

AKUSTIČKA IZOLACIJA NA BAZI POLIURETANSKIH PENA*

POLYURETHANE FOAM ACOUSTIC INSULATION

UDK: 699.86:678.664

Stručni rad

Asistent Marko PAVLOVIĆ, dipl. građ. inž.,
Prof. dr Dragan BUĐEVAC, dipl. građ. inž.,
Van. prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, dipl. građ. inž.,
Aistent mr Milan SPREMIĆ, dipl. građ. inž.

REZIME

Proizvodi na bazi poliuretana često se primenjuju u građevinarstvu. Pored česte primene u termoizolacione svrhe, poliuretan nalazi posebnu primenu na polju zvučne izolacije. Primena modernih materijala sa specifičnim dinamičkim karakteristikama kao podloga za oslanjanje pruža velike mogućnosti za kontrolu intenziteta buke i vibracija koje se prenose na konstrukciju. U ovom radu dat je opšti prikaz poliuretana kao materijala, kao i primer primene akustičkih podloga na bazi poliuretanskih pena u jednoj modernoj konstrukciji multipleks bioskopa,

Ključne reči: poliuretan, akustička izolacija, oslonci, čelične konstrukcije, vibracije.

SUMMARY

Polyurethane based products are often used in civil engineering. Apart to regular use of this material in thermal insulation purposes, polyurethane is widely used in field of acoustic insulation. Usage of modern materials, with specific dynamic characteristics, as a base for supports gives a wide range of possibilities in controlling the amount of noise and vibrations transferred to the structure. This paper gives an overall view on polyurethane as material and example of usage of polyurethane foam acoustical insulation pads in an modern multiplex cinema structure.

Key words: polyurethane acoustical isolation, supports, steel structure, vibrations.

1. UVOD

Proizvodi na bazi poliuretana nalaze primenu u skoro svim oblastima ljudskog života. Vrlo je česta upotreba ovog materijala u građevinarstvu. Poliuretan nalazi posebnu primenu na polju zvučne izolacije, kako površinske, na zidovima, tako i lokalne u vidu specijalnih podloga za oslonce konstrukcija i mašinske opreme. U ovom radu dat je opšti prikaz poliuretana kao modernog materijala koji ima veliku primenu u građevinarstvu, kao i primer primene akustičkih podloga na bazi poliuretanskih pena u jednoj modernoj konstrukciji multipleks bioskopa.

2. OPŠTE O POLIURETANIMA

Poliuretan je polimer čiji se lanac sastoji iz organskih materija povezanih uretanskom vezom. Polimeri tipa poliuretana se formiraju reakcijom monomera koji sadrži bar dve cijanidne funkcionalne grupe, sa drugim monomerom koji sadrži bar dve alkoholne grupe u prisustvu katalizatora.

Pionirske poduhvate u proizvodnji poliuretana sproveo je Oto Bajer (Otto Bayer) sa svojim saradnicima

1937. godine u Leverkusenu. Za vreme drugog svetskog rata, poliuretan je nalazio primenu u vojnoj industriji. Prvu komercijalnu proizvodnju ovog materijala pokrenula je američka kompanija DuPont 1956. godine, a sledile su je i danas poznate fabrike kao što su BASF i Dow Chemical. U poslednje vreme, upotrebom poliola dobijenog iz biljnog ulja, proizvodnja poliuretana postaje ekološki prihvatljiva, a za razvoj ove tehnologije najzaslužnija je multi-nacionalna kompanija Ford.

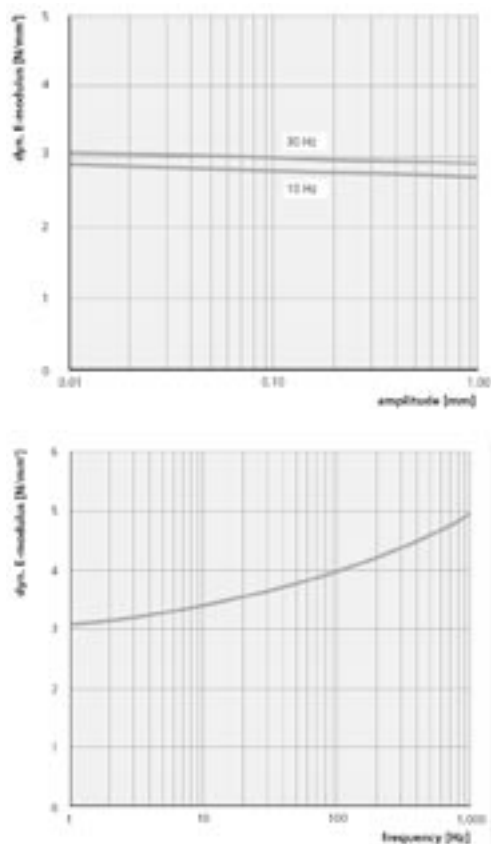
Prva esencijalna komponenta poliuretana je izocijanat, molekul koji sadrže dve cijanidne grupe. Izocijanati, koji se koriste mogu biti aromatični ili alifatični. Druga glavna komponenta polimera je polioli. Molekuli koji sadrže dve hidroksilne grupe nazivaju se dioli, sa tri grupe, trioli, a sa više grupa, polioli. Polioli su polimeri u pravom smislu te reči. Postoji više različitih načina dobijanja poliola, od kojih u velikoj meri zavise fizičke karakteristike krajnjeg proizvoda, poliuretana. Proces polimerizacije se odvija u prisustvu katalizatora.

Jedna od najvažnijih osobina poliuretana je sposobnost formiranja penaste strukture. Stvaranje penaste

Adresa autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

* Rad objavljen u zborniku radova XXIV kongresa Društva za ispitivanje materijala i konstrukcija za Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, održanog od 15. do 17. oktobra 2008. g. na Divčibarama

strukture materijala obezbeđuje se upotrebom agenasa koji tokom egzotermne reakcije proizvodnog procesa reaguju sa izocijanatom i oslobađaju ugljen-dioksid. Iako većina karakteristika gotovog materijala u mnogome zavise od odabira poliola, i diizocijanat mora biti prilagođen krajnjoj primeni materijala. Primenom posebnih katalizatora i vrsta poliola moguće je dobiti poliuretan sa specifičnim dinamičkim karakteristikama (viskoelastične osobine) koji se upotrebljavaju kao akustički izolatori.



Slika 1. Dinamički modul elastičnosti Sylomer-a u funkciji amplitude i frekvencije

Posmatrano sa stanovišta strukture, postoje dve osnovne grupe poliuretana. Prva, kod koje su većina šupljina unutar strukture zatvorene i koji zbog takve strukture nemaju veliku sposobnost elastične deformacije, ali nalaze veliku primenu kao npr. termoizolacioni materijali. Druga grupa su poliuretani sa otvorenim ćelijama koje odlikuje velika elastičnost.

Čvrste pene su u najvećoj meri zastupljene kao termoizolacioni materijali koji zbog svojih povoljnih mehaničkih i termoizolacionih svojstava, pogotovo u obliku slojevitih kompozita, često nemaju konkurenciju kada je u pitanju ekonomičnost oblaganja industrijskih objekata. Premazi na bazi poliuretana povećavaju trajnost tretirane površine i mogu imati različite povoljne vizuelne efekte, pa se često koriste za potrebe završnih radova. Postoje i razni atezivi i zaptivači na bazi poliuretana, a elastomeri na bazi poliuretana nalaze veliku primenu na polju akustičke izolacije kada je potrebno zaštititi konstrukciju od takozvane strukturne, ili udarne buke i vibracija.

3. UPOTREBA POLIURETANA KAO AKUSTIČKE IZOLACIJE

Poliuretan se kao akustička izolacija koristi u dva osnovna oblika. Kao ploče od mekih penastih struktura za oblaganje zidova i u vidu elastomera za potrebe izolovanja same konstrukcije. Ploče za oblaganje se često proizvode sa posebnim geometrijskim profilacijama u cilju boljeg suzbijanja rezonancije unutar prostorija.

Jedan od najzastupljenijih proizvođača akustičkih podloga na bazi poliuretanskih elastomera u svetu je austrijska kompanija Getzner sa svojim komercijalnim proizvodima Sylomer i Sylodyn. Svoju prvu primenu nalazili su krajem osamdesetih godina u nautičkoj industriji. Primena ovog materijala proširila se na polje železnice u vidu podmetača ispod šina ili čak u obliku kanala u koji su postavljene šine

Poslednjih decenija, Sylomer i Sylodyn, kao najpoznatiji i ostali poliuretanski elastomeri se koriste i u građevinarstvu za potrebe izolovanja konstrukcija od strukturne (prenosne ili udarne) buke i vibracija.

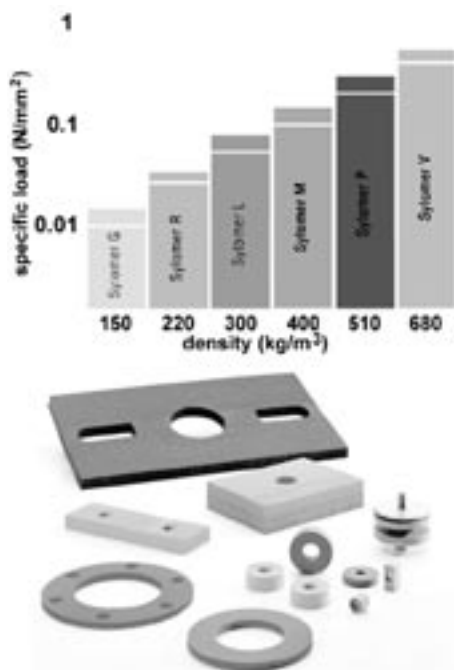
Sylomer je veoma stišljiv materijal. Posедуje posebne dinamičke karakteristike koje ga i čine pogodnim materijalom za akustičku izolaciju. Odnos statičke i dinamičke krutosti je veoma visok. Dinamička krutost ovog materijala je praktično nezavisna od amplitude kojom se pobuđuje na oscilacije, a efekat ojačanja ne postoji čak ni za najmanje amplitude. Time je osigurana efikasnost izolovanja na svim nivoima rada. Dinamička krutost pokazuje blagu, praktično zanemarljivu, zavisnost u odnosu na frekvenciju pobude.

Fizičke i mehaničke karakteristike materijala zavise od izabranog tipa. Naime Sylomer se proizvodi u širokoj paleti čvrstoća (od 0,005 MPa do 1,2 MPa) i gustinak, kako bi bila obezbeđena primena na svim mestima u konstrukcijama i postrojenjima. Na slici 2 je dat prikaz različitih tipova materijala u funkciji gustine i nosivosti.

Princip rada akustičke izolacije primenom ovog materijala može se sagladati na sledeći način. Konstrukcija i akustička podloga, npr. ispod stubova zidova, predstavljaju izolovan dinamički sistem, čije se oscilovanje u vertikalnom pravcu (npr. AB tavanice na koje se oslanjaju zidovi bioskopskih sala uglavnom osciluju vetrikalno) može posmatrati kao dinamički sistem sa jednim stepenom slobode kretanja, kod kog konstrukcija predstavlja masu, a akustička podloga visko-elastičnu oprugu. Ovakav dinamički sistem će vrlo teško biti pobuđen na oscilovanje u višim tonovima zbog velikog koeficijenta prigušenja koje poseduje materijal podloge. Time se problem akustičkog i vibracionog izolovanja svodi na izbor sopstvene frekvencije oscilovanja sistema koja je niža od zahtevane vrednosti.

Sopstvena frekvencija oscilovanja idealizovanog dinamičkog sistema konstrukcija-akustička podloga, zavisi od mase koja osciluje, to jest od opterećenja u vidu površinskog napona koje preko stope stuba deluje na podlogu. Frekvencija oscilovanja idealizovanog sistema takođe zavisi i od krutosti opruge, to jest od krutosti podloge. Tako će za duplo veću debljinu podloge pri neprome-

njenom opterećenju, analogno redno vezanim oprugama, krutost, pa i spostvena frekvencija oscilovanja sistema biti duplo manja. Na slici 3a je prikazana ova zavisnost za materijal Sylomer P različitih debljina.

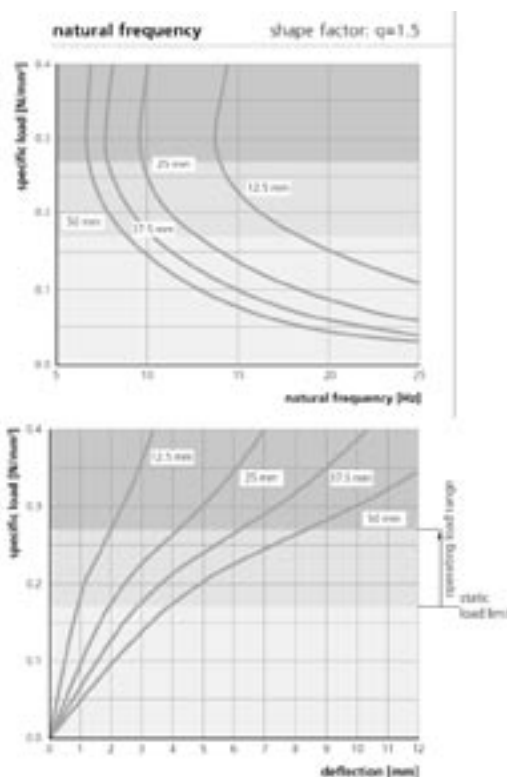


Slika 2. Različiti oblici i tipovi materijala u funkciji gustine i nosivosti

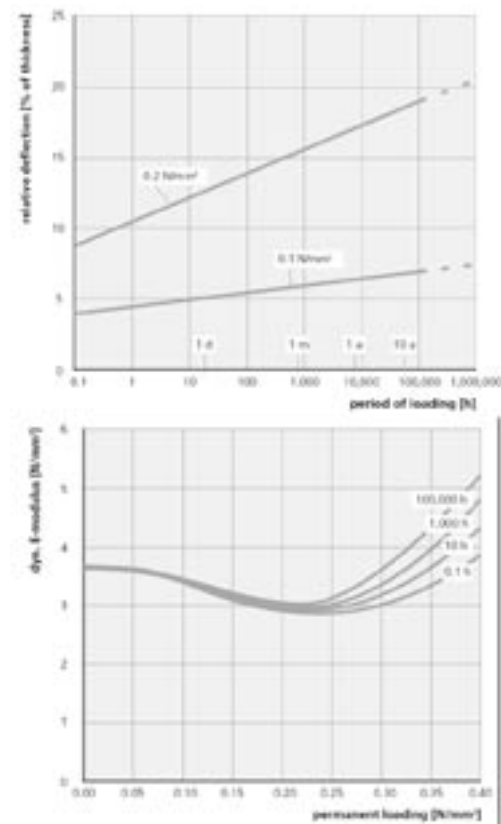
Veoma je bitno da akustička podloga uvek bude opterećena tako da vrednosti napona unutar materijala budu u opsegu koji garantuje da frekvencija oscilovanja sistema bude manja od zahtevane. Ukoliko je stvarno opterećenje manje od projektovanog, ili ukoliko je podloga predimenzionisana, frekvencija oscilovanja sistema će biti veća, što je potpuno pogrešno sa stanovišta akustičke izolacije. Nosivost materijala podloge je naravno ograničena, pa naponi u materijalu podloge ne smeju prekoračiti dozvoljene vrednosti. Optimalna frekvencija oscilovanja se dobija kada je materijal podloge opterećen sa iskorišćenjem napona od približno 80% (slika 3a i 3b).

Kratkotrajna ekstremna dejstva usled vetra ili nekog incidentnog opterećenja ne treba uzimati u obzir prilikom projektovanja akustičke izolacije, jer materijal apsorbuje „pikove“ čak do četiri puta veće od dozvoljenog statičkog opterećenja.

Efekti tečenja Sylomer-a su opsežno ispitivani i adekvatno dokumentovani, od strane samog proizvođača, kao i od strane nezavisnih instituta, obzirom da efekat akustičkog izolovanja u mnogome zavisi od krutosti samog izolatora. Povećanje krutosti materijala tokom veka eksploatacije je veoma malo ukoliko su zahtevi po pitanju obezbeđenja maksimalnih napona ispoštovani. Dodatno sleganje tokom vremena usled konstantnog opterećenja – tečenje, je tačno poznato i specificirano za svaki tip Sylomer-a. Na slici 4 je prikazana zavisnost intenziteta tečenja jedne vrste Sylomer-a u funkciji dugotrajnog opterećenja.



Slika 3. a) Sopstvene frekvencije oscilovanja dinamičkog sistema konstrukcija-akustička podloga u funkciji stepena opterećenosti akustičke podloge; b) Dijagrami zavisnosti opterećenja i deformacije akustičkog podmetača



Slika 4. Dilatacije tokom vremena i krive tečenja

Tip poliuretana koji se koristi za izradu Sylomer-a je otporan na hidrolizu kao i na agresivne hemikalije, alkalne rastvore i ulja koja se mogu koristiti tokom procesa gradnje. Obzirom na strukturu materijala sa otvorenom poroznošću, može doći do upijanja izvesne količine vode i vlage. Efekat vlažnosti na statičku i dinamičku krutost, na sreću, može biti zanemaren čak i u uslovima potpune zasićenosti. Čestice prašine ne prodiru u materijal pa ga stoga ne mogu ni oštetiti.

Ispitivanjem već izgrađenih objekata (neki stari i po 20 godina) utvrđeno je da se javljaju samo veoma male promene u stukturi i karakteristikama materijala. Obzirom na veoma dobra svojstva materijala po pitanju tečenja dolazi se do zaključka da je Sylomer materijal koji ne zahteva posebno održavanje pa stoga može biti ugrađen i na mesta koja kasnije neće biti dostupna. Ovo predstavlja veliku prednost kada je u pitanju materijal za akustičku izolaciju, jer se oni često ugrađuju u teško dostupna mesta u konstrukciji koja kasnije skoro uvek budu prekrivena velikim brojem završnih slojeva enterijera.

4. PRIMER PRIMENE AKUSTIČKE IZOLACIJE NA BAZI POLIURETANA U MULTIPLEKS BIOSKOPU

Sinemapleks „Ster“ u tržnom centru „Delta City“ u Beogradu izgrađen je novembra 2007. godine. Sastoji se od šest bioskopskih sala sa prpratnim sadržajima i nalazi se unutar jedinstvenog čeličnog objekta na poslednjoj etaži armiranobetske konstrukcije tržnog centra.

Zbog akustičke izolacije, kako između susednih sala tako i u odnosu na okolni prostor (sadržaji unutar tržnog centra, saobraćaj, vetar, itd.) konstrukcije svih šest bioskopskih sala su predviđene kao potpuno nezavisne jedna od druge.

Koncept objekta je usvojen tako da glavna noseća konstrukcija, koja akustički nije izolovana od armiranobetske konstrukcije tržnog centra, prihvata sve gravitacione, atmosferske i seizmičke uticaje na rasponima koje su diktirale dimenzije sala. Unutar glavne noseće konstrukcije nalazi se šest nezavisnih konstrukcija bioskopskih sala koje su akustički i vibraciono izolovane od „ostatka sveta“. Konstrukcije tribina su takođe nezavisne za svaku salu. Akustički su izolovane i u odnosu na glavnu konstrukciju i u odnosu na konstrukcije sala.

Radi ostvarivanja što boljih performansi akustičke i vibracione izolacije, usvojeno je da se konstrukcije sala i tribina oslanjaju „tačkasto“ na sve elemente u odnosu na koje moraju biti izolovani.

Zidovi i plafoni sala su predviđeni kao čelične konstrukcije obložene višeslojnim gips-kartonskim pločama i mineralnom vunom. Zidove sala čine stubovi na rastojanju od 2,0 m do 4,1 m koji se oslanjaju delom na armiranobetsku konstrukciju tržnog centra, a delom na čelične konstrukcije tribina. Stubovi sala su oslonjeni preko specijalnih akustičkih podmetača kako se buka i vibracije ne bi prenosile na zidove. Konstrukcije plafona bioskopskih sala su ovesene o glavnu čeličnu konstrukciju krova, opet, uz primenu akustičkih podmetača kako se vibraci-

je krova izazvane vetrom ne bi prenosile na plafone bioskopskih sala. Svaka sala, od kojih je najveća dimenzija 16,7 m x 24,1 m u osnovi i visine 11,6 m, predstavlja samostojeći čelični „kavez“ koji je u horizontalnom pravcu stabilizovan za uticaje usled seizmike primenom spregova u ravni plafona i vertikalnih spregova u zidovima.

Kako bi se ostvarila totalna akustička izolacija svake sale i odignuti podovi sala oslonjeni su „tačkasto“ primenom akustičkih podmetača.

Kao akustički podmetači ispod stubova sala, za oslanjanje plafona i oslanjanje tribina korišćeni su materijali na bazi poliuretanske pene – Sylomer.

U slučaju plafonske konstrukcije problem akustičkog izolovanja se komplikuje, jer se pobuda sistema vrši upravno na površinu plafona, što kod zidova nije bio slučaj. Obzirom da plafon nije idelno kruto telo pa poseduje i zasebne sopstvene frekvencije oscilovanja, upravno na ravan plafona, može doći do rezonantog oscilovanja u višim tonovima.

Zahtev investitora i zakupca bioskopskih sala „Ster“ bio je da se obezbedi da se buka i vibracije čija je frekvencija veća od 10-12 Hz sa konstrukcije tržnog centra ne prenose na tribine, unutrašnji prostor sala, kao ni između dve susedne sale. Za konstrukciju plafona bioskopskih sala, zahtevano je da se vibracije frekvencije veće od 5 Hz ne prenose sa glavne konstrukcije krova zbog mogućnosti pobuđivanja plafona na oscilovanje u višim harmonicima.

Da bi se obezbedilo da frekvencija oscilovanja bude u traženom opsegu bilo je neophodno da se tip i površina izolatora odrede posebno za svaku grupu elemenata konstrukcije (stub).

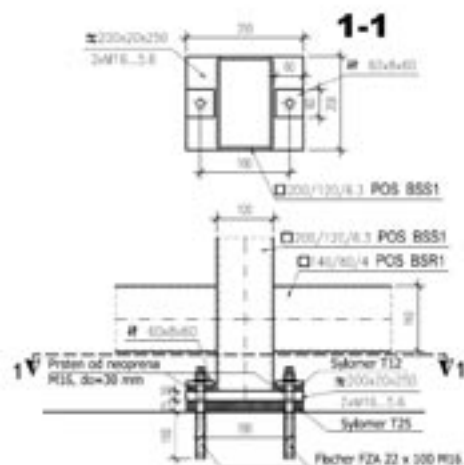
Primenjeni su podmetači tipa Sylomer P, Sylomer T, Sylomer V i Sylodyn HF debljina 25 m u zavisnosti od potrebne nosivosti na pojedinim mestima. Granične nosivosti pomenutih podmetača kreću se od 0,35 MPa za Sylomer P do 2,0 MPa za Sylodyn NF. Varijacijom tipa materijala, odnosno nosivosti, obezbeđeno je da usled stalnog opterećenja nivo naprezanja izolatora bude u optimalnom opsegu po pitanju frekvencija, a da pri tom usled maksimalnog opterećenja dopušteni naponi ne budu prekoračeni.

Primenom rupa za zavrtnjeve većih za 10 mm od prečnika zavrtnjeva, ispunjenih penastom ispunom, kao i postavljanjem podmetača od Sylomer-a ispod podložnih pločica (slika 5), u potpunosti je sprečen kontakt „čelik-čelik“.

Da bi se sprečila interakcija oscilovanja plafonskih konstrukcija bioskopskih sala i krovne konstrukcije objekta, takođe su predviđeni i izolatori između vešaljki koje povezuju spušten plafon sa krovnom konstrukcijom. Primenom dva sloja akustičkog podmetača tipa Sylomer P ukupne debljine 50mm, ostvareno je da maksimalna frekvencija oscilovanja bude manja od 5 Hz, koliko je i zahtevano.

Nakon izgradnje konstrukcije objekta, stručni tim akustičara formiran od strane zakupca je izvršio kontrolna merenja pobuđujući konstrukciju na oscilovanje. Konstatovano je da je nivo ostvarenog stepena akustičke

izolacije između susjednih sala i ostatka tržnog centra (u okviru propisanih frekvencija 10-12 Hz) u skadu sa propisanim (zahtevanim) vrednostima.



Slika 5. Detalj oslanjanja stubova bioskopskih sala na betonsku konstrukciju preko akustičkih podmetača tipa „Sylomer T“

5. ZAKLJUČAK

Primena poliuretana je u nekim granama industrije postala praktično nezamenljiva. Glavna prednosti poliuretana u odnosu na slične materijale je svakako prihvatljiva cena obzirom na sada već masovnu proizvodnju, ali i karakteristike kao što su izdržljivost, laka obrada, netoksičnost i mnoge druge. Ne treba izostavi ni činjenicu da su neke vrste poliuretana nezamenljive u slučajevima specijalnih primena nekih vrsta proizvoda na bazi poliuretana koji poseduju karakteristike koje ne poseduje ni jedan drugi materijal.

Primena akustičke izolacije na bazi poliuretanskih penastih elastomera sa posebnim dinamičkim i mehaničkim karakteristika, donosi niz prednosti od kojih su najvažnije: mogućnost kontrole ponašanja konstrukcije, trajnost, pouzdanost, odsustvo potrebe za održavanjem. Projektovanje ovakvih sistema akustičke izolacije predstavlja koncept programiranog ponašanja konstrukcije sa specifičnim zahtevima. Akustička izolacija uopšte, pa i građevinskih konstrukcija predstavlja multidisciplinarni problem. Potrebno je sagledati interakciju konstrukcije, oslonca i samog izolatora pa samim tim i fenomene koji se tiču kako građevinskog konstrukterstva tako i pojedinih polja fizike, i mehanike.

Akustička izolacija na bazi poliuretanskih elastomera je još jedan od primera kako razvoj tehnike i tehnologije proizvodnje materijala utiče na mogućnost poboljšanja ponašanja građevinskih konstrukcija.

LITERATURA

- [1] Attenuation of Vibration and Structure Borne Noise, Getzner Werkstoffe GmbH, katalog gotovih proizvoda
- [2] M. Muravljov: „Građevinski materijali“, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1998. godine.
- [3] M. Muravljov, D. Jeftić: „Građevinski materijali 2“, Akademska misao, Beograd, 2003. godine.
- [4] D. Buđevac, Z. Marković, D. Bogavac, D. Tošić: „Metalne konstrukcije“, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999. godine.
- [5] D. Buđevac: „Metalne konstrukcije u zgradarstvu“, Građevinska knjiga a.d., Beograd, 2006. godine.
- [6] Primer primene akustičke izolacije u čeličnoj konstrukciji sinemapspleksa „Ster“ u Beogradu / M. Pavlović, D. Buđevac, Z. Marković, N.Fric // Internacionalni naučno–stručni skup Građevinarstvo – nauka i praksa 2008. / 03-07. mart 2008. / Žabljak, Podgorica 2008
- [7] Glavni projekat za multifunkcionalni tržni centar u bloku 67, Novi Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Januar 2007. godine
- [8] www.polyurethane.org – American Chemistry Council – Center for the polurethanes industry
- [9] Major industrial polymers – Polyurethanes: Encyclopedia Britannica – full online edition