



Marko Pavlović<sup>1</sup>, Dragan Buđevac<sup>2</sup>, Zlatko Marković<sup>3</sup>, Nenad Fric<sup>4</sup>

## PRIMER PRIMENE AKUSTIČKE IZOLACIJE U ČELIČNOJ KONSTRUKCIJI SINEMAPLEKSA „STER“ U BEOGRADU

### *Rezime*

Moderni javni objekti kao što su multipleks bioskopi zbog primene najnovijih tehnologija za zvučne efekte zahtevaju visok nivo akustičke izolacije. Takvi objekti se često nalaze i u sastavu kompleksa kao što su tržni centri koje karakteriše značajan nivo buke i vibracija. 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 je dat primer primene ovih akustičkih podloga različitih karakteristika u čeličnoj konstrukciji sinemapleksa „Ster“ u tržnom centru „Delta City“ u Beogradu.

### *Ključne reči*

akustička izolacija, oslonci, čelične konstrukcije, vibracije

## USAGE OF ACOUSTICAL ISOLATION IN STEEL STRUCTURE OF „STER“ CINEMAPLEX IN BELGRADE

### *Summary*

Modern public buildings, such as multiplex cinemas, along with application of state of the art sound effects brings high acoustic isolation demands. Cinemas are often a part of building complexes such as shopping malls with subjects that produce serious level of noise and vibrations. 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 example of usage of acoustic pads in steel structure of “Ster” cinemaplex in Belgrade.

### *Key words*

acoustical isolation, supports, steel structure, vibrations

---

<sup>1</sup>Dipl.građ.inž, asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73

<sup>2</sup>Dr, dipl.građ.inž, redovni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73

<sup>3</sup>Dr, dipl.građ.inž, vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73

<sup>4</sup>Dipl.građ.inž, asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73

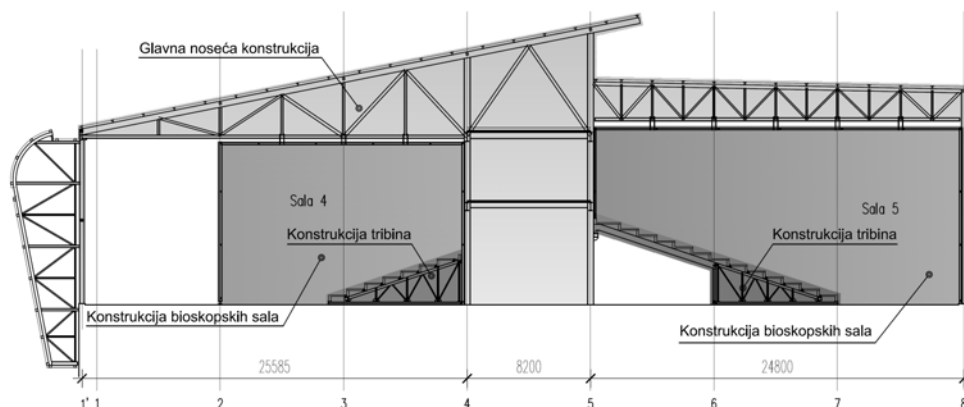
## 1. UVOD

Sinemapleks „Ster“ u tržnom centru „Delta City“ u Beogradu izgrađen je novembra 2007. godine. Sastoji se od šest bioskopskih sala sa propratnim sadržajima i nalazi se unutar jedinstvenog čeličnog objekta na poslednjoj etaži armirano-betonske 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.

## 2. KONSTRUKCIJA OBJEKTA

Koncept objekta je usvojen tako da glavna noseća konstrukcija, koja akustički nije izolovana od armirano-betonske 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“ - slika 1. Konstrukcije tribina su takođe nezavisne za svaku salu. Akustički su izolovane i u odnosu na glavnu konstrukciju i u odnosu na konstrukcije sala.



Slika 1. Tipičan poprečni presek konstrukcije sinemapleksa

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 armirano-betonsku 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 vibracije krova izazvane vetrom ne bi prenosile na plafone bioskopskih sala. Svaka sala, od kojih je najveća dimenzija 16,7m x 24,1m u osnovi i

visine 11,6m, predstavlja samostojeći „čelični kavez“ koji je u horizontalnom pravcu stabilizovan za uticaje usled seizmike primenom spregova u ravni plafona i vertikalnih spregova u zidovima.

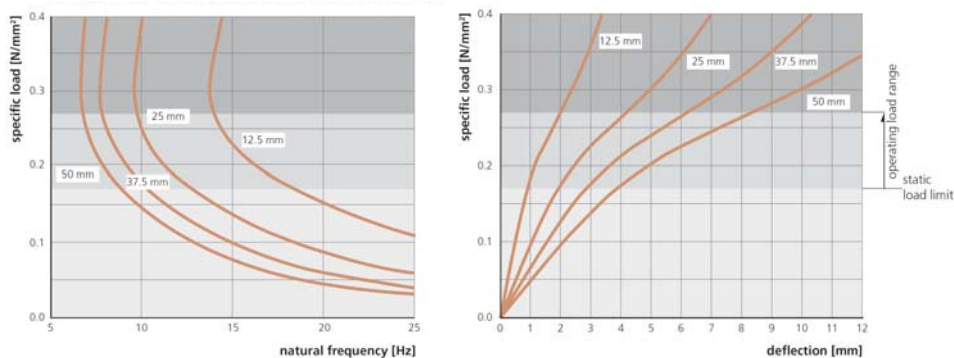
Jedan deo tribina nalazi se iznad prostora koji je predviđen za ulazni hol i propratne sadržaje pa se na određenim mestima uz ose objekta 4 i 5 tribine umesto na armirano-betonsku konstrukciju oslanjaju na stubove čelične konstrukcije sinemapsleksa. Ova veza ostvarena je takođe primenom akustičkih podmetača.

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

### 3. PRINCIP RADA AKUSTIČKIH PODLOGA

Kao akustički podmetači ispod stubova sala, za oslanjanje plafona i oslanjanje tribina korišćeni su materijali na bazi uretanske pene velike gustine, komercijalnog naziva „Sylomer“ sa posebnim dinamičkim karakteristikama.

Princip rada akustičke izolacije može se sagledati na sledeći način. Konstrukcija i akustička podloga, npr. ispod stubova zidova, predstavljaju izolovan dinamički sistem, čije se oscilovanje u vertikalnom pravcu (AB tavanice na koje se oslanjaju zidovi sala uglavnom osciluju vetikalno) može posmatrati kao dinamički sistem sa jednom 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.



Slika 2. a) Sopstvene frekvencije oscilovanja dinamičkog sistema konstrukcija-akustička podloga u funkciji stepena opterećenosti akustičke podloge; b) Dijagrami zavisnosti opterećenja i deformacije akustičkog podmetača

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 nepromenjenom opterećenju, analogno redno vezanim oprugama, krutost, pa i spostvena frekvencija oscilovanja sistema biti duplo manja. Na slici

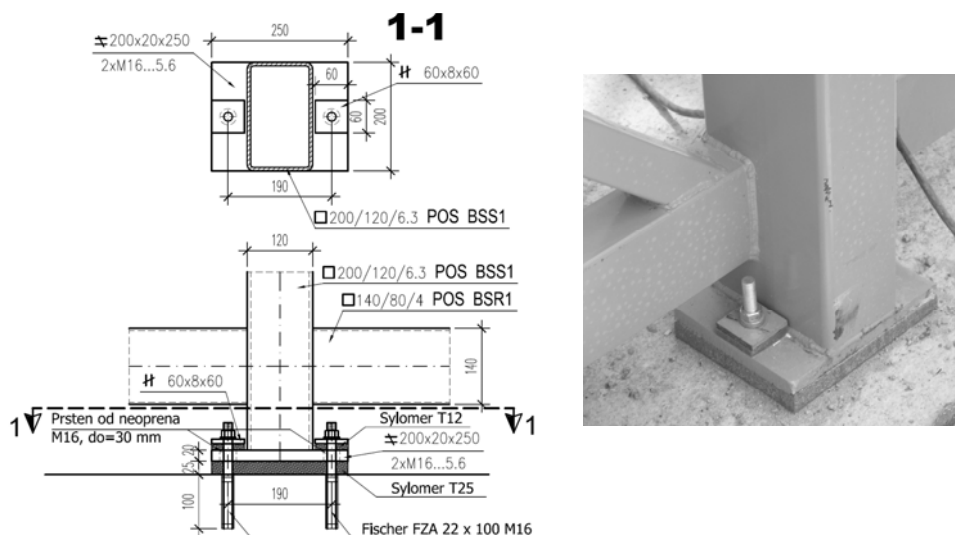
2a je prikazana ova zavisnost za materijal Sylomer različitih debljina, austrijskog proizvođača „Getzner“.

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 prekoraciiti dozvoljene vrednosti. Optimalna frekvencija oscilovanja se dobija kada je materijal podloge opterećen sa iskorišćenjem napona od približno 80% (slika 2a i b).

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 rezonantnog oscilovanja u višim tonovima.

#### 4. PRIMENJENA REŠENJA

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.

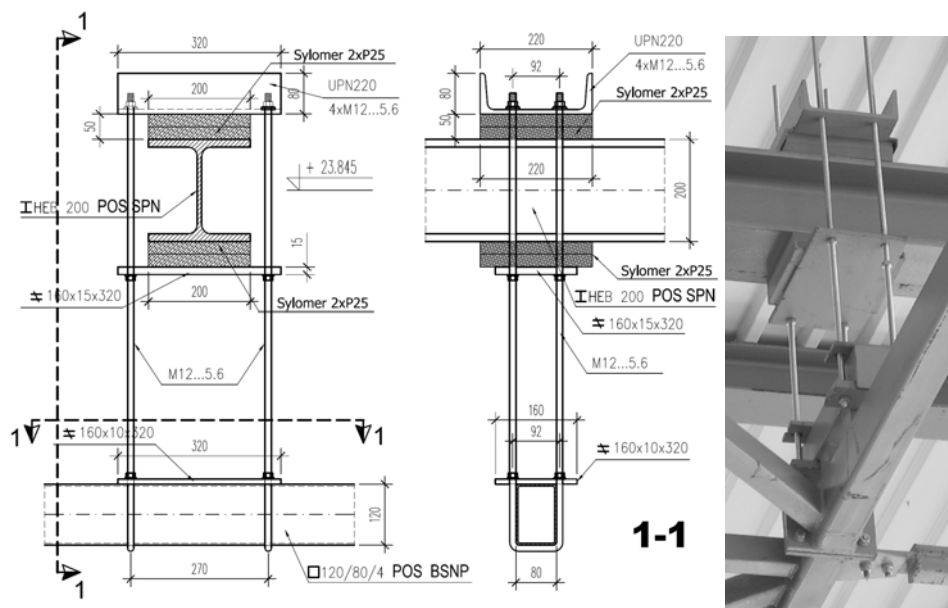


Slika 3. Detalj oslanjanja stubova bioskopskih sala na betonsku konstrukciju preko akustičkih podmetača tipa „Sylomer T“

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 mm 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 3), u potpunosti je sprečen kontakt „čelik-čelik“. Posledica ovakvog rešenja je da je celokupna horizontalna sila usled dejstva seizmike na jednu bioskopsku salu u osnovi poverena podmetačima od Sylomer-a koji to opterećenje prihvataju smicanjem i trenjem. Da bi se sprečilo da celokupna horizontalna sila deluje lokalno na mestu vertikalnih spregova i preopteretiti pojedine podmetače, po obimu svake sale predviđene su rigle koje povezuju osnove stubova i time horizontalno opterećenje preraspodeljuju na sve oslonce.



Slika 4. Detalj oslanjanja plafona bioskopskih sala na krovnu konstrukciju preko akustičkih podmetača tipa „Sylomer P“

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 5Hz, koliko je i zahtevano.

Da bi bilo obezbeđeno da usled deformacija glavne krovne konstrukcije opterećene snegom ne dođe do rasterećivanja akustičke podloge, a samim tim i prekoračenja zahtevane frekvencije oscilovanja i sa donje strane nosača o koje su okačene plafonske konstrukcije

sala postavljen je dodatni par akustičkih podmetača. Ovako formiran „paket“ je pomoću navrtki prednapregnut, čime je ostvareno adekvatno naprezanje akustičkih podmetača u smislu obezbeđivanja zahtevane frekvencije oscilovanja (slika 4).

## 5. ZAKLJUČAK

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 susednih sala i ostatka tržnog centra (u okviru propisanih frekvencija 10-12 Hz) u skadu sa ugovornom obavezom koju je propisao zakupac.

Akustička izolacija uopšte, pa i građevinskih konstrukcija, predstavlja multidisciplinarni problem. Potrebno je sagledati interakciju konstrukcije, oslonaca i samog izolatora, pa samim tim i fenomene koji se tiču kako građevinskog konstrukterstva tako i pojedinih polja fizike i mehanike.

Primena akustičke izolacije na bazi penastih materijala sa posebnim mehaničkim karakteristikama, predstavlja koncept programiranog ponašanja konstrukcije sa posebnim zahtevima. Ovakav način projektovanja se već primenjuje u svetu, dok kod nas počinje da nalazi primenu pojavom investitora sa posebnim zahtevima u pogledu akustičkih kriterijuma.

## LITERATURA

- [1] D. Buđevac, Z. Marković, D. Bogavac, D. Tošić: "Metalne konstrukcije", Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999. godine, 704 str.
- [2] D. Buđevac: "Metalne konstrukcije u zgradarstvu", Građevinska knjiga a.d., Beograd, 2006. godine, 528 str.
- [3] Glavni projekat za multifunkcionalni tržni centar u bloku 67, Novi Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Januar 2007. godine
- [4] Izvođački projekat za multifunkcionalni tržni centar u bloku 67, Novi Beograd, Montena d.o.o. Beograd, Januar 2007. godine
- [5] Attenuation of Vibration and Structure Borne Noise, Getzner Werkstoffe GmbH, katalog gotovih proizvoda