

ANALIZA ZVOČNE ZAŠČITE STAVBNIH OVOJEV GLEDE NA RAZLIČNE NIVOJE ZUNANJEGA HRUPA

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

Mateja Uršič, univ. dipl. inž. grad.

mateja.ursic8@gmail.com

Poreber 21, 1241 Kamnik

doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

mateja.dovjak@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad.

roman.kunic@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,

Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, Jamova 2, Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 658.2:628.517.2

Povzetek | Preverjanje zvočne zaščite stavbnih ovojev je v urbanih okoljih eden izmed pomembnejših ukrepov pri doseganju primerne bivalne okolja. Sprememba in pomembna novost, ki jo je vnesel Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah, sta med drugim tudi to, da moramo za vsako še tako enostavno bivalno enoto, torej tudi za individualno enodružinsko hišo, preveriti učinkovitost zvočne izolirnosti vsaj zunanega ovoja (fasade) vključno z okenskimi in vratnimi odprtinami. V zadnjem času v skladu s trendi oblikovanja stavb množično uporabljamo lahke nosilne konstrukcije (predvsem montažne in lesene stene) in velike zastekljene površine. Obe izbiri pa, v nasprotju s težkimi masivnimi stenami z relativno majhnimi površinami okenskih odprtin, nudita manjšo sposobnost dušenja zvoka v zraku, ki prihaja iz zunanjega okolja. Prav zato smo lahko upravičeno zaskrbljeni zaradi nezadostne kakovosti in potencialno nezdravega notranjega okolja, kar še posebno velja za stavbe, umeščene v IV. območje varstva pred hrupom. Zaradi naštetega smo s pomočjo računalniškega programa URSA – Fragmat AKUSTIKA – izdelali študijo vpliva različnih sestav fasadnih ovojev in stopenj zasteklitve na zahtevano zvočno izolirnost v različnih območjih varstva pred hrupom.

Ključne besede: zvočna izolirnost stavnega ovoja, zvočna izolirnost fasade, zaščita pred hrupom v stavbah, vpliv hrupa na zdravje, strateške karte hrupa

Summary | Verification of sound insulation of building envelopes in urban environments is one of the most important actions towards achieving appropriate living and working environment. The Rules on Protection against Noise in Buildings introduced among others an important change and a novelty that for each, even the simplest dwelling unit, thus also for individual single-family house, the efficiency of sound insulation has to be verified, at least of the external envelope, i.e. façade, including window and door openings. According to the latest trends in building design, many buildings have recently been built of light load-bearing structures (predominantly prefabricated and timber walls) with large glass surfaces. Compared to heavy solid walls with relatively small surfaces of window openings, such construction does not provide the same muffling of ambient sound from outside environment. This causes legitimate concerns about inadequate quality and po-

tentially unhealthy internal environment, which is especially true for buildings located in zone IV of noise protection areas. For all the above reasons, we decided to use the software URSA – Fragmat AKUSTIKA to study the influence of various façade envelope compositions and glazing levels on the required sound insulation in different noise protection areas.

Key words: sound insulation of building envelope, sound insulation of façade, protection against noise in buildings, influence of noise on health, strategic noise maps

1 • UVOD

Po Pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah (MOP, 2012a) 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 večjih problemov sodobne civilizacije. Po statističnih podatkih EU (WHO, 2011) je preko 40 % vseh prebivalcev Evrope izpostavljenih ravni hrupa čez dan nad 65 dB(A) in ponoči nad 50 dB(A). Na delovnem mestu je več kot 20 % delovne populacije izpostavljene čezmerni ravni hrupa, od tega 50 % nad 80 dB(A) (Bilban, 2005).

Hrup predstavlja pomemben javnozdravstveni problem (WHO, 2011), katerega vzroki so posredno in neposredno povezani tudi z načrtovanjem grajenega okolja.

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 načrtujeta v skladu s principi bioklimatskega načrtovanja (Krainer, 1993), torej v odvisnosti od lokacije in tudi od zunanjih ravni hrupa.

Zvočna zaščita stavb pred zunanjim hrupom je odvisna od zvočne izolirnosti posameznih ločilnih elementov in deleža, ki ga površine teh elementov predstavljajo v skupni površini zunanje ločilne konstrukcije (MOP, 2012b). Pri tem imajo pomembno vlogo tudi transparentni deli ovoja. Z večjim deležem zasteklitve je zvočna zaščita čez celoten ovoj zmanjšana ((MOP, 2012b), (Mehta, 1999)), kar poslabša zvočno izolirnost stavb in znižuje kvaliteto bivanja, zato je kakovost vgrajevanja transparentnih delov izrednega pomena. Toplotnoizolacijski materiali skupaj z opeko ali drugo nosilno konstrukcijo lahko celo zmanjšajo zvočno izolirnost stene, saj fasadni sistem deluje kot dodatna membrana z lastnim resonančnim območjem, ki pogosto poveča prenos zvoka.

2 • PREDPOSTAVKE, METODE RAZISKOVANJA IN PROGRAMSKO ORODJE

Programsko orodje uporablja za izračun enačbe po tehnični smernici (MOP, 2012b) in veljavnih standardih SIST EN 12354-3:2001: Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov ((SIST, 2001a), (SIST, 2001b), (SIST, 2001c)), ki so opisane tudi v teoretičnem ozadju (URSA, 2013a). Primerjave smo naredili s fasadnimi ovojji, 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 stavb v Sloveniji.

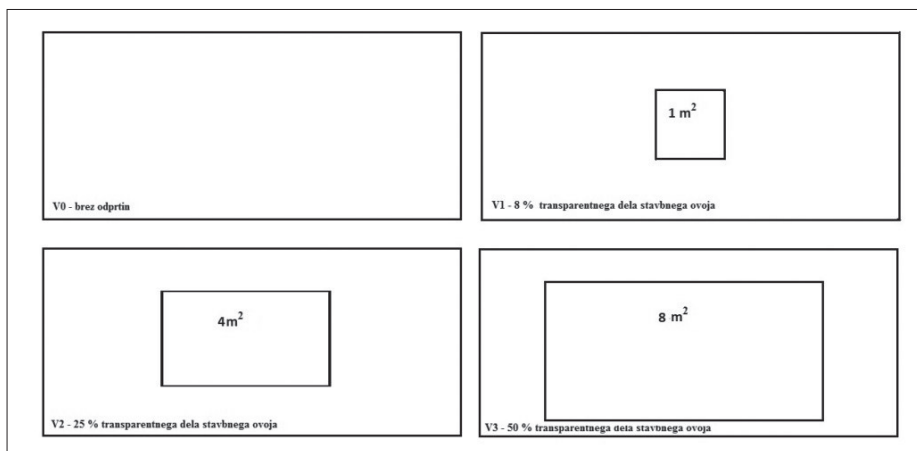
Dimenzije varovanega notranjega prostora predstavljajo aktivni prostor (npr. dnevno sobo), velikosti 24 m². Pri različnih variantah smo spreminjali delež zasteklitve. Zaradi lažje primerjave vpliva transparentnega dela fasadnega ovoja prva varianta (V0) ne vsebuje oken. Druga varianta (V1) predstavlja z vidika svetlobnega udobja prostor s premajhno dovoljeno dimenzijo oken (1 m²)

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 stavbnega ovoja. Varianta 2 (V2) predstavlja glede na zakonske zahteve (MDDSZ, 1999) prostor s primerno minimalno dimenzijo transparentnega dela ovoja. Tako površina

okna znaša 4 m² in predstavlja 25 % fasadnega ovoja. Zadnja varianta (V3) opisuje prostor s stavbnim ovojem, kjer površina transparentnega dela ovoja predstavlja prevladujočo izbiro pri gradnjah novih stanovanjskih enot v sedanjem času. Površina okna v tem primeru je 8 m², kar znaša 50 % celotnega fasadnega ovoja, in to je glede na zakonske zahteve nadstandardno povečana zastekljena površina. Variante smo primerjali med seboj glede na vrsto stavbnega ovoja in glede na ustreznost po zakonskih zahtevah v odvisnosti od območja varstva pred hrupom. Pri tem vrste zasteklitve nismo spreminjali.

	Velikost transparentnih odprtin (m ²)	Delež transparentnega dela fasadnega ovoja (%)
Varianta 0	0	0
Varianta 1	1	6
Varianta 2	4	25
Varianta 3	8	50

Preglednica 1 • Predstavitev variant



Slika 1 • Grafični prikaz obravnavanih različic

3 • SLUH, ZVOK IN HRUP

Vrste zvoka v odvisnosti od frekvence zvočnega valovanja delimo na infrazvok (frekvence pod 16 Hz), slušni zvok (frekvence med 16 in 20.000 Hz) in ultrazvok (frekvence nad 20.000 Hz). Infrazvoka ne slišimo, vendar povzročajo vsiljeno nihanje notranjih organov in s tem vpliva na naše počutje in zdravje (Bilban, 1999).

Decibel (dB) predstavlja logaritmično razmerje dveh količin, npr. dejanska sprememba zračnega tlaka glede na spremembo zračnega tlaka pri pragu slušnosti, medtem ko dB(A) dodatno upošteva še različno občutljivost človeškega ušesa v odvisnosti od frekvence zvočnega valovanja. Na ta način dobimo bolj primerljive vrednosti hrupa za zvočno izolirnost ob različnih frekvencah (Fletcher, 1933).

3.1 Človeško zaznavanje zvoka in vrednotenje hrupa

Sposobnost, da slišimo in pridobimo informacijo iz okolice, nam omogoča slušni organ uho, ki pretvarja mehansko valovanje v zraku v električne signale, ki jih živčevje nato prenaša v možgane. Na telesne spremembe, ki nastanejo zaradi čezmernega hrupa, vpliva več dejavnikov, kot so jakost, frekvenca in časovna sprememba zvoka, razpoložanje itd. Psihološki vplivi se pojavijo že pri glasnejšem neprijetnem govoru, višje glasnosti pa vplivajo predvsem na slušni organ, kot prikazuje preglednica 3.

Poleg poškodbe sluha se vpliv čezmernega hrupa pri 75 dB pozna tudi pri krvnem obtoku po telesu, v očesni zenici, povišanem krvnem sladkorju in neugodnem počutju (nemir, utru-

Nivo zvočne intenzitete (dB(A))	Opis hrupa okolja
130	Meja bolečine
120	Letalo ob vzletu
100	Pnevmatsko kladivo
90	Glasi radio
75	Avtomobili
60	Pogovor
50	Mirna urbana soseska podnevi
40	Študijski prostori
10	Dihanje
0	Meja slišnosti

Preglednica 2 • Nekateri tipični zvoki v našem okolju in njihove približne zvočne intenzivnosti L_p (dB(A)) ((Mehta, 1999), (Bilban, 1999))

Nivo glasnost hrupa (dB(A))	Posledice izpostavljenosti
150	Izguba sluha – trajne poškodbe
120–130	Prag bolečine
100	Začasna izguba sluha ob krajši izpostavljenosti
90	Izguba sluha ob večletni izpostavljenosti
65	Psihološki vplivi

Preglednica 3 • Posledice izpostavljenosti različnim glasnostim hrupa L_p (dB) (Mehta, 1999)

jenost, slabo počutje). Tako pri dolgotrajnih obremenitvah med 80 in 100 dB po daljšem času nastopijo tudi motnje v krvnem obtoku, povišan krvni tlak, travme, glavoboli, prebavne in hormonske motnje (Bilban, 1999).

Na možnost poškodb sluha vpliva tudi čas izpostavljenosti neprestanemu hrupu. Pojavi se začasni in trajni premik praga slišnosti, odvisno od intenzitete, frekvence 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.

Hrup, ki smo mu izpostavljeni v nočnem času, prav tako vpliva na delovanje našega telesa. Čeprav se lahko prilagodimo in celo spimo, vpliva hrupa na naše telo ne moremo izključiti, saj nastopi povišan utrip srca in zvišanje

krvnega tlaka. Naše telo je zunanjemu hrupu bolj izpostavljeno predvsem ob cestah in železnicah.

3.2 Hrup v zunanjem okolju

Z izrazom komunalni ali okoljski hrup opisujemo 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.

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 trenutno 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. Dušenje je pri frekvencah nad 2000 Hz večje, medtem ko se frekvence pod 100 Hz prenašajo po zraku skoraj brez izgub.

Celotna zvočna energija, ki jo oddajajo motorna vozila, presega 20-kratno vrednost vseh drugih primarnih transportnih sredstev (letala, ladje, železnice itd.). Zaradi cestnega hrupa zunaj delovnega časa je stresno obremenjenih več kot 60 % ljudi. V Ljubljani so najbolj obremenjena območja ob vpadnicah in središču, kjer živi več kot 50.000 prebivalcev, ki so obremenjeni z dnevno ekvivalentno ravni hrupa nad 65 dB(A) (slika 2). Pri tem dnevni pretok presega 20.000 vozil (Špes, 2002).

4 • ZAKONODAJA

Področje zvočne zaščite stavb obravnavajo mednarodni in nacionalni pravni akti, ki so obvezni za uporabo, standardi, priporočila in smernice, ki opredeljujejo zunanji hrup, zvočno zaščito stavb in hrup na delovnem mestu. V pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah (MOP, 2012a) je po novem določeno, da je za vsako enodružinsko ali tudi najbolj enostavno bivalno enoto obvezen elaborat zaščite pred zunanjim hrupom (npr. pred hrupom zaradi prometa, hrupom iz industrijskih objektov), kjer se v najbolj enostavnem primeru (tj. individualna stanovanjska enota) računsko preverja zvočna izolirnost fasadnega ovoja.

4.1 Tehnična smernica

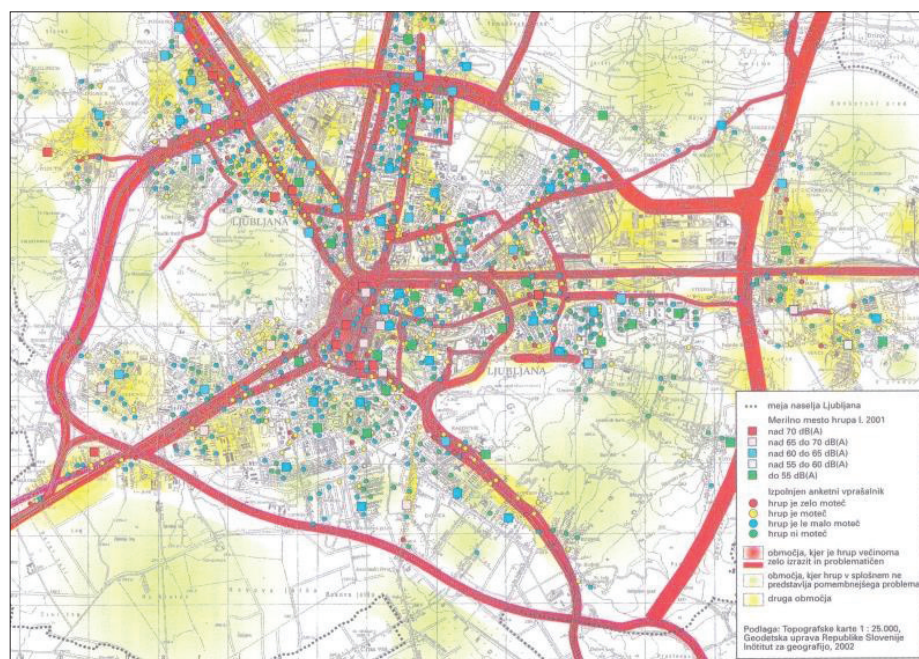
Tehnična smernica (MOP, 2012b) – kot sestavni del Pravilnika o zaščiti pred hrupom v stavbah (MOP, 2012a) – je obvezna za uporabo na podlagi Zakona o graditvi objektov (RS, 2004). Predpisuje ukrepe ali rešitve za izpolnjevanje v pravilniku predpisanih zahtev o zaščiti pred hrupom v stavbah.

4.2 Strateške karte hrupa

Strateška karta hrupa je standardiziran grafični prikaz stanja obremenjenosti okolja s hrupom na določenem območju. Različne barve na karti predstavljajo različne ravni hrupa na specifičnem območju (ARSO, 2008). V Opera-

tivnem programu varstva pred hrupom, ki ga povzroča promet po pomembnih železniških progah in pomembnih cestah, so za obdobje od 2012 do 2017 prikazane ocene števila prebivalcev, ki so obremenjeni z mejnimi vrednostmi kazalnikov hrupa $L_{dvn} \geq 65$ dB(A). Zaradi prometa po avtocestah je obremenjenih približno 8200 prebivalcev, medtem ko je

zaradi prometa po drugih pomembnih cestah obremenjenih približno 20.800 prebivalcev. Po navedbah Ministrstva za okolje in prostor (MOP, 2011) so ukrepi za znižanje ravni hrupa z vidika prometne infrastrukture predvsem gradnja protihrupnih ograj, menjava oken in drugega stavbnega pohištva ter ustrežnejša obrabna plast vozišč. Drugi navedeni ukrepi so občasno ali celodnevno zmanjšanje hitrosti vožnje ali občasne preusmeritve (MOP, 2011). Iz tega lahko sklepamo, da so zaradi velike količine vozil in bližine stanovanjske infrastruk-



Slika 2 • Prevladujoča obremenjenost s hrupom (L_{den}) (dB) v Ljubljani (Špes, 2002)

ture glavni problem regionalne in hitre ceste, avtoceste pa manj.

Hrup na posameznem območju varstva pred hrupom kot posledica obratovanja pomembnih cest se je ocenjeval na osnovi modelnih izračunov in na podlagi začasnih metod ocenjevanja kazalnikov hrupa (Špes, 2002). Slika 2 prikazuje nivoje hrupa zaradi cestnega prometa v Ljubljani leta 2002.

4.3 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 štiri stopnje varstva pred hrupom v zunanjem okolju. Opredeljujeja jih Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (MOP, 2004) in Uredba o mejnih vrednostih kazalnikov hrupa v okolju (MOP, 2005).

Štiri stopnje varstva pred hrupom določajo največjo dovoljeno ekvivalentno zvočno raven hrupa v različnih obdobjih dneva, razdeljene na različna območja varstva pred hrupom (v skladu z mejnimi vrednostmi kazalnikov hrupa v okolju v 4. členu uredbe (MOP, 2005), tudi v preglednici 4):

- I. območje varstva pred hrupom velja za območje, ki potrebuje povečano varstvo pred hrupom (naravno območje, neposredna okolica bolnišnic, zdravilišč, naravnih parkov itd.),
- II. območje velja za območje, kjer ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi povzročanja hrupa (zgradbe z varovanimi prostori, zgolj stanovanjsko območje itd.),
- III. območje velja za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa (trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje),
- IV. območje pa velja za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je lahko bolj

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

Preglednica 4 • **Mejne vrednosti kazalnikov hrupa $L_{noč}$ in L_{dvn} v dB(A) za posamezna območja varstva pred hrupom (MOP, 2005)**

moteč zaradi povzročanja hrupa (območje brez stanovanj, namenjeno industriji).

Mejne vrednosti ekvivalentne zvočne ravni hrupa $L_{noč}$ in L_{dvn} (dB(A)) v posameznem obdobju dneva za posamezna območja varstva pred hrupom so predstavljene v preglednici 4 ter se medsebojno razlikujejo v odvisnosti od namena in obdobja dneva.

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

4.4 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 (MOP, 2012a). Mejne vrednosti opredeljuje Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (MOP, 2012a) in so določene v Tehnični smernici (MOP, 2012b). 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 5 prikazuje mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa $L_{eq,A}$ za posamezno obdobje dneva.

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	35	33	30
Bolniške sobe	30	30	30
Ambulante, ordinacije	35	35	35
Učilnice, predavalnice	35	35	35

Preglednica 5 • **Mejne ekvivalentne vrednosti ravni hrupa $L_{eq,A}$ (dB(A)) za posamezno obdobje dneva (MOP, 2012b)**

5 • ZVOČNA IZOLIRNOST STEN

Zvočno izolirnost sten R (angl. *transmission loss*) definiramo kot razliko med vpadno ravnjo zvočne intenzivnosti in skozi steno prepuščeno ravnjo zvočne intenzivnosti. Zvočna izolirnost je odvisna tudi od frekvence zvočnega valovanja, ki prehaja skozi oviro (steno, medetažno konstrukcijo ...).

Delimo jih na štiri območja, ki se pojavijo pri različnih frekvencah, in sicer upogibna togost zvočne pregrade, resonanca sistema, masa pregrade in vpliv koincidenčnega efekta. 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, kar velja za območje od resonančne frekvence f_r do koincidenčne frekvence f_c .

Večslojne gradbene konstrukcije nihajo kot nihajni sistemi in jih je treba preizkušati skupaj (Čudina, 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. stene obložene z mavčnokartonskimi ploščami, lesenimi ploščami itd.) na lesenem ali kovinskem nosilnem okvirju in s polnilom iz mineralne volne (MOP, 2012b).

5.1 Izračun zvočne izolirnosti zunanjih stavbnih ovojev

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 (MOP, 2012b).

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

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

$L_{1,2m}$... povprečni nivo zvočnega tlaka 2 m pred fasadnim ovojem (dB)

L_2 ... povprečni nivo zvočnega tlaka v sprejemnem prostoru (dB)

T ... odmevni čas v sprejemnem prostoru (s)

T_0 ... referenčni odmevni čas (s) (za stanovanja se predpostavi 0,5 s)

Možnost prehoda zvoka skozi pripire med okvirjem in oknom, med okenskim okvirjem in gradbeno konstrukcijo mora biti zmanjšana na najmanjšo možno mero. Za dovolj veliko zvočno izolirnost je zelo pomembna kakovost tesnil pri elementih, ki se odpirajo.

6 • REZULTATI

Ustreznost rezultatov je odvisna od območja varstva pred hrupom, v katerem je objekt, in od zvočne izolirnosti fasadnega ovoja. V uredbi o mejnih vrednostih kazalnikov hrupa v okolju (MOP, 2005) so določene mejne vrednosti kazalnikov hrupa L_{dvn} (preglednica 4). 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 (v preglednici 5). S pomočjo L_{dvn} in $L_{eq,A}$ dobimo preglednico, ki prikazuje minimalno standardno razliko zvočnih ravni fasadnega ovoja $D_{2m,nT}$ za posamezno območje varstva pred hrupom, ki še ustreza zakonskim zahtevam (preglednica 6).

Razlike med I., II. in III. območjem so le 5 dB, medtem ko je v IV. območju določena 15 dB višja standardna razlika zvočnih ravni fasade (preglednica 6).

Kot prikazuje preglednica 7, 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 6). V varianti V0, kjer ni netransparentnih delov, so zakonske zahteve, razen pri 5 stavbnem ovoju, za vsa štiri območja dosežene. V V1 z velikostjo okna 1 m², ki ima zvočno izolirnost 31 dB, pa so za IV. območje dosežene le pri masivnih fasadnih ovajih (št. 1, 2, 3, 4) in zadnjem lahkem fasadnem ovoju (št. 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 stavbni ovoj ne omogoča zvočne zaščite za IV. območje varstva pred hrupom. Čeprav je to območje opredeljeno kot območje brez

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

Slika 6 • Minimalna standardna razlika zvočnih nivojev $D_{2m,nT}$ (dB) za posamezno območje varstva pred hrupom

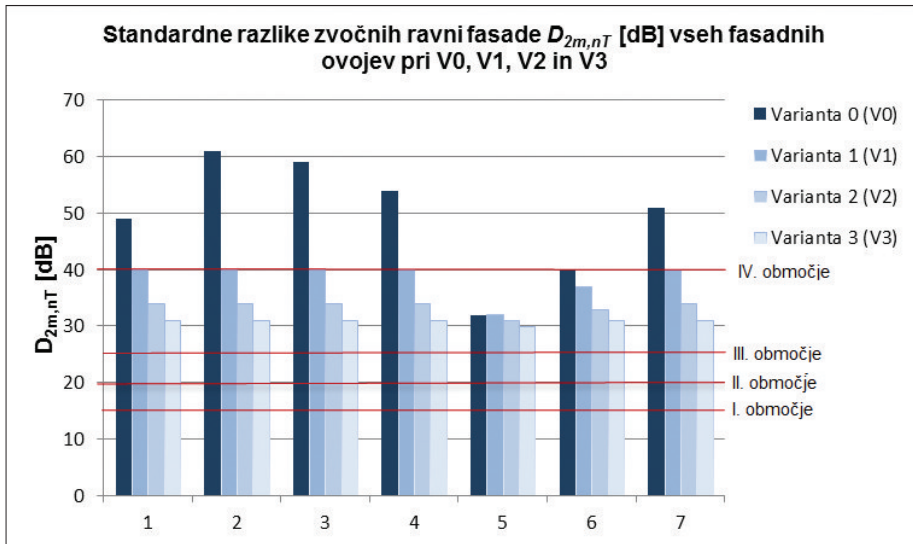
Vrsta netransparentnega fasadnega ovoja		V0	V1	V2	V3	
		$D_{2m,nT}$ (dB)				
Masivni stavbni ovoji	1	Voščičeva opeka + stiropor (NEOSUPER-F)	49	40	34	31
	2	Beton + fasadna izolacijska plošča iz steklene volne (URSA FDP 2/Vf) + lesena obloga	61	40	34	31
	3	Opečni blok + fasadna izolacijska plošča iz steklene 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	Mavčnokartonska plošča + leseni nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + lesena obloga	32	32	31	30
	6	Mavčnokartonska plošča + leseni nosilec in steklena volna + omet	40	37	33	31
	7	Mavčnokartonska plošča + leseni nosilec in steklena volna + izolacijska plošča + zrak + 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 (MOP, 2012b)

Preglednica 7 • Standardne razlike zvočnih nivojev zunanjskega ovoja $D_{2m,nT}$ (dB) za različne zunanje ovoje in variante

stanovanj, kjer mejne vrednosti kazalnikov hrupa za posamezno območje varstva pred hrupom dosega $L_{dvn} = 75$ dB, so ob večjih

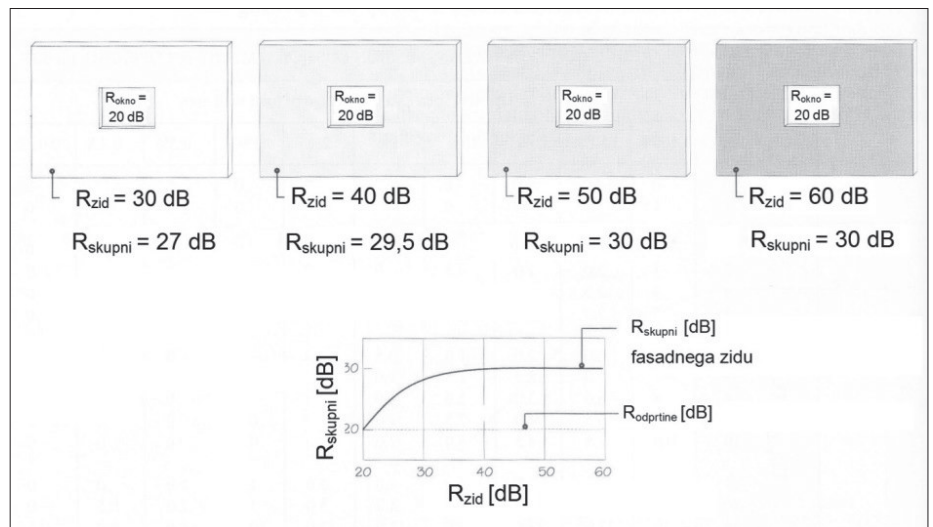
cestah v Ljubljani te vrednosti kljub temu dosežene, kar potrjujejo tudi strateške karte hrupa (slika 2).



Slika 3 • Standardne razlike zvočnih ravni fasade $D_{2m,nT}$ (dB) vseh fasadnih ovojev pri variantah V0, V1, V2 in V3, primerjane z minimalnimi standardnimi razlikami za posamezna območja varstva pred hrupom

7 • DISKUSIJA

Mehta in sodelavci (Mehta, 1999) so z matematično formulacijo prikazali vpliv odprtih na zvočno izolirnost celotnega fasadnega ovoja. Kljub 90 % površini netransparentnega dela je zvočna izolirnost celotnega fasadnega ovoja bližje zvočni izolirnosti oken. Izkaže se, da je zvočna izolirnost celotnega ovoja slaba, če stavbni ovoj vsebuje zvočno šibek element, ne glede na to, kako dobro zvočno izoliran je netransparentni del stavbnega ovoja. Dobro zvočno izolirnost celotnega fasadnega ovoja lahko torej dosežemo samo v primeru, če je vsak del fasadnega ovoja dobro zvočno izoliran. Za boljše razumevanje je na sliki 4 predstavljen primer zidu z 10 % površino odprtih.



Slika 4 • Skupna zvočna izolirnost R_{skupna} (dB) zidu z različnimi vrednostmi zvočne izolirnosti R_{zid} (dB) stene in enakimi zvočnimi izolirnostmi R_{okna} (dB) odprtih, prirejeno po (Mehta, 1999)

8 • ZAKLJUČEK

Zvočna zaščita v stavbah mora biti zagotovljena z zadostno zvočno izolirnostjo zunanjih in notranjih ločilnih elementov (MOP, 2012). Odvisna je predvsem od mase konstrukcije, materiala in oblike (Čudina, 2014). 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 stavbnega ovoja (MOP, 2012b).

Rezultati analize povedo, da je zaradi bistveno slabše zvočne izolirnosti zastekljenih površin, znatno bolj pomembna stopnja zastekljenosti kakor pa izbira zunanje stene ovoja (masivna proti lahki steni), saj imajo zastekljene površine v primerjavi s še tako lahko in s tem posledično zvočno manj izolirno zunanjo steno znatno manjše dušenje zunanjega hrupa.

V I., II. in III. območju varstva pred hrupom praviloma nimamo težav s premajhno zvočno izolirnostjo konstrukcijskega ovoja, četudi izbiramo lahke konstrukcije in velike zastekljene površine.

V primeru IV. območja varstva pred hrupom, kjer presegajo nivoji hrupa $L_{dvn} = 75$ dB (slika 2) in so teoretično opredeljena kot območja brez stanovanj, v praksi pa vidimo na teh območjih veliko bivalnih enot, tudi obstoječih, pa v skladu z našimi izračuni ne moremo za-

dovoljiti zahtevi po dovolj velikem dušenju zunanjega hrupa z lahko obodno steno in hkrati izpolniti pogojev po dovolj veliki zasteklitvi, ki jih po drugi strani zahteva 29. člen Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (MDDSZ, 1999). Lahko pa v tem območju gradimo trgovske, poslovne in druge nebivalne objekte.

S trendi lahke gradnje in velikimi površinami zasteklitev bi morali biti pozorni tudi na relativno slabšo zvočno izolirnost večine

uporabljenih oken in drugega stavbnega pohištva, ki močno poslabša izolirnost celotnega ovoja. Na tržišču obstajajo zvočno zaščitna okna, ki dosegajo zvočne izolirnosti do 45 dB, vendar je njihova cena višja. Na zvočno izolirnost oken namreč vpliva dimenzija stekla in razdalja med zasteklitvami. Da hrup ni zgolj nekaj, na kar se navadimo in prilagodimo, so pokazale tudi številne raziskave, ki so preučevale vpliv hrupa na telo in zdravje.

9 • LITERATURA

- ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/hrup/karte/>, pridobljeno 9. 7. 2015, 2008.
- Bilban, M., Hrup kot spremljevalec sodobnega življenja, Evropska kampanja Prenehajte s tem hrupom, http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban_Spremljevalec_sodobnega_zivljenja.pdf, pridobljeno 12. 7. 2015, 2005.
- Bilban, M., Medicina dela, Ljubljana, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 1999.
- Čudina, M., Tehnična akustika, Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2014.
- Everest, F. A., Pohlmann, K. C., Master Handbook of Acoustics, McGrawHill, 6th edition, 2015.
- Fletcher, H., Munson, W.A., Loudness, its definition, measurement and calculation, Journal of the Acoustic Society of America 5, 82–108, 1933.
- Krainer, A., Vernacular buildings in Slovenia : Genesis of bioclimatic growth of vernacular buildings in Slovenia, European Commission TEMPUS Programme, 1993.
- Long, M., Architectural acoustics. Burlington, Elsevier Academic Press, 2006.
- MDDSZ, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. Uradni list RS št. 89/1999.
- Mehta, M., Johnson J., Rocafort, J., Architectural Acoustics, Principles and Design, New Jersey, 1999.
- Miskinis, K., Dikavicius, V., Bliudzius, R., Banionis, K., Comparison of sound insulation of windows with double glass units, Applied Acoustics 92, 42–46, 2015.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor MOP, Operativni program varstva pred hrupom, ki ga povzroča promet po pomembnih železniških progah in pomembnih cestah prve faze zunaj območja MOL, Ljubljana, 2011.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah. Uradni list RS št. 14/1999, s sprem. Uradni list RS, št. 10/2012a.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Tehnična smernica TSG-1-005:2012, Zaščita pred hrupom v stavbah, 2012b.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. Uradni list RS št. 105/2005.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju. Uradni list RS št. 121/2004.
- RS, Republika Slovenija, Zakon o graditvi objektov – ZGO-1. 2002, Uradni list RS št. 102, 2004.
- 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, 2001a.
- SIST EN 12354-2:2001, Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 2. del: Izolirnost pred udarnim zvokom med prostori, 2001b.
- 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, 2001c.
- Špes, M., Cigale, D., Gspan, P., Jug, A., Lampič, B., 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, 2002.
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Izstopajoči okoljski problemi v Ljubljani, v: Pak, M. (ur.), Geografija Ljubljane: str. 53-83, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Ljubljana, 2002.
- URSA Fragmat, Akustika 2.1.08, Programska oprema, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Beogradu, 2013a.
- URSA Fragmat, Akustika 2.1. Priročnik za akustiko, Navodila za uporabo programa, 2013b.
- WHO, 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, 2011.