

PRVOTNÍ ÚVAHY O MOŽNOSTECH VYUŽITÍ SKARTOVANÉHO KANCELÁŘSKÉHO PAPIRU VE STAVEBNICTVÍ

ČÁST 1: AKUSTICKÉ VLASTNOSTI

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D., Bc. Marie Hartlichová

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

1. Úvod

Evropské stavebnictví výrazněji směřuje k udržitelnému využívání přírodních zdrojů. Požadavek na udržitelnost zdrojů je uveden v nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh (tzv. „CPR“), kde je jeho definice následující: *Stavba musí být navržena a provedena takovým způsobem, aby bylo zajištěno udržitelné využití přírodních zdrojů a zejména opětovné využití nebo recyklovatelnost staveb, použitých materiálů a částí po zbourání; životnost staveb a použití surovin a druhotných materiálů šetrných k životnímu prostředí při stavbě.* Pro udržitelnou výstavbu jsou klíčové obnovitelné zdroje a aspekt menší spotřeby energie, který je spojen s výrobou ekologických stavebních materiálů. V této souvislosti stojí za povšimnutí recyklovaná papírová vlna v roli ekologického materiálu vyrobeného ze zdrojů dostupných v našem blízkém okolí. Příspěvek prezentuje poznatky o akustických vlastnostech papírové vlny, kterou lze snadno „vyrobit“ skartací použitým kancelářským papírem bez archivní hodnoty, tj. z neplatných norem, poznámek, tiskovin a dalších již nepoužitelných dokumentů.

2. Papírová vlna jako stavební výrobek

Použitý kancelářský papír bez archivní hodnoty obsahuje občas i citlivé interní informace, a tak není žádoucí, aby byl volně ukládán do nádob na tříděný odpad. V praxi se proto tento druh papíru v TZÚS Praha, s. p., pobočka Teplice, skartuje v automatických skartovačích, které umožňují skartaci dokumentů až do stupně utajení *Tajné* podélným a příčným mikrořezem, čímž vzniknou papírové proužky (vlna) s rozměrem cca 2 × 12 mm (**obr. 1**).



Obr. 1: Papírová vlna ze skartovaného kancelářského papíru

Z jednoho listu papíru A4 vznikne během jedné sekundy 2 400 náhodně orientovaných vláken. Takto vzniklou papírovou vlnu lze dlouhodobě ukládat do velkoobjemových vaků Big Bag. Výsledný produkt by se mohl stát stavebním výrobkem, který lze uvést na trh podle evropského dokumentu pro posuzování EAD 040138-01-1201 „In-situ formed loose fill thermal and/or acoustic insulation products made of vegetable fibres“, neboť naplňuje definici volně loženého izolačního produktu z rostlinných vláken bez pojiva pro ruční nebo mechanickou instalaci. Podle příslušného EAD, který představuje harmonizovanou technickou specifikaci k nařízení CPR, mohou těmito rostlinnými vlákny být tráva, len, konopí, juta, papír, **recyklovaný papír** nebo neupravené dřevní štěpky. Zamýšlené použití ve smyslu EAD spočívá v aplikaci do dutin střech, stěn a podlah ve formě volně sypané izolace pro ruční nebo mechanickou instalaci. Posouzení výsledného izolačního výrobku podle EAD je možné za podmínky, že papírová vlna bude použita v konstrukcích bez tlakového zatížení a bez kontaktu s vodou či zemí a také bez rizika kondenzace vlhkosti. Mezi základní vlastnosti papírové vlny uvedené v EAD 040138-00-1201 patří zvuková pohltivost a odpor proti proudění vzduchu, které souvisejí se **základním požadavkem na stavby č. 5 podle nařízení CPR – ochrana proti hluku.**

3. Odpor proti proudění vzduchu

Odpor proti proudění vzduchu porézních či mezerovitých materiálů je nepřímým vyjádřením některých vlastností jejich struktury. Vlastnost lze využít pro pochopení a matematické stanovení vztahu mezi strukturou a zvukovou pohltivostí. Pro popis stavebních materiálů se používá **měrný odpor proti proudění vzduchu** σ [$\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$] či reciproká veličina nazývaná **součinitel proudění vzduchu v materiálech** σ^{-1} [$\text{m}^3 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$]. Součinitel proudění vzduchu v materiálech představuje fyzikálně množství vzduchu v m^3 , které proteče za jednu sekundu plochou 1 m^2 porézního či mezerovitého materiálu tloušťky 1 m při rozdílu tlaků 1 Pa na obou stranách vzorku. Měření se provádí podle zkušební normy ČSN EN ISO 9053-1 Akustika – Určení odporu proti proudění vzduchu – Část 1: Metoda statického proudění vzduchu s využitím metody statického proudění vzduchu v režimu laminárního proudění. Principem zkoušky je měření poklesu tlaku mezi dvěma volnými čely vzorku (ve tvaru válce), zatímco je vzorek vystaven řízenému jednosměrnému proudění vzduchu (**obr. 2**). Použitý zdroj proudění vzduchu umožňuje jemné nastavení průtoku a zajišťuje stabilitu průtoku ve spodní části zkušební komory. Přitom zdroj proudění vzduchu současně poskytuje dostatečně nízké rychlosti proudění vzduchu tak, aby naměřené odpory proti proudění vzduchu byly na rychlosti proudění vzduchu nezávislé.



Obr. 2: Měření odporu proti proudění vzduchu podle ČSN EN ISO 9053-1

Odpor proti proudění vzduchu bývá označován jako AFR (zkratka z anglického výrazu „airflow resistance“) v kombinaci s uvedením dosaženého měrného odporu proti proudění vzduchu v $\text{kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$. V deklaracích výrobců izolačních materiálů se proto můžeme setkat s označením např. AFR 5, což znamená, že měrný odpor proti proudění vzduchu r konkrétního izolačního materiálu dosahuje $5 \text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$.

4. Zvuková pohltivost

Stanovení **činitelů zvukové pohltivosti** α_s se podle příslušného EAD provádí podle ČSN EN ISO 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti v rozsahu 100 až 5 000 Hz, zatímco **vážený činitel zvukové pohltivosti** α_w se určuje podle ČSN EN ISO 11654 Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti s využitím hodnot praktických činitelů zvukové pohltivosti α_p na frekvencích: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz a 4 000 Hz. Vážený činitel zvukové pohltivosti α_w lze podle ČSN EN ISO 11654 též klasifikovat, norma zavádí pět tříd E až A, přičemž nejlepší třídou je A. Alternativně lze použít slovní klasifikaci podle německé VDI 3755:2000-02, kde je zaveden slovní popis od „odrazivý“ až po „velmi vysoce pohltivý“.

V praxi se konstruují, které pohlcují zvuk, zvyšuje činitel pohltivosti stropu nebo stěn místností, což způsobuje pozitivní snížení hladiny akustického tlaku v poli odražených vln. Současně dochází k optimalizaci doby dozvuku ve vazbě na zvýšení celkové zvukové pohltivosti místností. Papírová vlna představuje materiál o vysoké mezerovitosti, kde kostru tvoří jednotlivá papírová vlákna, resp. drobné papírky o rozměrech $2 \times 12 \text{ mm}$. Mezery jsou vzájemně propojené a současně otevřené na povrchu. Podle teorie je tento druh absorbérů zvuku neúčinnější, pokud je mezerovitý materiál přítomen ve vzdálenosti alespoň jedné čtvrtiny vlnové délky zvuku od tvrdého povrchu, na kterém je položen. Účinnost je tedy dána tloušťkou aplikované vrstvy papírové vlny.

V malých tloušťkách je materiál účinný pouze při vysokých kmitočtech, kdy je vlnová délka malá. Pro funkci v roli absorbérů zvuku je však nutný otevřený kontakt povrchu materiálu s místností, což lze z hygienických a estetických důvodů řešit překrytím řídkou tkaninou, pletivem či perforovaným plechem s podmínkou alespoň 25% perforace celé plochy.

Během prvotních úvah o možném využití kancelářské papírové vlny byla ověřena zkouškou volně sypaná vrstva tloušťky 50 mm, u které byla kontrolně změřena objemová hmotnost $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Měření zvukové pohltivosti proběhlo v dozvukové komoře TZÚS, pobočka Teplice, s objemem přes 200 m^3 , která plně odpovídá požadavkům zkušební normy ČSN EN ISO 354. U vrstvy 50 mm byl dosažen vážený činitel zvukové pohltivosti $\alpha_w = 0,35$, což podle německého standardu VDI 3755:2000-02 odpovídá slovnímu popisu „pohltivý“. Následně byly v počítačovém programu ZORBA predikovány hodnoty zvukové pohltivosti α_w pro větší tloušťky vrstev papírové vlny s pomocí matematického modelu (Allard & Champoux), jež jsou shrnuty v **tabulce č. 1**.

Tab. 1: Změřené a predikované vážené činitele zvukové pohltivosti α_w papírové vlny $r = 80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Tloušťka [mm]	α_w [-]	Třída podle EN ISO 11654	Poznámka
50	0,35	D	měření podle EN ISO 354
100	0,60	C	predikce Allard & Champoux
150	0,80	B	predikce Allard & Champoux
250	0,95	A	predikce Allard & Champoux



Obr. 3: Měření zvukové pohltivosti papírové vlny v dozvukové komoře

5. Závěr

Na základě dosavadních zjištění lze konstatovat, že u zkoumaného skartovaného kancelářského papíru s volně sypanou objemovou hmotností $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ v tloušťkách vrstev 50 až 250 mm lze dosahovat dobrých hodnot váženého činitele zvukové pohltivosti α_w v rozmezí 0,35 až 0,95, což odpovídá slovnímu popisu „pohltivý“ až „velmi vysoce pohltivý“. Z hlediska akustických vlastností lze předběžně zkoumaný materiál přirovnat k minerální vlně s objemovou hmotností $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. V rozsahu základního požadavku na stavby č. 5 – ochrana proti hluku se tento specifický druh recyklátu zdá být perspektivní pro případné využití ve stavebnictví.