBNIH OVOJEV
GLEDE NA RAZLIČNE NIVOJE ZUNANJEGA HRUPA**

Diplomska naloga št.: 202/B-GR

**ANALYSIS OF SOUND INSULATION OF EXTERNAL
ENVELOPE CONSTRUCTIONS DEPENDENT ON
DIFFERENT LEVELS OF EXTERNAL NOISE**

Graduation thesis No.: 202/B-GR

Mentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Somentor:

doc. dr. Roman Kunič

Ljubljana, 17. 09. 2015

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

(Ta stran je namenoma prazna)

IZJAVE

Podpisana Mateja Uršič izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Analiza zvočne zaščite stavbnih ovojev glede na različne nivoje zunanjega hrupa«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, avgust 2015

Mateja Uršič

(Ta stran je namenoma prazna)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	504.6:725.1(497.4)(043.2)
Avtor:	Mateja Uršič
Mentorica:	doc. dr. Mateja Dovjak
Somentor:	doc. dr. Roman Kunič
Naslov:	Analiza zvočne zaščite stavbnih ovojev glede na različne nivoje zunanjega hrupa
Tip dokumenta:	Diplomska naloga-univerzitetni študij
Obseg in oprema:	42 str., 20 pregl., 25 sl.
Ključne besede:	zvočna zaščita stavb, zunanji hrup, stavbni ovoj, zasteklitev, zdravje, zvočna izolacija fasad
Izveček:	

Kljub zakonskim zahtevam se trend današnje gradnje in prenove nagiba k čim manjši porabi energije, področje zaščite pred hrupom pa ni pogosto obravnavano. Ker je hrup zunaj vse bolj prisoten, je potrebna primerna gradnja, ki zadošča zakonskim zahtevam, katere ščitijo uporabnike stavbe pred negativno izpostavljenostjo hrupa iz okolja in upošteva lokacijo ter zunanjo raven hrupa. Zato sem v diplomski nalogi preverjala ustreznost sedmih stavbnih ovojev glede na različna območja varstva pred hrupom, ki so določena v zakonodaji in z različnimi variantami spreminjala njihov delež zasteklitve. S pomočjo programskega orodja URSA Fragmat-Akustika sem obravnavala štiri masivne stavbne ovoje in tri lahke. Z upoštevanjem korekcijskih faktorjev za prometni hrup na urbanih cestah sem ugotovila, kateri stavbni pasovi nudijo zadostno zvočno zaščito glede na različne nivoje zunanjega hrupa. Z različnimi variantami, kjer sem spreminjala delež zasteklitve, sem raziskala, da obravnavani lahki stavbni ovoji večinoma ne ustrezajo zakonskim zahtevam za najneugodnejše območje varstva pred hrupom niti pri zelo majhnem deležu zasteklitve, medtem ko masivni stavbni ovoji ustrezajo. Pri variantah, kjer sem povečala delež zasteklitve, noben od zidov ni ustrezal, kar kaže na velik vpliv zvočno šibkejšega dela stavbnega ovoja. Pri novogradnjah in obnovah stavb je potrebno pri zvočni zaščiti celostno obravnavati vse dele stavbnega ovoja in poskrbeti za primerno zvočno izolirnih vseh delov ovoja. Stavbe z manjšo zvočno izolirnostjo niso primerne za hrupnejša območja in vplivajo na kakovost bivanja, možen je negativen vpliv na zdravje uporabnikov.

(Ta stran je namenoma prazna)

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 504.6:725.1(497.4)(043.2)
Author: Mateja Uršič
Supervisor: Assist. Prof. Mateja Dovjak, Ph.D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.
Title: Analysis of sound insulation of external envelope constructions dependent on different levels of external noise
Document type: Graduation Thesis – university studies
Notes: 42 p., 20 tab., 25 fig.
Key words: sound insulation of buildings, external noise, external envelope constructions, health, sound insulation of façades

Abstract:

In spite of the law requirements, today's building and renovation projects tend to minimize energy costs, while noise issues are rarely addressed. Because of the presence of external noise, we need buildings that comply with law demands that are designed to protect inhabitants from negative exposure to environmental noise, while also considering location of the building and external noise levels. Therefore, I tested the adequacy of seven façades, taking into account different areas of noise protection, defined in laws, while also considering size of the windows. By using the computer program URSA Fragmat-Akustika, I have tested four massive and three light types of external envelope constructions. Taking into account the correction factors for traffic noise on urban roads I have established which façades offer adequate protection against noise, while also taking into consideration various window sizes. The results show that light external envelope constructions do not comply with law demands, not even with small window size. However, heavy façade types match the law requirements. Variants with bigger windows failed to comply with the law demands, showing that this weaker part of external envelope constructions has a big impact on its insulation properties. It is crucial to consider all the parts of a façade and ensure that all of them have adequate sound insulation properties. Buildings with weaker sound insulation are not suitable for areas with higher levels of external noise and affect the quality of living and present a plausible threat for health of the inhabitants.

(Ta stran je namenoma prazna)

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mateji Dovjak in somentorju doc. dr. Romanu Kuniču.

Zahvaljujem se tudi Petru Kostrevcu s podjetja URSA za pridobitev in pomoč pri programu. Rada bi se zahvalila tudi Urški, Blažu in vsem ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku diplome.

(Ta stran je namenoma prazna)

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
ZAHVALA	IX
1 UVOD	1
2 NAMEN, CILJI DIPLOMSKE NALOGE IN HIPOTEZA	3
3 METODA	4
3.1 Opis programskega orodja URSA Fragmat-Akustika	4
3.1.1 Izračun fasadnega pasu	5
3.2 Opis konstrukcijskih sklopov fasad	5
3.2.1 Netransparentni stavbni ovoji	5
3.2.2 Transparentni stavbni ovoji	8
3.3 Opis variant	9
4 TEORETIČNO OZADJE	10
4.1 Osnove zvoka	10
4.1.1 Definicija zvoka	10
4.1.2 Vrste zvokov	10
4.1.3 Decibelna lestvica	11
4.2 Človeško zaznavanje zvoka in merjenje	12
4.2.1 Človeško uho	12
4.2.2 Vpliv hrupa na telo	13
4.2.3 Fiziološko vrednotenje zvoka	15
4.3 Hrup v zunanjem okolju-komunalni hrup	16
4.3.1 Vrste komunalnega hrupa	16
4.3.2 Komunalni hrup zaradi cestnega prometa in železniškega prometa	17
4.3.3 Strateške karte hrupa	18
4.3.4 Merjenje in vrednotenje hrupa v okolju	21
4.4 Akustika v stavbah	22
4.4.1 Akustika prostorov	22
4.4.2 Zvočna zaščita v stavbah	23
4.4.3 Zvočna izolirnost sten	23
4.4.4 Izračun zvočne izolirnosti zunanjih ločilnih konstrukcij	24
4.5 Zakonodaja	26
4.5.1 Uredbe	26

4.5.2 Zakoni	27
4.5.3 Pravilnik	27
4.5.4 Tehnična smernica	28
4.5.6 Standardi	28
5 REZULTATI	30
6 DISKUSIJA	35
7 ZAKLJUČEK	37
VIRI	40

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava prvega fasadnega pasu.....	6
Preglednica 2: Sestava drugega fasadnega pasu	6
Preglednica 3: Sestava tretjega fasadnega pasu	7
Preglednica 4: Sestava četrtega fasadnega pasu	7
Preglednica 5: Sestava petega fasadnega pasu.....	7
Preglednica 6: Sestava šestega fasadnega pasu.....	8
Preglednica 7: Sestava sedmega fasadnega pasu	8
Preglednica 8: Nekateri tipični zvoki v našem okolju in njihove približne zvočne intenzivnosti	12
Preglednica 9: Posledice izpostavljenosti različnim glasnostim hrupa.....	13
Preglednica 10: Največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa L_{Aeq} v dB(A) za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil	14
Preglednica 11: Povzetek učinkov in mejnih vrednosti [dB] za učinke, ki jim lahko dokažemo povezavo	14
Preglednica 12: Raven zvočnega tlaka L_p v dB(A) pri različnih virih hrupa	17
Preglednica 13: Meritve hrupa ob prometnicah v MOL leta 2002	17
Preglednica 14: Mejne vrednosti kazalcev hrupa $L_{noč}$ in L_{dvn} v dB(A) za posamezna območja varstva pred hrupom	22
Preglednica 15: Mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dan} , $L_{noč}$, $L_{večer}$ in L_{dvn} v dB(A), ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge in obratovanje večjega letališča za posamezna območja varstva pred hrupom	22
Preglednica 16: Mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa $L_{eq,A}$ v dB(A) za posamezno obdobje dneva.....	23
Preglednica 17: Spektralne prilagoditve [dB] pri različnih virih hrupa.....	26
Preglednica 18: Minimalna standardna razlika zvočnih ravni $D_{2m,nT}$ [dB] za posamezno območje varstva pred hrupom	30
Preglednica 19: Prikaz zvočnih izolirnosti R_w [dB] transparentnih in netransparentnih konstrukcijskih sklopov	30
Preglednica 20: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri posameznih variantah	32

(Ta stran je namenoma prazna)

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafični prikaz prvega fasadnega pasu	6
Slika 2: Grafični prikaz drugega fasadnega pasu	6
Slika 3: Grafični prikaz tretjega fasadnega pasu	7
Slika 4: Grafični prikaz četrtega fasadnega pasu	7
Slika 5: Grafični prikaz petega fasadnega pasu	7
Slika 6: Grafični prikaz šestega fasadnega pasu	8
Slika 7: Grafični prikaz sedmega fasadnega pasu	8
Slika 8: Grafičen prikaz zasteklitve	8
Slika 9: Grafičen prikaz obravnavanega prostora 4 x 6 x 2,7 m	9
Slika 10: Porazdelitev zračnih delcev v zraku in prikaz valovne dolžine	10
Slika 11: Slika ušesa. A-zunanje uho, B-srednje uho, C-notranje uho.....	12
Slika 12: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka	15
Slika 13: Fonske krivulje, ki povezujejo slišnost pri različnih frekvencah [Hz] in jakostih zvoka [dB]	16
Slika 14: Frekvenčni spekter hrupa za lokomotive na odprtem.....	18
Slika 15: Prevladujoča obremenjenost s hrupom (L_{den}) [dB] v Ljubljani.....	19
Slika 16: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za cestni promet, Ljubljana.....	20
Slika 17: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za cestni promet v Sloveniji-pomembne ceste.....	20
Slika 18: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za industrijo, Ljubljana.....	21
Slika 19: Idealiziran potek izolirnosti sten v odvisnosti od frekvenc, primer enojne pregradne stene	24
Slika 20: Zvočna izolirnost R [dB] transparentnih in netransparentnih	31
Slika 21: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V0, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom.....	33
Slika 22: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V1, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom.....	34
Slika 23: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V2, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom.....	34
Slika 24: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V3, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom.....	35
Slika 25: Skupna zvočna izolirnost R_{skupna} [dB] zidu z različnimi vrednostmi zvočne izolirnosti R_{zid} [dB] stene in enakimi zvočnimi izolirnostmi R_{okna} [dB] odprtin	36

(Ta stran je namenoma prazna)

1 UVOD

Sprejemanje in oddajanje zvoka je eden od naših glavnih načinov komunikacije in širjenja informacij okoli nas. Uporabljamo ga za sporazumevanje, sproščanje ali opozarjanje na nevarnosti. Če je zvok neprijeten in moteč, ga imenujemo hrup (Bilban, 2005). Po Pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 14/1999 s spr. št. 10/2012) je hrup vsak zvok, ki vzbuja nemir, moti človeka pri delu, drugih dejavnostih in počitku ter lahko škoduje njegovemu zdravju in počutju.

Hrup je eden od večjih problemov sodobne civilizacije. Po statističnih podatkih EU (WHO, 2011) je preko 40% vseh prebivalcev Evrope izpostavljenih ravni hrupa nad 65 dB(A) čez dan in nad 50 dB(A) ponoči. Na delovnem mestu je preko 20% delovne populacije izpostavljene čezmerni ravni hrupa, od tega 50% nad 80 dB(A) (Bilban, 2005). Hrup predstavlja velik javno-zdravstveni problem (WHO, 2011), katerega vzroki so posredno in neposredno povezani tudi z načrtovanjem grajenega okolja.

Skozi zgodovino smo ljudje razvili najmočnejše slušno zaznavanje v območju govora (Bilban, 2014). V preteklosti je bilo več masivne gradnje objektov in manjša količina vozil, zato problema s prekomernim okoljskim hrupom v hišah ni bilo, v tolikšni meri kot danes. V današnjem času prihaja do vse večjih zvočnih obremenitev v zunanjem okolju in veliko raziskav potrjuje negativne posledice daljše izpostavljenosti hrupu, ki prihaja iz okolja v notranjost stavb (WHO, 2009). Zakonsko je predpisana zaščita pred hrupom v stavbi, ki je posledica zunanjega hrupa (npr. hrup zaradi prometa, hrup iz industrijskih objektov), hrupa, ki po zraku prihaja iz drugih prostorov, udarnega hrupa, ki se iz drugih prostorov prenaša prek konstrukcije, hrupa obratovalne opreme in odmevnega hrupa (Uredba 305/2011; Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005); Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/2004); Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbi (Uradni list RS, št. 10/2012); Tehnična smernica TSG-1-005:2012). Kljub zakonskim zahtevam se trend današnje gradnje in prenove nagiba k čim manjši porabi energije, področje zaščite pred hrupom pa ni pogosto obravnavano ali je celo spregledano. Stavba in njen ovoj se pogosto ne načrtuje v skladu s principi bioklimatskega načrtovanja (Kraimer, 1993), torej v odvisnosti od lokacije in tudi od zunanjih ravni hrupa. Ker je hrup zunaj še vedno prisoten, je potrebna primerna gradnja, ki zadosti zakonskim zahtevam in ščiti pred negativno izpostavljenostjo uporabnikov stavbe pred hrupom iz okolja.

Z nalogo se bom osredotočila na vidike zvočne zaščite stavb pred hrupom iz zunanjega okolja. Zvočna zaščita stavb pred zunanjim hrupom je odvisna od zvočne izolirnosti posameznih ločilnih elementov ter deleža, ki ga površine teh elementov predstavljajo v skupni površini zunanje ločilne konstrukcije (TSG-1-005:2012). Pri tem imajo pomembno vlogo tudi transparentni deli ovoja. Z večjim deležem zasteklitve je zvočna zaščita čez celoten ovoj zmanjšana (TSG-1-005:2012; Mehta in sod., 1999), kar poslabša zvočno izolirnost stavb in znižuje kvaliteto bivanja, zato je pomembna kakovost vgrajevanja transparentnih delov. Kakšna vrsta oken so najprimernejša, so preverjali avtorji Miskinis in sod. (2014) v članku »*Primerjava zvočne izolacije transparentnih delov ovoja z dvojno zasteklitvijo*«. Kot so ugotovili, ima povprečna zasteklitev (dvojno steklo) slabo zvočno izolirnost pri nižjih frekvencah, pod 315 Hz. Zvočna izolirnost se izboljša, če ima prvo steklo različno debelino od drugega. Boljše rezultate pri nizkih frekvencah so dosegli z lepljenjem stekel, kar vpliva na boljšo zaščito pred cestnim hrupom. Avtorji so povzeli, da je ekonomsko

in kakovostno najbolje izbrati okno z enim navadnim in enim lepljenim steklom, pri čemer imata stekli različne medsebojne debeline.

Skupaj s trendom čim manjše porabe energije v objektih, se je povečala uporaba debelejših izolacij stavbnega ovoja. O vplivu na zvočno izolirnost različnih toplotno izolativnih (TI) materialov v kombinaciji z opeko sta pisala avtorja Kernöcker in Schild (2005-2007) v članku z naslovom »*Zvočna izolacija zidane stene s toplotno izolacijskim sistemom*«. Ugotovila sta, da TI materiali skupaj z opeko zmanjšujejo zvočno izolirnost stene, saj skupaj delujejo kot membrana, ki poveča prenos zvoka. Podala sta tudi minimalne zvočne izolirnosti, ki jih morajo dosegati zidane stene s posameznim TI materialom za določeno okolje. Rezultati so se razlikovali v odvisnosti od debeline in vrste termo-izolativnega materiala. Pri tem se je najbolje obnesla mineralna volna, ki ni v obliki lamel, temveč v obliki običajnih plošč, ki s svojimi vlakni ne tvorijo mehanskega prenosa, kot je to v primeru kamene volne v obliki lamel (Kernöcker in Schild, 2005-2007).

Cestni promet oddaja predvsem nizke frekvence, zvočna zaščita lahke gradnje pa je pri teh frekvencah manjša (TSG-1-005:2012). V obširni švedski raziskavi (Ljunggren in sod., 2014) z naslovom »*Povezava med zvočno izolacijo in odzivom uporabnikov – priporočila za spremembo vrednotenja udarnega zvoka*« so preverjali zvočno izolirnost večstanovanjskih hiš in zadovoljstvo uporabnikov z zvočno zaščito. V raziskavi so bile vključene lahke in težke gradnje. Ugotovili so, da je uporabnike najbolj motil udarni hrup pri lesenih gradnjah, čeprav je bila izmerjena vrednost zvočne izolirnosti proti udarnemu hrupu brez upoštevanja frekvenc pod 100 Hz visoka. Z upoštevanjem nizkih frekvenc se je zvočna izolirnost zmanjšala. Tudi v združenju COST (Evropsko sodelovanje na področju znanosti in tehnologije) so v e-knjigi »*Akustika lesenih endoskeletnih stavb in elementov-poglavje 4*« preverjali zvočno izolirnost lahkih sten, kjer so prav tako opozorili na majhno zvočno izolirnost pri nizkih frekvencah.

V danski raziskavi avtorjev Sørensen in sod. (2001) z naslovom »*Cestni promet in možganska kap: prospektivna kohortna raziskava*« so dokazali, da hrup poveča možnost za nastanek možganske kapi pri ljudeh, starejših od 64,5 let. V tej raziskavi je bila izpostavljenost hrupu cestnega prometa v stanovanjih povezana s tveganjem za možgansko kap. Možnost za nastanek možganske kapi se je povečala za 14% pri 10 dB povečanju izpostavljenosti hrupu vseh udeležencih, in 27% pri 10 dB povečanju izpostavljenosti hrupu udeležencev nad 64,5 let (Sørensen in sod., 2011), kar potrjuje pomembnost vgradnje kakovostnih fasadnih ovojev. Vpliv na povečano tveganje za pojav srčnega infarkta so preverjali v meta analizi avtorja Babisch (2008) z naslovom »*Cestni promet in povišano tveganje za pojav bolezni srca in ožilja*«. Opazili so znaten porast tveganja za pojav srčnega infarkta, ko je nivo povprečnega dnevnega hrupa presegel 60 dB(A).

Glede na to, da je področje zaščite pred hrupom iz okolja v Sloveniji slabše raziskano, je namen naloge preveriti zvočno izolirnost stavbnih ovojev v odvisnosti od nivoja zunanje hrupa. Zvočno izolirnost stavbnih ovojev je potrebno obravnavati skupaj z nivojem hrupa, ki je prisoten v okolju. Na območjih z majhnim nivojem zunanje hrupa je zvočna zaščita fasadnega ovoja večinoma dosežena. Na območjih z visokim nivojem hrupa pa je lahko kakovost bivanja zmanjšana. Pri tem se bom osredotočila na stavbne ovoje, sestavljene iz lahkih materialov. Predvidevam, da bodo lahki stavbni ovoji z veliko transparentnih delov ovoja neprimerni za območja ob prometnejših cestah, industrijskih obratih ali letališčih.

2 NAMEN, CILJI DIPLOMSKE NALOGE IN HIPOTEZA

Namen diplomske naloge je preveriti zvočno izolirnost različnih konstrukcijskih sklopov; primerjava med lahki in težki konstrukcijski sklopi in njihova ustreznost v različnih območjih varstva pred hrupom glede na zahteve slovenske zakonodaje. Raziskan bo tudi vpliv deleža zasteklitve. Ob povečani količini gradnje lahkih stavbnih konstrukcij in povečevanju okenskih odprtín se je potrebno zavedati, kakšni ovoji so ustrezni v posameznem območju.

Cilji diplomske naloge:

1. s pomočjo literature proučiti **fizikalno ozadje zvoka in parametre**, ki bodo kasneje uporabljeni v izračunih, opredelitev vrste frekvenc pri različnem hrupu
2. z različnimi raziskavami in literaturo **proučiti vpliv zvoka na naše telo in počutje**
3. proučiti **zakonske zahteve** na področju zaščite pred hrupom iz okolja v stavbah
4. s pomočjo programskega orodja URSA Fragmat- Akustika **izračunati zvočno izolirnost fasadnega pasu** v odvisnosti od območja varstva pred hrupom
5. izvesti primerjavo posameznih fasadnih pasov in **oceniti razliko med lahko in težko gradnjo**
6. izračunati in primerjati zvočne izolirnosti **pri različnih deležih zasteklitve**
7. opredeliti ustreznost **posameznih fasadnih pasov v različnih območjih** varstva pred hrupom

V poglavju z naslovom Metoda bom predstavila programske orodje, uporabljene konstrukcijske sklope in variante, ki sem jih izvedla. Sledi poglavje Teoretično ozadje, ki vključuje podpoglavja Osnove zvoka, Človeško zaznavanje zvoka in Vpliv hrupa na telo, Hrup v zunanjem okolju, Akustiko v zgradbah ter Zakonodajo. To poglavje sestavljajo informacije o zvoku s področja fizike, zdravstva, okoljske in stavbne zvočne problematike ter zakonskih zahtev. Nato so v poglavju Rezultati predstavljeni, ovrednoteni in primerjani z zakonodajo vsi stavbni ovoji in variante. Poglavje Diskusija primerja dobljene rezultate z obstoječimi. Z rezultati nameravamo preveriti v kolikor določeni stavbni ovoji ne dosegajo zvočne izolirnosti, ki je z zakonskimi zahtevami predpisana za posamezna območja varstva pred hrupom.

Hipoteza:

Predvidevam, da nekateri stavbni ovoji v določenih območjih varstva pred hrupom ne bodo ustrezali zakonskim zahtevam po minimalni zvočni izolirnosti. Verjetno se bodo lahki stavbni ovoji izkazali za neprimerne v hrupnejših območjih in bodo omogočali slabšo zvočno izolirnost pri nizkih frekvencah kot masivni stavbni ovoji. Slednji bodo verjetno izkazali veliko večjo zvočno izolirnost kot lahki stavbni ovoji. Predvidevam, da bo povečan delež zasteklitve negativno vplival na zvočno izolirnost celotnega stavbnega ovoja. Verjetno se bo izkazalo, da niso vsi stavbni ovoji primerni za katerokoli območje varstva pred hrupom, kar bi morali nujno upoštevati pred gradnjo, oziroma v času same zasnove in izbire stavbnih ovojev.

3 METODA

Naloga obsega široko področje zvoka in zvočne zaščite stavb, možnih vplivov hrupa na človeka, področne zakonodaje in primerjave zakonskih zahtev z izračuni parametrov zvočne zaščite stavbnih ovojev v programskem orodju. Fizikalno ozadje zvoka in uporabljene parametre smo proučili s pomočjo relevantnih raziskav in monografij. Članki so večinoma pridobljeni v bazi Science Direct in Google Search. Informacije o vplivu zvoka na naše telo in počutje smo našli v priročnikih Svetovne zdravstvene organizacije (angl. *World Health Organization*, WHO), kohortnih raziskavah in zdravstveni literaturi s področja vpliva hrupa na zdravje. Izračune in postopke smo našli v tehnični smernici TSG 1-005:2012 in standardih SIST EN 12354:200. Zakonske zahteve smo poiskali na straneh Uradnega lista Republike Slovenije.

Programsko orodje uporablja za izračun enačbe po tehnični smernici in veljavnih standardih, opisane tudi v teoretičnem ozadju (URSA, 2013). Primerjave smo naredili s fasadnimi ovoji, izbranimi v Bazi elementov, ki se nahajajo v programu in v knjigi *Architectural acoustics* (Long, 2006). Velikost varovanega prostora smo določili glede na splošno uporabljane dimenzije prostorov pri gradnjah stanovanjskih objektov. Dimenzije varovanega prostora predstavljajo aktivni prostor velikosti 24 m². Pri različnih variantah smo spreminjali delež zasteklitve. Zaradi lažje primerjave vpliva transparentnega dela fasade prva varianta (V0) ne vsebuje oken. Druga varianta (V1) predstavlja z vidika svetlobnega udobja prostor s premajhno dovoljeno dimenzijo oken glede na velikost varovanega prostora, kot navaja 29. člen Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/1999) in je namenjena zgolj za primerjavo zvočne izolirnosti, kjer večinski delež stavbnega ovoja sestavlja netransparentni del. Varianta 2 (V2) predstavlja glede na zakonske zahteve (Uradni list RS, št. 89/1999) prostor s primerno dimenzijo transparentnega dela ovoja. Zadnja varianta (V3) opisuje prostor s stavbnim ovojem, kjer prevladuje površina transparentnega dela ovoja, ki se v današnjem času pogosteje uporablja pri gradnjah novih stanovanjskih enot. Variante sem primerjala med seboj glede na vrsto stavbnega ovoja in glede na ustreznost po zakonskih zahtev v odvisnosti od območja varstva pred hrupom.

V TSG 1-005:2012 je varovani prostor definiran kot prostor, v katerem se ljudje zadržujejo pogosto in daljši čas (stanovanja, prenočitvene enote, ambulate, ordinacije, bolniške sobe, konferenčni prostori, učilnice, igralnice, čitalnice, ipd.) (TSG 1-005:2012).

3.1 Opis programskega orodja URSA Fragmat-Akustika

Izračun izolirnosti konstrukcijskih sklopov je izveden s pomočjo programskega orodja Ursa Fragmat-Akustika (URSA, 2013). Program je izdelala Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Beogradu, Srbija. Uporablja se za izračun zvočne izolacije v stavbah po standardih SIST EN 12354:2001 in omogoča izdelavo elaborata o gradbeni akustiki za projekte stavb po zahtevah iz Tehnične smernice TSG-1-005:2012 »*Zaščita pred hrupom v stavbah*« (URSA, 2013).

Podatki o pregradah, ki prenašajo zvočno energijo med dvema prostoroma, vsebujejo zvočno izolacijske lastnosti, izmerjene v laboratorijih in so dodani v programu po frekvencah. Možno je tudi samostojno dodajanje novih pregrad. Pri izračunu celotnega prenosa zvoka je upoštevan tudi stranski prenos zvoka, ki se po standardih SIST EN 12354:2001 izračuna posebej in ni vključen v podatke o zvočni izolirnosti pregrad. Izračun zvočne izolirnosti se lahko uporabi za izdelavo elaborata, ki je del projektne dokumentacije stavbe (Pravilnik o

zaščiti pred hrupom v stavbi, Uradni list RS, št. 10/2012). Uporaba je možna v primeru manj zahtevnih stavb (enodružinske hiše, stanovanjske hiše, enostavne poslovne stavbe), ne pa tudi za zahtevnejše gradbene objekte (kompleksne industrijske stavbe, koncertne dvorane, operne dvorane, gledališča, ...) (URSA, 2013).

3.1.1 Izračun fasadnega pasu

V programskem orodju URSA Fragmat-Akustika je možen izračun fasade, notranjih sten in stropa. Preverjamo lahko zvočno izolirnost pregrad pred zunanjim zvokom, udarnim zvokom in zvokom v zraku, ki se širi v druge prostore. V tej nalogi bomo preverjali zvočno izolirnost fasade, ki je v programu določena s standardno razliko zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$, opisano v poglavju 4.4.4. V rezultatu je že dodan standardni korekcijski faktor C_{tr} za prometni hrup. Ali bo zvočna izolirnost zadostila zakonskim zahtevam po TSG-1-005:2012, je odvisno od sestave in območja varstva pred hrupom, določenega v Uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005). V programu je zvočna absorptivnost že določena, zato vpliv absorptivnosti sten ni mogoče spreminjati (URSA, 2013).

3.2 Opis konstrukcijskih sklopov fasad

V programskem orodju sem preizkušala sedem različnih konstrukcijskih sklopov, od tega tri masivne in tri lahke fasadne pasove. Naredila sem več variant, kjer sem spreminjala delež transparentnih konstrukcijskih sklopov. V prvi varianti sem obravnavala zid brez transparentnega dela fasadnega ovoja, v drugi sem dodala okno s 6 % zasteklitve, v tretji 25 % in v četrti 50 % glede na površino celotnega fasadnega ovoja. Pri tem vrste zasteklitve nisem spreminjala. Primere za masivne zidove in okno sem dobila v Bazi elementov, ki se nahaja v programu URSA Fragmat-Akustika, primere za lahke zunanje zidove pa v knjigi *Architectural Acoustics* (Long, 2006).

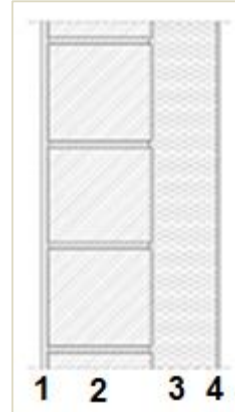
3.2.1 Netransparentni stavbni ovoji

Netransparentne konstrukcijske sklope lahko razdelimo na dve podskupini, in sicer na masivne fasadne ovoje in lahke fasadne ovoje. Masivne fasadne ovoje sem našla v programu, medtem ko sem lahke fasadne ovoje v program dodala samostojno, upoštevajoč podatke iz strokovne literature (Long, 2006).

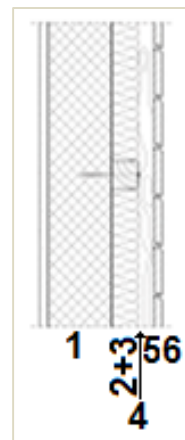
Zvočna izolirnost lahkih fasadnih ovojev (Long, 2006) je laboratorijsko izmerjena in opisana s *STC* (angl. *Sound Transmission Class*) (ASTM E413-87(1999)), ki se uporablja v ZDA, medtem ko v Evropi uporabljamo R'_w (SIST EN ISO 717-1:2013). Razlikujeta se le v frekvenčnem območju laboratorijsko izmerjene vrednosti zvočne izolirnosti R' . *STC* je izmerjen pri frekvencah med 125 Hz in 4000 Hz, medtem ko je R'_w merjen v frekvencah med 100 in 3150 Hz.

Masivni stavbni ovoji (eksoskelet):1: Votličeva opeka + stiropor (NEOSUPER-F)**Preglednica 1:** Sestava prvega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

	Sestava	Debelina [cm]
1	Omet	1,5
2	Votličava opeka	19
3	NEOSUPER-F	12
4	Fasadna obloga	0,3

**Slika 1:** Grafični prikaz prvega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)2: Armiran beton + fasadna izolacijska plošča iz steklene volne (URSA FDP 2/Vf) + lesena obloga**Preglednica 2:** Sestava drugega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

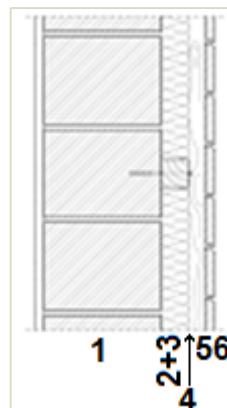
	Sestava	Debelina [cm]
1	Armiran beton	14
2	Plošča iz steklene volne	16
3	Lesene letve	4
4	Protivetrna folija	-
5	Zrak + lesene letve	4
6	Lesena obloga	2

**Slika 2:** Grafični prikaz drugega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

3: Opečni blok + fasadna izolacijska plošča iz steklene volne (URSA FDP 2/Vf) + lesena obloga

Preglednica 3: Sestava tretjega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

	Sestava	Debelina [cm]
1	Opečni blok	25
2	Plošča iz steklene volne	16
3	Lesene letve	4
4	Protivetrna folija	-
5	Zrak + lesene letve	4
6	Lesena obloga	2



Slika 3: Grafični prikaz tretjega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

4: Polna opeka + stiropor (Neosuper-F)

Preglednica 4: Sestava četrtega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

	Sestava	Debelina [cm]
1	Omet	1,5
2	Polna opeka	25
3	NEOSUPER-F	4
4	Fasadna obloga	12



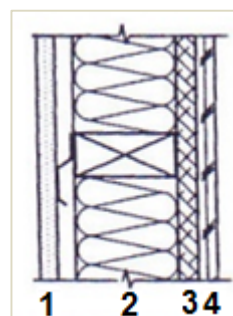
Slika 4: Grafični prikaz četrtega fasadnega pasu (Baze elementov, Akustika, 2013)

Lahki stavbni ovoji (endoskelet):

5: Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + obloga iz rdečega lesa

Preglednica 5: Sestava petega fasadnega pasu (Long, 2006)

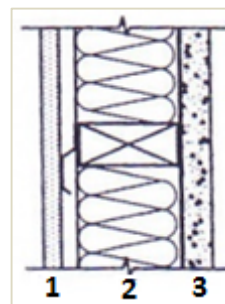
	Sestava	Debelina [cm]
1	Mavčno-kartonska plošča	1,5
2	Lesen tram + steklena volna	5 x 10 + 10
3	Lesena plošča OSB	2
4	Lesena obloga	1,5



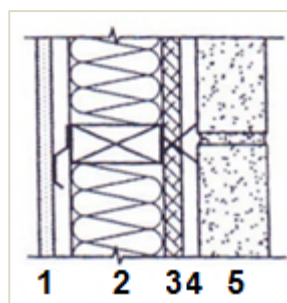
Slika 5: Grafični prikaz petega fasadnega pasu (Long, 2006)

6: Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + omet**Preglednica 6:** Sestava šestega fasadnega pasu (Long, 2006)

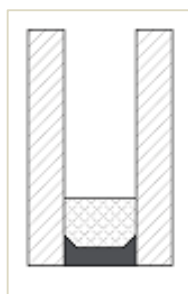
	Sestava	Debelina [cm]
1	Mavčno-kartonska plošča	1,5
2	Lesen tram + steklena volna	5 x 10 + 10
3	Omet	2

**Slika 6:** Grafični prikaz šestega fasadnega pasu (Long, 2006)**7: Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + zrak + rdeča opeka****Preglednica 7:** Sestava sedmega fasadnega pasu (Long, 2006)

	Sestava	Debelina [cm]
1	Mavčno-kartonska plošča	1,5
2	Lesen tram + steklena volna	5 x 10 + 10
3	Lesena plošča OSB	2
4	Zrak	1,5
5	Rdeča fasadna opeka	7

**Slika 7:** Grafični prikaz sedmega fasadnega pasu (Long, 2006, str. 370)**3.2.2 Transparentni stavbni ovoji**

Transparentne konstrukcijske sklope v tem primeru sestavljajo okna. Izbrala sem klasično okno z dvoslojno zasteklitvijo in ALU okvirjem. Dimenzije : 4/16/4 mm. Okno ne vsebuje plinov in ni lepljeno.

**Slika 8:** Grafičen prikaz zasteklitve (Baze elementov, Akustika, 2013)

3.3 Opis variant

Zvočna izolirnost stavbnega ovoja je sestavljena iz zvočne izolirnosti transparentnega dela, netransparentnega dela, razmerja med transparentnim in netransparentnim delom, velikosti opazovanega prostora in absorptivnosti sten. Predvidevam, da bodo nastale največje razlike pri posameznih konstrukcijskih sklopih pri spreminjanju velikosti transparentnih delov stavbnega ovoja, zato bom preverjala zvočno izolirnost v odvisnosti od velikosti površine oken:

V0-velikost prostora 4 x 6 x 2,7 m, brez oken

V1- dodamo okno površine 1 m²

V2-povečanje površine okna na 4 m²

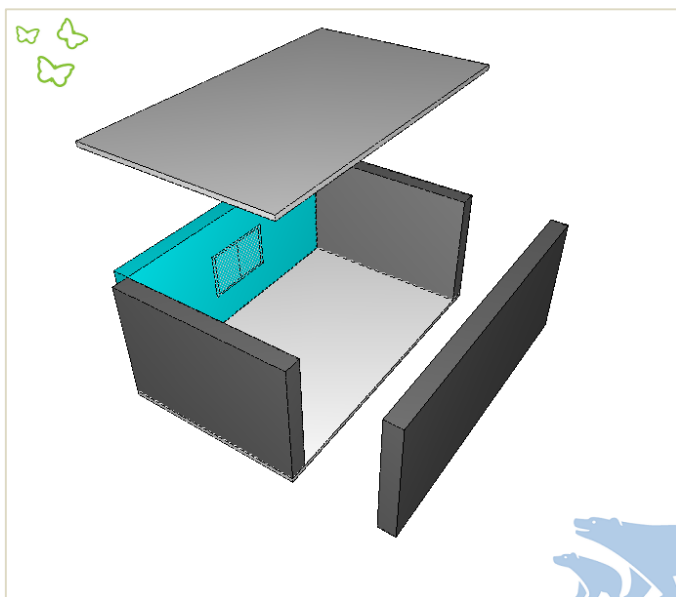
V3-povečanje površine okna na 8 m²

Prostor dimenzij 4 x 6 x 2,7 m predstavlja sobo s 24 m², ki ima eno fasadno steno z daljšo stranico prostora. Ostale stene mejijo na notranje prostore. Hrup prihaja samo iz zunanjega okolja in dosega podnevi večjo zvočno jakost, zato preverjamo samo zvočno izolirnost proti hrupu, ki je v Uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005) določen kot mejna vrednost kazalcev hrupa L_{dvn} [dB]. V varianti V0 okna v prostoru ne nastopajo, saj želimo preveriti vpliv prisotnosti oken na rezultate.

V varianti 1 (V1) smo dodali transparenten del fasadnega ovoja. Okno površine 1 m² predstavlja 6% fasadnega ovoja. Predvidevam, da se bodo rezultati glede na V0 poslabšali, saj ima okno zvočno izolirnost R_w 31 dB, kar je manj od zvočne izolirnosti sten.

V varianti 2 (V2) smo povečali površino okna. Okno površine 4 m² predstavlja 25% fasadnega ovoja.

V varianti 3 (V3) smo močno povečali površino okna. Okno površine 8 m² predstavlja 50% fasadnega ovoja.



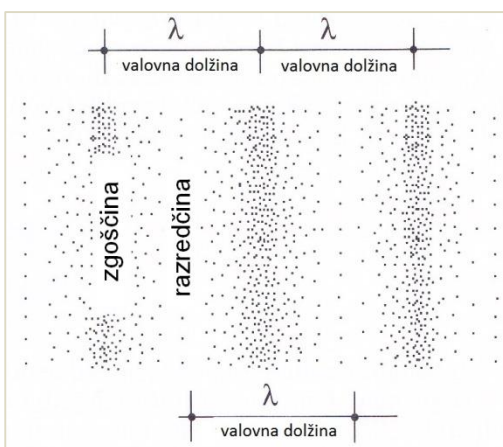
Slika 9: Grafičen prikaz obravnavanega prostora 4 x 6 x 2,7 m (Program Akustika, URSA, 2013)

4 TEORETIČNO OZADJE

4.1 Osnove zvoka

4.1.1 Definicija zvoka

Zvok je mehansko valovanje, ki se prenaša po snoveh, ki so stisljive oziroma elastične; zvok v vakuumu ne more potovati. Zvočno valovanje se uvršča v longitudinalna valovanja, saj delci periodično spreminjajo svojo lego v smeri širjenja valovanja. Pri tem nastajajo zgoščine in razredčine, ki jih zaznamo kot povečan in zmanjšan zračni tlak, glede na referenčni zračni tlak, ki znaša 10^5 Pa oziroma 1 bar. Razdaljo med sosednjima zgoščinama ali razredčinama imenujemo valovna dolžina valovanja, označimo jo z grško črko λ , kot je prikazano na sliki 10. Valovne dolžine pri zvočnih valovanjih, ki jih zaznava človeško uho se gibljejo med 0,02 m in 20 m (Peternelj in Kranjc, 2014; Medved, 2014).



Slika 10: Porazdelitev zračnih delcev v zraku in prikaz valovne dolžine λ [m] (prirejeno po Mehta in sod., 1999, str. 9)

S frekvenco f (s^{-1} ali Hz) opredelimo, kolikokrat v časovni enoti se pojavita zgoščina in razredčina. Hitrost zvoka je odvisna od snovi, skozi katero potuje. V zraku je hitrost zvoka odvisna od temperature zraka in znaša pri 15 °C 341 m/s , pri 0 °C pa 332 m/s . Hitrost zvoka v vodi je 1480 m/s , kar je 4x hitreje, kot v zraku. Pri kovinah je hitrost veliko večja, npr. v jeklu $4800\text{--}5000\text{ m/s}$, zato lahko na tihih veliko hitreje slišimo vlak, kot ga opazimo (Peternelj in Kranjc, 2014; Čudina, 2014).

4.1.2 Vrste zvokov

Zvok je lahko periodičen, neperiodičen, prekinjajoč ali impulziven, harmoničen ali neharmoničen. Harmoničen zvok je sestavljen iz čistih tonov, ki imajo določeno frekvenco in jakost, neharmonični pa so šumi, poki ali hrup. Ločimo tone, šume in impulze (poke, udarce). Hrup je vsak zvok, ki je moteč. Odvisen je od posameznika, saj je za različne ljudi lahko različno moteč, kot npr. glasna glasba (Čudina, 2014; Bilban, 1999).

Vrste zvoka v odvisnosti od frekvence zvočnega valovanja delimo na infrazvok, slušni zvok in ultrazvok. Infrazvok sestavljajo frekvence pod 16 Hz , slušni zvok frekvence med 16 in $20\,000\text{ Hz}$, ultrazvok pa frekvence nad $20\,000\text{ Hz}$ (Bilban, 1999). Akustika v gradbeni fiziki proučuje prenos zvoka s frekvencami med 100 in 3150 Hz , s težnjami po spremembi predpisov na nizkih frekvencah, kjer naj bi se v prihodnosti v analizo zajele frekvence med 50 in 62 Hz , torej oktavo nižje kot do sedaj, akustika zaščite pred hrupom pa prenos zvoka s frekvencami med 50 in $10\,000\text{ Hz}$ (Bilban, 1999; Medved, 2014).

S slišnimi organi ljudje zaznamo zvok s frekvenco med 16 in 20 000 Hz, pri čemer se slišno območje s starostjo zožuje. Podanim frekvencam ustrezata valovni dolžini 21,4 m in 1,72 cm. Infrazvoka ne slišimo, vendar povzroča vsiljeno nihanje notranjih organov in s tem vpliva na naše počutje in zdravje (Bilban, 1999). Nastaja pri grmenju, valovanju oceana, šumenju slapa, turbinah, v zadnjem času tudi vetrnih elektrarn, itd. (WHO, 2007). Pri danskem podjetju Brüel&Kjaer so razvili široko paleto naprav in postopkov za merjenje zvokov v različnih situacijah. Med drugimi tudi za merjenje nizkofrekvenčnega zvoka pri vetrnih elektrarnah, kot je Wind Turbine Sound Power – Type 7914 (Brüel&Kjaer, 2012). Prav tako ne slišimo ultrazvoka, sicer ga za sporazumevanje uporabljajo določene živali, kot so netopirji in delfini. Ultrazvok s frekvenco 10^6 nihajev in več uporabljamo v vodi s sonarjem ter za preiskave notranjosti telesa. Te količine se povezujejo med seboj z enačbo $\lambda = \frac{c}{f}$. Pri govoru ljudje oddajamo zvok s frekvencami med 200 in 5500 Hz. Moški glas je najmočnejši pri 400 Hz, ženski pa pri 500 Hz (Strnad, 2010; Mehta in sod., 1999; Čudina, 2014).

4.1.3 Decibelna lestvica

Vir zvoka oddaja zvočno moč W , ki je definirana kot količina zvočne energije v časovni enoti. Zvočna energija se v okolico prenaša z zvočnim tokom. Za opredelitev glasnosti zvoka smo analogno specifičnemu toplotnemu zvoku pri prenosu zvoka definirali zvočno intenzivnost I , ki je definirana kot količina zvočnega toka, ki prehaja čezenj ali pade na 1m^2 veliko navidezno površino v prostoru (W/m^2). Najmanjša zvočna intenzivnost, ki ga človeško uho še zazna se imenuje prag slišnosti in znaša $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$. Zaradi velikega razpona zvočnih intenzivnosti I , te zapišemo z logaritmično skalo z enoto dB. Imenujemo jo raven zvočne intenzivnosti L_I (Čudina, 2014; Mehta in sod., 1999).

V decibelih (označimo z 'dB', torej z desetinko bela – ime po raziskovalcu Alexandru Grahamu Bellu (1847-1922), med drugim tudi izumitelju telefona), merimo tudi raven zvočnega tlaka L_p . Imenujemo jo tudi glasnost zvoka. Ljudje zaznamo zvočni tlak, ki je večji od $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$, medtem ko zvočni tlak nad 20 Pa povzroči v slušnih organih bolečino. L_p je definirana tako, da vrednost 0 dB ustreza referenčnemu zvočnemu tlaku $p_{ref} = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$. Decibel predstavlja razmerje med dejanskim (efektivnim) zvočnim tlakom in referenčno vrednostjo p_{ref} , podano v logaritmični skali.

V akustiki je raven zvočnega tlaka L_p približno enaka ravni zvočne intenzivnosti L_I . To nam omogoča, da lahko s pomočjo instrumenta, ki v določeni točki v prostoru izmeri zvočni tlak, določimo zvočno moč vira. Zvočni vir namreč v okolico oddaja akustično energijo, ki jo zaznamo kot zvočni tlak. Zvočna intenzivnost je odvisna od lege zvočnega vira, zvočni tlak pa je skalar, odvisen od lokacije v prostoru. V naslednji preglednici so prikazane nekatere tipične zvočne intenzivnosti posameznih virov, s katerimi se srečujemo v vsakdanjem življenju (Čudina, 2014).

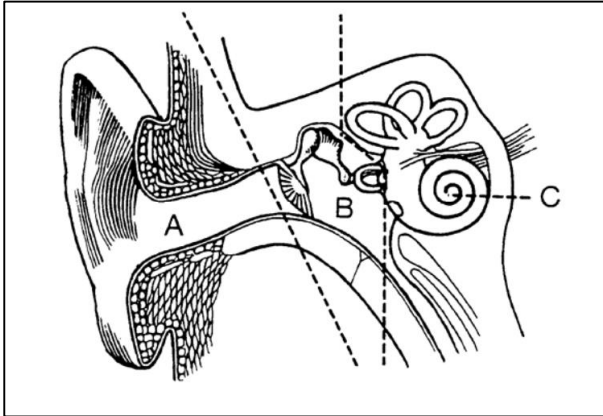
Preglednica 8: Nekateri tipični zvoki v našem okolju in njihove približne zvočne intenzivnosti L_I [dB] (Mehta in sod., 1999; Bilban, 1999)

Zvočna intenzivnost (dB)	Hrup okolja
130	Meja bolečine
120	Bližina vzletnega letala
100	Pnevmatsko kladivo
90	Glasi radio
75	Avtomobili
60	Pogovor
50	Mirna urbana soseska podnevi
40	Študijski prostori
10	Dihanje
0	Meja slišnosti

4.2 Človeško zaznavanje zvoka in merjenje

4.2.1 Človeško uho

Sposobnost, da slišimo in pridobimo informacijo iz okolice, nam omogočajo slušni organi, ki pretvarjajo mehansko valovanje v zraku v električne signale, ki jih živčevje nato prenaša v možgane. Uho lahko razdelimo na tri dele, ki se med seboj razlikujejo po različnih funkcijah in anatomski sestavi. Na sliki 11 vidimo razdelitev posameznih delov.



Slika 11: Slika ušesa. A-zunanje uho, B-srednje uho, C-notranje uho (Jacobsen in sod., 2011, str. 55)

Zunanje uho je sestavljeno iz uhlja in sluhovoda, ki vodita zvok do membrane, imenovane bobnič. Oblika uhlja omogoča zaznavanje izvora zvoka. Nadaljuje se v sluhovod, ki ima zvito cilindrično obliko, sestavljata ga eden do dva loka. Zvok nato pade na bobnič, ki je nagnjen za približno 30° in debel približno 0,1 mm. Bobnič zaznava le razlike v zračnem tlaku, ki ga izenačuje preko nosne votline. Zunanje uho zaradi svoje resonančne frekvence okrepi predvsem frekvence med 2000 in 5000 Hz, za približno 12 dB. Resonančno območje sluhovoda je namreč pri približno 3400 Hz. Pri poškodbi ali perforaciji bobniča pride do okvare pri nizkih in srednjih frekvencah, medtem ko višje ostanejo slišne (Jacobsen in sod., 2011; Sušnik, 1992).

Srednje uho sestavljajo tri majhne koščice; klavdice, nakovalce in stremence, ki so najmanjše od vseh kosti v človeškem telesu. Zračni tlak, ki ga bobnič spreminja v mehansko valovanje, se s pomočjo koščic prenese v notranje uho. Srednje uho je napolnjeno z zrakom in preko nosne votline skozi Evstahijevo cev izravnava zračni tlak. Če je Evstahijeva cev zožena ali blokirana (npr. pri prehladu), se pojavi razlika v tlakih med obema stranema, kar povzroči zmanjšano slišno občutljivost (Sušnik, 1992).

Notranje uho sestavljata polž in slušni živec, ki mehansko nihanje pretvarjata v električne signale. Polž je napolnjen s tekočino in sestavlja tudi center za ravnotežje. Vzvalovana tekočina sproži v gibanje bazilarno membrano, na kateri se nahajajo lasaste čutilne celice. Na enem koncu bazilarne membrane dlačice zaznavajo visoke frekvence, na drugem pa nizke frekvence (Čudina, 2014).

4.2.2 Vpliv hrupa na telo

Na telesne spremembe, ki nastanejo zaradi čezmernega hrupa, vpliva več faktorjev, kot so jakost, frekvenca in časovna sprememba zvoka, poškodba sluha, situacija, itd. Psihološki vplivi se pojavijo že pri glasnejšem neprijetnem govoru, višje glasnosti pa vplivajo predvsem na slušni organ, kot prikazuje preglednica 9. Pred preglasnim hrupom se lahko zaščitimo z opremo za varovanje sluha, kot so čepki, čelade ali kombinezoni čez celo telo (Čudina, 2014). Vpliv je odvisen od nivoja hrupa, trajanja izpostavljenosti, vira in individualnih značilnosti (Yassi in sod., 2011).

Preglednica 9: Posledice izpostavljenosti različnim glasnostim hrupa L_p [dB] (Medved, 2014, str. 236)

Glasnost hrupa (dB)	Posledice izpostavljenosti
65	Psihološki vplivi
90	Izguba sluha ob večletni izpostavljenosti
100	Začasna izguba sluha ob krajši izpostavljenosti
120-130	Prag bolečine
150	Izguba sluha

Poleg poškodbe sluha se vpliv prekomernega hrupa pri 75 dB pozna tudi pri krvnem obtoku čez organe, v očesni zenici, povišanem krvnem sladkorju, ter neugodnem počutju (nemir, utrujenost, slabo počutje). Pri obremenitvah med 80 in 100 dB po daljšem času pride tudi do motenj v krvnem obtoku, povišanem krvnem tlaku, travmi, glavobolih, prebavnih motnjah in hormonskih motnjah. Pri hrupu nad 120 dB pride do direktnega delovanja na ganglijske celice, kar v krajšem času povzroči nelagodnost in bolečino v možganih (Čudina, 2014; Kacjan Žgajnar, 2014; Bilban, 1999).

Na možnost poškodb sluha vpliva tudi čas izpostavljenosti neprestanemu hrupu. Če smo hrupu izpostavljeni dlje časa od dovoljenega, lahko pride do okvar sluha. Pojavi se začasni in trajni premik praga slišnosti, odvisno od intenzitete in trajanja. Če je intenziteta manjša od 65 dB premik praga slišnosti običajno ne nastopi. Kakšen nivo hrupa je moteč pri posameznem delu, je odvisno predvsem od vrste dela posameznika. Pri miselnih delih, ki potrebujejo visoko stopnjo koncentracije, je moteč hrup že pri 40 dB, kot je prikazano v preglednici 10 (Sušnik, 1992).

Preglednica 10: Največje dopustne ekvivalentne ravni hrupa L_{Aeq} v dB(A) za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, Uradni list RS, št. 17/2006, priloga 1)

Vrste dela	L_{Aeq} [dB (A)] (a)	L_{Aeq} [dB (A)] (b)
Rutinsko fizično delo	75	80
Manj zahtevno fizično delo, ki zahteva zbranost in pazljivost	70	60
Enostavna pisarniška in njim primerljiva dela, pretežno fizična dela	65	55
Delo, ki zahteva veliko koncentracijo	55	45
Najzahtevnejše mentalno delo	45	40

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.) (Uradni list RS, št. 17/2006)

Hrup, ki smo mu izpostavljeni v nočnem času, prav tako vpliva na delovanje našega telesa, čeprav se lahko prilagodimo in celo spimo, vendar vpliva hrupa na naše telo ne moremo izklopiti. Naše telo je zunanjemu hrupu bolj izpostavljeno predvsem ob cestah in železnicah. V naslednji preglednici so določene meje za nekatere učinke, ki so že znani, s pomočjo katerih bi lahko odkrili stranske učinke daljše časovne izpostavljenosti.

Preglednica 11: Povzetek učinkov in mejnih vrednosti [dB] za učinke, ki jim lahko dokažemo povezavo (prirejeno po WHO, 2009, str. XIII)

Učinek	Indikator	Prag, dB	
Biološki učinki	Sprememba kardiovaskularne dejavnosti	*	
	Elektroencefalografsko zbujanje (<i>angl. EEG-electroencephalography</i>)	$L_{Amax, notri}$	35
	Gibanje, pojav gibanja	$L_{Amax, notri}$	32
	Spremembe v trajanju različnih faz spanja, strukturi spanja	$L_{Amax, notri}$	35
Kvaliteta spanja	Nočno prebujanje ali/in zgodnje prebujanje	$L_{Amax, notri}$	42
	Težave pri spanju: oseba težko zaspi	*	*
	Zmanjšan čas spanja	*	*
	Povečano povprečno gibanje med spanjem	$L_{ponoči, zunaj}$	42
Počutje	Zavedne motnje pri spanju	$L_{ponoči, zunaj}$	42
	Uporaba uspaval	$L_{ponoči, zunaj}$	40
Zdravstvene težave	Okoljska nespečnost (<i>angl. environmental insomnia</i>)	$L_{ponoči, zunaj}$	42

*indikator mejne vrednosti ni definiran, čeprav je bil vpliv učinka zaznan ali pa bi lahko razvili smiselno biološko povezavo

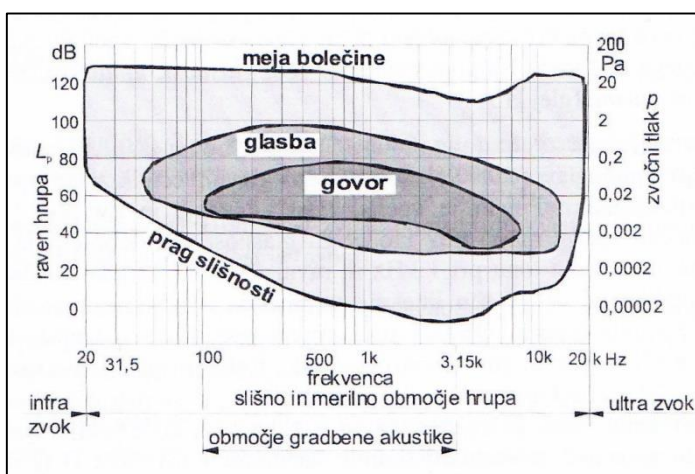
Pri tem je $L_{Amax, notri}$ mejna vrednost ravni hrupa v danem časovnem intervalu, določena z A-karakteristiko (definirana v 4.3). $L_{ponoči, zunaj}$ je ekvivalentna raven hrupa v nočnem času, povezana z določeno vrsto hrupa, ki traja vsaj 8 ur. Ostali manj raziskani učinki, ki se prav tako pojavljajo, so spremembe v nivoju stresnega hormona, utrujenost preko dneva, povečana razdražljivost, povišan krvni tlak in krajša življenjska doba (WHO, 2009).

Vpliv hrupnosti zunanjega okolja v nočnem času do 30 dB ni problematičen. Hrup med 30 in 40 dB je že lahko moteč; pojavijo se nočna prebujanja in nočno premikanje. Intenzivnost učinkov je odvisna predvsem od vrste hrupa (konstantni ali impulzni) in časa izpostavljenosti. Prizadene lahko predvsem otroke, kronične bolnike in starejše. Učinki hrupa med 40 in 55 dB se kažejo pri vseh izpostavljenih. Hrup nad 55 dB vpliva na zdrave izpostavljenih oseb in sicer dokazano poveča možnost za kardiovaskularne bolezni (WHO, 2009).

Ultrazvok in infrazvok sta mehanski nihanji, ki ju navadno ne slišimo, vendar lahko kljub temu vplivata na naše telo. Infrazvok povzroča pri ljudeh napetost v koži, tesnobo v prsih, migetanje pred očmi, glavobol in močno utrujenost. Čezmerna utrujenost nastane zaradi aktivnosti možganov; predvsem pri frekvencah okoli 7 Hz, ki sovpadajo s frekvenco valov alfa možganov, zaradi znižanja krvnega pritiska in padca srčne frekvence. Infrazvok z veliko energijo lahko zaradi resonance organov v telesu povzroči mehansko poškodbo notranjih organov. Ultrazvok zaradi majhne zvočne energije ni škodljiv in se uporablja tudi v medicini. Z energijo ultrazvoka se pospeši gibanje molekul v telesnih tkivih, pri čemer pride do sproščanja energije (Sušnik, 1992; Bilban, 1999).

4.2.3 Fiziološko vrednotenje zvoka

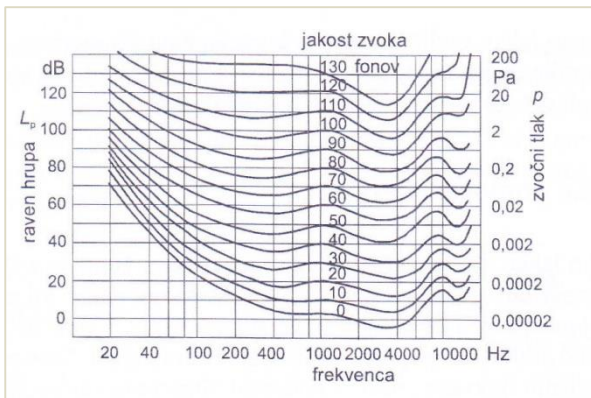
Človeško uho zaznava zvok v odvisnosti od frekvence in jakosti zvoka. Slišimo lahko vire zvoka s frekvencami med 16 in 20 000 Hz. Najbolje zaznavamo frekvence, ki so značilne za govor, in sicer med 200 in 5000 Hz. Slika 12 prikazuje frekvenčno območje spektra slišnega zvoka in njegove ravni hrupa.



Slika 12: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka (Čudina, 2014, str. 5)

Zaradi tega je bila vpeljana subjektivna ali fiziološka enota fon. Decibel je merilo za objektivno oceno jakosti zvoka, medtem ko je fon po definiciji enak decibelu le pri frekvenci 1000 Hz, pri drugih frekvencah pa se razlikujeta med seboj. Zvoke, ki jih v posameznih frekvenčnih pasovih zaznamo kot enako glasne, povezujejo krivulje fonov. Tako na primer zvok s frekvenco 50 Hz slišimo pri ravni zvočnega tlaka, večji od 32 dB, s frekvenco 100 Hz

pa pri ravni zvočnega tlaka nad 18 dB, kot prikazuje slika 13. Enota je standardizirana po mednarodnem standardu ISO 226:2003 (Čudina, 2014).



Slika 13: Fonske krivulje, ki povezujejo slišnost pri različnih frekvencah [Hz] in jakostih zvoka [dB] (Čudina, 2014, str. 6)

Dejanske, z inštrumenti izmerjene vrednosti moramo glede na slišnost ušesa prirediti, zato so bile uvedene različne krivulje frekvenčnih karakteristik. Najpogosteje je uporabljena frekvenčna karakteristika tipa A, ki se približno inverzno ujema s krivuljo 40 fonov. Na ta način oslabimo nekatere izmerjene ravni zvočnega tlaka, in sicer nizke in visoke frekvence in jih zapišemo z enoto dB(A) (Fletcher in Munson, 1933; ISO 226:2003).

4.3 Hrup v zunanem okolju-komunalni hrup

4.3.1 Vrste komunalnega hrupa

Komunalni ali okoljski hrup opisuje vse vire hrupa na prostem. Karakteristika in jakost komunalnega hrupa se spreminjata s krajem in časom, zato moramo pri opisu tega hrupa upoštevati njegovo časovno in krajevno porazdelitev, in spremembo le teh.

Vire komunalnega hrupa sestavljajo prometni hrup (cestni, železniški, letalski, vodni), industrijski obrati, vojaška, policijska in športna strelišča, različna gradbena dela na prostem, kosilnice, žage, klimatske naprave, koncerti na prostem, hrup zaradi vetra, grmenja, dežja toče, itd (Čudina, 2014). Vpliv letalskega prometa v Sloveniji še ni problematičen oziroma je omejen na območje letališč, medtem ko v Evropi več kot 14% ljudi trpi zaradi hrupa letal (Bilban, 2005).

Glasnost hrupa je odvisna od oddaljenosti in frekvence zvočnega valovanja. Del zvočne energije se pri širjenju v zraku zaradi trenja med delci zraka pretvori v toploto v odvisnosti od frekvence. Dušenje je pri frekvencah nad 2000 Hz večje, medtem ko se frekvence pod 100 Hz prenašajo skoraj brez izgub. Na dušenje bolj kakor temperatura zraka vpliva vlažnost. Osebni avtomobili povzročajo raven hrupa 69 dB, nekateri ostali viri hrupa in njihove ravni so navedene v preglednici 12 (Čudina, 2014).

Preglednica 12: Raven zvočnega tlaka L_p v dB(A) pri različnih virih hrupa (Čudina, 2014)

Viri hrupa	Raven zvočnega tlaka L_p v dB(A) na razdalji 15m
Srednji in težki tovornjaki nad 4500Kg	88 (83 do 95)
Športni avtomobili	75
Osebni avtomobili	69
Tovornjaki (lažji in dostavni)	72
Motocikli (na avtocesti)	82
Avtobusi	73
Medmestni avtobusi	82
Motocikli (na lokalni cesti)	85
Kompresor za zrak	81 (64 do 87)
Mešalnik betona	85 (74 do 87)
Kovaško kladivo	88
Črpalka	76 (68 do 78)
Traktor, vlačilec	80 (76 do 96)

4.3.2 Komunalni hrup zaradi cestnega prometa in železniškega prometa

Celotna zvočna energija, ki jo oddajajo motorna vozila, presega 20-kratno vrednost vseh drugih primarnih transportnih sredstev (letala, ladje, železnice, itd.). Zaradi cestnega hrupa izven dela je stresno prizadetih več kot 60 % ljudi. V Ljubljani so najbolj obremenjena območja ob vpadnicah in središče, kjer živi več kot 50 000 prebivalcev, ki so obremenjeni z dnevno ekvivalentno ravni hrupa nad 65 dB. Dnevni pretok presega 20 000 vozil (Špes in sod., 2002).

Ekvivalentna raven hrupa cestnega prometa se zvišuje s številom vozil, vrsto vozil, hitrostjo in oddaljenostjo. 2000 vozil na uro je dvakrat glasnejših kot 200 vozil na uro. En težek tovornjak s hitrostjo 88 km/h je enako glasen kot 28 avtomobilov z enako hitrostjo. Vozila s hitrostjo 100 km/h so dvakrat glasnejša kot vozila s 50 km/h (Kolmansberger, 2005).

Na začetku leta 2002 (Špes, 2002) so bila opravljena merjenja nekaterih odsekov cest v Ljubljani. Meritve so potekale 10 min, med 11. in 13. uro, merjeno 3 m od ceste. Merjenja ob prometnih konicah bi predvidoma prinesla višje ravni hrupa. Rezultati meritev so navedeni v preglednici 13. Ob daljšem časovnem obdobju merjenja bi bili rezultati sicer bolj merodajni.

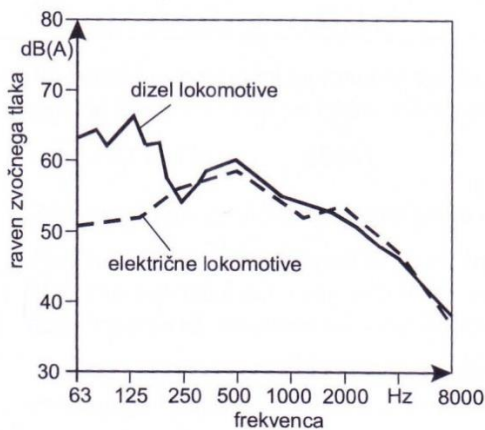
Preglednica 13: Meritve hrupa ob prometnicah v MOL leta 2002 (Špes, 2002, str. 32)

Lokacija	L_{eq} (dB (A))	L_{max} (dB (A))	L_{min} (dB (A))
Dunajska c. 181	70	80	50
Obvozna c.	68	79	49
Tacenska ul. 120	71	79	49
Celovška c.-nasproti hotela lipa	72	79	58
Večna pot	68	80	42
Barjanska c.	69	82	56
Tivolska c.-Slovaška ambasada	72	81	49
Drenikova-pred križiščem	70	78	48
Povprečna raven	70	80	50

Pri tem je L_{eq} ekvivalentna raven hrupa s frekvenčno karakteristiko tipa "A" izmerjena v časovnem intervalu ene meritve. L_{max} je izmerjena maksimalna vrednosti ravni hrupa, L_{min} pa izmerjena minimalna vrednost ravni hrupa.

Na hrup cestnih vozil najbolj vpliva hrup pogonskega motorja, transmisija, podvozje, karoserija, pnevmatike in aerodinamični upor zraka. Motor oddaja frekvence med 800 in 2000 Hz. Pri hitrostih nižjih od 50 km/h prevladuje hrup motorja, pomožne opreme in transmisije. Med 50 in 80 km/h je hrup približno enakovredno sestavljen iz hrupa kotaljenja pnevmatik, motorja ter upora vetra. Nad 80km/h hrup zaradi kotaljenja pnevmatik in zaradi upora zraka presega raven hrupa motorja. Zato so na nekaterih avtocestnih odsekih ob naseljih v nočnem času predpisane nižje hitrosti (Čudina, 2014).

Hrup železniškega prometa je odvisen od vrste motorja. Poznamo lokomotive z dizelskim motorjem, s plinsko turbino ali na električni pogon. Najbolj hrupne so dizelske lokomotive. Na razdalji 30 m od vira dosegajo ravni hrupa od 87 do 96 dB(A). Na sliki 14 so prikazane ravni hrupa v odvisnosti od frekvenc za dizelske in električne lokomotive (Čudina, 2014).



Slika 14: Frekvenčni spekter hrupa za lokomotive na odprtem (Čudina, 2014, str. 106)

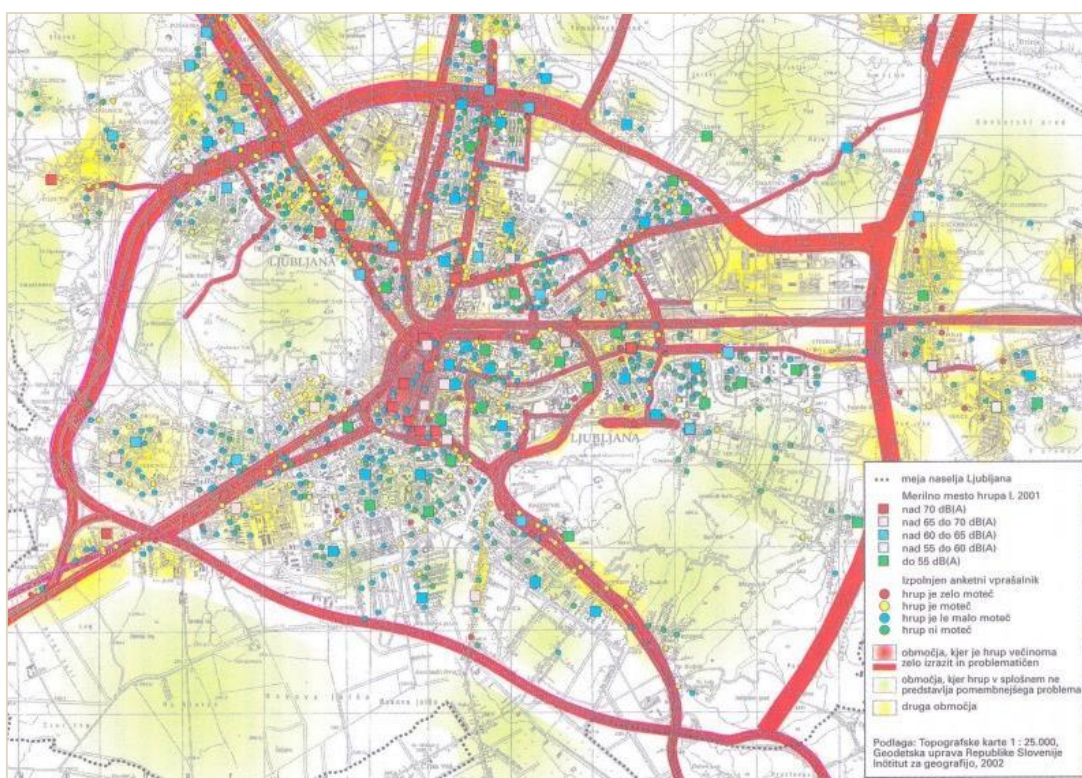
4.3.3 Strateške karte hrupa

Strateška karta hrupa je standardiziran grafičen prikaz stanja obremenjenosti okolja s hrupom na določenem območju. Različne barve na karti predstavljajo različne ravni hrupa na specifičnem območju (Agencija RS za okolje, 2008). Na agenciji RS za okolje so z evropsko direktivo 2002/49/EC (END Direktiva), ki je bila objavljena v uradnem listu EU z Uredbo o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (UL RS, št. 121/2004) ter Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/2005) izdelali strateške karte hrupa za določanje izpostavljenosti prebivalstva hrupu poseljenih območij. Karte so izdelane le na strateškem nivoju in niso uporabne za izdelavo operativnih programov (Agencija RS za okolje, 2008).

V Operativnem programu varstva pred hrupom, ki ga povzroča promet po pomembnih železniških progah in pomembnih cestah prve faze zunaj območja MOL za obdobje 2012–2017 so prikazane ocene števila prebivalcev, ki so obremenjeni z mejnimi vrednostmi kazalcev hrupa $L_{dvn} \geq 65$ dB(A). Zaradi prometa po avtocestah je obremenjenih približno 8200 prebivalcev, medtem ko je zaradi prometa po ostalih pomembnih cestah obremenjenih približno 20 800 prebivalcev. Po navedbah MOP (2011) so ukrepi za znižanje ravni hrupa z vidika prometne infrastrukture predvsem gradnja protihrupnih ograj, menjava oken in ustreznejša obrabna plast vozišč. Drugi navedeni ukrepi so občasno ali celodnevno

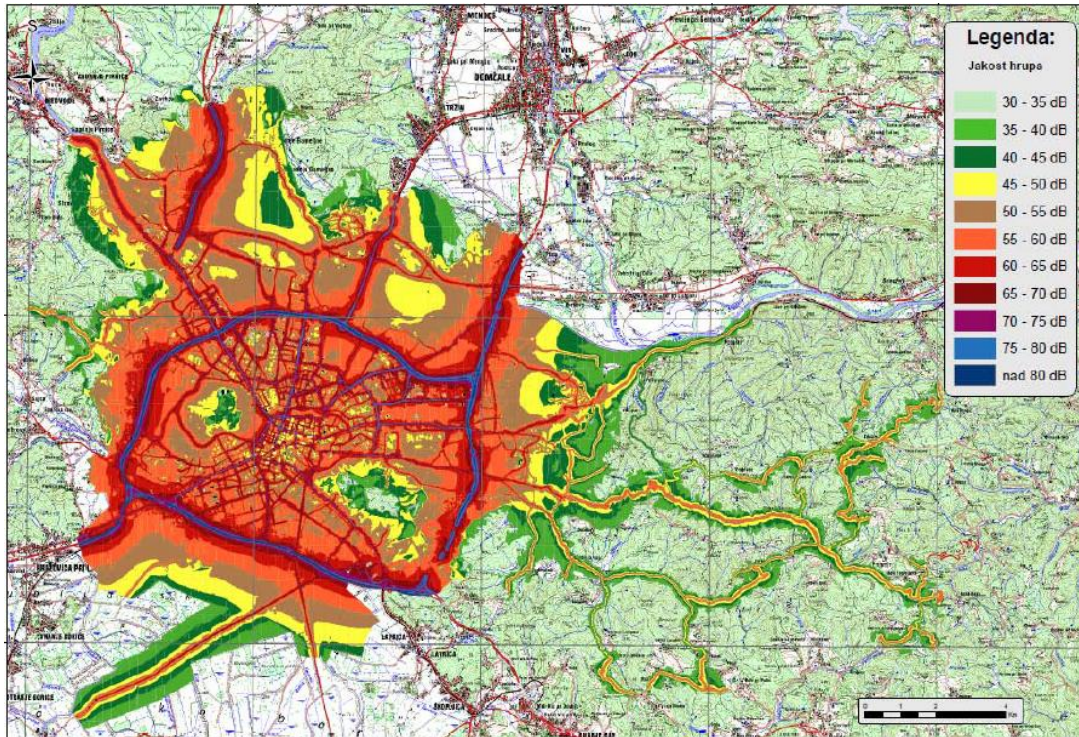
zmanjšanje hitrosti vožnje ali občasne preusmeritve (Ministrstvo za okolje in prostor, (MOP), 2011). Iz tega lahko sklepamo, da zaradi velike količine vozil in bližine stanovanjske infrastrukture glavni problem regionalne in hitre ceste, avtoceste manj. Opozorili so tudi na zagotavljanje ocenjevanja obremenitev s hrupom zaradi vseh posameznih virov hrupa pri pripravi prostorskih aktov oziroma pri pripravi njihovih sprememb in dopolnitev.

Da lahko celostno ocenimo problematiko in razširjenost hrupa, moramo pridobiti rezultate meritev, podatke o prometu itd. Raziskava »Regionalizacija Ljubljane z vidika hrupne obremenjenosti« (Špes in sod., 2002) naj bi pokazala, kolikšen problem predstavlja hrup za Ljubljano in kako je prostorsko prisoten. Upoštevali so že obstoječe podatke in rezultate obsežnih meritev v letih 1995, 1996 in 2001. Pridobili so strateške karte hrupa (slika 15), ki prikazujejo prevladujočo obremenjenost s hrupom v Ljubljani (Špes, 2002).

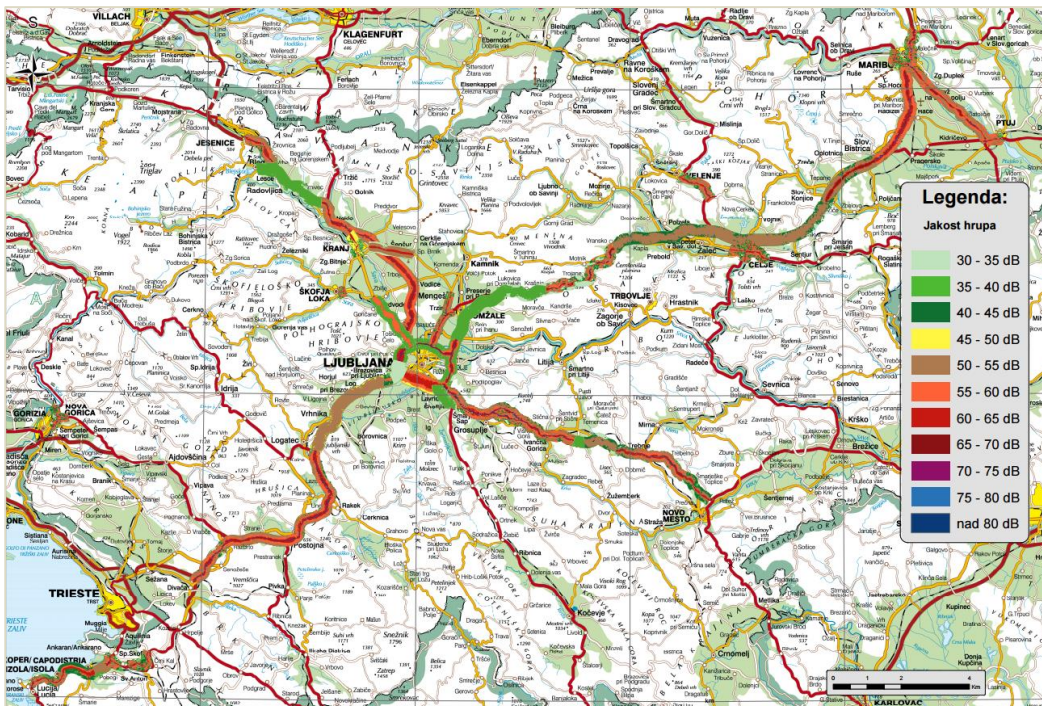


Slika 15: Prevladujoča obremenjenost s hrupom (L_{den}) [dB] v Ljubljani (Špes in sod., 2002)

Hrup na posameznem območju varstva pred hrupom kot posledica obratovanja pomembnih cest se je ocenjeval na osnovi modelnih izračunov na podlagi začasnih metod ocenjevanja kazalcev hrupa. Slika 16 prikazuje nivoje hrupa zaradi cestnega prometa v Ljubljani.

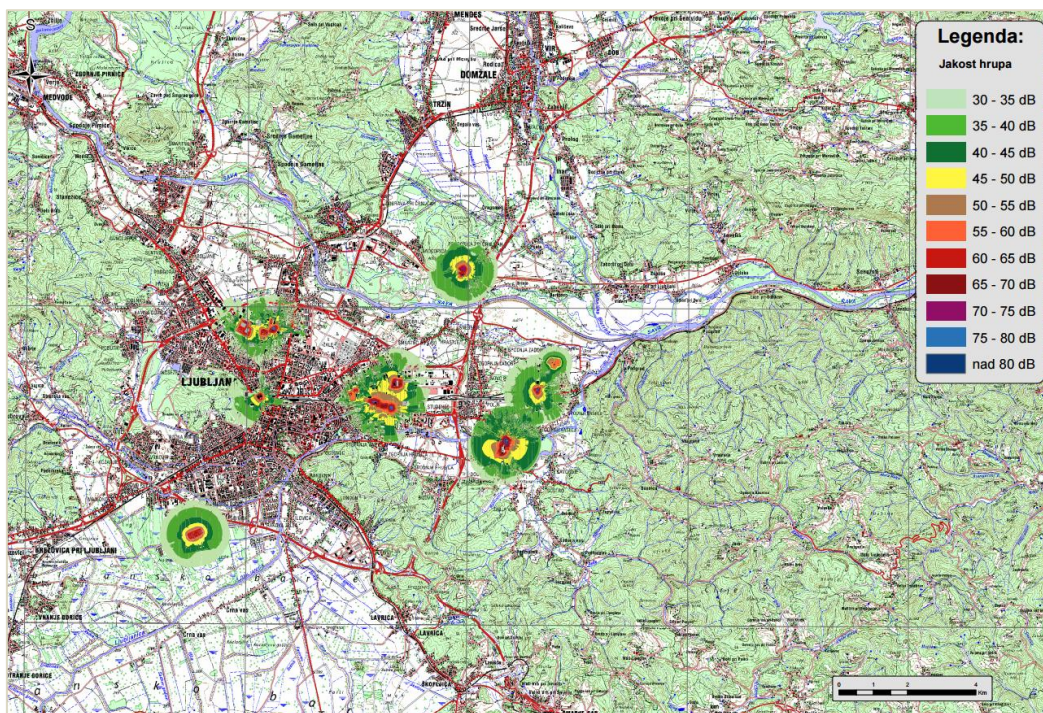


Slika 16: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za cestni promet, Ljubljana (ARSO in GURS, 2008)



Slika 17: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za cestni promet v Sloveniji-pomembne ceste (ARSO in GURS, 2008)

V ocenjevanje industrijskega hrupa so bile vključene naprave, ki naj bi povzročale onesnaževanje okolja večjega obsega v Ljubljani, prikazane na sliki 18.



Slika 18: Strateška karta hrupa (L_{den}) [dB] za industrijo, Ljubljana (ARSO in GURS, 2008)

4.3.4 Merjenje in vrednotenje hrupa v okolju

Hrup v naravnem in bivalnem okolju merimo zato, da ugotovimo obremenjenost območja s hrupom, dejansko stanje hrupa okolja glede na dovoljene mejne vrednosti in izpostavljenost posameznikov. V Sloveniji so zakonsko opredeljene 4. stopnje varstva pred hrupom v zunanjem okolju. Opredeljujeta jih Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (UL RS, št. 121/2004) in Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/2005).

Štiri stopnje varstva pred hrupom določujejo največjo dovoljeno ekvivalentno zvočno raven hrupa v različnih obdobjih dneva, razdeljena na štiri območja varstva pred hrupom:

- I. območje varstva pred hrupom velja za območje, ki potrebuje povečano varstvo pred hrupom: naravno območje, namenjeno turizmu in rekreaciji, neposredna okolica bolnišnic, zdravilišč in okrevališč ter območje naravnih parkov
- II. območje varstva pred hrupom velja za območje, kjer ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi povzročanja hrupa: območje, ki je primarno namenjeno bivanju oziroma zgradbam z varovanimi prostori, čisto stanovanjsko območje, okolica objektov vzgojno-varstvenega in izobraževalnega programa ter programa osnovnega zdravstvenega varstva, območje igrišč ter javnih parkov, javnih zelenih in rekreacijskih površin
- III. območje varstva pred hrupom velja za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa: trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje, ki je hkrati namenjeno bivanju oziroma zgradbam z varovanimi prostori in obrtnim ter podobnim proizvodnim dejavnostim (mešano območje), območje, namenjeno

kmetijski dejavnosti ter javno središče, kjer se opravljajo upravne, trgovske, storitvene ali gostinske dejavnosti

- IV. območje varstva pred hrupom velja za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je lahko bolj moteč zaradi povzročanja hrupa: območje brez stanovanj, namenjeno industrijski, obrtni ali drugi podobni proizvodnji, transportni, skladiščni ali servisni dejavnosti ter hrupnejšim komunalnim dejavnostim

(Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, 4.člen, Uradni list RS, št. 105/2005)

Mejne vrednosti ekvivalentne zvočne ravni hrupa $L_{noč}$ in L_{dvn} [dB(A)] v posameznem obdobju dneva za posamezna območja varstva pred hrupom so predstavljena v preglednici 14, med seboj se razlikujejo v odvisnosti od namena in obdobja dneva. V preglednici 15 so prikazane mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dan} , $L_{noč}$, $L_{večer}$ in L_{dvn} v dB(A), ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge in obratovanje večjega letališča za posamezna območja varstva pred hrupom.

Preglednica 14: Mejne vrednosti kazalcev hrupa $L_{noč}$ in L_{dvn} v dB(A) za posamezna območja varstva pred hrupom (Uradni list RS, št. 105/2005)

Območje varstva pred hrupom	$L_{noč}$ (dBA)	L_{dvn} (dBA)
IV. območje	65	75
III. območje	50	60
II. območje	45	55
I. območje	40	50

Preglednica 15: Mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dan} , $L_{noč}$, $L_{večer}$ in L_{dvn} v dB(A), ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge in obratovanje večjega letališča za posamezna območja varstva pred hrupom (Uradni list RS, št. 105/2005).

Območje varstva pred hrupom	L_{dan} (dBA)	$L_{večer}$ (dBA)	$L_{noč}$ (dBA)	L_{dvn} (dBA)
IV. območje	70	65	60	70
III. območje	65	60	55	65
II. območje	60	55	50	60
I. območje	55	50	45	55

Pri tem se časovno obdobje "dvn" nanaša na cel dan, "dan" na čas med 6:00 in 18:00 uro, "večer" na čas med 18:00 in 22:00 uro in "noč" na čas med 22:00 in 6:00 uro.

4.4 Akustika v stavbah

Pri akustiki v stavbah obravnavamo več različnih pojavov, ki vplivajo na človeško udobje v zgradbah. Poskrbeti moramo, da bo zagotovljeno kakovostno zaznavanje govora in zvoka ter, da je hrup zmanjšan na nivo, ki ni moteč za poslušalca.

Pri meritvah izolirnosti pred zvokom v zraku se navadno merijo terčna frekvenčna območja pri frekvencah med 100 Hz in 3150 Hz. Če dimenzije preizkušanih prostorov to dopuščajo, se meritve izvedejo tudi v območjih od 50 do 5000 Hz.

4.4.1 Akustika prostorov

Kakovost govora, ki ga slišimo, je odvisna od akustike prostora, ki obsega predvsem pojava odmev in resonanco. Oba procesa se pojavita zaradi odboja zvoka na površinah v prostoru. Zato pri akustiki prostora proučujemo predvsem odmevni ali reverberacijski čas, ki je merilo kakovosti zaznavanja zvoka v prostoru. Reguliramo ga s pomočjo volumna prostora, oblike,

velikosti in vrste absorpcijskih površin (npr. akustičnih absorberjev, ki zvočno valovanje absorbirajo). Količina absorpcije pri posameznem materialu je odvisna od frekvence zvočnega valovanja, ki pade nanj. Odmevni čas je odvisen tudi od velikosti in oblike prostora. V prostorih z nevzporednimi nasproti si stoječimi stenami se namreč lažje izognemo resonanci (stoječim valovom) in s tem zmanjšamo odmevni čas, seveda hkrati dosežemo tudi boljšo razporeditev (difuzijo) zvočne energije po prostoru. V srednje velikih in velikih prostorih nastanejo tudi zapozneli odboji zvoka, ki negativno vplivajo na razumljivost govora (izogibati se je potrebno ravnih vzporednih sten in konkavnih površin) (TSG-1-005:2012).

4.4.2 Zvočna zaščita v stavbah

Hrup v zgradbah se deli na hrup, ki prihaja iz okolice in hrup, ki nastaja v stavbi. Delimo ga na zunanji hrup (npr. hrup prometa, industrijskih obratov), hrup iz drugih prostorov, ki se prenaša po zraku (angl. *airborne sound*), hrup obratovalne opreme, odmevni hrup in udarni hrup, ki se širi po konstrukciji (UL RS, št. 14/1999, 10/2012).

Mejne vrednosti opredeljuje Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12) in so določene v TSG-1-005:2012. Zvočna izolacija zunanjih in notranjih ločilnih elementov mora biti dovolj velika, da hrup v varovanih in poslovnih stavbah v posameznih obdobjih dneva ne presega mejnih ekvivalentnih ravni hrupa $L_{eq,A}$. Pri tem morajo biti izključeni vsi viri hrupa v notranjosti stavbe. Preglednica 16 prikazuje mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa $L_{eq,A}$ za posamezno obdobje dneva.

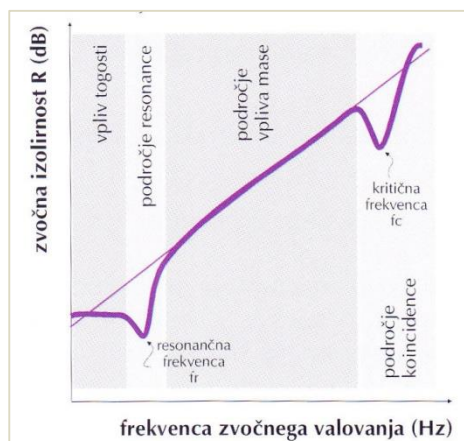
Preglednica 16: Mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa $L_{eq,A}$ v dB(A) za posamezno obdobje dneva (TSG-1-005:2012, str. 10)

Namembnost prostora	Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa $L_{eq,A}$ dB(A)		
	dan	večer	noč
Prostori v stanovanju	35	33	30
Sobe v hotelih in domovih za starejše občane	35	33	30
Bolniške sobe	30	30	30
Ambulante, ordinacije	35	35	35
Učilnice, predavalnice	35	35	35

4.4.3 Zvočna izolirnost sten

Zvočno izolirnost sten R (angl. *transmission loss*) definiramo kot razliko med vpadno ravno zvočne intenzivnosti in skozi steno prepuščeno ravno zvočne intenzivnosti. Zvočna izolirnost je odvisna od frekvenc, ki prehajajo skozi steno. Delimo jih na štiri območja, ki se pojavijo pri različnih frekvencah in so grafično predstavljena na sliki 19:

- upogibna togost plošče
- resonanca plošče
- masa plošče
- vpliv koincidenčnega efekta



Slika 19: Idealiziran potek izolirnosti sten v odvisnosti od frekvenc, primer enojne pregradne stene (Medved, 2014, str. 260)

Vpliv togosti gradbene konstrukcije je viden predvsem v območju zelo nizkih frekvenc, običajno pod 100 Hz. Resonanca konstrukcije negativno vpliva na izolirnost R , vendar pri enoslojnih konstrukcijah ne doseže govornih frekvenc. V primeru večslojnih konstrukcij z zračnim slojem pa se resonanca lahko pojavi tudi v območju govornih frekvenc, kar rešujemo z zapolnitvijo zračnega sloja s porozno snovjo, ki zmanjša resonančno frekvenco f_r . Pri okenski večslojni zasteklitvi znižamo f_r z neenako debelino stekel in žlahtnimi plini (Čudina 2014).

Pri višjih frekvencah na zvočno izolirnost vpliva predvsem masa konstrukcije. Podajamo jo v kg/m^2 . Zvočna izolirnost R se poveča z večanjem površinske mase snovi. Na prenos zvoka vpliva od resonančne frekvence f_r do koincidenčne frekvence f_c . Koincidenčni efekt se pojavi, ko se zvočno valovanje določene frekvence, ki vpade na konstrukcijo, ujame z upogibnim valovanjem konstrukcije pri tej frekvenci. Pojavi se praviloma pri višjih frekvencah. Če se pojavi v območju govornih frekvenc, moramo zmanjšati maso konstrukcije (Čudina 2014).

Zvočna izolirnost je torej odvisna od mase konstrukcije, materiala in debeline. Večslojne gradbene konstrukcije nihajo kot nihajni sistemi in jih je potrebno preizkušati skupaj (Čudina 2014; Medved, 2014). Netransparentne dele ovoja delimo na masivne in lahke. Fasadne stene ali zidove iz lažjih materialov sestavljajo npr. fasadne stene, grajene iz modularnih blokov iz votličastega betona ali opečnih modularnih blokov manjše debeline, montažne stene iz lažjih slojev (npr. mavčno-kartonske plošče) na lesenem ali kovinskem nosilnem okvirju in s polnilom iz mineralne volne itd. (TSG-1-005:2012).

4.4.4 Izračun zvočne izolirnosti zunanjih ločilnih konstrukcij

Skupna zvočna izolirnost zunanje ločilne konstrukcije je skupek zvočne izolirnosti posameznih elementov kot so zunanja stena, okna, vrata, dodatni elementi (npr. roletne omarice, prezračevalniki) in streha (TSG-1-005:2012).

Ovrednotena zvočna izolirnost gradbene konstrukcije R_w se določi s postopkom, ki primerja referenčno krivuljo zvočne izolirnosti N z laboratorijsko vrednostjo zvočne izolirnosti R . Zvočna izolirnost N sledi frekvenčni karakteristiki tipa "A". Pri tem je R_w enoštevilska vrednost, medtem ko je R določena v odvisnosti od frekvence, določena v laboratoriju.

Izračun zvočne izolirnosti je v skladu s standardom SIST EN 12354-3:2001, ki opredeljuje izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti. Raven hrupa, ki nastaja v obravnavanem prostoru zaradi zunanjega hrupa pred zunanjo ločilno konstrukcijo, je določena z enačbo:

$$L_{notri} = L_{zunaj, 2m} - (R'_{w,f} + C_{tr,f}) + 10 \log(S_f/A) - \Delta L_{fs}$$

L_{notri} ... raven hrupa v varovanem prostoru, v dB(A)

$L_{zunaj, 2m}$... raven hrupa 2 m od fasade na zunanji strani, v dB(A)

$R'_{w,f}$... zvočna izolirnost dela fasade, ki pripada varovanemu prostoru, v dB(A)

S_f ... površina deleža fasade, ki pripada varovanemu prostoru, v m²

A ... ekvivalentna absorpcijska površina varovanega prostora, v m²

$C_{tr,f}$... korekcija za spektralno prilagoditev skladno s standardom SIST EN ISO 717-1, v dB(A)

ΔL_{fs} ... korekcija zaradi vpliva oblike fasade, skladno s standardom SIST EN 12354-3

Pri tem je $A = 0,163V/T$

V ... prostornina prostora, v m³

T ... dolžina odmevnega časa v neopremljenem prostoru, v s

Opomba: Če podatki o odmevnem času obravnavanega prostora niso znani, se uporabi referenčni odmevni čas $T_0 = 0,5s$.

Skupno zvočno izolirnost ($R'_{w,f} + C_{tr,f}$) se določi skupaj z upoštevanjem v polno steno vgrajenega okna, z naslednjo enačbo:

$$(R'_{w,f} + C_{tr,f}) = (R_{w,f,p} + C_{tr,f,p}) - 10 \log \left[1 + S_o/S_f \left((10^{0,1(R_{w,f,p} + C_{tr,f,p})}) / 10^{0,1(R'_{w,o} + C_{tr,o})} - 1 \right) \right] \text{ dB}$$

$R'_{w,o}$... zvočna izolirnost okna, v dB

$R_{w,f,p}$... zvočna izolirnost polnega dela fasade, v dB

$R'_{w,f}$... skupna zvočna izolirnost dela fasade, ki pripada varovanemu prostoru, v dB

$C_{tr,o}$... korekcija za spektralno prilagoditev okna, v dB

$C_{tr,f}$... korekcija za spektralno prilagoditev fasade, ki pripada varovanemu prostoru, v dB

$C_{tr,f,p}$... korekcija za spektralno prilagoditev polnega dela fasade, v dB

S_o ... površina okna v m²

S_f ... skupna površina dela fasade, ki pripada prostoru (vključno z oknom), v m²

(TSG-1-005:2012)

V SIST EN 12354-3:2001 je podana standardna razlika zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$, ki je odvisna od zvočne izolirnosti fasade, oblike fasade in dimenzije prostora. V primeru, če je dodan indeks "tr", opredeljuje merjenje s hrupom prometa.

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log(T/T_0) \text{ dB}$$

$L_{1,2m}$... povprečna raven zvočnega tlaka 2 m pred fasado, v dB

L_2 ... povprečna raven zvočnega tlaka v sprejemnem prostoru, v dB

T ... odmevni čas v sprejemnem prostoru, v s

T_0 ... referenčni odmevni čas, v s; za stanovanje je 0,5s

Pri zaščiti gradbenih konstrukcij pred hrupom iz okolja upoštevamo vnaprej znane ravni zvočnega tlaka zunaj in ravni zvočnega tlaka v prostoru, kjer so že upoštevane tipične

akustične lastnosti prostora in stranski prenos zvoka. Zvočna izolirnost oken je običajno občutno manjša v primerjavi z zvočno izolirnostjo masivne stene in zato prevladujoče vpliva na skupno zvočno izolirnost. Pri fasadnih stenah iz lažjih materialov pričakujemo manjšo zvočno izolirnost, problematične so predvsem nižje frekvence, med katere sodi tudi cestni hrup (SIST EN 12354-3:2001).

Čim bolj zmanjšan mora biti tudi prehod zvoka skozi pripire med okvirjem in oknom, med okenskim okvirjem in gradbeno konstrukcijo. Za dovolj veliko zvočno izolirnost je zelo pomembna kakovost tesnil pri elementih, ki se odpirajo. Problematična območja so tudi roletne omarice in prezračevalniki (TSG-1-005:2012).

Korekciji za spektralno prilagoditev C in C_{tr} , ki sta opredeljeni v SIST EN ISO 717-1:2013 opredeljujeta prilagoditve za različne vrste zvokov, glede na njihove frekvence. V preglednici 17 je prikazano, v katerem primeru uporabimo katero izmed spektralnih prilagoditev.

Preglednica 17: Spektralne prilagoditve [dB] pri različnih virih hrupa (SIST EN ISO 717-1:2013, str. 11)

Vrste virov zvokov	Spektralna prilagoditev [dB]
Bivalne aktivnosti (govor, glasba, radio, TV)	C
Igra otrok	
Železniški promet pri srednjih in visokih hitrostih	
Cesta pri hitrostih nad 80km/h	
Bližina letalskega prometa	
Tovarne, ki oddajajo večinoma srednje in visoko frekvenčni zvok	
Promet v urbanih cestah	C_{tr}
Železniški promet pri nizkih hitrostih	
Letalski promet, velike razdalje	
Disko glasba	
Tovarne, ki oddajajo predvsem nizko in srednje frekvenčni zvok	

4.5 Zakonodaja

Področju zvočne zaščite stavb sestavljajo mednarodni in nacionalni pravni akti, ki so obvezni za uporabo, standarde (pogojno obvezni) ter priporočila in smernice, ki opredeljujejo zunanji hrup, zvočno zaščito stavb in hrup na delovnem mestu. V pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12) je po novem določeno, da je za vsako enodružinsko ali tudi najbolj enostavno bivalno enoto obvezen elaborat zaščite pred zunanjim hrupom, kjer se v najbolj enostavnem primeru računsko preverja zvočna izolirnost fasadnega pasu.

4.5.1 Uredbe

Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/2004) določa posamezne ukrepe, z namenom, da se izogne prepreči ali zmanjša škodljive učinke hrupa v okolju. Opredeljuje metode ocenjevanja hrupa v okolju, določa izpostavljenost hrupu s kartiranjem obremenjenosti poseljenih območij s hrupom, zagotavlja dostop informacij o hrupu in njegovem učinku javnosti.

V uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005) so določene mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa za posamezno območje varstva pred

hrupom, opredeljena v 4. členu. Opisana in določena so tudi v poglavju 4.3.4. Na ta način lahko določimo zadostno zvočno izolacijo zunanjih ločilnih elementov.

Uredba (EU) o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov (Uradni list EU, št. 305/2011) in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS (CPR) določa zahteve, ki se poleg varnosti stavb in drugih gradbenih objektov nanašajo tudi na zdravje, trajnost, varčevanje z energijo, varstvo okolja ter na gospodarske in druge pomembne vidike javnega interesa. Ena od osnovnih zahtev za gradbene objekte v celotnem časovnem obdobju ekonomsko sprejemljive življenjske dobe je tudi zahteva Higiiena, zdravje in okolje, ki določa, da morajo biti gradbeni objekti grajeni tako, da ne bodo ogrožali higiene ali zdravja in varnosti uporabnikov ali povzročali prekomernih posledic za kakovost okolja ali podnebja. Obravnavana je tudi osnovna zahteva Zaščita pred hrupom, ki določa, da morajo biti gradbeni objekti načrtovani in grajeni tako, da se hrup, ki ga zaznavajo osebe v objektu ali bližnji okolici, vzdržuje na ravni, ki ne bo ogrožala njihovega zdravja in jim bo omogočala zadovoljive razmere za spanje, počitek in delo.

4.5.2 Zakoni

Zakon, ki ureja pogoje za graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve in njihovo izpolnjevanje glede lastnosti objektov, se imenuje Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, Uradni list RS, št. 102/04, 2002). Določa, da se z gradbenimi predpisi za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti tako, da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse naslednje bistvene zahteve:

- mehanske odpornosti in stabilnosti
 - varnosti pred požarom
 - higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice
 - varnosti pri uporabi
 - zaščite pred hrupom
 - varčevanja z energijo in ohranjanja toplote
 - trajnostna raba naravnih virov (dodano v Uradnem listu EU, št. 305/2011)
- (ZGO-1, 9.člen)

V zakonski določbi je določeno, da je objekt zgrajen v skladu z zahtevami gradbenega predpisa, če ustreza standardom ali tehničnim smernicam. Če v projektu niso bili uporabljeni standardi ali tehnične smernice, mora biti sprožen postopek, kjer se dokaže, da objekt zagotavlja vsaj enako stopnjo varnosti kakor projekt, pripravljen z uporabo standardov ali tehničnih smernic (ZGO-1, 4. odstavek 9. člena).

S tem zakonom je določena tudi tehnična smernica TSG-1-005:2012 (2.člen, 3.2 točka prvega odstavka), 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 smejo vgrajevati ter načini njihove vgradnje in način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene" (predstavljena v poglavju 4.5.4).

4.5.3 Pravilnik

Eno od bistvenih zahtev, navedenih v ZGO-1 (Uradni list RS, št. 102/04, 2002), opredeljuje gradbeni predpis Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbi, Uradni list RS, št. 10/2012. Določa, da mora biti zagotovljena zaščita v stavbah pred hrupom:

- zunanjim hrupom (npr. hrupom zaradi prometa, hrupom iz industrijskih objektov)
- hrupom, ki po zraku prihaja iz drugih prostorov
- udarnim hrupom, ki se iz drugih prostorov prenaša prek konstrukcije
- hrupom obratovalne opreme
- odmevnim hrupom

Zaščita pred zunanjim hrupom se zagotovi z izvedbo zadostne zvočne izolacije zunanjih ločilnih elementov v odvisnosti od ravni zunanjega hrupa. Določuje tudi mejne vrednosti, navedene v tehnični smernici, ki ne smejo biti presežene. Izkaz zaščite pred hrupom v stavbah, dopolnjen z meritvami zvočne izolacije, je obvezna priloga dokazila o zanesljivosti objekta, kakor je ta določen v ZGO-1 (2002), ki se ga izdelava s pomočjo tehnične smernice.

4.5.4 Tehnična smernica

Tehnična smernica TSG-1-005:2012, obvezna za uporabo na podlagi Zakona o graditvi objektov (ZGO-1), predpisuje ukrepe ali rešitve za izpolnjevanje v pravilniku predpisanih zahtev o zaščiti pred hrupom v stavbah. Ob neuporabi te smernice je potrebno izvesti postopke, s katerimi se ugotovi izpolnjevanje zahtev pravilnika.

V tehnični smernici se nahajajo okoljske mejne ravni zunanjega hrupa, ki jih upoštevamo pri izračunu potrebne zvočne izolacije zunanjih ločilnih elementov stavbe v primeru, če nimamo podatkov meritev dejanske obremenjenosti s hrupom ali podatkov o predvidenih obremenitvah. Preglednica je podana tudi v poglavju 4.3.4.

Podaja tudi mejne ekvivalentne ravni hrupa L_{Aeq} za posamezno obdobje v dnevu, ki ne smejo biti presežene. Zvočna izolacija zunanjih in notranjih ločilnih elementov mora biti torej dovolj velika, da hrup ne bo presegal teh vrednosti. Vrednosti so podane tudi v poglavju 4.4.2.

V tehnični smernici so navedeni tudi izračuni, ki jih uporabljamo pri zaščiti stavb pred zunanjim hrupom. Opisani so tudi v poglavju 4.4.4.

Poleg zaščite pred zunanjim hrupom, tehnična smernica podaja tudi mejne vrednosti izolirnosti in maksimalne ravni zvočnega tlaka udarnega hrupa notranjih ločilnih elementov glede na namembnost varovanih in poslovnih prostorov.

4.5.6 Standardi

Naslov standarda: 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.

Slovenski standard SIST EN 12354-3:2001 je slovenski prevod evropskega standarda EN 12354-3 (en). Določa računski model za ocenjevanje zvočne izolirnosti, razlike ravni zvočnega tlaka ali druge zunanje površine stavbe. Rezultati izračuna so podobni rezultatom merjenj na stavbi po EN ISO 140-5. Izračun standardne razlike zvočnih ravni $D_{2m,nT}$, ki ga najdemo v standardu, je podan tudi v poglavju 4.4.4.

Naslov standarda: SIST EN ISO 717-1:2013: Akustika-Vrednotenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov-1.del: Izolirnost pred zvokom v zraku (*angl. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*).

Standard, ki prav tako obravnava zvočno zaščito pred zunanjim hrupom, je standard SIST EN ISO 717-1:2013. V njem je navedena metoda, kako vrednosti zvočne izolacije za zvok v zraku v odvisnosti od frekvenc, pretvorimo v enoštevilske vrednosti, ki odražajo zvočno izolirnost. Pri tem upošteva korekciji za spektralno prilagoditev C in C_{tr} , ki sta odvisni od vrste zvoka, podani tudi v poglavju 4.4.4.

5 REZULTATI

Ustreznost rezultatov je odvisna od območja varstva pred hrupom, v katerem se nahaja objekt ter od zvočne izolirnosti fasade. V uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005) so določene mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dvn} (Preglednica 14). V tehnični smernici TSG-1-005:2012 pa so določene mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa v varovanem prostoru $L_{eq,A}$, ki znašajo čez dan 35 dB, zapisane v preglednici 16. S pomočjo L_{dvn} in $L_{eq,A}$ dobimo preglednico, ki prikazuje minimalno standardno razliko zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ za posamezno območje varstva pred hrupom, ki še ustreza zakonskim zahtevam (Preglednica 18).

Preglednica 18: Minimalna standardna razlika zvočnih ravni $D_{2m,nT}$ [dB] za posamezno območje varstva pred hrupom

Območje varstva pred hrupom:	$D_{2m,nT}$ [dB]
I. območje	15
II. območje	20
III. območje	25
IV. območje	40

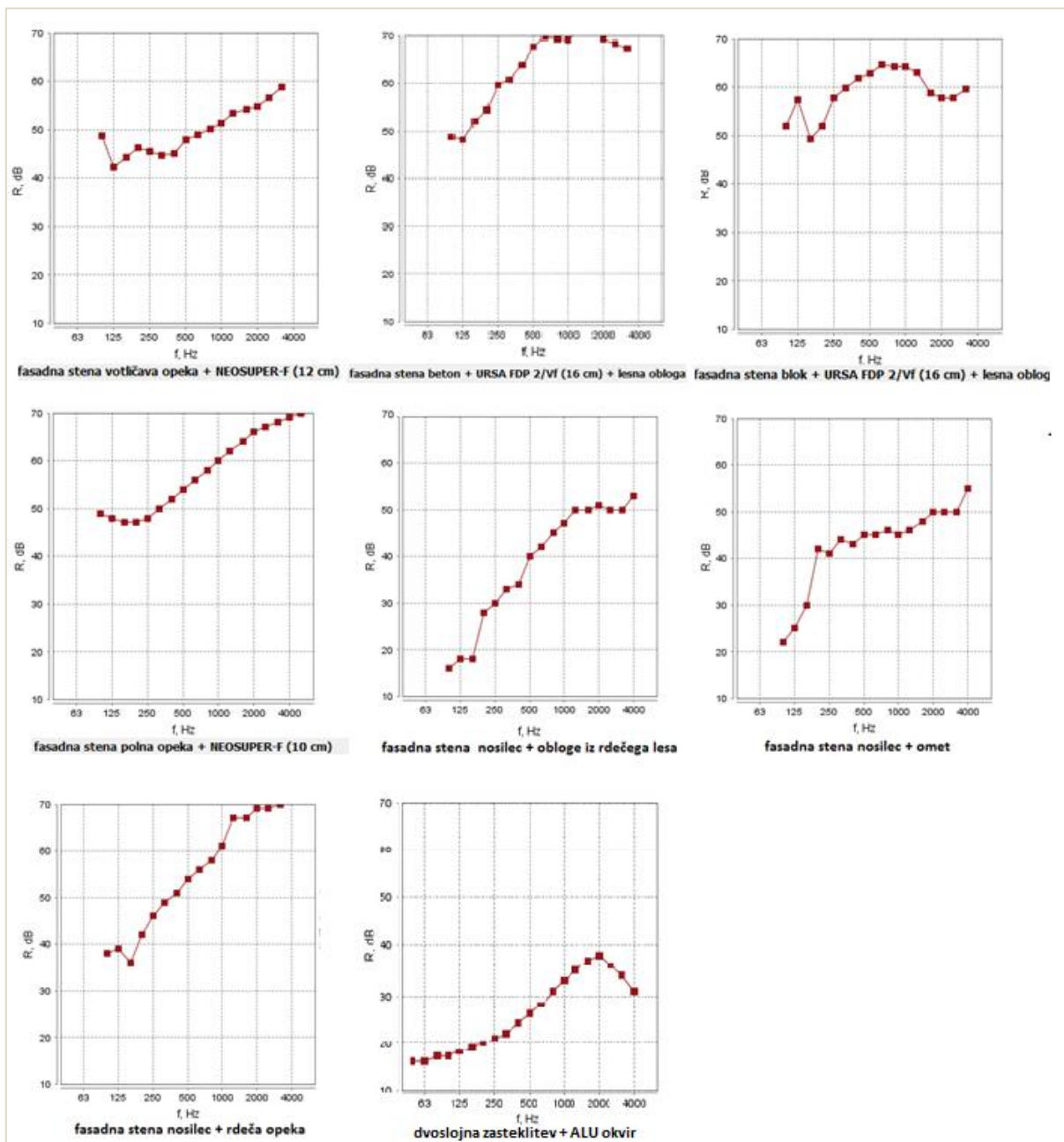
V naslednji preglednici (pregl. 19) so navedene vse zvočne izolirnosti dela fasade, ki pripada varovanemu prostoru R'_w . Najslabšo zvočno izolirnost $R'_w + C_{tr}$ ima lahka fasadna stena z leseno oblogo (5, $R'_w + C_{tr} = 31$ dB), najboljšo pa stena iz armiranega betona, izolacije in lesene obloge (2, $R'_w + C_{tr} = 62$ dB). Transparentni del fasade (dvoslojno okno + ALU okvir, št. 8, $R'_w + C_{tr} = 27$ dB) ima za 4 dB manjšo zvočno izolirnost $R'_w + C_{tr}$ kot najslabši netransparentni del fasade (5, $R'_w + C_{tr} = 31$ dB). Korekcijska faktorja C in C_{tr} zmanjšujeta zvočno izolirnost v odvisnosti od spektralne prilagoditve fasade in sta opredeljena tudi v poglavju 4.4.4. V prvem primeru znašata $C_{tr} = 3$ dB in $C = 1$ dB, kar pomeni da korigiramo zvočno izolirnost v odvisnosti od vrste zvoka iz okolja za enega od teh faktorjev. V tej nalogi je bila korekcija že upoštevana v izračunu s programskim orodjem in je upoštevala cestni hrup (C_{tr} [dB]).

Preglednica 19: Prikaz zvočnih izolirnosti R'_w [dB] transparentnih in netransparentnih konstrukcijskih sklopov

Št. primera: fasadne stene in okna	Zvočna izolirnost R'_w [dB]	C_{tr} [dB]	C [dB]	$R'_w + C_{tr}$ [dB]	$R'_w + C$ [dB]
1	52	3	1	49	51
2	67	5	1	62	66
3	61	2	1	59	60
4	59	4	1	55	58
5	39	8	2	31	37
6	46	7	2	39	44
7	56	6	2	50	54
8	31	4	1	27	30

Na sliki 20 so prikazane laboratorijske vrednosti zvočne izolirnosti R za fasadne stene in okna, ki prikazujejo, kakšna je zvočna izolirnost pri določenih frekvencah. 1. masivna fasadna stena ima zvočno izolirnost pri vseh frekvencah nad 40 dB, 2., 3., in 4. stena pa nad

50 dB, zato so približno enako zvočno izolirni na celotnem frekvenčnem območju. Pri lahkih fasadnih stenah je vidno zmanjšanje zvočnih izolirnosti R pri nižjih frekvencah, zato so manj primerne na območjih z nizkimi frekvencami (npr. cestni promet). Zvočna izolirnost R je pri transparentnem fasadnem pasu (dvoslojno okno + ALU okvir) v primerjavi z netransparentnimi manjša na celotnem frekvenčnem območju in prikazuje problematiko izolirnosti pred nizkimi frekvencami.



Slika 20: Zvočna izolirnost R [dB] transparentnih in netransparentnih konstrukcijskih sklopov v odvisnosti od frekvenc (Baze elementov, Akustika, 2013)

V preglednici 20 so prestavljeni rezultati vseh variant obravnavanega prostora z vsemi netransparentnimi deli fasade. Okna niso dodana v V0, v V1, V2 in V3 pa se spreminja njihova površina. Na rezultate poleg zvočne izolirnosti R_w zaradi odboja od sten vpliva tudi

velikost prostora (SIST EN 12354-3:2001). Pri dvakrat večji prostornini prostora se izolirnost teoretično poveča za 3 dB.

Preglednica 20: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri posameznih variantah

	Vrsta netransparentnega fasadnega ovoja		V0	V1	V2	V3
			$D_{2m,nT}$ [dB]			
Masivni stavbni ovoji	1	Votličeva opeka + stiropor (NEOSUPER-F)	49	40	34	31
	2	Beton + fasadna izolacijska plošča iz steklene volne (URSA FDP 2/Vf) + lesena obloga	61	40	34	31
	3	Opečni blok + fasadna izolacijska plošča iz steklene volne (URSA FDP 2/Vf) + lesena obloga	59	40	34	31
	4	Polna opeka + stiropor (Neosuper-F)	54	40	34	31
Lahki stavbni ovoji	5	Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + obloga iz rdečega lesa	32	32	31	30
	6	Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + omet	40	37	33	31
	7	Mavčno-kartonska plošča + lesen nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + zrak + rdeča opeka	51	40	34	31

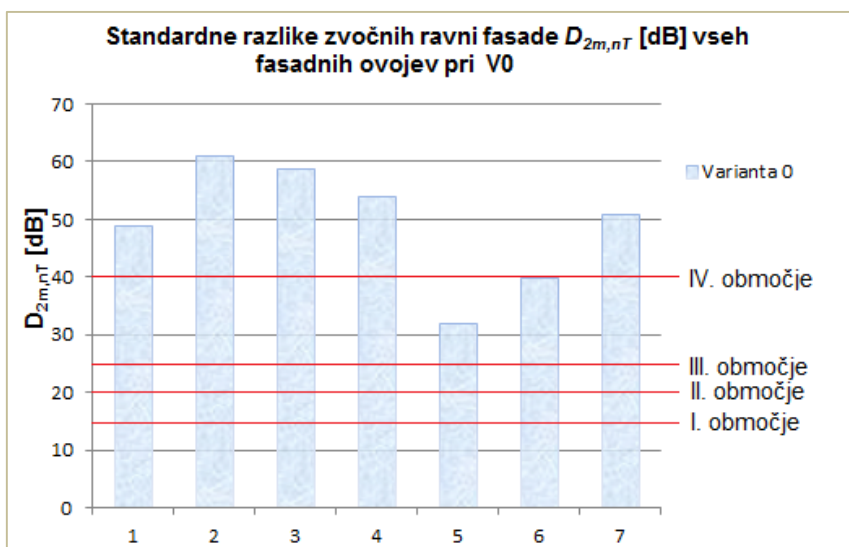
* rdeča barva-ne izpolnjuje zakonskih zahtev za IV. območje varstva pred hrupom, zelena barva-izpolnjuje zakonske zahteve za IV. območje varstva pred hrupom (TSG-1-005:2012; Uradni list RS, št. 105/2005)

Kot prikazuje Preglednica 20, vsi stavbni ovoji v vseh variantah ustrezajo zakonskim zahtevam za območja I., II. in III., saj minimalna standardna razlika zvočnih ravni varstva pred hrupom $D_{2m,nT}$ povsod presega 25 dB (preglednica 18). V varianti V0, kjer ni netransparentnih delov, so zakonske zahteve, razen pri 5 stavbnem ovoju, za vsa območja dosežene. V V1 z velikostjo okna 1 m² pa so za IV. območje dosežene le pri masivnih fasadnih pasovih (1, 2, 3, 4) in zadnjemu lahkem fasadnemu pasu (7). Ker je velikost okna za obravnavano sobo primerna (Uradni list RS, št. 89/1999) le v varianti V3 in V4, lahko povzamemo da noben od stavbnih ovojev ne omogoča zvočne zaščite za IV. območje varstva pred hrupom. Kljub temu, da je to območje opredeljeno kot območje brez stanovanj

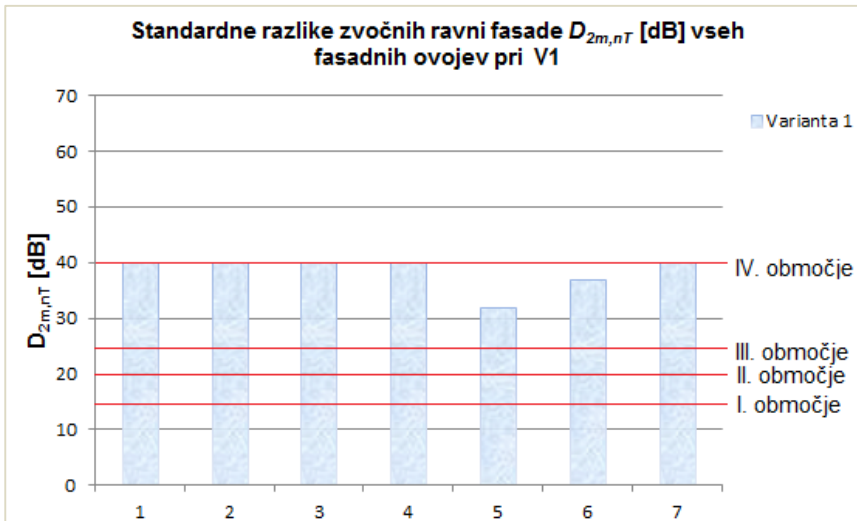
(pogl. 4.3.4), kjer mejne vrednosti kazalcev hrupa za posamezna območja varstva pred hrupom dosegajo $L_{dvn}=75$ dB, so ob večjih cestah v Ljubljani te vrednosti kljub temu dosežene, kot kažejo strateške karte hrupa (4.3.3).

V V0 nastopajo le netransparentni fasadni ovoji. Če primerjamo rezultate zvočnih izolirnosti $R_w + C_{tr}$ posameznih netransparentnih fasadnih pasov in standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$, dobimo primerljive vrednosti, ki znašajo med 49 in 61 dB pri masivnih stavbnih ovojih, ter 32 in 51 dB pri lahkih stavbnih ovojih. Majhne razlike nastanejo zaradi odboja zvoka od sten v varovanem prostoru. Z dodatkom okna površine 1 m^2 (V1) dobimo enake standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}=40$ dB pri vseh masivnih stavbnih ovojih, kar kaže na velik vpliv odprtin. Pri 5. fasadnem pasu do razlik ne pride, saj je razlika med zvočno izolirnostjo okna in zidu premajhna ($D_{2m,nT}=32$ dB). 6. in 7. stavbna ovoja imata primerljive standardne razlike zvočnih ravni fasade ($D_{2m,nT}=37$ dB in $D_{2m,nT}=40$ dB) z masivnimi pasovi, zato lahko povzamemo, da je problem zvočne izolirnosti fasadnih pasov povezan predvsem s transparentnim delom fasadnega ovoja. Pri oknih s površino 4 m^2 (V2) so rezultati glede na V1 za 6 dB slabši pri masivnih pasovih in med 1 in 6 dB pri lahkih fasadnih pasovih. V zadnji varianti (V3), kjer nastopajo okna s površino 8 m^2 , je pri vseh fasadnih pasovih glede na V2 za 1-3 dB zmanjšana standardna razlika zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$.

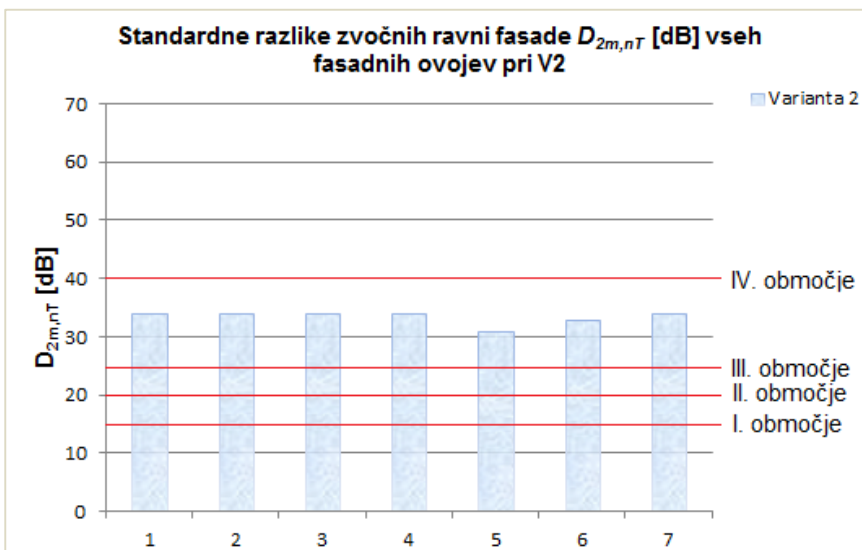
V grafikonih na slikah 21, 22, 23 in 24 so predstavljene standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ za posamezne variante fasadnih ovojev. Z rdečo črto so označena tudi minimalne standardne razlike zvočnih ravni $D_{2m,nT}$ za posamezna območja varstva pred hrupom, ki še dosegajo zakonske zahteve (Preglednica 18).



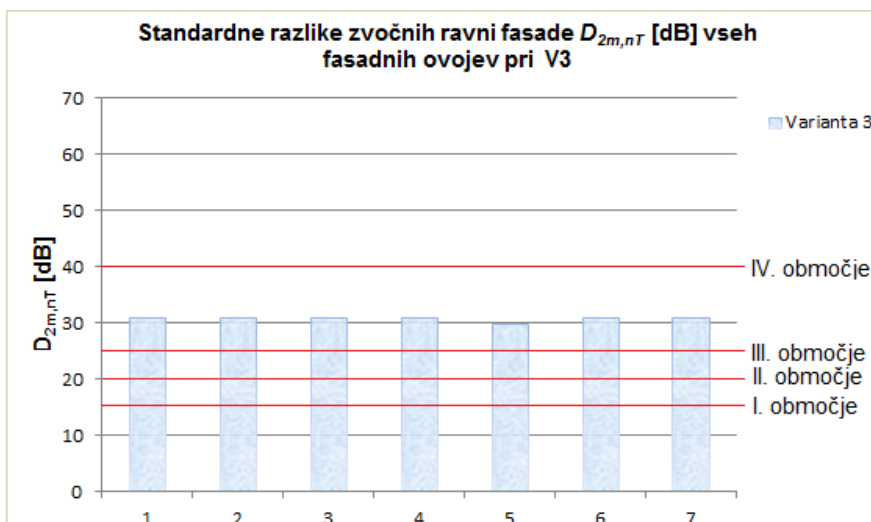
Slika 21: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V0, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom



Slika 22: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V1, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom



Slika 23: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V2, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom



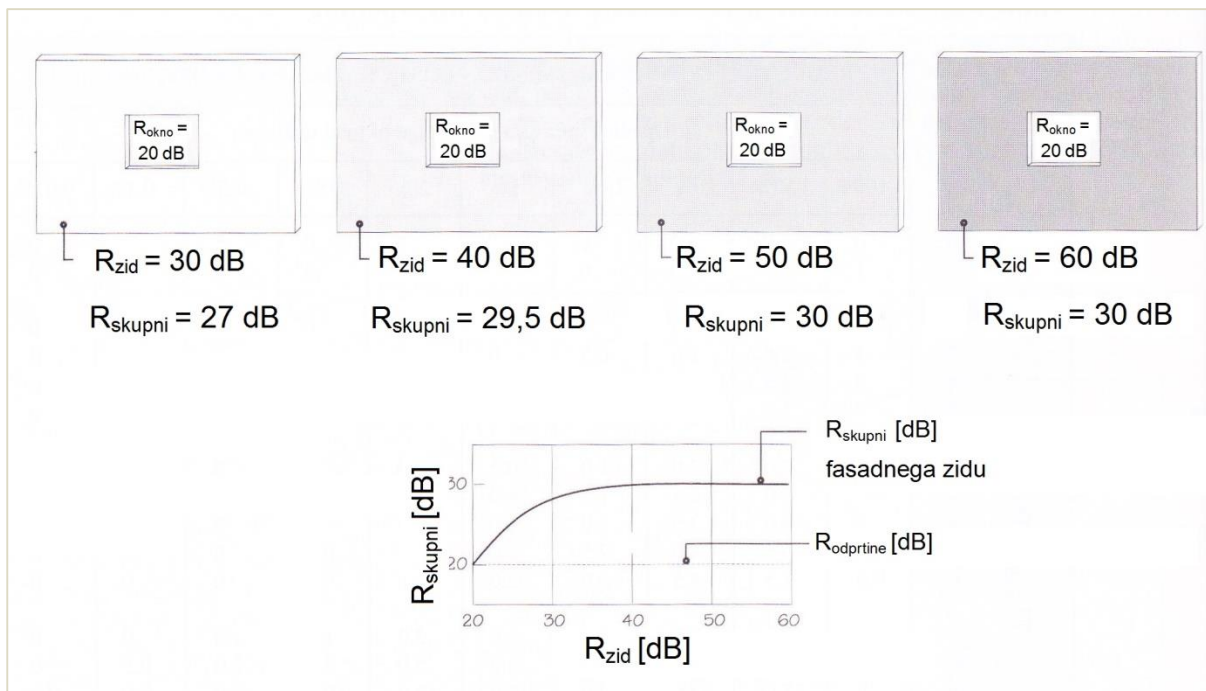
Slika 24: Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] vseh fasadnih ovojev pri varianti V3, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom

6 DISKUSIJA

Medtem ko imajo v V0, kjer ni transparentnega dela stavbnega ovoja, masivni zidovi večje standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ kot lahki zidovi, je v naslednjih variantah vpliv oken tako velik, da zakonske zahteve za najstrožje zahteve pri nobenem fasadnem pasu niso dosežene.

Pri V1 imajo vsi stavbni ovoji, razen 5. in 6. enake rezultate. Podobno se ponovi v V2, kjer rezultati znašajo med 31 in 34 dB. V V4 pa so vsi rezultati 31 dB, razen 5. stavbnega ovoja, ki znaša 30 dB.

Pojasnilo, zakaj so rezultati pri posameznih variantah tako podobni med seboj, sem dobila v knjigi avtorja Mehta in sod., (1999). S pomočjo matematične formulacije so prikazali vpliv odprtih na zvočno izolirnost celotnega fasadnega pasu. Kljub 90% površini netransparentnega dela je zvočna izolirnost celotnega pasu bolj približana zvočni izolirnosti oken. Torej, če ima stavbni ovoj zvočno šibek element, ima celoten ovoj slabo zvočno izolirnost, ne glede na to, kako dobro zvočno izoliren je netransparenten del stavbnega ovoja. Dobro zvočno izolirnost lahko torej dosežemo samo v primeru, če je vsak del fasade dobro zvočno izoliren. Za boljše razumevanje je na sliki 22 predstavljen primer zidu z 10% površino odprtih.



Slika 25: Skupna zvočna izolirnost R_{skupna} [dB] zidu z različnimi vrednostmi zvočne izolirnosti R_{zid} [dB] stene in enakimi zvočnimi izolirnostmi R_{okna} [dB] odprtine (prirejeno po Mehta in sod., 1999)

Gradnja stavbnih ovojev mora upoštevati zvočne izolirnosti vseh elementov ovoja. V primeru nekvalitetne izvedbe ali vgradnje zvočno šibkega elementa, kot so okna, namreč močno poslabšamo celotno zvočno izolirnost. To je še posebej pomembno v primeru gradnje stanovanjskih objektov v bližini cest, železnic ali letališč, kjer nivoji hrupa dosegajo mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dvn} za IV. območje varstva pred hrupom.

Zaradi zmanjšane zvočne izolirnosti je možen negativen vpliv na zdravje uporabnikov varovanega prostora. Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ [dB] obravnavanih fasadnih ovojev pri posameznih variantah, ki ne dosegajo zakonskih zahtev za IV. območje varstva pred hrupom, se gibljejo med 30 in 37 dB, kar predstavlja v varovanem prostoru hrup z jakostjo 38 do 45 dB. Glede na preglednico 10 bo v tem prostoru lahko povečana možnost za oteženo opravljanje odgovornega mentalnega dela ali v nekaterih primerih dela, ki zahteva veliko koncentracijo (Bilban, 1999).

Kot smo pokazali na sliki 20, se pojavljajo večje razlike med masivnimi in lahкими stavbnimi ovoji na področju nizkih frekvenc, zato bi bilo smiselno spremeniti pojmovanje zvočne izolirnosti v odvisnosti od frekvenc, kar so v določenem obsegu predlagali avtorji Ljunggren in sod., (2014).

7 ZAKLJUČEK

Trend današnje gradnje in prenove se osredotoča predvsem na reševanje energetske učinkovitosti, medtem ko je področje zaščite pred hrupom pogosto neupoštevano. Stavba in njen ovoj se pogosto ne načrtuje v odvisnosti od lokacije in zunanjih ravni hrupa, zato so pogosto neupoštevane zakonske zahteve, ki ščitijo uporabnike stavb pred negativno izpostavljenostjo hrupu iz okolja (Krainer, 1993; WHO, 2009; Bilban, 1999).

Zvok je mehansko valovanje, ki ga človeško uho zazna kot spremembo zračnega tlaka (Peternelj in Kranjc, 2014). Pri govoru oddajamo zvok s frekvencami med 200 in 5500 Hz, medtem ko nekatere živali medsebojno komunicirajo in se odzivajo pri veliko višjih frekvencah, ki jih mi ne slišimo. Slišnost je odvisna od jakosti zvočnega valovanja in frekvence. Ljudje namreč različne frekvence slišimo različno glasno (Mehta in sod., 1999; Čudina, 2014).

Hrup je eden od večjih problemov sodobne civilizacije, ki negativno vpliva na naše telo in zdravje. Pri jakosti hrupa nad 65 dB se že pojavijo psihološki vplivi. Daljša izpostavljenost prekomernemu hrupu vpliva tudi pojav bolezni srca in ožilja, možganske kapi, povišanega krvnega tlaka in glavobolov (Čudina, 2014; Kacjan Žgajnar, 2014; Bilban, 1999). Škodljiv je tudi hrup, ki nastaja v nočnem času, saj že pri 30 dB znižuje kvaliteto spanja in vpliva na zdravje (WHO, 2009).

Hrup v zunanjem okolju nastaja predvsem zaradi cestnega in železniškega prometa ter industrijskih obratov (Špes in sod., 2002). Po statističnih podatkih je preko 40% vseh prebivalcev Evrope izpostavljenih ravni hrupa nad 65 dB(A) čez dan in nad 50 dB(A) ponoči (WHO, 2011). Maksimalna izmerjena vrednost ravni hrupa ob prometnicah v Ljubljani znaša 82 dB (Špes, 2002). V skladu z evropsko direktivo so bile izdelane strateške karte hrupa na območju Slovenije, ki prikazujejo zaskrbljujoče stanje na področju zaščite pred hrupom (ARSO in GURS, 2008). Bolj kot avtoceste, so problematične ostale pomembne ceste, kjer je zaradi hrupa nad 65 dB(A) obremenjenih približno 20 800 prebivalcev. Pri ukrepih varstva pred hrupom je potreben celovit hierarhičen pristop (Dovjak, 2014). Delimo jih na aktivno in pasivno protihrupno zaščito. Zaščita na področju izvora je aktivna zaščita, ki je velikokrat enostavnejša, cenejša in bolj uspešna, medtem ko je pasivna zaščita na področju sprejemnika in tako praviloma dražja rešitev in hkrati tudi velikokrat manj uspešna. Pod pasivno zaščito na področju cest štejemo postavitev protihrupnih ograj. Pomembni so pa tudi arhitekturno-gradbeniški ukrepi, ki so pogosto neupoštevani (MOP, 2011). Vrstni red protihrupnih ukrepov pred hrupom obratovalne opreme v stavbah se podobno deli na primarne, sekundarne in terciarne ukrepe, pri čemer so prav tako najuspešnejši ukrepi na viru (primarni). Terciarni ukrepi se uporabljajo le kot začasen ukrep ali izhod v sili (TSG-1-005:2012).

Zvočna zaščita v stavbah mora biti zagotovljena z zadostno zvočno izolirnostjo zunanjih in notranjih ločilnih elementov (TSG-1-005:2012). Odvisna je predvsem od mase konstrukcije, materiala in oblike (Čudina 2014; Medved, 2014). Pri lahkih gradnjah je najbolj problematična prisotnost cestnega hrupa, saj ne zagotavlja primerne zaščite pri nizkih frekvencah. Pri zvočni zaščiti stavbnih ovojev so problematični predvsem elementi z nižjo zvočno izolirnostjo, kot so okna, roletne omarice in prezračevalniki, ki močno znižujejo izolirnost celotnega pasu (TSG-1-005:2012).

Na področju zakonodaje Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/2004) med drugim definira kazalce za ocenjevanja hrupa, ki so za posamezno območje varstva pred hrupom določena v Uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005). Slovenski Zakon o gradivi objektov (Uradni list RS, št. 102/04) določa zahtevo zaščite pred hrupom v objektih, ki je opredeljena v Pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbi (Uradni list RS, št. 10/2012). Pravilnik določa tudi mejne vrednosti hrupa v varovanih prostorih, ki ne smejo biti presežene. Z zahtevo zaščite pred hrupom v objektih je določena tudi tehnična smernica TSG-1-005:2012, v kateri so navedeni izračuni, ki jih uporabljamo pri zaščiti stavb pred hrupom v stavbah. V pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12) je po novem določeno, da je obvezen elaborat zaščite pred hrupom tudi v enodružinskih stavbah, kjer se preverja zaščita pred zunanjim hrupom.

S pomočjo programskega orodja URSA Fragmat-Akustika (URSA, 2013) sem izračunala zvočno izolirnost fasadnih ovojev glede na območja varstva pred hrupom. Program je prijazen za uporabo in omogoča izračun zvočnih izolirnosti zunanjih in notranjih pregradnih elementov. Sestavljen je v skladu s tehnično smernico in standardi ter sam določi ustreznost pregrad v odvisnosti od območja varstva pred hrupom.

Pri preverjanju zvočne izolirnosti sem obravnavala prostor velikosti 24 m². Izvedla sem več variant in preverjala sedem različnih netransparentnih slojev, od katerih so bili štirje masivni in trije lahki. Želela sem dokazati ustrezno zvočno izolirnost lahkih zidov. Pri izračunu je bil upoštevan korekcijski faktor C_{tr} za območja s cestnim hrupom. Brez dodanih transparentnih slojev (varianta V0) je najboljšo zvočno zaščito nudila masivna betonska stena, medtem ko se je najslabše obnesla lahka stena z oblogo iz rdečega lesa. Kljub pričakovanjem je lahka stena z oblogo iz rdeče opeke dosegla višjo zvočno izolirnost kot masivna stena z votličevo opeko. Glede na rezultate lahko trdimo, da zvočna izolirnost pri lahki gradnji ni nujno nizka. Kljub temu pa je bila zvočna izolirnost pri lahkih stenah v večini primerov slabša. Pri primerjavi zvočne izolirnosti lahkih in masivnih sten po frekvencah je bila zvočna izolirnost lahkih sten pri nizkih frekvencah veliko manjša, kar zmanjšuje zvočno zaščito pred cestnim hrupom. Hipotezo, da so lahke gradnje slabše v nižjih frekvenčnih območjih, lahko potrdimo. Rezultati enoštevilskih zvočnih izolirnosti, katere so določene s postopkom, ki upošteva slišno območje ušesa in s tem korigira zvočno izolirnost v odvisnosti od frekvenc, pa so pokazali, da lahko tudi lahke gradnje dosegajo zadostno zaščito pred hrupom v vseh območjih varstva pred hrupom.

Pri variantah V1, V2 in V3 sem preverjala vpliv deleža zasteklitve. Izbrala sem dvoslojno okno z ALU okvirjem. Pri V1 je okno predstavljalo 6% površine celotnega fasadnega pasu, pri V2 25% in pri V3 50%. Rezultati so bili presenetljivi. Vrednosti v V1 so se namreč precej izenačile: kar pet fasadnih pasov je doseglo zvočno izolirnost 40 dB, od tega vsi masivni zidovi. Pri V2 so se rezultati pri masivnih stenah glede na V1 poslabšali za 6 dB, pri lahkih pa za 1- 6 dB. Pri V3 so imeli skoraj vsi fasadni pasovi vrednost 31 dB, razen najslabšega, ki je imel 30 dB. Izkaže se, da je vpliv šibkejšega fasadnega elementa na zvočno izolirnost celotnega ovoja zelo velik, kar so dokazali tudi avtorji Mehta in sod., (1999). Hipoteza, da bo površina zasteklitve negativno vplivala na stopnjo zvočne izolirnosti celotnega ovoja, se potrdi. Še več – zvočna izolirnost zasteklitve je veliko pomembnejša, kot bi sprva menili. Vzrok temu je dejstvo, da ima stavbno pohoščeno bistveno manjšo zvočno izolirnost kot netransparentni del ovoja, celo od tistega, ki je izveden v lahki izvedbi. Pri gradnji objektov bi priporočila čim boljše zvočno izolirne lastnosti vseh elementov fasadnega ovoja in kakovostno vgradnjo.

Območja varstva pred hrupom se delijo na štiri skupine, v odvisnosti od nivoja zunanjega hrupa. III. območje opisujemo kot trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje, v katerega bi lahko umestili vse obravnavane fasadne pasove, ne glede na delež zasteklitve, saj so dosegali primerno stopnjo zvočne zaščite. V zadnje, IV. območje pa z vidika zadostne osvetljenosti prostora in zvočne izolirnosti ne moremo umestiti nobenega izmed njih. V IV. območje sicer spada območje brez stanovanj, za katerega je določena mejna vrednost kazalcev hrupa $L_{dvn}=75$ dB, v katerega bi morali glede na strateške karte hrupa umestiti vsa območja prometnejših cest v Sloveniji, ki potekajo poleg stanovanjske gradnje.

Zaščita pred zunanjim hrupom v stavbah na področju Slovenije je pomanjkljivo obravnavana. S trendi lahke gradnje in velikimi površinami zasteklitev bi morali biti pozorni tudi na bistveno slabšo zvočno izolirnost oken in ostalega stavbnega pohištva, ki močno poslabša izolirnost celotnega ovoja. Na tržišču so že okna, ki dosegajo zvočne izolirnosti do 45 dB, vendar je njihova cena višja. Na zvočno izolirnost oken vpliva tudi dimenzija stekla in razdalja med njimi, kar so preverjali avtorji Miskinis in sod. (2014) in prikazali najprimernejše dimenzije ter lastnosti oken. Da hrup ni zgolj »nekaj, na kar se navadiš« so pokazale številne raziskave, ki so preučevale vpliv hrupa na telo in zdravje. Avtorji Sørensen in sod. (2001) so dokazali, da hrup poveča možnost za nastanek možganske kapi, Babisch (2008) pa je opazil znaten porast tveganja za pojav srčnega infarkta, ko nivo povprečnega dnevnega hrupa preseže 60 dB(A).

VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). 2008.

<http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/hrup/karte/> (Pridobljeno 9. 7. 2015.)

Babisch, W. 2008. Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health* 2008;10:27-33.

<http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=14631741;year=2008;volume=10;issue=38;spage=27;epage=33;aulast=Babisch> (Pridobljeno 11. 7. 2015.)

Bilban, M. 1999. *Medicina dela*. Ljubljana. ZVD Zavod za varstvo pri delu: 605 str.

Bilban, M. 2005. Hrup kot spremljevalec sodobnega življenja. Evropska kampanja Prenehajte s tem hrupom 2005.

http://www.osha.mddsz.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban_Spremljevalec_sodobnega_zivljenja.pdf (Pridobljeno 12. 7. 2015.)

Brüel&Kjaer. 2012. Naprave za merjenja zvočne moči.

<http://www.bksv.com/Products/analysis-software/acoustics/sound-power-determination/wind-turbine-sound-power-7914?tab=descriptions> (Pridobljeno 12. 8. 2015.)

Čudina, M. 2014. *Tehnična akustika. Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 332 str.

Dovjak, M. 2014. *Zvočna zaščita stavb-bivalno okolje*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente: 76 str.

Fletcher, H., Munson, W.A. 1933. Loudness, its definition, measurement and calculation. *Journal of the Acoustic Society of America* 5, 82-108.

Jacobsen, F., Poulsen, T., Holger Rindel, J., Christian Gade, A., Ohlrich, M. 2011. *Fundamentals of acoustics and noise control*. Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark.

http://web-files.ait.dtu.dk/fjac/p_home_page/notes/Fundamentals_of_acoustics.pdf (Pridobljeno 24. 7. 2015.)

Kacjan Žgajnar, K. 2014. *Vpliv hrupa in vibracij na zdravje*. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, stavbarstvo, 61 str.

Kernöcker, R., Schild, R. 2005-2007. *Schalldämmung von Ziegelwänden mit WDVS*. Sto Gesm.b.H. in OÖ.-Sbg. Zieglerverband: 28 str.

Krainer, A. 1993. *Vernacular buildings in Slovenia : genesis of bioclimatic growth of vernacular buildings in Slovenia*, European Commission TEMPUS Programme: 102 str.

Ljunggren, F., Simmons, C., Hagberg, K. 2014. Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound. *Applied Acoustics* 2014;85:57-68.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X14001005> (Pridobljeno 13. 5. 2015.)

Long, M. 2006. Architectural acoustics. Burlington, Elsevier Academic Press: 844 str.

Medved, S. 2014. Gradbena fizika 2. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 328 str.

Mehta, M. Johnson J., Rocafort, J. 1999. Architectural Acoustics. Principles and Design. New Jersey: 446 str.

Ministrstvo za okolje in prostor MOP. 2011. Operativni program varstva pred hrupom, ki ga povzroča promet po pomembnih železniških progah in pomembnih cestah prve faze zunaj območja MOL. Ljubljana: 56 str.

Miskinis, K., Dikavicius, V., Bliudzius, R., Banionis, K. 2014. Comparison of sound insulation of windows with double glass units. Applied Acoustics 2015;92:42-46.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X15000092> (Pridobljeno 13. 6. 2015.)

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

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. Uradni list RS št. 89/1999.

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah. Uradni list RS št. 14/1999 (s sprem. Uradni list RS, št. 10/2012).

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu. Uradni list RS št. 17/2006.

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 zvokom v zraku 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 ISO 717-1:2013. Akustika – Vrednotenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov – 1.del: Izolirnost pred zvokom v zraku (ISO 717-1:2013) – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.

Sorensen, M., Hvidberg, M., Andersen, Z. J. et al. 2011. Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study. Denmark. Eur. Heart J. 32, 737-744.
<http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/32/6/737> (Pridobljeno 7. 7. 2015.)

Sušnik, M. 1992. Ergonomska Fiziologija. Radovljica, Didakta: 352 str.

Špes, M. in sod. 2002. Regionalizacija Ljubljane z vidika hrupne obremenjenosti (Karta hrupa na osnovi obstoječih in nekaterih dodatnih meritev). Poročilo.

<http://www.ljubljana.si/si/mol/mestna-uprava/oddelki/varstvo-okolja/projekti/9180/detail.html>
(Pridobljeno 9. 7. 2015.)

Špes, M., Cigale, D., Lampič, B. 2002. Izstopajoči okoljski problemi v Ljubljani. V: Pak, M. (ur.). Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, 2002. Ljubljana, Geografija Ljubljane: str. 53-83.

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

Uredba (EU) o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov (Uradni list EU št. 305/2011) in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS (CPR).

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. Uradni list RS št. 105/2005.

Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju. Uradni list RS št. 121/2004.

URSA Fragmat – Akustika 2.1. Priročnik za akustiko. Navodila za uporabo programa.2013.

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

Villot, M., Ingelaere, B. 2012. Net-Acoustics for Timber based lightweight buildings and elements. COST-European cooperation in science and technology-E-Book-Chapter 4. <http://extranet.cstb.fr/sites/cost/ebook/Forms/AllItems.aspx> (Pridobljeno 10. 7. 2015.)

WHO. 2007. Health in the green economy. Co-benefits to health of climate change mitigation. http://www.who.int/hia/green_economy/hgebrief_occ.pdf?ua=1 (Pridobljeno 10. 8. 2015.)

WHO. 2009. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen, Denmark. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2015.)

WHO. 2011. Burden of disease from environmental noise. Copenhagen, Denmark. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf (Pridobljeno 10. 7. 2015.)

Yassi, A., Kjellstrom, T., Kok, T., Guidotti, T. 2001. Basic environmental health. New York. Oxford University press. 456 str.

Zakon o graditvi objektov – ZGO-1. 2002. Uradni list RS št. 102/04.