Utjecaj građevnih materijala na akustičku kvalitetu interijera Influence of the building material to indoor acoustic quality

Borković, Helena

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:340112

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVNE PROIZVODE

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA

HELENA BORKOVIĆ

UTJECAJ GRAĐEVNIH MATERIJALA NA AKUSTIČKU KVALITETU INTERIJERA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, (RUJAN, 2016.)

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Helena Borković 09.02.1993. 00682169153
NASLOV:	Utjecaj građevnih materijala na akustičku kvalitetu interijera
PREDMET:	Drvo u graditeljstvu
MENTOR:	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
IZRADU RADA JE POMAGAO:	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet Zavod za namještaj i drvne proizvode
AKAD. GOD.:	2015./2016.
DATUM OBRANE:	16.09.2016.
RAD SADRŽI:	Stranica: 40 Slika: 23 Tablica: 6 Navoda literature: 22 (u tekstu)

SAŽETAK:

Proučavanje same fizike zvuka u interijeru dovodi do nekih važnih tema koje su također bitne pri shvaćanju utjecaja na zvuk u zatvorenim prostorima. Oblici, materijali i njihova svojstva, količina varijabilnih elemenata u prostoriji te jačina i oblik izvora zvuka su faktori koji imaju velik utjecaj na ponašanje zvuka. Poseban je osvrt na drvo kao građevni materijal iz razloga što se ono u suvremeno doba sve više koristi. Činjenice o svojstvima najčešće korištenih materijala u građevinske svrhe dovode do zaključka o tome koji je od njih, na koji način i u koje svrhe najbolje upotrijebiti.

PREDGOVOR

Utjecaj građevnih materijala na akustičku kvalitetu interijera kao tema ukazuje na probleme i izazove kod projektiranja akustike prostora, a provedena je uz pomoć mentora doc. dr. sc. Vjekoslava Živkovića iz kolegija Drvo u graditeljstvu (Zavod za namještaj i drvne proizvode) te dr. sc. Radmanovića Kristijana, asistenta iz kolegija Fizika (Zavod za procesne tehnike); Šumarski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Za navedenu temu donešeni su samo neki zaključci, no uzmimo u obzir da je tema vrlo kompleksne naravni. Akustika veže fiziku, kemiju i matematiku u jedno stoga ona obuhvaća široko područje znanja. Puno elemenata koji se nalaze u sadržaju teme preuzeto je iz literature stručnih osoba kao što je Vladimir Šimetin (Građevinska fizika), stručnjaka Šumarskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i drugih. Iako se spomenuta literatura baza ovog rada, pri povezivanju znanosti i prakse postoji određena kontradikcija koja zadaje još veći izazov u donošenju konačnih zaključaka.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. FIZIKA ZVUKA 2
2.1. POJAM ZVUKA 2
2.2. ZVUČNI TLAK 4
2.3. VALOVI 4
2.4. APSORPCIJA ZVUKA U ZRAKU 5
2.5. PSIHOFIZIOLOŠKE KARAKTERISTIKE ZVUKA 5
3. ZVUČNI VALOVI U ZATVORENOM PROSTORU 7
3.1. PRENOŠENJE ZVUKA IZ PROSTORIJE U PROSTORIJU 8
4. UTJECAJ SVOJSTAVA MATERIJALA NA ZVUK U INTERIJERU 13
5. AKUSTIKA DRVA I DRVNIH MATERIJALA 23
5.1. FIZIKALNA I TEHNOLOŠKA SVOJSTVA DRVA 23
5.2. UTJECAJ SVOJSTAVA DRVA NA AKUSTIKU 26
6. ZAHTJEVI NA SVOJSTVA NEKIH VRSTA INTERIJERA 31
7. ZAKLJUČAK 35
8. LITERATURA 36

1. UVOD

Način uređenja novonastalih ili adaptacije starih prostora imaju veliki utjecaj na brojne psihološke i fizikalne podražaje na čovjeka. Psihološki podražaj bila bi udobnost koja se zapravo ostvaruje fizičkim doživljajima čovjeka u prostoru, a to su vidni (boja, veličina i raspored prostora, oblik, svjetlina i sl.), opipni (tekstura, funkcionalnost), slušni (ugodni zvukovi/buka, raspored zvuka) i drugi. Razne dvorane, glazbene prostorije, škole, uredi, prostori zdravstvenih ustanova, kazališta, kina i sl.; sve one imaju različite zahtjeve na oblik i raspored, na toplinsku i akustičku izolaciju te puno drugih svojstava u svrhu osjećaja udobnosti pri boravku u njima. Sami oblik prostorije i materijali korišteni u izolacijske i estetske svrhe (kameni zidovi, drvene ili staklene obloge i plohe, razni izolacijski materijali poput vune, sintetske spužve, gume ili pak kombinacija više materijala) mogu imati odličan učinak ako se koriste na ispravan način. Zamislimo da se nalazimo u dvorani u kojoj se održavaju govori ili glazbeni koncerti; ako nam je govor/glazba pretiha ili preglasna, vjerojatno nam cjelokupni dojam neće biti zadovoljavajući ili bi čak mogao biti i neugodan. U ovome radu osvrnuti ćemo se na slušne podražaje, odnosno akustičku kvalitetu prostorija ovisno o namjeni te materijale i njihova bitna svojstva.

2. FIZIKA ZVUKA

2.1. POJAM ZVUKA

Da bismo bolje razumjeli utjecaje i ponašanje zvuka u prostoriji bitno je poznavati fiziku zvuka. U ovome i sljedećim odjeljcima biti će objašnjeni neki od osnovnih pojmova bitnih za razumjevanje akustičke kvalitete interijera.

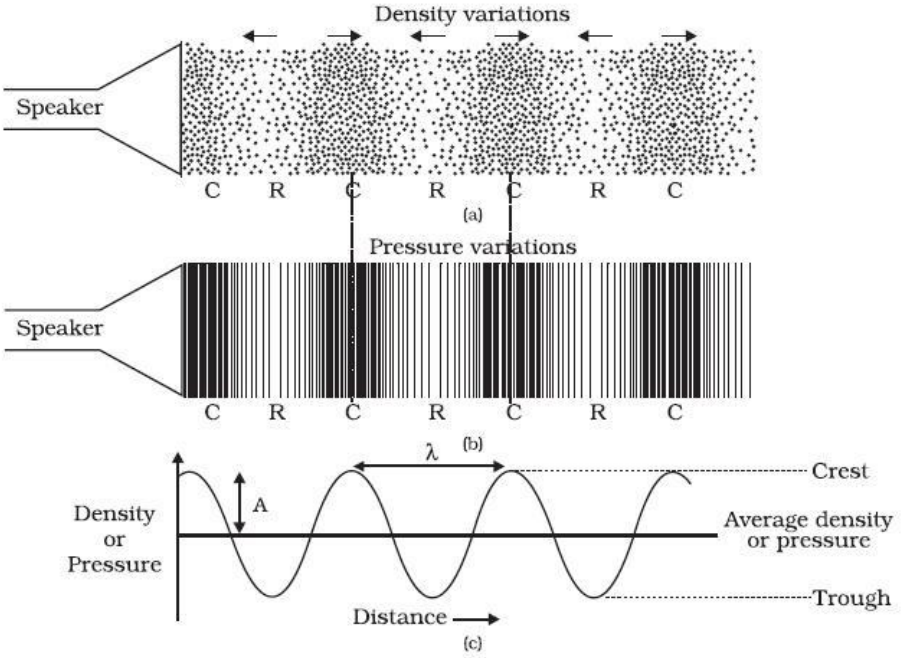
Zvuk je mehanički val za čiji je nastanak potreban izvor, a za njegovo širenje je potrebno sredstvo. Iz razloga što je zvučnom valu (za razliku od elektromagnetskog vala kao što je svjetlost) potrebno sredstvo da se širi, na njega utječu sva svojstva prostora. Prostor koji zauzimaju zvučni valovi naziva se zvučno polje, a razmak između dva susjedna zgušnjenja ili razrjeđenja vala zove se valna duljina. Medij kojim se širi zvuk može biti plin, tekućina ili kruta tvar. Kada spominjemo zvučne valove razlikujemo dva tipa, a to su longitudinalni i transverzalni valovi. Kod longitudinalnih valova prijenos energije kroz medij se ostvaruje sudarima čestica sredstva (smjer titranja čestica se poklapa sa smjerom prijenosa energije medijem), a kod transverzalnih se prijenos ostvaruje rezonancijom (smjer titranja čestica je okomit na smjer prijenosa energije). Za pojašnjenje; rezonacija je pojava kada na neki sustav, koji titra nekom vlastitom frekvencijom, djeluje sila čija je frekvencija upravo jednaka vlastitoj frekvenciji sustava (pojam frekvencije je objašnjen u daljnjem tekstu). Prijenos zvučnog vala rezonancijom je znatno brži od prijenosa sudarima (npr. brzina zvuka u zraku je približno 340 m/s, a u vodi 1485 m/s). Sljedeći izraz prikazuje jednadžbu vala (u jednoj dimenziji):

$$y(x,t) = A\sin(\omega t - kx)$$

A = amplituda

ω = kružna frekvencija, (ω=2πf)

k = valni broj ($k = \frac{2\pi}{\lambda}$)



Slika 1 Promjena gustoće (density variations) i tlaka (presure variations) zraka pri širenju zvučnog vala (Shiksha, 2016)

Pri širenju zvučnih valova, čestice zraka se ne gibaju konstantno u istome smjeru već titraju naprijed-nazad oko ravnotežnog položaja. Kao zvučni val, kroz prostor zapravo putuje promjena gustoće zraka (slika 1) te se njegova brzina širenja (brzina zvuka) očitava u promjeni gustoće zraka. Broj periodičkih promjena gustoće zraka u određenom dijelu zvučnog polja i u jedinici vremena zove se frekvencija zvuka, a jedinica koja prati frekvenciju naziva se hertz (Hz); 1/s. Sada se zvuk može definirati kao fizikalni pojam; zvuk je dakle titranje čestica u elastičnoj sredini (Šimetin, 1983.). Ljudsko uho čuje kao zvuk samo ona titranja koja imaju frekvenciju između 16 Hz i 20 kHz. Na slici 1 prikazan je i zvučni tlak o kojem će biti riječi u sljedećem podnaslovu.

2.2. ZVUČNI TLAK

U nekom odabranom dijelu atmosfere i u prisustvu zvuka, ukupni zvučni tlak zraka je razlika između konstantnog atmosferskog tlaka i vremenski promjenjivog tlaka. Atmosferski tlak nema utjecaj na sluh kod čovjeka, već uho osjeća samo promjenjivi tlak. Zvučni se tlak u zvučnom polju mijenja svakog trenutka. Zvuk s pravilnom periodičkom promjenom zvučnog tlaka zove se ton (Element.hr). Ako je titranje sinusoidno tada čujemo čisti ton, a ako nije sinusoidno tada je to složeni ton koji se može rastaviti u više čistih tonova. Nepravilno i neperiodičko titranje pak odražava samo šum. Sljedeći izraz objašnjava akustički tlak:

$$p_a = p_{a0} \sin(\omega t - kx)$$

$$10^{-5} Pa \leq p_a \leq 10 Pa$$

2.3. VALOVI

Ako imamo ravnu cijev velike dužine s vrlo krutom i glatkom stijenkom i ako se na početku te cijevi stvori titraj u obliku sinusoide, to vibriranje će izazvati kretanje čestica zraka paralelno sa dužinom cijevi te stvoriti ravni val. Za ravne valove vrijedi da u nekoj točki, odnosno u nekom trenutku postoji konstantan odnos između zvučnog tlaka i titrajne brzine čestica i to se zove akustička impedancija, u ovome slučaju, zraka. Neka količina tako prenesene akustičke energije u jedinici vremena i na neku površinu plohe postavljene okomito na širenje zvučnog vala, naziva se itenzitet (jakost) zvuka. Itenzitet se može izračunati pomoću sljedećeg izraza:

$$I = \frac{E}{A \cdot t}$$

I – intenzitet, A – površina, t - vrijeme

Za drugi primjer uzmimo gumenu loptu kojoj se promjer periodički povećava i smanjuje. Zbog promjene njezina volumena nastaju zvučni valovi koji imaju oblik koncentričnih kugla sa središtem u centru lopte. Ti valovi nazivaju se kuglasti valovi. Proučavajući kretanje kuglastih valova, Šimetin zaključuje da sve što vrijedi za ravne valove vrijedi i za kuglaste na dovoljnoj udaljenosti od izvora zvuka. Prema istraživanjima ovog slučaja, zvučna energija prouzročena fizičkim djelovanjem (uz pretpostavku da zrak ne apsorbira zvuk), ne ovisi o promjeru promatrane kugle. Ako je izvor zvuka kompleksniji od navedenog primjera kugle, tada zračenje zvučne energije nije jednako u svim smjerovima što je u praksi najčešći slučaj.

2.4. APSORPCIJA ZVUKA U ZRAKU

Unatoč pretpostavkama da pri širenju zvučnih valova ne dolazi do gubitka zvučne energije, u stvarnosti je širenje zvuka uvijek popraćeno gubicima. Kada dio zvuka iz prostorije prodre u zid, nastaje trenje i time se zvuk pretvara u toplinsku energiju, a ta se pojava naziva disipacija zvuka. Apsorpcija zvuka u zraku ovisi o tri faktora, a to su frekvencija zvuka, vlaga i temperatura zraka. Na nekoj temperaturi postoji određena relativna vlaga zraka za koju je slabljenje zvuka maksimalno. Taj maksimum osobito je naglašen kod visokih frekvencija, a javlja se općenito kod vrlo male relativne vlage zraka (Jambrošić). Dakle, visoke frekvencije maksimalno slabe pri niskoj vlažnosti zraka.

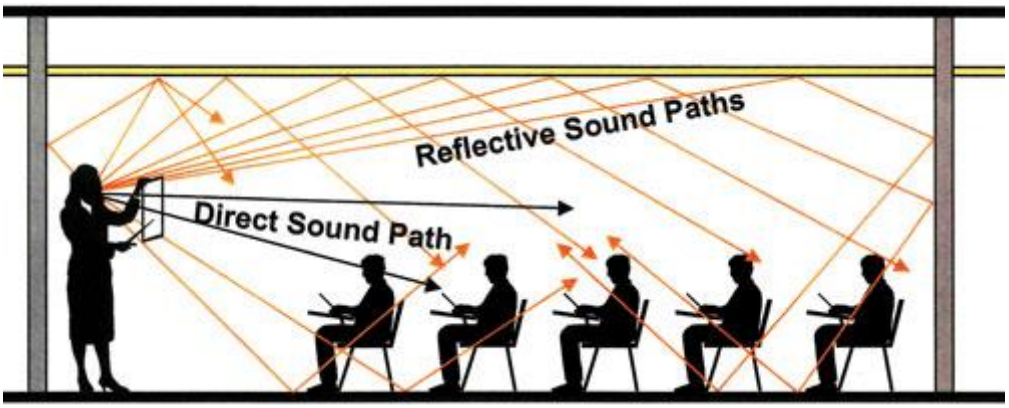
2.5. PSIHOFIZIOLOŠKE KARAKTERISTIKE ZVUKA

Osnovne karakteristike slušnog osjeta čovjeka su visina, glasnoća i boja zvuka. Frekvenciji čistog tona odgovara osjet visine, a zvučnom tlaku osjet glasnoće. Boja zvuka pak ovisi o spektru složenog tona. Ove veličine nisu međusobno povezane; ako se, primjerice, nekom zvuku poveća jakost, neće se za toliko povećati i glasnoća. Osjet za visinu tona direktno je vezan za frekvenciju; što

je frekvencija zvuka veća, to čujemo veću visinu tona. Razlika u visini tona naziva se interval, a u građevinskoj akustici najvažniju ulogu imaju intervali od jedne oktave i terce (trećina oktave) prema logaritamskoj skali frekvencija. Za frekvenciju 16 Hz-20 kHz postoji jedan najniži zvučni tlak koji uho još može čuti. Taj minimalni tlak ovisi o frekvenciji zvuka. Nadalje, u zraku možemo čuti i buku koja se zapravo fizikalno ne razlikuje od običnog zvuka, ali ona je bilokakav zvuk koji smatramo neželjenim, neugodnim ili ometajućim (Jambrošić). Bukom nazivamo i onaj zvuk zbog kojega može doći do oštećenja ili čak potpune gluhoće čovjeka. Buka niske razine ima pak samo psihološko djelovanje poput dekoncentracije, remećenje odmora ili sna, razdražljivosti... Ona se može procijeniti samo anketiranjem osoba izloženima buci.

3. ZVUČNI VALOVI U ZATVORENOM PROSTORU

Pretpostavimo da se u nekoj prostoriji nalazi dvoje ljudi na otprilike maksimalnoj udaljenosti i na pravcu dužine te prostorije. Jedan od ta dva čovjeka zatim stvori zvučni signal vrlo kratkog titraja. Zvučni valovi širit će se od izvora u svim smjerovima po zakonima geometrijske optike.



Slika 2 Smjerovi direktnog i reflektirajućeg zvuka (Arsenault)

Na slici 2 prikazana je refleksija zvuka u prostoriji klasičnog oblika. To je učiona s učenicima i učiteljicom; učenici koji sjede iza slabije čuju direktan zvuk, a osobito reflektirajući. Dakle, sukladno prethodnom primjeru, onaj čovjek koji sluša prvo će čuti zvuk koji je dospio direktno od izvora tog zvuka, a tek onda refleksiju od graničnih ploha te prostorije. Ti reflektirani zvučni valovi imati će manju jakost od direktnih valova zbog dužeg puta i pripadajućeg gubitka energije. Nakon toga, svi valovi će se i dalje reflektirati te ispreplitati sve dok potpuno ne oslabe i izgube jakost. Za opću informaciju, brzina valova na sobnoj temperaturi od 20°C iznosi 340 m/s. Što se tiče ukupnog zvučnog tlaka, on je jednak zbroju direktnog i reflektirajućeg zvučnog tlaka. Ako se zvučni val puno puta reflektira (npr. kod slučaja slaboapsorbirajućih zidova), kroz prostoriju će istovremeno, ravnomjerno i u svim smjerovima prolaziti veliki broj valova različitih tlakova što će dovesti do približno jednakog zvučnog tlaka u svakoj točki u prostoriji osim u neposrednoj blizini izvora zvuka u kojem prevladava direktan zvuk. Opisano zvučno polje naziva se difuzno i ono nastaje u prostorijama većeg volumena već od nižih

frekvencija. Također, ono može nastati i u manjim prostorijama, ali pri višim frekvencijama (Šimetin, 1983.).

Pojava privremenog zadržavanja zvuka u prostoriji nakon isključenja izvora zvuka zove se odjek ili reverberacija. Vrijeme trajanja zadržavanja zvuka ovisi o apsorpcijskom svojstvu materijala i o volumenu prostorije. Što je veći volumen prostorije to će vrijeme slabljenja zvuka biti duže zbog rijeđeg udaranja valova o granične plohe. Vrijeme odjeka određuje se potrebnim vremenom da se razina zvučnog tlaka u prostoriji snizi za 60 dB nakon isključenja izvora zvuka. Decibel (dB) je mjera izražena pomoću logaritamskih vrijednosti (odnos logaritama dvaju itenziteta zvuka). Jedinica razine te energetske veličine naziva se bel (B), a deset puta manja decibel (dB). Pojam decibel označava sljedeći izraz:

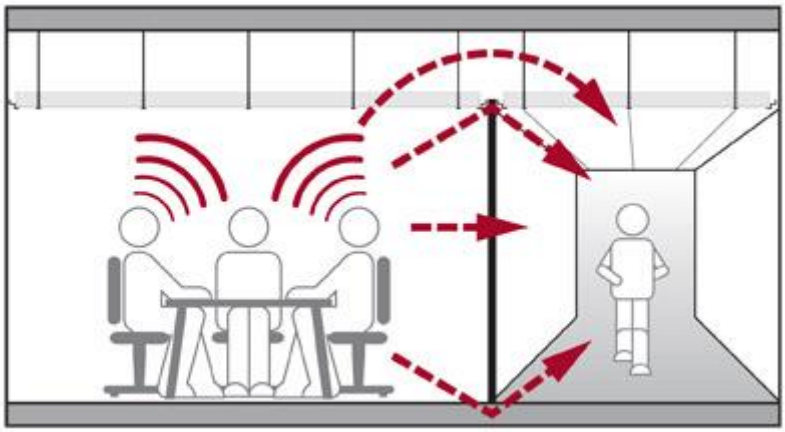
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I – intenzitet zvučnog vala

I_0 – minimalni intenzitet koji ljudsko uho može čuti (iznosi 10^{-12} W/m^2)

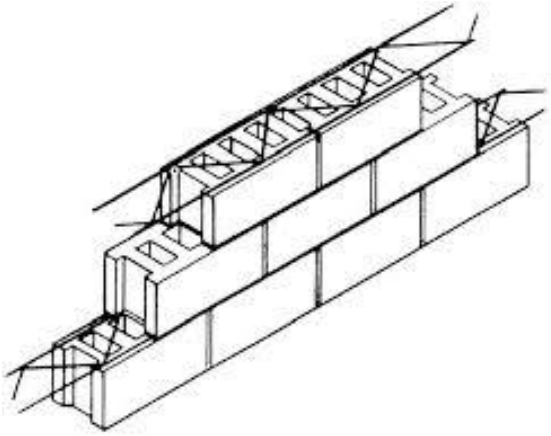
3.1. PRENOŠENJE ZVUKA IZ PROSTORIJE U PROSTORIJU

U slučaju prenošenja zvuka iz jedne prostorije u drugu pregradni građevinski element će to bolje izolirati prostorije što mu je debljina veća; prema teorijskim zakonima mase (Šimetin 1983.), no o utjecaju svojstava materijala će biti riječi u daljnjim poglavljima. Osim nekih svojstava građevinskih materijala, na prijenos zvuka iz prostorije u prostoriju mogu utjecati i bočni zidovi, međukatne konstrukcije te cijevi unutar svih građevinskih elemenata. Prenošenje zvuka bočnim zidovima je najčešći slučaj u građevinama općenito jer su građevinski elementi između dviju prostorija obično kruto povezani. Na sljedećem prikazu (slika 3) je vidljivo na kojim mjestima, osim bočnim zidovima, zvučna energija može proći iz jedne prostorije u drugu.

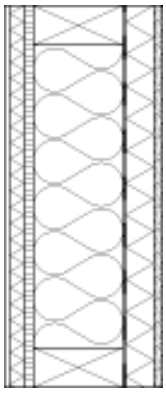


Slika 3 Mjesta prolaska zvučne energije iz prostorije u prostoriju (Rockfon)

Ako želimo staviti građevinski element između dviju prostorija koji ima veliku izolacijsku moć, trebamo mu bitno povećati debljinu. Pri tome treba imati na umu da prevelikim povećanjem može doći do neekonomičnosti i neracionalnosti. Zbog toga se preporučaju dvostruki ili višestruki elementi koji uz određene uvjete imaju mnogo veću izolacijsku moć od jednostrukog elementa jednake debljine (kada je u pitanju direktni zvuk). Na slici 4 i 5 prikazani su primjeri jednostrukog i višestrukog elementa.



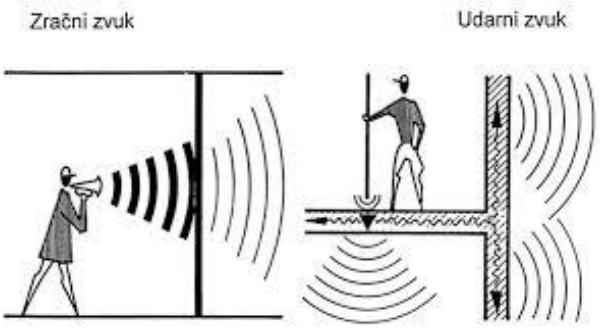
Slika 4 Primjer jednostrukog elementa (Penić, 2015.)



Slika 5 Presjek višestrukog elementa od, naprimjer, sljedećih materijala (s lijeve strane prema desnoj): gipskartonska ploča 12 mm, ploča od drvnih vlakana 30 mm, OSB ploča 16 mm, mineralna vuna 200 mm, kombinirana ploča od drvolita (drvni "rezanci" i cement) i polistirena 60 mm, gipskartonska ploča 12 mm (Dataholz.com, 2016.)

Dvostruki elementi se sastoje od dva dijela međusobno odvojenih zrakom ili nekim mekanim apsorbirajućim materijalom. Ista pravila vrijede i za višestruke građevinske elemente. Zidovi načinjeni od dvostrukog ili višestrukog elementa mogu izolirati zvuk 10-30 dB, dok jednostruki zidovi samo manje od te veličine (Gradimo.hr, 2004.). Analiza izolacijske moći dvostrukog elementa pokazuje da na nižim frekvencijama ima jednaku moć izolacije kao jednostruki jednake mase, što znači da u navedenome slučaju nemaju nikakvu prednost u odnosu na jednostruki element. Izolacijska moć dvostrukog građevinskog elementa raste povećanjem frekvencije zbog čega se u ovome slučaju ipak smatra boljom za izolaciju. Kod dvostrukih elemenata sa zračnim slojem dolazi do određene rezonancije osobito ako su ti elementi s unutarnje strane glatke i guste površine, odnosno jako reflektiraju zvuk. Dakle, bolja je izolacija ako je dvostruki element ispunjen nekim apsorbirajućim materijalom (Bilan). Ako se direktni zvuk prenosi bočnim zidovima, izolacijska moć dvostrukog elementa biti će smanjena. To se može spriječiti na način da se dio dvostrukog zida (s jednim dijelom velike površinske mase i drugim male površinske mase), onaj s manjom površinskom masom, elastično priključi na sve bočne građevinske elemente. Ako oba dijela dvostrukog zida imaju malu debljinu, poželjno je da su oba elastično povezana. Elastični materijal stavlja se po cijeloj površini između pregradnog i bočnog zida. Osim bočnih zidova, na

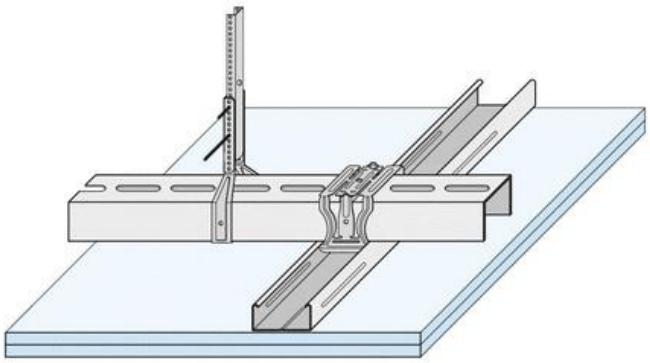
izolacijsku moć pregradnih zidova utječu i elementi kao što su vrata, prozori i sl. te se time nameće zaključak da je izolacijska moć pregradnih zidova jako smanjena ukoliko je slaba izolacijska moć navedenih elemenata.



Slika 6 Prenošenje zračnog i udarnog zvuka iz prostorije u prostoriju (Veršić, 2014.)

Vibracije nastale direktnom mehaničkom silom nazivaju se udarni zvuk. Kako je prikazano na slici 6, on se najčešće događa u međukatnim konstrukcijama građevina, a izazvan je hodanjem, trčanjem, guranjem pokućstva, padom predmeta i sličnim. Kao kod susjednih prostorija na jednoj etaži i u ovom slučaju se direktni zvuk i udar velikim dijelom provode i bočnim zidovima. Udarni zvuk može se smanjiti ako se ispod međukatne konstrukcije, odnosno poda, izvede odgovarajući spušteni strop. Ako imamo međukatnu konstrukciju od armiranog betona bez poda i spuštenog stropa, dakle "goli" građevinski element, jedan udarac (npr. čekićem) će izazvati vibracije koje će se vrlo brzo širiti kroz taj element. Kada te vibracije prođu kroz međukatnu konstrukciju, jedan dio te energije će se reflektirati i ponovno vratiti prema gornjoj površini, drugi dio će se apsorbirati, a preostali dio će se pretvoriti u zvučne valove u prostoriji ispod. Teorijskom analizom zračenja međukatne konstrukcije izložene zvučnim udarima može se dokazati da razina zvuka, u prostorijama ispod one u kojoj je zvuk izazvan, većinski ovisi o debljini međukatne konstrukcije i faktoru gubitaka (Šimetin, 1983.). Rješenja za zvučne udare u međukatnim konstrukcijama leže u izvedbi mekanog završnog podnog sloja, "plivajućeg" poda ili, već spomenutog, spuštenog stropa. Navedena rješenja su povoljnija u usporedbi s povećanjem debljine međukatne konstrukcije iz već poznatog razloga; neekonomičnost i neracionalnost. Mekani materijali na podovima ili oni postavljeni ispod krute

završne obloge vrlo dobro apsorbiraju energiju zvučnog udara jer se ta energija utroši na elastičnu deformaciju spomenutog tog mekanog materijala. Takvi podovi postaju efikasniji tek na većim frekvencijama. Ako se izvode "plivajući" podovi koji su sastavljeni od mekog sloja i na kraju završnog krutog sloja, trebali bi imati što nižu frekvenciju rezonancije jer u suprotnome oni nisu efikasni. Ako želimo spušteni strop da bi se postigla još veća izolacija, on mora biti nepropustan na zrak i nosivi elementi u spuštenom stropu moraju biti što elastičniji kako bi se spriječilo direktno prenošenje vibracija s međukatne konstrukcije na strop. Konstrukcije spuštenog stropa i plivajućeg poda prikazane su na slici 7 i 8.



Slika 7 Konstrukcija spuštenog stropa (Daemmen und sanieren)



Slika 8 Primjer konstrukcije "plivajućeg" poda (Knauf Insualation, 2010.)

4. UTJECAJ SVOJSTAVA MATERIJALA NA ZVUK U INTERIJERU

Izbor materijala za pojedinu svrhu ovisi o njegovim specifičnim svojstvima. Prema fizici zvuka i za akustičke svrhe obratiti ćemo pozornost samo na određena svojstva, no prvo da podijelimo građevinske materijale u neke osnovne skupine kao što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1 Osnovne skupine građevinskih materijala (Andrassy i dr.)

KONSTRUKTIVNI	PREGRADNI	VEZNI	OBLOGE
Kamen	Gipskarton	Ljepila	Gips
Opeka	Mineralna vuna	Elastični materijali	Kamen
Beton (armirani)	Polistiren	Metalni elementi	Drvo
Siporex	Kompozitni materijali	Polimerni materijali	Drvne ploče
Drvo			Opeka
Čelik			Staklo
			Kompozitni materijali

Najvažnija fizikalna, mehanička i tehnološka svojstva prema kojima odabiremo materijale za akustičku kvalitetu interijera su homogenost, elastičnost/plastičnost, gustoća/poroznost, u nekim slučajevima tvrdoća, oblik završnih obloga i neizbježna estetska vrijednost za završne obložne slojeve. Uz navedena svojstva, važna su još i ekonomičnost, trajnost i prirodnost (ekološki prihvatljivi materijali). Ako želimo određena i stroga akustička pravila neke prostorije, često neka od zadnja tri navedena svojstva neće biti u prvome planu.

Homogenost nekog materijala znači općenito jednaka svojstva u svakom dijelu tog materijala. Za materijale korištene u akustičke svrhe poželjno je da imaju što veću homogenost, a u praksi većinom i imaju. Za akustiku neke prostorije je važna zbog jednakih izolacijskih svojstava na svakom dijelu zidova, podova ili stropova. Elastičnost ili plastičnost nekog materijala u prostoriji pak direktno utječe na prenošenje vibracija unutar nje i dalje u susjedne prostorije. Ako je materijal

vrlo elastičan i male tvrdoće, on će odlično "primiti" zvučnu energiju i neće prenositi vibracije na okolne materijale baš zbog male tvrdoće. Ako navedeni materijal ima i veliku gustoću, on će imati izvrsnu zvučnu izolaciju. Mjera elastičnosti je modul elastičnosti. On označava odnos naprezanja površine i deformacije. Youngov modul elastičnosti nekih materijala prikazan je u tablici 2.

Tablica 2 Približne vrijednosti modula elastičnosti nekih tvari prema Young-u iskazane u GPa. (Wikipedia)

YOUNG-OV MODUL ELASTIČNOSTI
Guma - 0,01...0,1
Plastike - 0,2...7
Polistiren - 3...3,5
Vlaknatice sr. gustoće - 4
Drvo - 8...11
Beton – 30
Aluminij - 69
Staklo - 50...90
Mjed/bronca - 100...125
Bakar – 117
Stakloplastike - 40...181
Kovano željezo - 190...210
Čelik – 200

Iz prethodne tablice možemo iščitati podatak da su guma, plastike, polistiren i vlaknatice srednje gustoće najelastičniji materijali. Zatim, materijali srednje elastičnosti su drvo, stakloplastike i beton, dok su neelastični materijali neki metali i staklo. Poželjno je da su određeni dijelovi zidova (osobito krajevi ploha) povezani baš elastičnim i mekanim materijalima kako je kazano u odjeljku o prenošenju zvuka iz prostorije u prostoriju. Za ublažavanje prenošenja vibracija najbolje rješenje je guma. Nadalje, svojstvo materijala koje je najvažnije za

ponašanje zvuka unutar prostorije te najviše utječe na vrijeme odjeka, jačinu reflektiranog zvuka i opću slušnu udobnost čovjeka je gustoća, odnosno poroznost završnih obloga. Veća gustoća materijala znači nepropusnost zvuka (ako je materijal tvrd, tada i jaču refleksiju; dobra izolacija), dok porozniji materijali dobro apsorbiraju zvučne valove, ali ih mogu i propuštati. Ako je neki materijal visoke gustoće, male elastičnosti i pritom velike tvrdoće, on će jako reflektirati zvuk. Gustoća nekih materijala prikazana je u tablici 3 iz koje možemo zaključiti da su najgušći materijali metali, pa zatim malo niže gustoće mramor, kamen, staklo, beton, gipskarton, neke vrste plastika i drvnih ploča. Poroznije vrste materijala bi dakle bile drvo, pluto, neke plastike (spužve), mineralna i staklena vuna, neke vrste betona i plinobetona te neke vrste drvnih ploča.

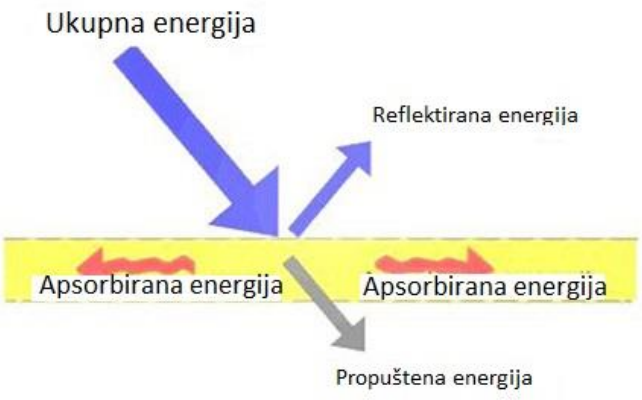
Tablica 3 Približne vrijednosti gustoća nekih krutih tvari (Wikipedia, Gradnja.org, Gradimo.hr - 2008., Enciklopedija.hr)

PRIBLIŽNA GUSTOĆA TVARI (kg/m3)
Aluminij - 2700
Bakar - 8900
Drvo - 320...910
Kamen - 2000
Mjed - 8500
Mramor - 2800
Platina - 21500
Pluto – 200
Staklo - 2500
Volfram - 19100
Željezo - 7800
Plastike - 850...1400
Ekspandirani polistiren - 30...120
Beton - 300...2500
Pjeno/plinobeton - 250...1500
Mineralna vuna - 40...300
Staklena vuna - 40...90
Drvne ploče - 200...1000
Gipskarton - 1200

Usporedimo sada svojstva elastičnosti i gustoće nekih materijala:

PRIBLIŽNA GUSTOĆA TVARI (kg/m3)	YOUNG-OV MODUL ELASTIČNOSTI	PRIKLADNOST MAT. ZA ZVUČNU **IZOLACIJU**
Aluminij - 2700	Aluminij - 69	1
Bakar - 8900	Bakar - 117	3
Drvo - 320...910	Drvo - 8...11	1
Kamen - 2000	---	3
Mjed - 8500	Mjed/bronca - 100...125	3
Mramor - 2800	---	3
Platina - 21500	---	3
Pluto - 200	---	2
Staklo - 2500	Staklo - 50...90	1
Volfram - 19100	---	3
Željezo - 7800	Kovano željezo - 190...210	3
Plastike - 850...1400	Plastike - 0,2...7	1
Ekspandirani polistiren - 30...120	Polistiren - 3...3,5	2
Beton - 300...2500	Beton - 30	2
Pjeno/plinobeton - 250...1500	---	2
Mineralna vuna - 40...300	---	2
Staklena vuna - 40...90	---	2
Drvne ploče - 200...1000	Vlaknatice srednje gustoće - 4	1
Gipskarton - 1200	---	2
Stakloplastika - 1180	Stakloplastike - 40...181	2
Čelik - 7800	Čelik - 200	3
Guma - 1100...1190	Guma - 0,01...0,1	3

Za prethodnu usporedbu valja pojasniti što zapravo znači moć izolacije nekog materijala; izolacijska moć nekog materijala je nepropusnost za zvučne valove koja ovisi o gustoći, elastičnosti, ali i tvrdoći materijala. Ocjene izolacijske moći (1 - loša, 2 - srednje dobra, 3 - odlična izolacija) navedenih materijala donešene su slobodnom procjenom na temelju navedenih svojstava i računajući na to da su u teoriji svi oni samostalni elementi jednake debljine i ne računajući na posebnu povezanost na drugi element (nalijeganje na susjedni element).



Slika 9 Prolazak zvučne energije kroz materijal (Stereofonija)

Kada zvučni val koji se širi zrakom udari u graničnu plohu neke prostorije, dio energije tog vala apsorbira materijal granične plohe, dio prolazi kroz zid, a preostali dio se reflektira natrag u prostoriju (slika 9) (Bilan). Sposobnost apsorpcije nekog materijala se karakterizira koeficijentom apsorpcije koji je određen odnosom apsorbirane snage i ukupne snage nekog vala. Koeficijent apsorpcije ovisi o frekvenciji zvuka i o kutu njegova upada na površinu materijala. Vrijednost koeficijenata apsorpcije kreće se od 0-1, a materijali čiji je koeficijent apsorpcije veći od 0,3 smatraju se apsorpcijskim materijalima. U tablici 4 prikazane su vrijednosti apsorpcije nekih materijala.

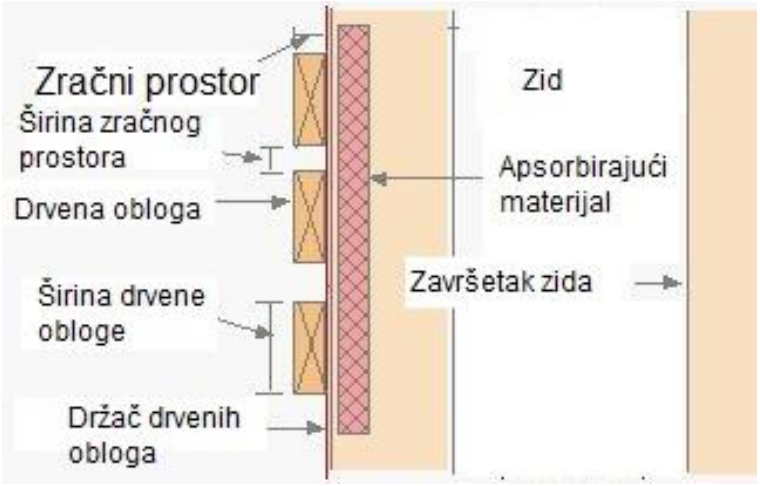
Tablica 4 Iznosi koeficijenata apsorpcije nekih građevnih materijala (Homeliness & Comfort)

Materijal	Koeficijent apsorpcije na **1000 Hz**
Vlaknatice	0,4 - 0,8
Perforirane plohe	0,4 - 0,9
Beton	0,015
Stakloplastike	0,76 - 0,81
Drvo	0,06 - 0,1
Opeka	0,032

Porozni materijali su materijali s mnogo otvorenih, međusobno povezanih šupljina ispunjenih zrakom i oni imaju najveću apsorpcijsku moć. Kada zvučni val udari o poroznu površinu, veći dio energije apsorbira materijal, a manji dio se nastavlja reflektirati. U toku širenja materijalom, on gubi energiju zbog trenja čestica zraka o stijenke pora. Na apsorpciju poroznih materijala može se utjecati strukturom i debljinom sloja istoga. Struktura poroznih materijala može biti otvorenih pora ili zatvorenih pora. Apsorpcija poroznih materijala je učinkovitija pri većim frekvencijama, a na niskim frekvencijama samo s povećanjem debljine sloja.

U podove se za bolju izolaciju obično stavlja mekani završni sloj koji apsorbira energiju udara. U tu svrhu se najčešće primjenjuju razne vrste tepiha ili sintetičke obloge sa slojem spužvaste gume i slično. Što se tiče spuštenih stropova, oni se često izrađuju od pojedinačnih ploča od prešanih mineralnih vlakanaca, no, kod njih je prolaz zvuka dosta povećan zbog velikog udjela nedovoljno zabrtvljenih reški. Spušteni strop može se izvesti i gipskartonskim pločama u kombinaciji s apsorbirajućim materijalom s unutarnje strane. Izolacijska moć takvog stropa je velika.

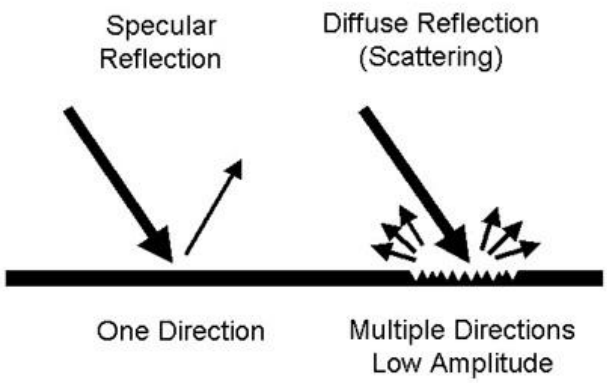
Apsorpcija materijala se može poboljšati i oblikom završnih obloga. Naprimjer, zidne obloge mogu imati tzv. rezonantore. Rezonantori su ''kutije'' koje imaju uske otvore za povezivanje zraka unutar i van nje. Zbog djelovanja zvučnog tlaka izvan ''kutije'', masa zraka u otvorima ima tendenciju da se pomakne, no onaj zrak unutar ''kutije'' se tome suprotstavlja poput opruge. Uslijed pomicanja zraka u otvorima, dio energije se pretvara u toplinu zbog trenja zraka o stijenke otvora (Šimetin, 1983.).



Slika 10 Bokocrtni presjek zida s drvenim pločama koje služe kao rezonantori (Pinterest)

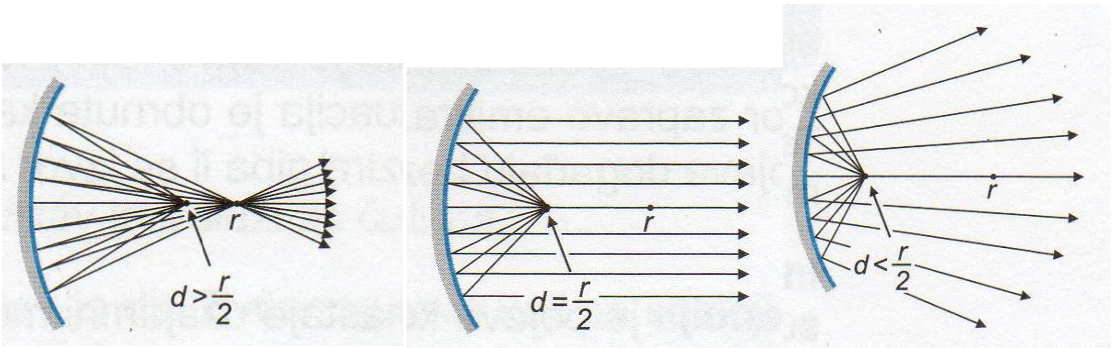
U praksi se za rezonantore koriste perforirane ploče od raznih materijala (najčešće drvnih ploča; više o tome u odjeljku 5.2.) koje se obično postavljaju na nekoj udaljenosti od samih zidova/stropova baš kako bi se postigla rezonancija. Ako se između ploča i zidova nalazi još koji apsorbirajući materijal kao što je to prikazano na slici 10, sveukupna moć apsorpcije je veća. Slično navedenom primjeru, apsorpcija se može postići i postavljanjem nekih vrsta tkanina propusnih na zrak.

Iz svega prethodno navedenog možemo zaključiti da se na ponašanje zvuka (osim apsorpcijskim materijalima) može utjecati i strukturom materijala, površinskom obradom i oblikom koji (ako nije apsorbirajući) reflektira zvuk u danom smjeru. Zvuk ima smjerove određene geometrijom plohe o koju udara, a ona može biti glatka ili određene strukture kao što je to prikazano na slici 11.



Slika 11 Reflektiranje zvuka o glatku plohu i plohu kompleksne strukture (Ultrasound of Regional Anesthesia, 2008)

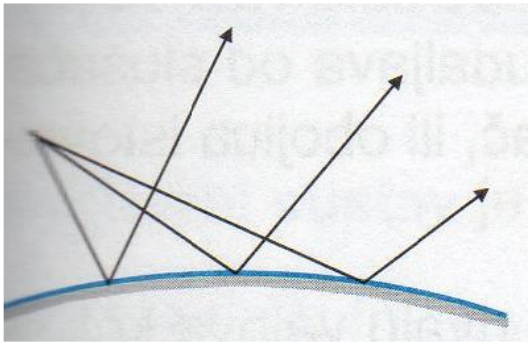
U ovome slučaju, refleksija ovisi o duljini zvučnog vala i dimenzijama neravnina plohe (Burda i dr.; 2015.). Što je ploha hrapavija, refleksija je slabija. Određivanje reljefa ploha se vrši pomoću matematičke analize prostora, a zove se QRD difuzor (quadratic-residue diffusers). Ona se izvodi analizom kretanja zvuka u prostoriji i mjerama željene akustike za tu prostoriju.



Slika 12 Odbijanje zvuka o konkavni oblik materijala: 1. usnopljavanje, 2. paralelnost, 3. raspršenje (Šimunić)

Na slici 12 prikazane su refleksije zvuka koji se odbija o konkavnu površinu, a to su usnopljavanje, paralelnost ili raspršenje zvuka što ovisi o udaljenosti izvora zvuka (d) i radijusu zakrivljenosti plohe (r). Kada zvuk udari o takvu površinu, i ako je iznos udaljenosti izvora zvuka primjerice male vrijednosti, tada će se zvuk raspršiti u puno smjerova što znači da takav tip površine može poslužiti i kao difuzor (pojašnjenje u odjeljku 5.2.), no bitno je da su u tom slučaju

radijusi zakrivljenih ploha manjih dimenzija. Kod konveksnog oblika ploha zvuk se dispergira, odnosno raspršuje pod raznim kutevima natrag u prostoriju (slika 13) (Šimunić). Postavljanjem reljefnih oblika na zidove i/ili stropove prostorije može se smanjiti štetna refleksija zbog raspršivanja zvučne energije u više smjerova (Akustika tema 6).

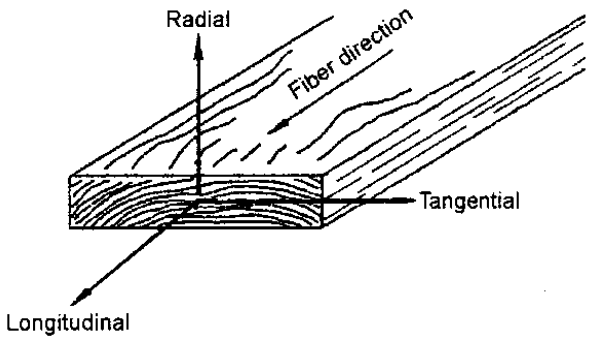


Slika 13 Raspršenje zvuka koji udara o konveksnu plohu (Šimunić)

5. AKUSTIKA DRVA I DRVNIH MATERIJALA

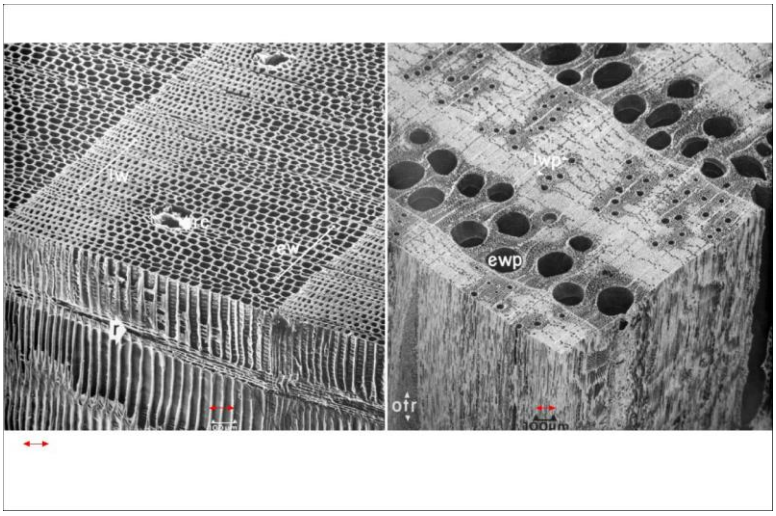
5.1. FIZIKALNA I TEHNOLOŠKA SVOJSTVA DRVA

Drvo je prvenstveno anizotropan, higroskopan i permeabilan materijal. Pojam anizotropan za drvo znači to da ima različita svojstva u različitim smjerovima njegova rasta. Nadalje, higroskopnost znači da uvijek sadrži određeni dio vlage, dok permeabilnost znači da propušta određene medije kao što su plinovi i tekućine. Općenito se vrste drva prema anatomiji svrstavaju u dvije skupine; četinjače i listače. Te dvije skupine imaju različitu strukturu drva zbog čega je to važno napomenuti. Drvo ima tri osnovna presjeka; longitudinalni, tangencijalni i poprečni (slika 14). Svaki presjek drva ima određena fizikalna i tehnološka svojstva zbog smjera i različitih tipova drvnih vlakanaca. Osobita je strukturna razlika srži i bijeli drva (srž ima gušći raspored pora).



Slika 14 Prikaz tri osnovna smjera presjeka drva (F. Hunt, 2006.)

Da bi građa drva bila bolje shvatljiva, potrebno je opisati staničnu strukturu drveta s obzirom da ona najviše utječe na njegova svojstva. U drvu općenito postoje dvije vrste stanica koje se razlikuju oblikom i veličinom; prosenhimske (tanke i dugače, spljošteni i šiljasti završeci) i parenhimske (pravokutne ili zaobljene i kratke) (Špoljarić, 1978.).



Slika 15 Mikroskopski prikaz rasporeda i veličine pora četinjače (obični bor, lijevo) i listače (crveni hrast, prstenasto-porozan, desno) (Anatomija drva, 2012.)

Na slici 15 prikazana je jedna od razlika u porama četinjača i listača. Kod četinjača je manji broj različitih vrsta stanica što znači manje kompleksna struktura. Još jedan razlog manje kompleksnoj strukturi je to što listače imaju nepravilan raspored pora. Općenito se, unutar vrsta, listače više razlikuju od četinjača zbog različitosti u promjeru i rasporedu pora. Prema veličini i rasporedu pora, listače mogu biti difuzno-porozne (orah, breza, javor, bukva i topola) i prstenasto-porozne (hrast, brijest i kruška) (Špoljarić, 1978.). Četinjače i difuzno-porozne vrste listača imaju homogeniji raspored stanica. I listače i četinjače imaju vrste različitih gustoća što znači da je gustoća kao svojstvo drva neovisna o navedenoj raspodjeli. Gustoća ovisi o vrsti drva, dijelu drva, sadržaju vode i staništu. Gustoće nekih vrsta drveta prikazane su u tablici 5.

Tablica 5 Gustoća drva iskazana u g/cm^3 (Govorčin)

LISTAČE	ČETINJAČE
Bagremovina - 0,54...0,73...0,87	Ariševina - 0,40...0,55...0,82
Brekinjevina - 0,63...0,71...0,87	Borovina obicna - 0,30...0,49...0,86
Brestovina - 0,44...0,65...0,82	Borovina crna - 0,38...0,58...0,91
Brezovina - 0,46...0,61...0,80	Borovina Vajmutova - 0,31...0,37...0,47
Bukovina - 0,49...0,69...0,88	Duglazijevina - 0,32...0,51...0,73
Grabovina - 0,50...0,79...0,82	Jelovina - 0,32...0,41...0,71
Hrastovina lužnjaka - 0,39...0,62...0,79	Smrekovina - 0,30...0,43...0,64
Hrastovina kitnjaka - 0,46...0,66...0,84	Tisovina - 0,61...0,64...0,74
Jasenovina - 0,41...0,65...0,82	
Javorovina - 0,48...0,59...0,75	
Johovina - 0,45...0,51...0,60	
Kestenovina pitoma - 0,53	
Kestenovina divlja - 0,46...0,51...0,55	
Kruškovina - 0,54...0,70...0,76	
Lipovina - 0,32...0,49...0,56	
Orahovina obicna - 0,64	
Orahovina crna - 0,56	
Topolovina crna - 0,37...0,41...0,52	
Trešnjevina - 0,57	
Vrbovina - 0,33...0,52...0,59	

Elastičnost je još jedno svojstvo drva koje valja spomenuti. Kod drva je najviše istražen modul elastičnosti u smjeru vlakanaca što je važno za konstrukcije u graditeljstvu. Modul elastičnosti ovisi o vrsti drva, sadržaju vode i temperaturi (Petrić i dr., 1985.). Neke od elastičnih domaćih vrsta drva su bagrem, jasen, javor, bukva, lipa, breza i orah od listača te ariš, bor obični, jela i smreka od četinjača.

5.2. UTJECAJ SVOJSTAVA DRVA NA AKUSTIKU

Drvo kao materijal korišten u akustičke svrhe je prvenstveno ekološki najprihvatljiviji, a zatim i vrlo prikladan kod izvođenja akustičkih elemenata interijera. Svojstva drva koja su već spomenuta, a važna za akustiku su: anizotropnost, higroskopnost, permeabilnost, poroznost/gustoća i elastičnost. Svako svojstvo zasebno može utjecati na akustiku prostorija; anizotropnost na jednakost odbijanja/apsorpcije zvuka na svakom dijelu elementa, permeabilnost i higroskopnost na gustoću i time apsoprciju, poroznost također na apsorpciju te elastičnost na prenošenje vibracija u susjedne prostorije.

S obzirom da se u interijeru drvo najviše koristi u oblaganju zidova, podova i stropova, te obloge budu obično tangencijalno-uzdužnog presjeka što znači da treba najviše obratiti pozornost na svojstva koja se ističu na tim presjecima zbog smjera vlakanaca. Drvo će bolje apsorbirati zvuk ako su obloge poprečnog presjeka (što u praksi nije slučaj) jer će zvučni valovi u porama drva gubiti energiju, dok će plohe uzdužnog presjeka bolje reflektirati i prenositi vibracije uzdužno jer se u tom slučaju vibracija kreće u smjeru vlakanaca. Važno je napomenuti i da površinska obrada te premazi korišteni za zaštitu tih obloga također mogu utjecati na akustiku, ali prvenstveno apsorpciju zvuka. Ako su površine obrađene na način da su vrlo fino brušene, a zatim završno obrađene gustim premazom te polirane do visokog sjaja, taj drveni element će zasigurno bolje reflektirati zvuk od onog koji je samo grubo ili uopće nije obrađen. To se može zaključiti iz činjenice da se zvuk jače reflektira ako je površina glatkija, odnosno da se slabije reflektira ako je u pitanju hrapavija površina.

Drvo ima još jednu odličnu prednost kod konstruiranja elemenata u akustičke svrhe, a to je mogućnost mehaničke obrade alatima ili savijanjem i time dobivanje raznih oblika. Ovo svojstvo je važno ako želimo da nam se u prostoriji reflektira zvuk u željenom smjeru, da element služi kao difuzor (objašnjenje u daljnjem tekstu) i/ili kao estetska vrijednost kako je prikazano na slikama 16 i 17.



Slika 16 Drvo kao estetski element interijera (Pinterest)



Slika 17 Drveni elementi u obliku difuzora (Total Vibration Solutions)

Kako je već spomenuto za sve vrste materijala, tako i za drvo važi da se ispravnim oblikom i masom elemenata može postići izvrsna akustička kvaliteta prostorija. Elementi koji se izrađuju od drva su najčešće konstrukcijski elementi, prozori, vrata, podne, zidne i stropne obloge.

Osim masivnog drva, u akustičke svrhe se na veliko proizvode i koriste drvne ploče. Razne vrste iverica, furnirske ploče i MDF (vlaknatice) su ekonomične i također ekološki materijal jer se izrađuju od drvnog otpada. Njihova prednost su još bolja mogućnost oblikovanja od masivnog drva, no svaka od njih ima zasebna svojstva. Najbitnija svojstva drvnih ploča na koje se obraća pozornost u akustičke svrhe su gustoća, elastičnost i površinska obrada istih. U

tablici 6 prikazani su podaci o gustoći i modulu elastičnosti nekih vrsta ploča. Veličine modula elastičnosti navedene u tablici ovise o debljini ploče.

Tablica 6 Gustoća i modul elastičnosti nekih vrsta ploča (Jambreković, 2004.)

Vrsta ploče	Gustoća (g/cm3)	Modul elastičnosti (N/mm2)
Iverice	0,500 - 0,800	1050 - 1800
OSB (ploče od makroiverja)	---	1200 - 1400
Vlaknatice (MDF)	0,450 - 0,900	1700 - 2700

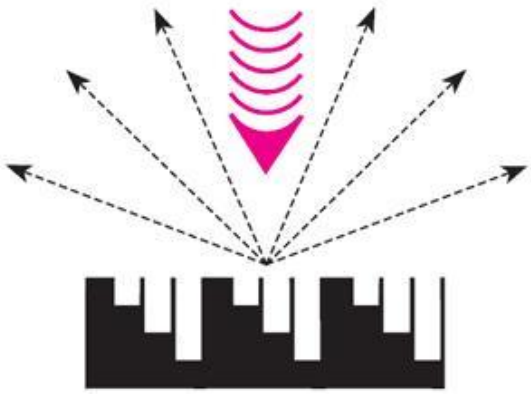
U praksi se najčešće oblažu ploče iverice PVC folijom, laminatom ili furnirom. Ploče vlaknatice (MDF) se najčešće tretiraju raznim vrstama premaza u boji, dok se furnirske ploče najčešće premazuju transparentnim premazima.



Slika 18 Difuzor načinjen od raznih oblika drvnih elemenata (Eccentricity of Wood)



Slika 19 Difuzor ravnih ploha od drva (Arqen)



Slika 20 Prikaz raspršivanja zvuka koji udara u površinu difuzora (Total Vibration Solutions)

Drvo i drvni proizvodi su kompleksniji materijali te su oni učinkoviti samo ako se koriste na ispravan način. Masivno drvo se najčešće upotrebljava kao difuzor (slike 18 i 19) čiji oblik ovisi o matematičkim proračunima. Difuzori ne apsorbiraju već raspršuju zvuk u mnogo smjerova (slika 20). Nadalje, što se drvenih konstrukcija tiče, građevine koje imaju drvene grede u međukatnim konstrukcijama zbog krutih veza (ali i zato što su generalno srednje, a ne velike elastičnosti) ne zadovoljavaju zahtjeve u pogledu zaštite od zračnog i udarnog zvuka. Kod nižih frekvencija (100-500 Hz) je osobito naglašeno prenošenje tog zvuka. Umetanjem elastičnih i mekih traka između greda i podnih/stropnih obloga može se smanjiti razina udarnog zvuka i za nekoliko decibela. Ako se na međukatnoj konstrukciji s drvenim gredama izrađuje plivajući pod, potpunim odvajanjem obloge od grede može se smanjiti razina zvuka udara i do 20 dB. U pravilu vrijedi da strop od drvenih greda koji dobro izolira udarni zvuk, pruža i dobru izolaciju protiv zračnog zvuka (Šimetin, 1983.). Kod nižih frekvencija (manje od 500 Hz) često su u uporabi iverice i furnirske ploče dok se sintetički porozni materijali koriste kod frekvencija visine čak 2-4 kHz (Burda i dr., 2015.). Drvne ploče se izrađuju i u obliku perforiranih ploča (slika 21) u svrhu rezonancije te u raznim oblicima kako bi se refleksija zvuka usmjerila u željenom smjeru u prostoriji.



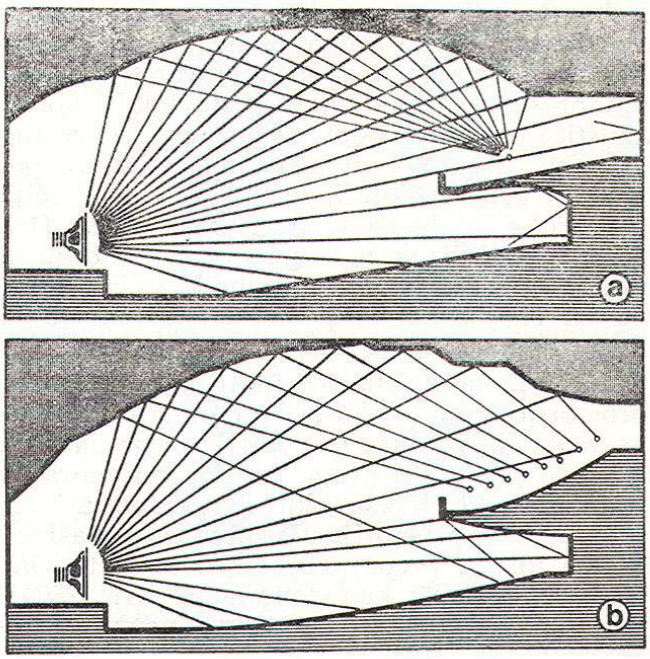
Slika 21 Primjer postavljenih perforiranih ploča u dvorani (Alibaba.com)

Furnirske ploče svojim svojstvima i u nekim slučajevima pokrivaju nedostatke masivnog drva. Učinkovitije su na nižim frekvecijama, kako je prethodno spomenuto. MDF ploče (vlaknatice) imaju izvrsna tehnološka svojstva. Također se koriste kao obloge interijera u raznim oblicima i kao rezonantori (primjer je prikazan na slici 10). Iverice se, osim za zidove (okal iverice) i stropove, mogu koristiti i za podove. Učinkovite su ako se postave na elastični materijal koji se zatim nalazi između samog poda i ploča. Na taj način se sprječava prijenos vibracija u prostriju ispod. Općenito drvne ploče kao zidne obloge dobro apsorbiraju frekvencije srednjih visina (kao što je govor) u obliku rezonantora i bez apsorbirajućeg sloja između obloge i zida. Ako se između obloge i zida stavi i neki apsorbirajući element kao što je, primjerice, mineralna vuna, tada ploče mogu dobro apsorbirati i zvukove visokih frekvencija. Osim drvnih ploča, u arhitektonske svrhe su često u uporabi i kompozitni materijali koji uključuju drvo. No, iako se njima ponekad mogu dobiti neka bolja svojstva, oni nisu previše poželjni iz ekoloških razloga (ne mogu se reciklirati i nemogućnost razgradnje).

6. ZAHTJEVI NA SVOJSTVA NEKIH VRSTA INTERIJERA

Razlika u akustičkom projektiranju prostorija je u njezinoj svrsi. Prostorije mogu biti privatne i javne. Privatne su prostorije stanova i kuće, a u javne spadaju prostorije namijenjene slušanju govora (crkve, kazališta, dvorane auditoriji), slušanju glazbe (koncertne dvorane, studiji), prostorije bolnica, škola, hotela te ostalih javnih ustanova. Ono što bi privatne i javne prostorije trebale imati zajedničko to je odlična izolacija zvuka između svih prostorija, osobito između katova zbog vibracije i zvuka udara o pod. Ako je taj dio osiguran odličnim materijalima (oni koji minimalno propuštaju zvuk), tada se ostala svojstva prostorije mogu dobro kontrolirati završnim oblogama raznih oblika i svojstava. Najvažnija nam je izolacija privatnih prostora; primjerice, izolacijska moć materijala zidova i stropova stambenih prostorija mora biti 52 - 57 dB, dok kod poslovnih zgrada/prostora mora biti 42 - 52 (Veršić, 2013.). Veličina mjere ovisi o kojem se zidu radi, naprimjer zid između sanitarnih prostorija i hodnika ili između susjednih ureda.

Za prostorije manjeg i srednjeg volumena (do nekoliko stotina m^3) bitno je da vrijeme odjeka bude kvalitetno kontrolirano. To se može postići apsorbirajućim elementima. No, ako je u takvoj prostoriji željen odjek određenog smjera, tada će se koristiti manje apsorbirajući elementi određenog oblika. Materijali koji dobro apsorbiraju primjenjuju se u prostorijama u kojima želimo veću prigušenost zvuka, dakle veću privatnost. Osim prostorija u stanovima i kućama, to mogu biti i restorani, kafići, prostorije bolnica, uredski prostori i slično. Apsorbirajući materijali se koriste i u prostorijama u kojima se stvaraju frekvencije visokih razina poput industrijskih hala, zanatskih pogona te glazbenih studija koji su najčešće malog volumena. U glazbenim studijima se time eliminira štetna refleksija. Difuzori se također često koriste za studijske prostore i koncertne dvorane. Oni raspršuju zvuk u pravcima koji se matematički mogu izračunati. Kod izvođenja koncertnih dvorana vrlo je bitan oblik dvorane (slika 22) zbog postizanja približno jednake glasnoće zvuka u svim dijelovima. Nadalje, treba izbjegavati jeku. Da nebi došlo do jeke, prvi reflektirani zvuk (čija je jakost blizu direktnom zvuku) ne smije kasniti za direktnim zvukom (Magaš).



a) Usmjerenje zvuka pomoću konkavnih površina stropa

b) Usmjerenje zvuka pomoću konveksnih površina stropa

Slika 22 Primjeri konkavnih i konveksnih oblika stropova dvorana (Magaš)

Da bi se zvuk reflektirao željenom jačinom, materijal mora imati određeno svojstvo refleksije. Isto tako, mora imati određenu apsorpciju kako bi smanjio štetnu refleksiju, odnosno ublažio jačinu zvuka glazbe; isto vrijedi i za dvorane namijenjene slušanju govora (naprimjer školske učione). Sva navedena pravila odnose se na zvuk bez elektroakustičkih uređaja. Ako u nekoj dvorani nastupa bend s uređajima koji pojačavaju zvuk, tada se zvuk elektronski, odnosno produkcijski, prilagođava dvorani. Općenito u prostorijama bilokakve vrste, važnu ulogu u akustičkoj kvaliteti mogu imati elementi kao što su vrata i prozori. Ako nisu adekvatnih svojstava, ni kompletna akustika prostorije neće imati željenu razinu kvalitete. Prozori su najčešće rađeni od PVC-aili drva, no najveću površinu ipak zauzima staklo. Staklo je vrlo gust materijal velike tvrdoće i male elastičnosti stoga on dobro reflektira zvuk. S druge strane, ono je u današnje vrijeme vrlo dobar izolator između vanjskog i unutrašnjeg prostora jer se izrađuje višeslojno i boljim tehnikama. Vrata se najčešće izrađuju od drvnih materijala (ploča i masivnog drva) i višeslojna su što omogućuje bolju ekonomičnost i manju masu. Dodavanjem dodatnih slojeva na konstrukciju vrata može se povećati izolacijsku moć i do 10 dB. Između konstrukcije i dodatne ploče se obično radi mali razmak koji može biti ispunjen apsorbirajućim materijalima (naprimjer raznim vrstama vuna) koji

pospješuju izolaciju. Međutim, ako želimo sačuvati izolacijsku kvalitetu vrata, konstrukcija vrata na dovratnike i pod mora mekano i elastično nalijegati koliko god je to moguće. Često u koncertnim dvoranama uopće nema prozora, a vrata mogu biti još više izolirana laganim materijalima poput spužve i tkanine.



Slika 23 Primjer apsorpcijskog materijala (North East Soundproofing and insualations, 2012.)

Na slici 23 prikazana je vrsta spužve koja odlično apsorbira i stoga se se često postavlja u glazbene studije. No, primjerice u stambenim prostorijama veliku apsorpcijsku moć mogu imati tepisi, predmeti, prisustvo ljudi, namještaj i slično. Unatoč tome, kod izgradnje mora postojati određena apsorpcija zvuka zidova koje se treba pridržavati u skladu s arhitektonskim normama i zakonima. U takvim normama su navedene preporuke za rješavanje specifičnih akustičkih problema. Neke od njih sadržavaju preporuke za konstrukcijske detalje i elemente interijera koji utječu na ponašanje zvuka u prostoriji.

Ako želimo izvesti kvalitetnu akustiku i izolaciju primjerice hotelskih soba, prvenstveno nam je važno pridržavati se norma, a zatim odabirom materijala završnih obloga težiti što većoj slušnoj udobnosti čovjeka koji će koristiti navedenu prostoriju. U svakom slučaju, unutarnji (konstruktivni) zidovi između svake hotelske sobe moraju imati veliku gustoću i malu elastičnost kako bi što bolje spriječili prenošenje zvuka iz prostorije u prostoriju. Na taj zidni element bi trebalo postaviti poroznije materijale koji bi apsorbirali zvučnu energiju i spriječili širenje

vibracija na unutarnji zid, a zatim i u susjednu sobu. Kao završna obloga prihvatljivo je (najčešće) rješenje; gipskartonske ploče. No, tu se mogu staviti i druge obloge kao što su drvne ploče ili pak gipskartonske s dijelovima ploča koje služe kao difuzori kako bi raspršivali zvuk ukoliko bi zvuk u sobi bio glasniji. S obzirom da se u hotelskim sobama redovito nalaze elementi poput tepiha, zavjesa, prekrivača na krevetima i slični, oni poprilično smanjuju jačinu zvuka u prostoriji, stoga nije potrebno još jače stišati zvuk u prostoriji već ga pravilno rasporediti.

Za drugi primjer uzmimo prostoriju namijenjenu govoru, naprimjer školske učione. Znanost je pokazala da u svakom slučaju izvor zvuka mora biti postavljen na kraćoj strani učione. Kako se u kazalištima i koncertnim dvoranama pod radi s povišenjem prema zadnjem dijelu dvorana, u klasičnim školama to nije slučaj. Iz tog razloga, da bi zvuk u prednjem i zadnjem dijelu učione bio približne jačine, potrebno je prilagoditi oblik stropa (i zidova ako je to moguće) pločama koje bi poslužile kao elementi koji bi ispravno usmjeravali zvuk prema zadnjem dijelu učione s obzirom da na to mjesto zvuk dolazi oslabljen prolazeći i reflektirajući se o medije. To se može postići pločama primjerice konveksnog oblika, ali i samim spuštanjem stropa na zadnjem dijelu učione. Također, ako je dirktan zvuk u prednjem dijelu učione preintenzivan, na dio stropa i zidova mogu se postaviti difuzori koji bi taj zvuk raspršili i/ili djelomično apsorbirali ispravnim odabirom materijala. Za sve prostorije navedenog tipa vrijedi da se itenzitet zvuka u prednjem dijelu te prostorije uvijek može dobro kontrolirati i rasporediti difuzorima i apsorbirajućm materijalima.

7. ZAKLJUČAK

Pravilnim korištenjem materijala može se postići visoka kvaliteta akustike neke vrste interijera zato je važno poznavati njihova svojstva. Svako svojstvo zasebno može imati bitnu ulogu kod slušne udobnosti prostorije. No, čak da neki materijal ima izvrsna svojstva u svakom pogledu, nemoguće je postići kvalitetnu izolaciju ako je taj materijal male debljine. Pri projektiranju, ekonomičnost mora biti među prioritetima te je stoga važno znati odabrati dobru kombinaciju materijala željenih svojstava kako bi se masa konstrukcijskih elemenata građevina smanjila. Ponašanje zvuka u nekoj prostoriji može se dobro iskontrolirati oblikom i adekvatnim materijalom završnih obloga. Kod projektiranja neke građevine, arhitekti su dužni obratiti pozornost ne samo na akustička svojstva materijala već i na toplinsku provodljivost istih zbog manjeg gubitka energije. Osim svega navedenoga, uvijek treba računati na apsorpcijske elemente u prostoriji koji mogu prigušiti zvuk u velikim razmjerima; broj ljudi u prostoriji, količina namještaja i predmeta te materijali od kojih su načinjeni, podne obloge (tepisi) i slično.

8. LITERATURA

KNJIGE

1. Andrassy M., Balen I., Boras I., Dović D., Borković Hrs Ž., Lenić K., Lončar D., Pavković B., Soldo V., Sučić B., Švaić S.: Priručnik za energetsko certificiranje zgrada (tablica 1)

2. Antonović A., 2010.: Skripta iz predmeta kemija drva (prvi dio), Zagreb

3. Burda A., Matić J., Nestorović B., 2015.: 26TH Conference on Wood Science and Technology: Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, Use of Wood in Architectural Acoustics, Zbornik radova Ambiente, Zagreb

4. Horvat I., Krpan J., Opačić I., Petrić B., Špoljarić Z., 1985.: Osnovne nauke o drvu i izrada proizvoda iz masivnog i usitnjenog drva, Zagreb

5. Jambreković V., 2004.: Drvne ploče i emisija formaldehida, Zagreb (tablica 6)

6. Šimetin V., 1983.: Građevinska fizika, Zagreb

7. Špoljarić Z., 1978.: Anatomija drva, Zagreb

JEDINICE S INTERNETA - TEKST

1. Akustika tema 6; Refleksija zvučnog talasa, http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/te4e/Akustika_06_Refleksija_zvuka.pdf

2. Bilan Ozren, Akustika prostorija; Zvučnici, pojačala i spojni vodovi, http://www.audiologs.com/ozrenbilan/izolacija.htm

3. Element.hr; Akustični signali, https://element.hr/artikli/file/1605

4. Gradimo.hr; Zvučna izolacija, 2004., http://www.gradimo.hr/zvucna-izolacija

5. Jambrošić Kristian, Zvuk i okoliš, 1. Osnove zvuka, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ZIO_01_Osnove_zvuka_2014.pdf

6. Magaš Olga: Osnove građevinske fizike, http://documents.tips/documents/gradevinska-fizika.html

7. Šimunić Ivan: Širenje zvuka, https://simunic.files.wordpress.com/2014/01/c5a1irenje-zvuka.pdf

8. Veršić Zoran: Tehnička regulativa gradnje, Zaštita od buke u zgradarstvu; Zvučna izolacija pregradnih zidova, Zagreb, 2013., http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali14/14A03.pdf

OSTALO

1. Govorčin S.: Gustoća, PP prezentacija iz kolegija Tehnička svojstva drva, Zavod za znanost o drvu, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (tablica 5)

JEDINICE S INTERNETA – SLIKE I TABLICE

1. Alibaba.com; Acoustic Panels, https://www.alibaba.com/product-detail/wooden-perforated-acoustic-wall-panel-WS13_1514727393.html (slika 21)

2. Anatomija drva; Makroskopska građa drva, 2012., http://www.sumfak.unizg.hr/download.aspx?file=/Upload/sec_002/ins_007/Anatomija%20drva/S-PRED-02-2012A.pdf. (slika 15)

3. Arqen; Sound Diffuser Build Gallery, http://arqen.com/sound-diffusers/gallery/ (slika 19)

4. Arsenault Peter J.: Whole System Acoustical Treatments, Continuing Education Center, https://continuingeducation.bnpmedia.com/course.php?L=217&C=893&P=4 (slika 2)

5. Dataholz.com; Wall, External Wall, 2003.-2016., Catalogue of reviewed timber building components for thermal, acoustic, fire performance requirements and ecological drivers, http://dataholz.com/ (slika 5)

6. Daemmen und sanieren; Varianten der Plattendecke als Trockenbau Decke, http://www.daemmen-und-sanieren.de/trockenbau/decke (slika 7)

7. Eccentricity of Wood; Acoustic panels, Audio Diffusers, Art of acoustic panels, https://olga66.wordpress.com/acoustic-panels/ (slika 18)

8. Enciklopedija.hr; Beton, Leksikografski Zavod Miroslav krleža, http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=7337 (tablica 3)

9. Gradimo.hr; Izolacija od gipskartonskih ploča, 2008., http://www.gradimo.hr/clanak/izolacija-od-gipskartonskih-ploca/24185 (tablica 3)

10. Gradnja.org; Materijali za izvedbu toplinske izolacije, Portal za arhitekturu i graditeljstvo, http://www.gradnja.org/zanatski-radovi/toplinske-izolacije/268-materijali-za-izvedbu-toplinske-izolacije.html (tablica 3)

11. Homeliness & Comfort; Zvučni koeficijenti apsorpcije, Zgrada, http://homelinessis.com/hr/pages/36013 (tablica 4)

12. John F. Hunt: Two-dimensional finite element heat transfer model of softwood Part 1, Effective thermal conductivity, 2006, https://www.researchgate.net/publication/298986387_Two-

dimensional_finite_element_heat_transfer_model_of_softwood_Part_1_Effective_thermal_conductivity (slika 14)

13. Knauf Insualation; Arhiva pitanja i odgovora, 2008.-2010., http://www.knaufinsulation.ba/hr/arhiva-pitanja-i-odgovora-rujan-2008-prosinac-2010 (slika 8)

14. Magaš Olga: Osnove građevinske fizike, http://documents.tips/documents/gradevinska-fizika.html (slika 22)

15. North East Soundproofing and insualations; Sound Power – an end to electricity bills, 2012., http://nesoundproofing.co.uk/blog/tag/sound-absorption/ (slika 23)

16. Penić M.: Armirano ziđe i armiranobetonske grede ispod zidova, usporedba tehnologije izvedbe i troškova, Diplomski rad, 2015., Građevinski Fakultet Osijek, https://repozitorij.gfos.hr/islandora/object/gfos%3A123/datastream/PDF/view (slika 4)

17. Pinterest; The world's catalog of ideas, https://www.pinterest.com/pin/156007574561819917/ (slika 16)

18. Pinterest; The world's catalog of images, https://www.pinterest.com/pin/192388215306898569/ (slika 10)

19. Rockfon; Sound Insualations, http://www.rockfon.com/performance/acoustics/acoustics+is+the+science+of+sound/sound+insulation (slika 3)

20. Shiksha; Sound, http://www.ekshiksha.org.in/eContent-Show.do?documentId=68 (slika 1)

21. Stereofonija; Prostiranje zvuka, Apsorpcija, http://stereofonija.weebly.com/apsorcija.html (slika 9)

22. Šimunić Ivan: Širenje zvuka, https://simunic.files.wordpress.com/2014/01/c5a1irenje-zvuka.pdf (slika 12 i 13)

23. Total Vibration Solutions; Acoustic diffusers, http://arqen.com/sound-diffusers/gallery/ (slika 17 i 20)

24. Ultrasound of Regional Anesthesia, 2008, http://usra.ca/echoreflection.php (slika 11)

25. Veršić Zoran: Tehnička regulativa gradnje, Zvučna izolacija međukatnih konstrukcija, 2014., http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali16/16A05.pdf (slika 6)

26. Wikipedia; Gustoća, https://hr.wikipedia.org/wiki/Gusto%C4%87a (tablica 3)

27. Wikipedia; Youngov modul elastičnosti, https://hr.wikipedia.org/wiki/Youngov_modul_elasti%C4%8Dnosti (tablica 2)