

VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ V LABORATORNÍ SITUACI

PRO VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ JE K DISPOZICI CELÁ ŘADA PREDIKČNÍCH METOD. NEJBĚŽNĚJI POUŽÍVANÉ METODY JSOU POČETNĚ - GRAFICKÉ, KTERÉ SKUTEČNÝ FREKVENČNÍ PRŮBĚH NEPRŮZVUČNOSTI ZJEDNODUŠUJÍ A V JEDNOTLIVÝCH OBLASTECH NAHRAZUJÍ PŘÍMKOVÝMI PRŮBĚHY (NĚKOLIKRÁT LOMENOU ČAROU). PRO ÚČELY RYCHLÉHO NÁVRHU JSOU TĚŽ ZNAČNĚ ROZŠÍŘENÉ TZV. „INDEXOVÉ METODY“, S JEJICHŽ POUŽITÍM LZE ODHADNOUT POUZE JEDNOČÍSELNOU HODNOTU NEPRŮZVUČNOSTI, TZV. VÁŽENOU VZDUCHOVOU NEPRŮZVUČNOST. NEVÝHODOU UVEDENÝCH METOD ČASTO BÝVÁ JEJICH MALÁ UNIVERZÁLNOST (S OHLEDEM NA ZJEDNODUŠUJÍCÍ CHARAKTER) A TEDY I NEMOŽNOST ZAHRNOUT DO VÝPOČTU CELOU ŘADU KONSTRUKČNÍCH VLASTNOSTÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ (NAPŘ. ROZMĚRY, VZDÁLENOST AKUSTICKÝCH MOSTŮ APOD.), KTERÉ MOHOU MÍT NA VÝSLEDNOU NEPRŮZVUČNOST ZÁSADNÍ VLIV. PŘITOM V PRŮBĚHU 2. POLOVINY 20. STOLETÍ BYLA VE SVĚTĚ VYVINUTA CELÁ ŘADA PREDIKČNÍCH METOD, KTERÉ TATO OMEZENÍ NEMAJÍ A UMOŽŇUJÍ TAK ODHADNOUT NEPRŮZVUČNOST VĚTŠINY BĚŽNÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ V LABORATORNÍ SITUACI S VELKOU PŘESNOSTÍ. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PAK LZE POUŽÍT NAPŘÍKLAD K OPTIMALIZACI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ PŘED VLASTNÍM AKUSTICKÝM MĚŘENÍM NEBO K ODHADU STAVEBNÍ NEPRŮZVUČNOSTI V BUDOVÁCH.

ÚVOD

Požadavky na zvukovou izolaci v budovách v ČR předepisuje ČSN 73 0532 *Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky*. Splnění předepsaných hodnot zvukové izolace mezi místnostmi je základním předpokladem pro zajištění akustického soukromí v chráněných vnitřních prostorách staveb (např. v obytných místnostech, hotelových pokojích, učebnách apod.).

Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost mezi místnostmi se vyjadřují jednočíslnou hodnotou, tzv. váženou stavební neprůzvučností R'_w [dB], určenou ze souboru hodnot stavební neprůzvučnosti R' [dB] v jednotlivých pásmech zvukoizolační frekvenční oblasti.

Stavební neprůzvučnost je definována desetinásobkem dekadického logaritmu poměru zvukového výkonu dopadajícího na dělicí konstrukci v místnosti zdroje a celkového zvukového výkonu vyzařovaného do místnosti příjmu vlastním dělicím prvkem a bočními prvky.

$$R' = 10 \lg(W_i / (W_d + W_F)) \text{ [dB]},$$

kde W_i je zvukový výkon dopadající na dělicí konstrukci [W]

W_d je zvukový výkon vyzařovaný dělicí konstrukcí [W]

W_F je zvukový výkon vyzařovaný bočními prvky [W].

Stavební neprůzvučnost tedy zahrnuje jak přímý přenos zvuku tak i boční přenos zvuku (obvykle 12 bočních přenosových cest). Oproti tomu v laboratoři, kde je boční přenos zvuku potlačen, dochází téměř výhradě pouze k přímému přenosu zvuku vlastním dělicím prvkem. Při navrhování konstrukcí s využitím změřených hodnot laboratorní neprůzvučnosti R [dB] prvků je tedy nutné zavádět korekci na boční přenos zvuku. V běžné praxi se korekce uvažuje tabulkovou, empiricky stanovenou, hodnotou.

ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ Z HLEDISKA STAVEBNÍ AKUSTIKY

Z hlediska stavební akustiky se běžné stavební konstrukce rozdělují na jednoduché a dvojité (příp. trojitě):

Jednoduché

- homogenní isotropní
- homogenní ortotropní
- vícevrstvé

Dvojité

- z ohybově tuhých prvků
- z ohybově poddajných prvků
- kombinované

JEDNODUCHÉ KONSTRUKCE

JEDNODUCHÉ HOMOGENNÍ ISOTROPNÍ KONSTRUKCE

Tento typ konstrukce je z hlediska výpočtu vzduchové neprůzvučnosti

nejjednodušším případem. Neprůzvučnost jednoduché homogenní isotropní konstrukce je dána především její plošnou hmotností m' [kg.m⁻²], ohybovou tuhostí B [kg.m².s⁻²] a frekvencí dopadajícího zvuku f [Hz].

$$B = EI / (1 - \nu^2) \text{ [kg.m}^2\text{.s}^{-2}\text{]},$$

kde E je dynamický modul pružnosti materiálu konstrukce [Pa], I je moment setrvačnosti průřezu [m⁴] a ν je Poissonovo číslo [-].

S rostoucí plošnou hmotností a frekvencí neprůzvučnost roste. Plošná hmotnost konstrukce spolu s ohybovou tuhostí rovněž ovlivňují polohu tzv. kritické (nejnižší) frekvence vlnové koincidence f_c [Hz]. Tato frekvence se vypočítá pro tečný dopad zvuku z podmínky $c_B = c$ (kde c_B je rychlost ohybových vln v konstrukci, c je rychlost zvuku ve vzduchu) následovně:

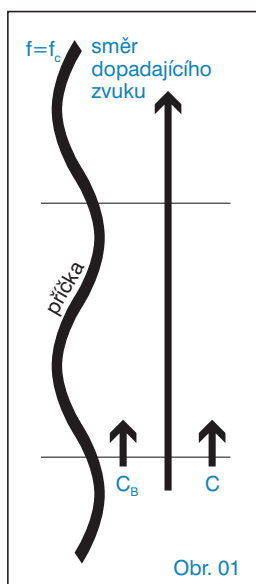
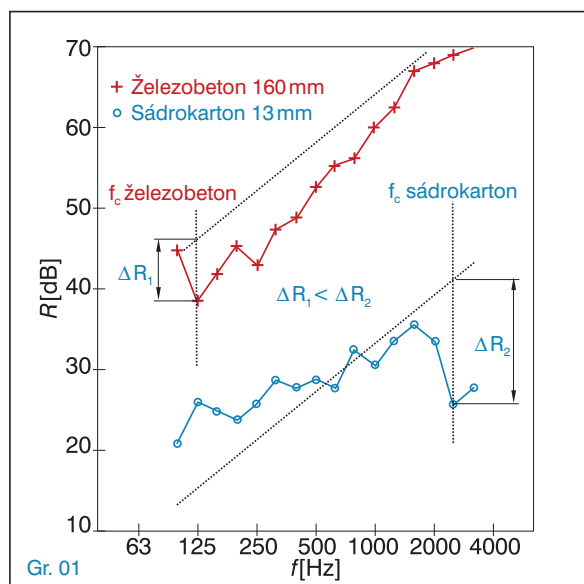
$$f_c = c^2 / 2\pi [m' / B]^{1/2} \text{ [Hz]}$$

V oblasti vlivu vlnové koincidence, kde je rychlost ohybových vln v konstrukci blízká rychlosti zvuku ve vzduchu, existuje těsná vazba mezi konstrukcí a okolním prostředím a dochází k poklesu neprůzvučnosti. Míra poklesu závisí především na hodnotě tzv. celkového ztrátového činitele, který charakterizuje ztráty energie v buzeném systému. U běžných konstrukcí dochází ke ztrátám energie uvnitř materiálu,

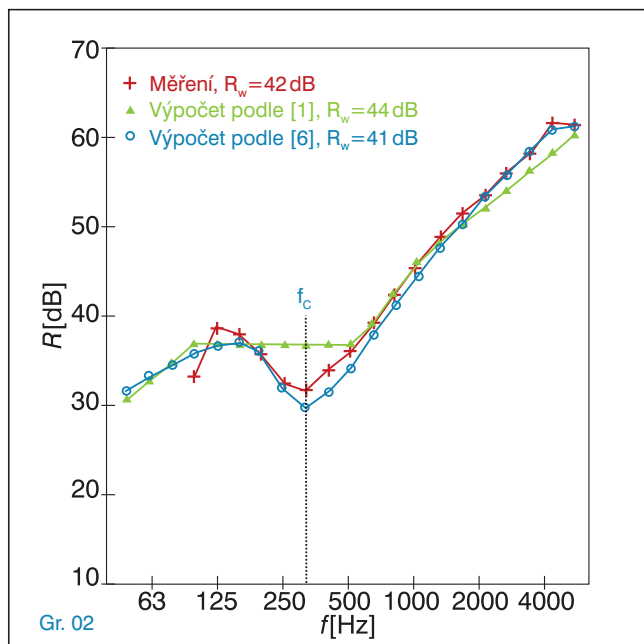
vyzařováním do vzduchu a především přenosem vibrační energie ve stycích konstrukce s ostatními prvky.

Zatímco u těžkých konstrukcí bývá pokles mělký, u lehkých, ohybově poddajných prvků s malou hodnotou celkového ztrátového činitele, se projevuje výrazněji (viz. graf /01/). Tečkovaně jsou v grafu naznačeny „ideální“ průběhy neprůzvučnosti bez vlivu vlnové koincidence (neprůzvučnost je ovlivněna pouze plošnou hmotností konstrukce m' a frekvencí f).

Pro výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduchých homogenních isotropních prvků se, kromě indexových metod, velmi často používá tzv. modifikovaná Wattersova metoda [1] (B. G. Watters, 1959). Jedná se o početně-grafický postup odhadu neprůzvučnosti, který aproximuje skutečný průběh neprůzvučnosti v oblasti vlivu vlnové koincidence přímkou s konstantní hodnotou neprůzvučnosti. Uvedená metoda je vhodná především pro odhad neprůzvučnosti ohybově tuhých prvků nebo ohybově poddajných prvků, u nichž kritický kmitočet vlnové koincidence nezasahuje do zvukoizolační oblasti (tj. leží mimo oblast 100 Hz až 3150 Hz). U polotuhých prvků nemusí uvedená aproximace vést ke správným výsledkům, jak ukazuje graf /02/.

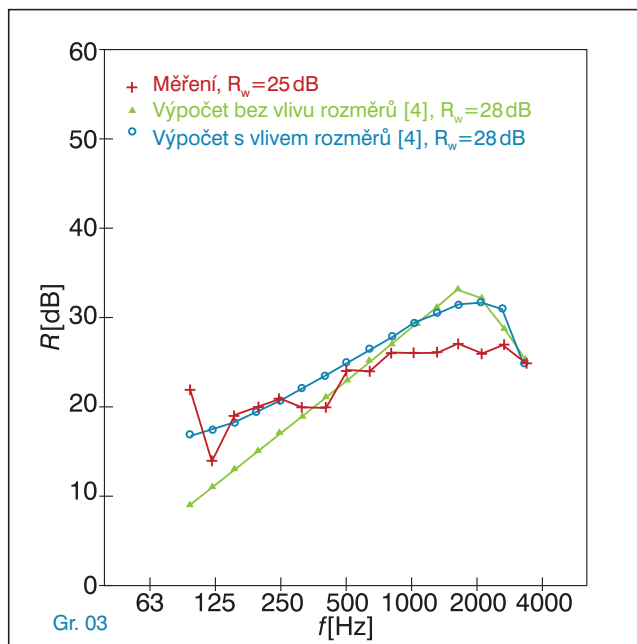


- Gr. 01 | Pokles neprůzvučnosti na kritické frekvenci vlnové koincidence (železobeton, sádrokarton)
 Obr. 01 | Kritická frekvence vlnové koincidence



Gr. 02| Změřený a vypočtený průběh neprůzvučnosti oboustranně omítnuté příčky z plných cihel tl. 15+65+15 mm

Gr. 03| Změřený a vypočtený průběh neprůzvučnosti sádkartonové desky tl. 9 mm o rozměrech 0,4×0,6 m



V grafu /02/ je pro srovnání vynesena průběh neprůzvučnosti vypočtené „přesně“ metodikou [6] (R. Josse, J. Lamure, 1964) s pozdějšími úpravami, podrobně popsanými v ČSN EN 12354-1. Tato metodika umožňuje do výpočtu neprůzvučnosti zahrnout rozměry konstrukce (šířku a výšku), vliv tloušťky konstrukce na rychlost ohybových vln c_B a horní limit neprůzvučnosti daný tloušťkou konstrukce. Rozměry ovlivňují neprůzvučnost konstrukce zejména u menších prvků /graf 03/.

JEDNODUCHÉ HOMOGENNÍ ORTOTROPNÍ KONSTRUKCE

Neprůzvučnost tohoto typu konstrukcí je charakteristická širší oblastí vlivu vlnové koincidence. V důsledku různé ohybové tuhosti ve dvou navzájem kolmých směrech mají ortotropní prvky dvě různé kritické frekvence vlnové koincidence. Ty se na průběhu neprůzvučnosti projeví dvěma poklesy, přičemž ve frekvenční oblasti mezi nimi je neprůzvučnost relativně nízká. Typickým příkladem jednoduché ortotropní konstrukce jsou např. ocelové trapézové plechy.

JEDNODUCHÉ VÍCEVRSTVÉ KONSTRUKCE

Jedná se o konstrukce z více jednoduchých prvků, resp. vrstev. Jednotlivé vrstvy mohou být

vzájemně plošně spojené nebo mohou působit samostatně. Způsob spojení vrstev ovlivňuje výslednou ohybovou tuhost a hodnotu ztrátového činitele celé konstrukce. Jsou-li vrstvy spojeny tuze (např. slepením), potom je kritická frekvence vlnové koincidence určena ohybovou tuhostí celého průřezu. Typickým příkladem takové konstrukce mohou být i tenké stěny s omítkou. Naopak je-li spojení vrstev dostatečně poddajné, potom se jednotlivé vrstvy chovají jako samostatné jednoduché konstrukce a poloha kritické frekvence vlnové koincidence se určí pro každou vrstvu zvlášť /graf 04/.

DVOJITÉ KONSTRUKCE

Dvojitě konstrukce jsou stavební konstrukce sestávající se ze dvou rovnoběžných hmotných deskových prvků, které jsou vzájemně oddělené pružnou separační vrstvou. Neprůzvučnost běžné dvojitě konstrukce je ovlivněna více faktory, než tomu bylo u konstrukcí předešlých. Je závislá především na:

- plošné hmotnosti (m'_1 , m'_2), ohybové tuhosti (B_1 , B_2) a neprůzvučnosti (R_1 , R_2) dílčích prvků,
- tloušťce (d), dynamické tuhosti (s') a pohltivosti (α) separační vrstvy,
- množství a charakteru spojení mezi oběma dílčími prvky.

Z hlediska výpočtu je účelné rozdělit dvojité konstrukce na konstrukce:

- ze dvou ohybově tuhých nebo polotuhých prvků (např. dvojitá zděná příčka) /obr. 02/,
- ze dvou ohybově poddajných prvků (např. sádkartonová příčka) /obr. 03/,
- kombinované (např. zděná stěna se sádkartonovou předstěnou) /obr. 04/.

DVOJITÉ KONSTRUKCE ZE DVOU OHYBOVĚ TUHÝCH NEBO POLOTUHÝCH PRVKŮ

Pro výpočet vzduchové neprůzvučnosti je vhodná např. metodika [1] (J. Čechura, 1999) /graf 05/.

Neprůzvučnost dvojité konstrukce podle této metody odpovídá neprůzvučnosti jednoduché dvojrvtvé konstrukce $R_{(1+2)}$, zvětšené nebo zmenšené o vliv separační vrstvy D_R .

$$R = R_{(1+2)} + D_R \text{ [dB]},$$

kde $R_{(1+2)}$ je neprůzvučnost konstrukce o nulové tloušťce separační vrstvy [dB]
 D_R je změna neprůzvučnosti dvojité konstrukce v porovnání s hodnotou odpovídající nulové tloušťce separační vrstvy [dB].

Hodnota D_R je kmitočtově závislá veličina, jejíž průběh je ovlivněn

především polohou rezonanční frekvence typu hmotnost-poddajnost-hmotnost (stěna-separační vrstva-stěna):

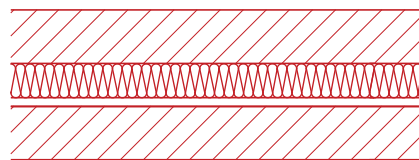
$$f_0 = 1/2\pi[s'(1/m'_1 + 1/m'_2)]^{1/2} \text{ [Hz]},$$

kde s' je dynamická tuhost materiálu separační vrstvy [Pa]
 m'_1, m'_2 jsou plošné hmotnosti dílčích prvků (stěn) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$].

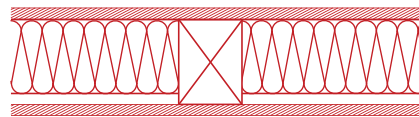
Při výpočtu neprůzvučnosti dvojitých konstrukcí z ohybově polotuhých prvků je dobré pro odhad neprůzvučnosti dílčích jednoduchých prvků nepoužívat metody, které nahrazují skutečný průběh neprůzvučnosti v oblasti kritické frekvence vlnové koincidence přímkou s konstantní hodnotou neprůzvučnosti (podrobně viz jednoduché homogenní isotropní konstrukce).

DVOJITÉ KONSTRUKCE ZE DVOU OHYBOVĚ PODDAJNÝCH PRVKŮ

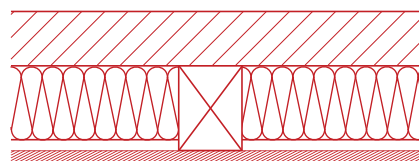
Typickým příkladem dvojitých konstrukcí ze dvou ohybově poddajných prvků jsou sádkartonové příčky. S ohledem na ohybovou poddajnost se prvky připevňují k nosným sloupkům, čímž dochází ke vzniku akustických mostů. Jejich prostřednictvím se přenáší další akustický výkon z buzeného prvku na straně místnosti zdroje do vyzařujícího prvku na straně místnosti příjmu. Celkový zvukový výkon přenesený



Obr. 02



Obr. 03



Obr. 04

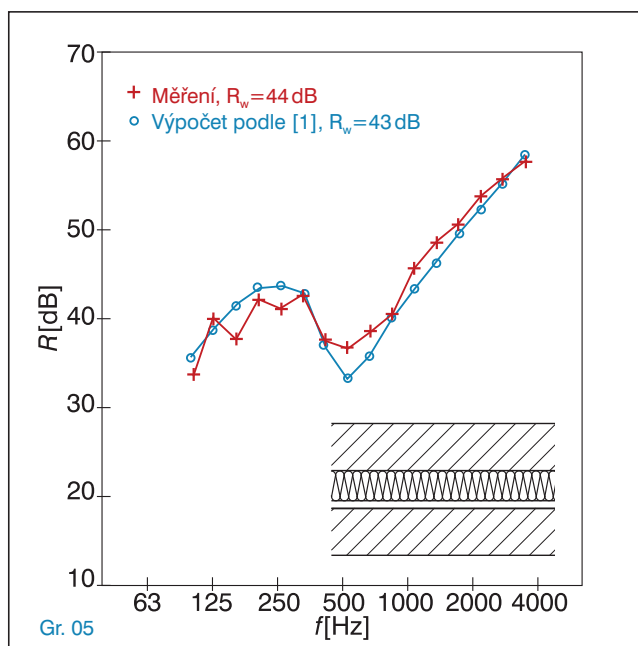
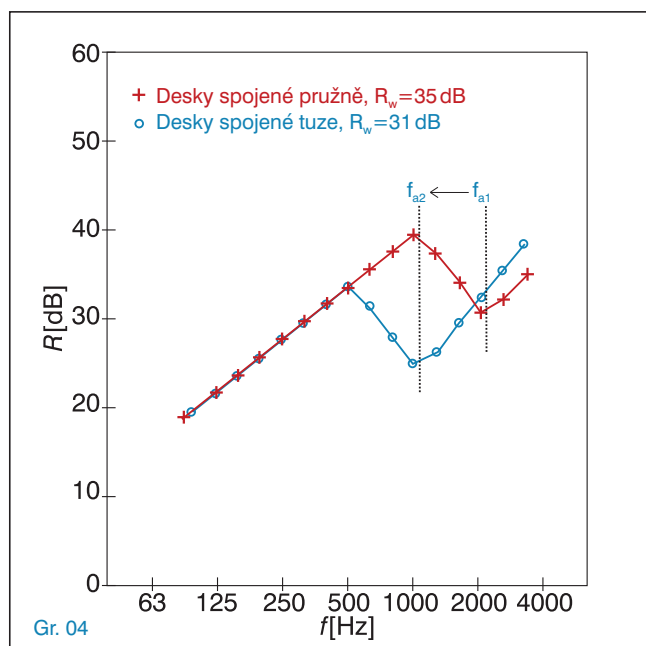
Obr. 02 | Skladba z ohybově tuhých prvků

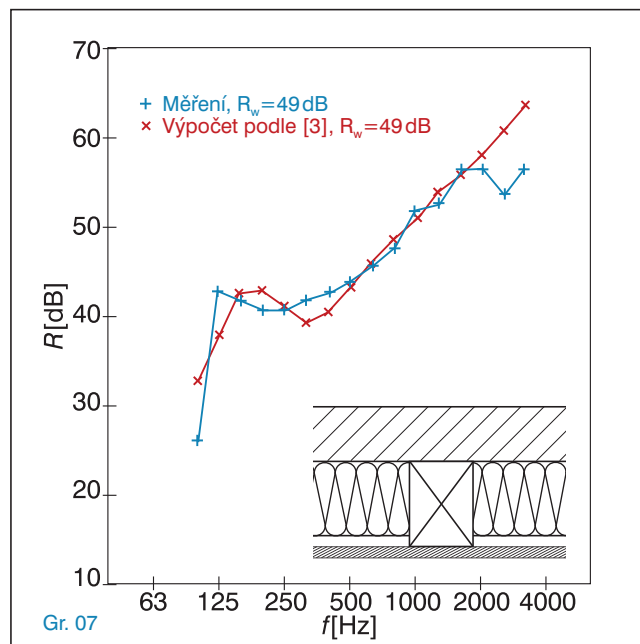
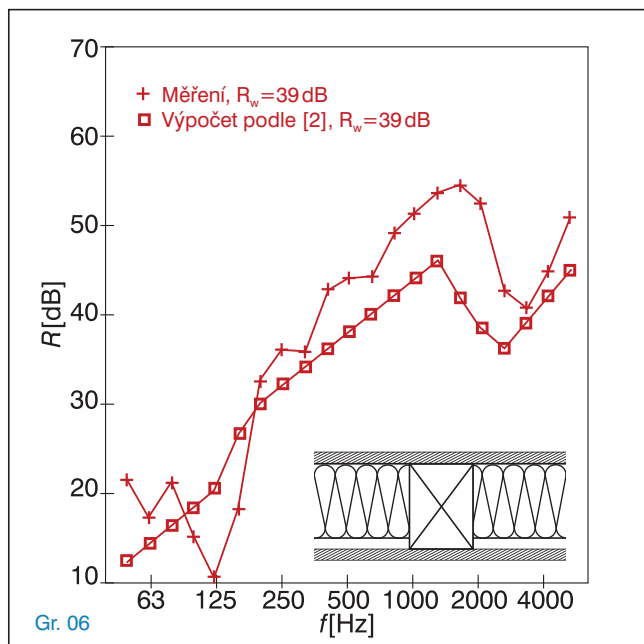
Obr. 03 | Skladba z ohybově poddajných prvků

Obr. 04 | Kombinovaná skladba

Gr. 04 | Vypočtený průběh neprůzvučnosti pro dvě desky sádkartonu tl. 15 mm (vzájemně pružné, resp. tuze spojené)

Gr. 05 | Změřený a vypočtený průběh neprůzvučnosti dvojité stěny ze dvou sádkartonových příček tl. 80 mm se vzduchovou vrstvou tl. 50 mm vyplněnou pohltivým výrobkem





Gr. 06| Změřený a vypočtený průběh neprůzvučnosti dvojité stěny ze dvou sádrokartonových desek tl. 13 mm, vzduchovou vrstvou tl. 90 mm vyplněnou pohltivým výrobkem a s dřevěnými sloupky a 406 mm

Gr. 07| Změřený a vypočtený průběh neprůzvučnosti dvojité stěny z jedné hmotné stěny tl. 10+68+10 mm, obložené sádrokartonem tl. 13 mm na vzduchové vrstvě tl. 70 mm s dřevěnými sloupky po 570 mm

Obr. 05| Přenos zvuku příčkou s akustickými mosty

příčkou je tak dán součtem zvukového výkonu přeneseného separační vrstvou a právě těmito akustickými mosty /obr. 05/.

$$R = 10 \lg(W_i / (W_{t,1} + W_{t,2})) \text{ [dB]},$$

kde W_i je zvukový výkon dopadající na dělicí konstrukci [W]

$W_{t,1}$ je zvukový výkon přenesený akustickými mosty [W]

$W_{t,2}$ je zvukový výkon přenesený separační vrstvou [W].

Míra vlivu mechanického spojení dílčích prvků na výslednou neprůzvučnost konstrukce závisí především na počtu spojů a na jejich poddajnosti. Jinými slovy neprůzvučnost sádrokartonové příčky je ovlivněna vzdáleností nosných sloupků a jejich konstrukčním řešením. Jinak se chovají příčky s dřevěnými sloupky a jinak se sloupky tenkostěnnými ocelovými. Neprůzvučnost sádrokartonových příček s dřevěnými sloupky lze dostatečně přesně odhadnout například metodikou [2] (B. H. Sharp, 1978), jak je naznačeno v grafu /06/.

Pro příčky s ocelovými sloupky existuje jen velmi málo metod, které umožňují poddajnost sloupků do výpočtu zahrnout. Obecně lze říci, že vážená vzduchová neprůzvučnost sádrokartonových příček s ocelovými sloupky bývá o 3-4 dB vyšší než příček se sloupky dřevěnými.

Při navrhování sádrokartonových příček se většinou vychází z údajů výrobců. Pro ověření uváděných hodnot se často používají tzv. indexové metody (např. Vaverka a kol., 1998). Zásadní nevýhodou těchto metod může být, že nezohledňují skutečnou vzdálenost sloupků a frekvenční průběh neprůzvučnosti.

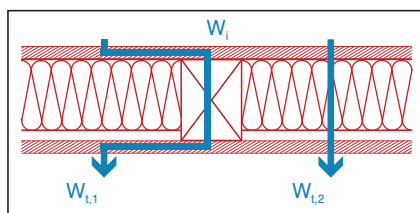
DVOJITÉ KONSTRUKCE KOMBINOVANÉ

Dvojitě konstrukce kombinované, tj. s jedním ohybově tuhým nebo polotuhým prvkem a jedním ohybově poddajným prvkem, jsou z hlediska výpočtového odhadu neprůzvučnosti nejvíce komplikované. Je to dáno právě různou ohybovou tuhostí, resp. hodnotou kritické frekvence vlnové koincidence obou prvků. Jednou z mála použitelných metod je díky své obecnosti metodika [3] (J. H. Rindel, 2005) /graf 07/. Většina ostatních metod poskytuje dostatečně přesné výsledky pouze v případě, že jsou oba dílčí prvky dvojitě konstrukce podobné.

ZÁVĚR

Některé prezentované predikční metody pro výpočet laboratorní neprůzvučnosti stavebních konstrukcí jsou v ČR poměrně málo známy a v praxi se téměř nepoužívají. Přesto, jak je prezentováno v článku, lze s jejich

Obr. 05



využitím odhadnout neprůzvučnost většiny běžných stavebních konstrukcí s velkou přesností. Výsledky výpočtů tak mohou být alternativou změřených hodnot a jsou relevantním vstupem pro hodnocení zvukové izolace v budovách. Zpracováním hlukových studií včetně služeb z oblasti stavební prostorové akustiky se zabývá Atelier DEK. Článek vychází ze zpracovávané disertační práce autora na Stavební fakultě ČVUT v Praze.

< Jiří Nováček >

Literatura:

- [1] Čechura J., Stavební fyzika 10 – Akustika stavebních konstrukcí, učební skriptum ČVUT, 1999
- [2] Sharp B. H., Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements, Noise Control Engineering 11/2, 1978
- [3] Rindel J. H., Kristensen J., Bygningakustik, Teori og Praksis, Statens Byggeforskningsinstitut, 1989
- [4] Bies A. D., Hansen C. H., Engineering Noise Control, Theory and Practice, 3rd Edition, 2003
- [5] Homb A. e. a., Lydisolerende konstruksjoner, 1983, NBI
- [6] ČSN EN 12354-1 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi, 2001

PLASTOVÁ OKNA, BALKONOVÉ A VSTUPNÍ DVEŘE S VÝBORNÝMI AKUSTICKÝMI A TEPELNĚIZOLAČNÍMI VLASTNOSTMI

WINDEK PVC jsou plastová okna a balkonové dveře s tepelněizolačními vlastnostmi splňujícími požadavky platných tepelnětechnických norem. Okna i balkonové dveře jsou vyrobeny z kvalitních pětikomorových a čtyřkomorových profilů VEKA a kvalitních izolačních dvojskel s plastovými distančními rámečky.

Základními profily, ze kterých se vyrábějí okna a balkonové dveře **WINDEK PVC**, jsou **WINDEK PVC DEKLINE** a **WINDEK PVC DEKLINE PLUS**.

WINDEK®