

PREDIKCE STANOVENÍ VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STROPNÍCH KONSTRUKCÍ DŘEVOSTAVEB KOMŮRKOVÉHO TYPU

Ing. Jaroslav Vychytil

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, jaroslav.vychytil@fsv.cvut.cz

Čím dál více stavebních firem se začíná zabývat projekcí a následnou výstavbou dřevostaveb. V současnosti se v ČR projektují i některé vícepodlažní dřevostavby, především na principu těžkého skeletu. Již při návrhu dělicích konstrukcí se však nesmí zapomínat na požadavky normy ČSN 73 0532 týkající se vzduchové a kročejové neprůzvučnosti. Problémem však je, že se v praxi užívají pouze metody sloužící ke zjištění hodnot vážené neprůzvučnosti konstrukcí na silikátové bázi, zatímco použití těchto metod selhává při výpočtu neprůzvučnosti u dřevostaveb. U těchto konstrukcí je vypočtená hodnota vážené neprůzvučnosti řádově o několik dB nižší než skutečně naměřená hodnota vážené stavební neprůzvučnosti. V tomto příspěvku je uveden možný výpočtový postup stanovení vzduchové neprůzvučnosti stropní konstrukce komůrkového typu.

1. Úvod

Při návrhu objektů nebo při rekonstrukcích je nutné přistupovat k zadání komplexně a zohledňovat všechna hlediska (konstrukční, statické, architektonické, stavebně-fyzikální, finanční a další). V dnešní době je velice často rozhodující hledisko finanční a proto stále více stavebníků zajímá energetická náročnost budovy. Podněcují k tomu rovněž různé dotační programy mezi něž patří „Zelená úsporám“. Z hlediska pohody obyvatelů vnitřních prostorů je však důležitější hledisko akustické, světelně-technické a tepelně-technické.

2. Komůrkový stropní dílec

Navrhujeme-li dřevěnou stropní konstrukci, máme na výběr mezi nosníkovou konstrukcí (různé varianty trámových stropů) a mezi deskovou konstrukcí (povalové stropy, stropy komůrkového typu). Konstrukce komůrkového typu v sobě skrývá tu výhodu, že mezi horní a spodní záklopnou deskou můžeme vést potřebné instalace.

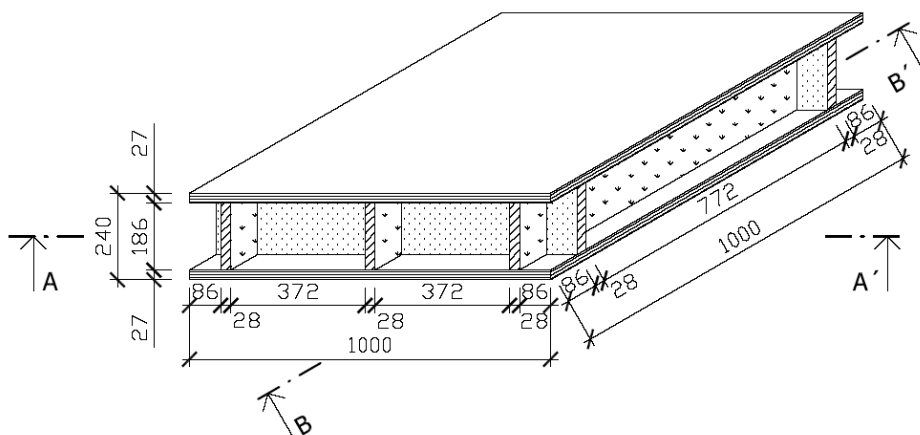
Komůrkové stropní dílce (Novatop Elements) jsou velkoplošné stavebnicové panely, které se vyrábějí z vícevrstevných smrkových desek. Konstrukce panelu, patrná z obr. 1, je tvořena:

- 1) nosnou spodní deskou, navrhovanou na požadovanou požární odolnost,
- 2) systémem podélných a příčných žebér,
- 3) horní krycí deskou.

Jednotlivá žebra a desky jsou vzájemně spojeny lepením (u zkušebních vzorků lepidlem Jowapur 686.20) a lisováním za studena. Vybrané materiálové parametry jsou uvedeny v tab. 1.

Parametr	Rozměr parametru
šířka stropního dílce	0,69 m *** 1,03 m *** 2,09 m *** 2,45 m
délka stropního dílce	libovolná, ale max. 12,0 m
výška žebér	standardní: 160 mm *** 200 mm *** 240 mm na přání: libovolná, přednostně 280 mm a 320 mm maximální (na přání):400 mm
únosnost	podle výšky žebra, max. 500 kg/m ²

Tab. 1: Materiálové charakteristiky komůrkového stropního dílce Novatop Elements



Obr. 1:
Axonometrie
komůrkového
nosníku v M 1:20

3. Neprůzvučnost komůrkového stropního panelu

Pro názornost a porovnání uvedu výpočet pomocí již známých postupů a nakonec pomocí vztahů odvozených z laboratorního průběhu neprůzvučnosti (měření provedlo CSI, a.s., pobočka ve Zlíně). Vážená vzduchová neprůzvučnost zjištěná laboratorně je 27 dB.

Tato stropní konstrukce byla počítána v těchto variantách:

- Var. I: nahrazení jedním materiálem o stejné plošné hmotnosti
→ výpočet jako u jednoduché konstrukce s tloušťkou spodní pásnice (27 mm)
- Var. II: nahrazení jedním materiálem o stejné plošné hmotnosti
→ výpočet jako u jednoduché konstrukce s tloušťkou součtu pásnic (54 mm)
- Var. III: nahrazení jedním materiálem o tloušťce pásnice (27 mm)
→ výpočet jako u jednoduché konstrukce s parametry udávanými CSI
- Var. IV: nahrazení jedním materiálem o tloušťce součtu pásnic (54 mm)
→ výpočet jako u jednoduché konstrukce s parametry udávanými CSI
- Var. V: výpočet jako u dvojité konstrukce
- Var. VI: výpočet jako u vrstvené konstrukce
- Var. VII: výpočet podle vzorců odvozených z naměřených hodnot

3.1 Výpočet pomocí běžně používaných postupů – Var. I – VI

Princip jednotlivých variant výpočtu je uveden výše. Zde jsou uvedeny vstupní parametry výpočtu pro varianty uvažující s již známými výpočtovými postupy a výsledné hodnoty neprůzvučnosti v kmitočtových pásmech. Dílčí výpočty zde nejsou uvedeny z důvodu omezení délky příspěvku, budou ovšem prezentovány v posterové podobě na konferenci Izolace 2010.

Ve variantě V je maximální hodnota útlumu ve vzduchové mezeře $D = 9,8$ dB. Modul pružnosti dřeva kolmo k vláknům byl v VI. variantě uvažován $E_{\perp} = 550$ MPa.

Parametr	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV	Var. V	Var. VI
plošná hmotnost m' [kg m^{-2}]	38,00	38,00	13,23	26,46	13,23	38,00
tloušťka h [m]	0,027	0,054	0,027	0,054	0,027	---
objemová hmotnost ρ [kg m^{-3}]	1407,4	703,7	490	490	490	490
rychlost šíření podélných vln c [m s^{-1}]	2400					
ztrátový činitel η [-]	0,01					

Tab. 2: Vstupní parametry výpočtu ve Var. I – VI

f [Hz]	R _{změř.} [dB]	R _{var.I} [dB]	R _{var.II} [dB]	R _{var.III} [dB]	R _{var.IV} [dB]	R _{var.V} [dB]	R _{var.VI} [dB]
100	14,0	24,1	24,1	14,9	21,0	21,9	18,0
125	23,3	26,0	26,0	16,8	22,8	26,4	18,0
160	21,9	28,2	26,0	19,0	22,8	31,4	18,0
200	18,7	30,1	26,0	20,9	22,8	35,9	18,0
250	20,5	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	18,0
315	19,4	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	18,0
400	19,9	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	20,8
500	22,0	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	24,0
630	24,3	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	27,3
800	25,1	32,0	26,0	22,8	22,8	38,6	29,6
1000	27,6	32,0	28,7	22,8	25,5	38,6	31,6
1250	28,0	32,0	31,9	22,8	28,8	38,6	33,5
1600	30,4	32,0	35,5	22,8	32,3	38,6	35,7
2000	31,5	34,7	37,6	25,5	34,5	41,3	37,6
2500	35,0	37,9	39,5	28,7	36,4	44,5	39,5
3150	37,8	41,3	41,5	32,1	38,4	47,9	41,5
R _w [dB]	27	34	31	24	27	40	29
R _{změř.} – R _{var.i} [dB]	---	- 7	- 4	+ 3	0	- 13	- 2

Tab. 3: Hodnoty vzduchové neprůzvučnosti komůrkového nosníku změřené a vypočítané ve Var. I – VI

Jak je patrné z tab. 3, tak výpočtový postup ve Var. I (stejná plošná hmotnost + tloušťka spodní pásnice), II (stejná plošná hmotnost + tloušťka součtu obou pásnic), V (princip dvojitě konstrukce) a VI (výpočet vrstvené konstrukce) nadhodnocuje vzduchovou neprůzvučnost dané konstrukce o 2 (var. VI) až 13 dB (var. V). Naopak, počítáme-li konstrukci pomocí dané objemové hmotnosti a tloušťce spodní pásnice (var. III), tak dostaneme podhodnocenou hodnotu vzduchové neprůzvučnosti o 3 dB.

Hodnoty vzduchové neprůzvučnosti jsou shodné, v případě porovnání naměřené a vypočtené hodnoty, u varianty IV (daná objemová hmotnost + tloušťka součtu obou pásnic). Nedostatek výpočtu touto metodou však spočívá v poměrně velkých rozdílech mezi změřenými a vypočtenými hodnotami na jednotlivých kmitočtech, přičemž hned na osmi kmitočtech jsou rozdíly v absolutní hodnotě větší než 2,0 dB.

3.2 Výpočet pomocí vzorců odvozených z naměřených hodnot – Var. VII

V této variantě je uvažováno se zjednodušením takovým, že konstrukce má tloušťku stejnou jako obě pásnice dohromady a objemová hmotnost je uvažována, dle výrobce panelu, 490 kg·m⁻³. Vstupními parametry výpočtu této konstrukce jsou:

- tloušťka (stejná jako součet tloušťky horní a dolní pásnice) $h = 0,054$ m;
- rychlost šíření podélných vln v materiálu $c = 2400$ m·s⁻¹;
- ztrátový činitel $\eta = 0,01$

Výpočet je proveden podle, v závislosti na průběhu naměřených hodnot, určených vztahů (viz. tab. 4). Princip spočívá v rozdělení kmitočtového pásma na ještě více intervalů (místo 4 intervalů typických pro materiály na silikátové bázi je jich nově 6) a to:

$$\langle f \leq f_A \rangle; \langle f_A \leq f \leq f_{AB} \rangle; \langle f_{AB} \leq f \leq f_B \rangle; \langle f_B \leq f \leq f_{BC} \rangle; \langle f_{BC} \leq f \leq f_C \rangle; \langle f_C \leq f \rangle,$$

$$\text{kde } f_{XY} = \frac{f_X + f_Y}{2} \quad (1)$$

Díličními výsledky tohoto výpočtu jsou:

$m' =$	26,46	kg·m ⁻²	... plošná hmotnost
$f_{cr} =$	491,77	Hz	... kritický kmitočet
$f_A =$	124,12	Hz	... zlomový kmitočet A
$f_{AB} =$	476,84	Hz	... zlomový kmitočet AB
$f_B =$	829,55	Hz	... zlomový kmitočet B
$f_{BC} =$	1244,32	Hz	... zlomový kmitočet BC
$f_C =$	1659,09	Hz	... zlomový kmitočet C
$x =$	2,74		... počet oktáv mezi kmitočty f_A a f_B

Číslo intervalu	Vymezení intervalu	Výpočet neprůzvučnosti
1	$\langle f \leq f_A \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f}{531}$
2	$\langle f_A \leq f \leq f_{AB} \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f_A}{237} + \log \frac{f_{AB}}{f^2}$
3	$\langle f_{AB} \leq f \leq f_B \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f}{1,27 \cdot f_B}$
4	$\langle f_B \leq f \leq f_{BC} \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f}{0,89 \cdot f_{BC}}$
5	$\langle f_{BC} \leq f \leq f_C \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f}{0,77 \cdot f_C}$
6	$\langle f_C \leq f \rangle$	$R = 20 \log \frac{m' f}{0,7 \cdot f_C}$

Tab. 4: Upravené vzorce pro výpočet neprůzvučnosti základního komůrkového nosníku

f [Hz]	Interval	Oblast	R [dB]	Δ „-25“ [dB]	R _{změř} [dB]	R _{změř.} – R _{var.VII} [dB]
100	$f \leq f_A$ $f \leq 124$ Hz	I.	13,9	---	14,0	0,1
125	$f_A \leq f \leq f_{AB}$ 124 Hz $\leq f \leq$ 477 Hz	II.	21,3	---	23,3	2,0
160			21,1	---	21,9	0,8
200			20,9	---	18,7	-2,2
250			20,7	---	20,5	-0,2
315			20,5	2,5	19,4	-1,1
400			20,3	5,7	19,9	-0,4
500	$f_{AB} \leq f \leq f_B$	III.	22,0	5,0	22,0	0
630	$f_B \leq f \leq f_{BC}$ 477 Hz $\leq f \leq$ 830 Hz		24,0	4,0	24,3	0,3
800			26,1	2,9	25,1	-1,0
1000	$f_B \leq f \leq f_{BC}$ 830 Hz $\leq f \leq$ 1244 Hz	IV.	27,6	2,4	27,6	0
1250	$f_{BC} \leq f \leq f_C$ 1244 Hz $\leq f \leq$ 1659 Hz	V.	28,3	2,7	28,0	-0,3
1600			30,4	0,6	30,4	0
2000	$f_C \leq f$ 1659 Hz $\leq f$	VI.	33,2	---	31,5	-1,7
2500			35,1	---	35,0	-0,1
3150			37,1	---	37,8	0,7
$\Sigma \Delta$				25,8		

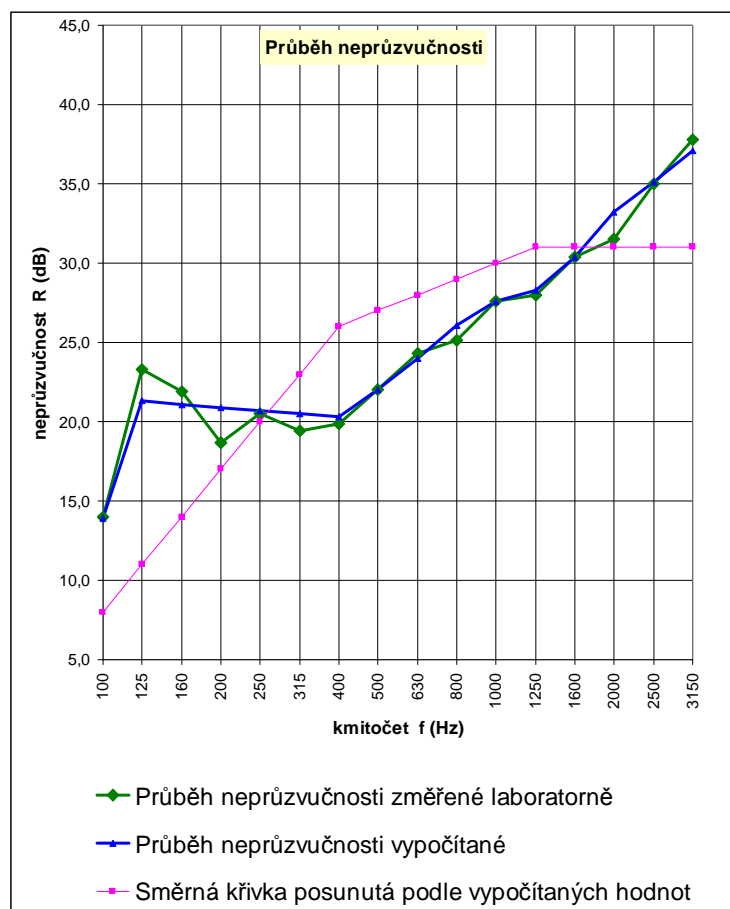
Tab. 5: Hodnoty neprůzvučnosti komůrkového nosníku počítaného v VII. variantě

Výsledné hodnoty neprůzvučnosti v jednotlivých kmitočtech včetně hodnot nepříznivých odchylek (Δ) jsou uvedeny v tab. 5. Průběh neprůzvučnosti v závislosti na kmitočtu je uveden na obr. 2. Hodnota vážené neprůzvučnosti stanovená touto variantou výpočtového postupu je 27 dB. Tato hodnota je tedy stejná jako při laboratorním zjišťování neprůzvučnosti.

Legenda k tab. 5: Tučnou kurzívou jsou zvýrazněny odchylky mezi změřenou a vypočítanou hodnotou vyšší než 2,0 dB.

4. Závěr

V tomto příspěvku prezentovaná metodika by měla pomoci při výpočtu vzduchové neprůzvučnosti konstrukcí komůrkového typu. Nevýhoda této metodiky spočívá v malém počtu laboratorně změřených konstrukcí tohoto typu a tudíž zatím negarantované přesnosti.



Obr. 2: Průběh neprůzvučnosti komůrkového nosníku ve var. VII

Literatura

- [1] Centrum stavebního inženýrství a.s., pracoviště Zlín: Protokol č. 317/07, Vzduchová neprůzvučnost podle ČSN EN ISO 140-3, Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí, 2007
- *souhlas k poskytnutí výsledků měření poskytl Josef Mynář 30. 3. 2009 z firmy Agrop*
- [2] J. Kaňka: Akustika stavebních objektů, Era group spol. s.r.o., 2009
- [3] Katalog Novatop Cleverly designed, verze Internationale CZ 02 (02-09), Agrop Nova a.s., 2009
- [4] Program NEPrůzvučnost 2005 - Svoboda Software
- [5] J. Vychytil: Písemná část státní doktorské zkoušky – Stanovení neprůzvučnosti konstrukcí ve zvláštních případech, 2009