

Eksperimentalno prepoznavanje togih stikov plavajočih podnih konstrukcij

dr. Rok Prislan

InnoRenew CoE, Livade 6, SI-6310 Izola, Slovenija
E-pošta: rok.prislan@innorenew.eu

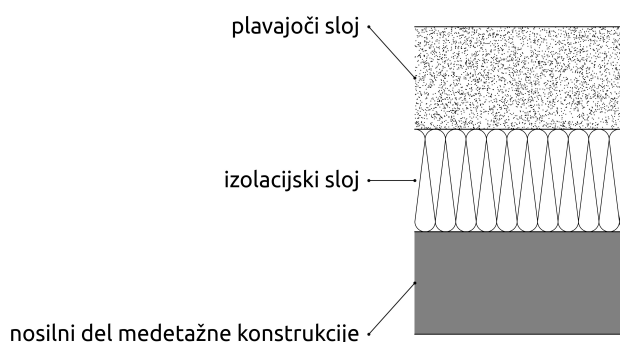
Experimental identification of rigid connections of floating floors

The impact sound insulation performance of floors is most commonly improved using a floating floor that is added over the structural floor. In such structure, the floating layer needs to be supported exclusively by the resilient layer as any rigid connection with the surroundings would drastically decrease the sound insulation rating of the floor. Although this is a simple requirement, it is in practice difficult to supervise whether such construction errors have occurred. This article presents the application of the operational deflection shape (ODS) analysis to identify rigid connections of a theater stage floating floor. The measurement process is presented together with the obtained results that have disclosed the presence of a rigid connection in the floating floor. As such, ODS has demonstrated as a useful method for the early assessment of floating floors which is crucial to limit renovation costs.

1 Uvod

Plavajoči podi so najpogosteje uporabljena in učinkovita sestava, s katero povečujemo zaščito pred udarnim hrupom medetažnih konstrukcij[1]. Termin "plavajoče" izhaja iz sestave, in sicer gornjega (plavajočega) sloja in spodnjega (izolacijskega) sloja, kot je to shematsko prikazano v prerezu na sliki 1. Izolacijski sloj je elastičen in relativno mehek, zato se razume, da gornji sloj na njem "plava". Slednji je v večini primerov gradbene prakse izveden z uporabo cementa kot veziva (cementni estrih), redkeje pa gre za suhomontažno konstrukcijo (suhi estrih), ki se praviloma uporablja ob omejeni nosilnosti medetažne konstrukcije. Kot izolacijski sloj najpogosteje uporabljamo mineralno volno in ekspandiran polistiren, ter polietilenske in poliuretanske pene - najustreznejšo sestavo izberemo glede na dopustno obtežbo in zahtevano raven zvočne zaščite.

Pri izgradnji plavajočih podov je ključno, da plavajoči del poda ni v togem stiku z okolico, saj bi to bistveno povečalo prehajanje strukturnega zvoka med sloji medetažne konstrukcije. To je relativno preprosta zahteva, doseganje katere pa je v času izgradnje plavajočega poda težko preverjati z vizualno inšpekcijo, saj lahko do togih stikov pride v nižjih slojih, ki niso vidni. Tako se ustreznost izvedbe plavajočih podov praviloma preverja šele po izvedbi celotnega poda, kar vključuje tudi



Slika 1: Prerez ključnih slojev plavajočega poda.

vse zaključne sloje, ko se izvede meritve ravni udarnega hrupa v prostoru nižje [4]. V primeru nedoseganja zahtevane ravni zvočne zaščite to pomeni, da je sanacija, ki vključuje odstranjevanje slojev medetažne konstrukcije, finančno in tehnično zahtevna.

Posledično je smotrna uporaba merilnih metod, ki omogočajo prepoznavo potencialnih togih stikov že v zgodnejših fazah gradnje plavajočih podov. Takšna metoda je ODS (ang. *operational deflection shape*)[10], ki temelji na zajemu vibracij strukture ob njenem karakterističnem vzbujanju. Metoda ne sodi med ustaljene pristope gradbene akustike[1], zaradi česar je njeno praktično uporabnost smiselno preveriti.

V tem prispevku je delovanje metode preverjeno na primeru meritve odrske podne konstrukcije gledališča. Obravnavano gledališče je bilo podvrženo celoviti prenovi, ki je bila zaradi zahtev spomeniške zaščite in posledičnih tehničnih omejitev izredno zahtevna. Tako je bila predvidena relativno lahka plavajoča podna konstrukcija, ki je vključevala tudi številne inštalacijske preboje za razvode odrske tehnike in prezračevanja.

2 Projektiranje plavajočih podov

Učinkovitost dodatne zaščite pred udarnim hrupom, ki jo prinaša uporaba plavajočega poda, v času projektiranja objekta ocenjujemo na osnovi računskih metod, ki jih definira področni standard SIST EN 12354-2[5]. Pri tem je ključna enačba (C.3) priloge standarda, po kateri frekvenčno odvisno izboljšanje zašite pred udarnim hrupom

ovrednotimo kot

$$\Delta L = 40 \log \frac{f}{f_0}, \quad (1)$$

pri čemer je f frekvenca, f_0 pa resonančna frekvenca plavajočega poda. Slednja je določena na osnovi dinamične togosti s izolacijskega sloja in mase m plavajočega sloja, za katere velja zveza

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s}{m}}. \quad (2)$$

Iz enačbe (1) izhaja, da želimo za plavajoči pod doseči nizko resonančno frekvenco, saj se ob njeni prepolovitvi ΔL poveča za 12 dB. Pri tem je izolativnost smiselno obravnavati v kontekstu človeške zaznave hrupa, za katero velja (za enakomeren hrup frekvenčno konstantnega spektra), da 10 dB razlike v zvočnem tlaku zaznamo kot prepolovljeno/podvojeno glasnost zvoka.

Tako bi v praksi želeli, da je plavajoči pod grajen iz mehkega izolacijskega sloja (nizka vrednost s) in masivnega plavajočega sloja. Pri tem je prisotna očitna omejitev, da ob presežnem obremenjevanju izolacijskega sloja, postane ta visoko deformiran in ni več v območju elastičnega odziva materiala, kar pa je ključno za doseganje visoke zvočne zaščite. Preseganje dopustne obtežbe izolacijskega sloja je torej nujno v času projektiranja preveriti, in sicer na osnovi znane mase pohodnega sloja in vseh pričakovanih koristnih obtežb.

Določanje dinamične togosti poteka skladno z merilnim standardom SIST EN 29052-1:1997 [6]. Meritev temelji na postavitvi vzorca na ravno togo podlago ter njegovo obremenitev z obtežbo $m' = 200 \text{ kg/m}^2$, kar ustreza masi 8 kg ob zahtevani dimenziji vzorca $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Navedena obtežba predstavlja karakteristični plavajoči sloj plavajočega poda.

Skladno s slovensko zakonodajo se v fazi projektiranja objekta raven udarnega hrupa računsko preveri v sklopu *Elaborata zaščite pred hrupom v stavbah*. Ta sledi zahtevanim ravnem zvočne zaščite glede na namembnost prostorov, kot jih predpisuje *Tehnična smernica - Zaščita pred hrupom v stavbah TSG-1-005: 2012* [7]. Poleg te je v smislu zakonskih normativov pomembno upoštevati tudi *Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah* [8]. Ta na primer določa, v katerih primerih je potrebno raven zaščite pred udarnim hrupom preveriti z meritvijo [4], in sicer pred tehničnim pregledom objekta.

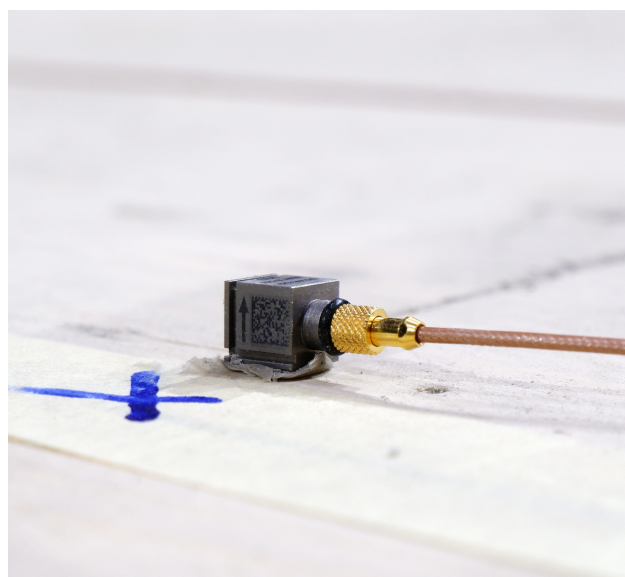
3 Meritev odziva plavajočega poda

Plavajoča podna konstrukcija je bila v primeru obravnavanega objekta suhomontažna, in sicer grajena iz poliuretanskega izolacijskega sloja [9] krojenega v trakove in sloja križno lepljenih lesenih plošč. Pri tem dodatni leseni sloj (finalni tlak) v času meritev še ni bil izveden, kar pomeni, da je bila masa plavajočega sloja nižja od končne. Posledično smo skladno z enačbo (2), pričakovali višjo resonančno frekvenco od projektne določene. Pri tem poudarjamo, da smo za konkretno podno konstrukcijo pričakovali kompleksnejše odzive, ki presegajo model z eno prostostno stopnjo masa-vzmet, s katerim je določena

resonančna frekvenca v enačbi (1). Prisotno je namreč tudi nezanemarljivo upogibanje križno lepljene lesene plošče, ki je zato ne moremo privzeti kot popolnoma toge in homogene.

Merilna metoda ODS [10] zahteva sočasen zajem pospeška podne konstrukcije, in sicer na več merilnih mestih razporejenih po pohodni površini. Pospeške merimo v vertikalni smeri, ki je glede na način naleganja križno lepljenega sloja in načina vzbujanja (s hojo) edina relevantna za širjenje udarnega hrupa po objektu.

Sočasno je bil pospešek zajet z desetimi pospeškometri, ki smo jih premikali med merilnimi mesti, en dodaten pospeškometer se je uporabljal kot referenčni (fiksno mesto). S tem smo lahko z manjšim številom pospeškometrov odziv strukture zajeli na več merilnih mestih (skupno 21). Pospeškometri so bili na pod pritrjeni s čebeljim voskom, kot je prikazano na fotografiji na sliki 2.



Slika 2: Fotografija pritrditve pospeškometra na pohodno površino.

Za izvedbo meritev je bila uporabljena sledeča merilna oprema:

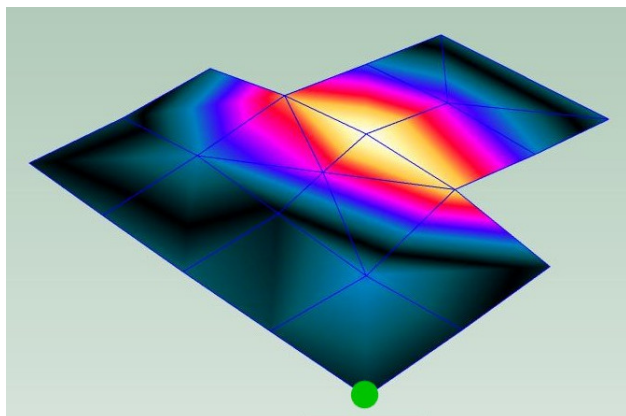
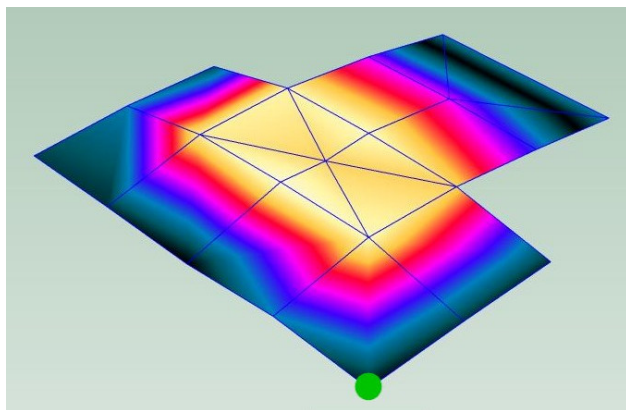
- Pospeškometri: Bruel&Kjaer, Type 4507 B 004, frekvenčno območje: 0.3 Hz – 6 kHz,
- Sistem za zajem: Bruel&Kjaer, Type 3053-B-120,
- Osebni računalnik: Dell, XPS 15,
- Programsko orodje za zajem in vizualizacijo strukturnih oblik: Bruel&Kjaer, BK Connect

Merilna metoda ODS temelji na karakterističnem vzbujanju strukture v času delovanja, pri čemer sila vzbujanja ni poznana, temveč se zanjo privzema naključnost in enakomernost [10]. Ustrezno vzbujanje smo dosegli z enakomerno hojo ene osebe po področju odra, pri čemer je čas posameznega zajema bil cca. 10 min.

4 Rezultati

Analiza zajetih signalov in vizualizacija oblik temelji na implementaciji v program BK Connect[11] in upošteva lego merilnih mest in frekvenčni spekter (FFT) zajetega pospeška. Pri tem kot obliko razumemo prostorsko porazdelitev magnitude pospeška podne konstrukcije pri izbrani frekvenci.

Oblike smo analizirali pri resonancah poda, ki smo jih prepoznali pri 6 in 10 Hz, pri katerih smo opazili fazno usklajeno gibanje plavajočega poda, kot je to grafično prikazano na sliki 3. Da ne gre za en sam resonančni način je pričakovano, saj približek homogenega in togega plavajočega sloja ni povsem upravičen.



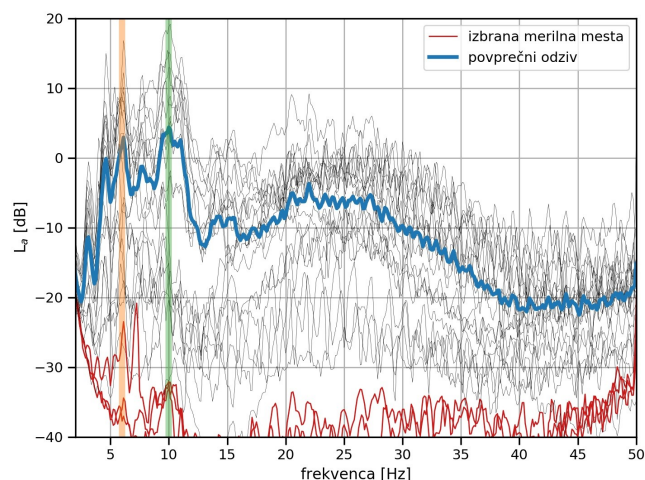
Slika 3: Oblika nihanja odrske podne konstrukcije ob prepoznani resonanci 6 Hz (zgoraj) in 10 Hz (spodaj). Prikazan odmik je sorazmeren magnitudi pospeška na posameznem merilnem mestu. Na območjih črne konture gibanje ni bilo zaznano.

Dodatno smo analizirali pospeške posameznih delov poda. Tako je povprečna magnituda frekvenčnega odziva izmerjena na 21 merilnih mestih prikazana na grafu na sliki 4, ki prikazuje tudi vse izmerjene magnitude. Kot je iz grafa razvidno, prepoznamo resonančna vrhova v odzivu pri 6 Hz in 10 Hz, za katera je na sliki 3 prikazana pripadajoča oblika ob največji amplitudi pospeška.

Na izbranih merilnih mestih (na sliki 4 rdeče), smo izmerili bistveno nižjo magnitudo kot na preostalih merilnih mestih. Ta omejitev gibanja podne konstrukcije kaže na prisotnost togega stika v tem delu, kar je vidno tudi iz obeh oblik (slika 3), saj je na skrajnem desnem robu odra

vrednost pospeška vedno nič (kontura črne barve).

V navedenih območjih je izvajalec del demontiral plavajoči sloj poda in saniral toge stike. Pri tem je pomembno poudariti, da ti stiki niso bili vidni ali drugače zaznavni, kar kaže na smiselnost in uporabnost izvedenih meritev.



Slika 4: Izmerjene magnitude na vseh merilnih mestih na odru (črno), na izbranih merilnih mestih (rdeče) in povprečna magnituda (modro).

5 Zaključki

Na osnovi meritev odziva plavajoče podne konstrukcije gledališkega odra in izvedene analize ODS, smo uspešno prepoznali toge stike, ki so nastali kot posledica napak pri izvedbi poda. S tem smo pokazali, da je predstavljena metoda primerna za zgodnje odkrivanje anomalij pri izvedbi plavajočih podov, saj nam vrača podatek o neposredni lokaciji togega stika.

Z metodo se namreč potencialni togi stik pokaže kot lokalno omejeno gibanje plavajočega sloja. Takšna lokalna fiksacija plavajočega sloja je najbolj izrazito prepoznana, v kolikor je plavajoči sloj relativno lahek in ne povsem tog. Nasprotno pričakujemo, da bi v premeru monolitne toge sestave plavajočega sloja poda bila lokalizacija togih stikov težavnejša. Iz zapisanega tudi izhaja motivacija za nadaljnje testiranje metode na širšem naboru gradbenih konstrukcij, ki bi vključevala tudi bistveno masivnejše cementne estrihe. Pri tem je smiselno tudi raziskati vpliv izbranega razmika med pospeškometri ter vpliva časa zajema na dobljene rezultate, saj bi s tem lahko bistveno skrajšali čas meritve.

Zahvala

To delo je bilo podrtó s sredstvi Okvirnega programa Evropske Unije, Obzorje 2020 (H2020 WIDESPREAD-2-Teaming: #739574, InnoRenew CoE) in Republike Slovenije, Investicijsko financiranje Republike Slovenije in Evropske unije iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Literatura

- [1] C. Hopkins: *Sound Insulation*. 1st edn, Saudi Med J. 1st edn. Oxford: Elsevier Ltd. (2007)
- [2] J. Cowan: *Building Acoustics*. Springer Handbooks. (2007)
- [3] M. J. Crocker: *Handbook of Noise and Vibration Control*. John Wiley & Sons, Inc.. (2008).
- [4] ISO 16283-2:2015: *Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [5] ISO 12354-2:2017: *Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 2: Impact sound insulation between rooms*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [6] SIST EN 29052-1:1997: *Acoustics - Determination of dynamic stiffness - Part 1: Materials used under floating floors in dwellings*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [7] Ministrstvo za okolje in prostor: *TEHNIČNA SMERNICA ZAŠČITA PRED HRUPOM V STAVBAH TSG-1-005: 2012*
- [8] *Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah*, Uradni list RS, št. 10/12 in 61/17 – GZ
- [9] <https://www.getzner.com/en/products/sylomer> (stran obiskana 9. 7. 2021)
- [10] B. J. Schwarz and M. H. Richardson, *Introduction to operating deflection shapes*, CSI Reliability Week, pp. 1–7 (1999).
- [11] <https://www.bksv.com/en/analysis-software/data-acquisition-software/bk-connect> (stran obiskana 9. 7. 2021)