

Ing. Jan KRÁLÍČEK¹⁾
 doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.¹⁾
 Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.¹⁾
 Ing. Ladislav MIČKA²⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí
²⁾ Greif akustika, s.r.o.

Recenzent
 doc. Ing. Richard Nový, CSc.

Akustický absorbér pro omezení hlukové expozice

Acoustic Absorber for the Reduction of Noise Exposure

Článek se zabývá experimentálním ověřením vlastností akustického absorbérů, který se oproti standardním absorbérům umísťuje do přímého zvukového pole zdroje, což přináší níže popsané výhody. Cílem měření bylo ověřit účinek absorbérů na hlukovou expozici pracovníků v blízkém a vzdáleném poli zdroje hluku, stanovit jeho útlum hluku a určit typy zdrojů hluku, pro které je absorbér výhodný.

Klíčová slova: hluk, akustický absorbér, hluková expozice, pracoviště, útlum hluku

The article deals with experimental verification of properties of an acoustic absorber, which is, unlike standard absorbers, placed in a direct sound field of the source. This brings advantages described in the paper. The aim of the measurement was to verify the effect of the absorber on the noise exposure of workers present in the acoustic near and far fields of the source, to determine its noise attenuation and to identify the types of noise sources for which the absorber is suitable.

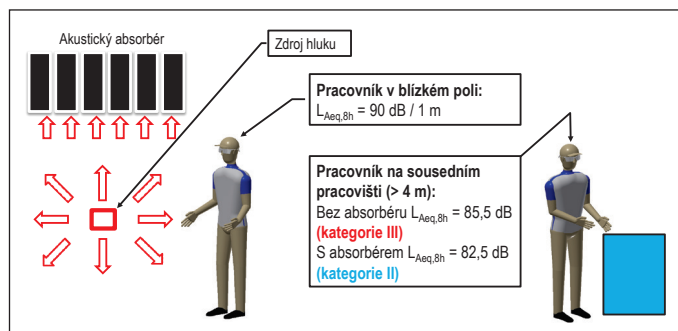
Keywords: noise, acoustic absorber, noise exposure, workplace, noise attenuation

ÚVOD

Akustický absorbér pohlcuje hluk v místě jeho vzniku a tím částečně omezuje jeho šíření na okolní pracoviště, kde následně dochází k poklesu hladiny akustického tlaku (hlukové expozice). Absorbér je založen na principu zvukové absorpce, která spočívá v útlumu zvuku v absorpčním materiálu přeměnou mechanické energie zvukových vln na teplo. Jedná se o stejný princip pohlcování zvuku, na kterém fungují konvenční absorpční obklady stěn a stropů nebo tlumiče hluku pro vzduchotechniku. Zatímco klasické absorpční obklady jsou umísťovány do pole odražených vln, akustický absorbér se umísťuje do pole přímých vln, co nejbližší zdroji hluku. Akustický absorbér využívá pro tlumení svoji pozici vůči zdroji a velký absorpční objem, koncentrovaný do jednoho tělesa. Oblast útlumu absorpce zvuku je zejména ve středních a vyšších frekvenčních pásmech.

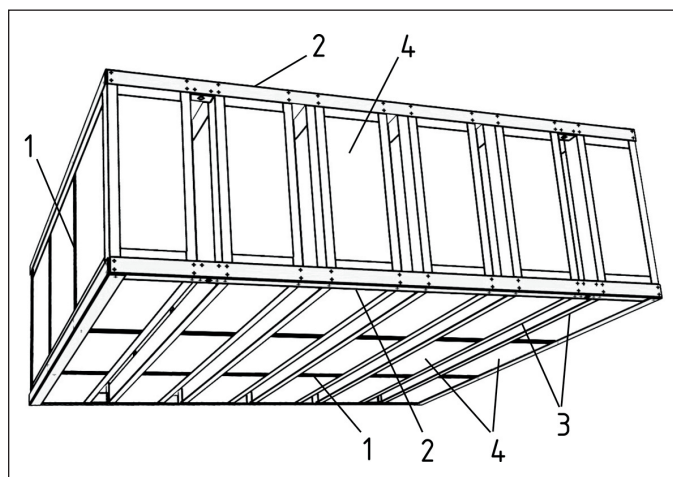
Naladění akustického absorbérů na střední kmitočty cílí s útlumem hluku na většinu strojního vybavení průmyslových hal a rovněž umožňují osazení do již akusticky obložených hal (efektivní tlumení absorbérů umístěných na stropěch či stěnách hal se pohybuje spíše ve vyšším frekvenčním pásmu). Akustický absorbér umístěný do přímého zvukového pole s masivní akustickou výplní tak útlumově doplňuje jejich spektrum, ve kterém dochází k útlumu hluku.

Akustický absorbér se umísťuje zpravidla nad zdroj hluku, nebo do míst, kde nepřekáží strojní výrobu. Podle výšky zdroje nad zemí a



Obr. 1 Funkce akustického absorbérů

Fig. 1 Acoustic absorber function

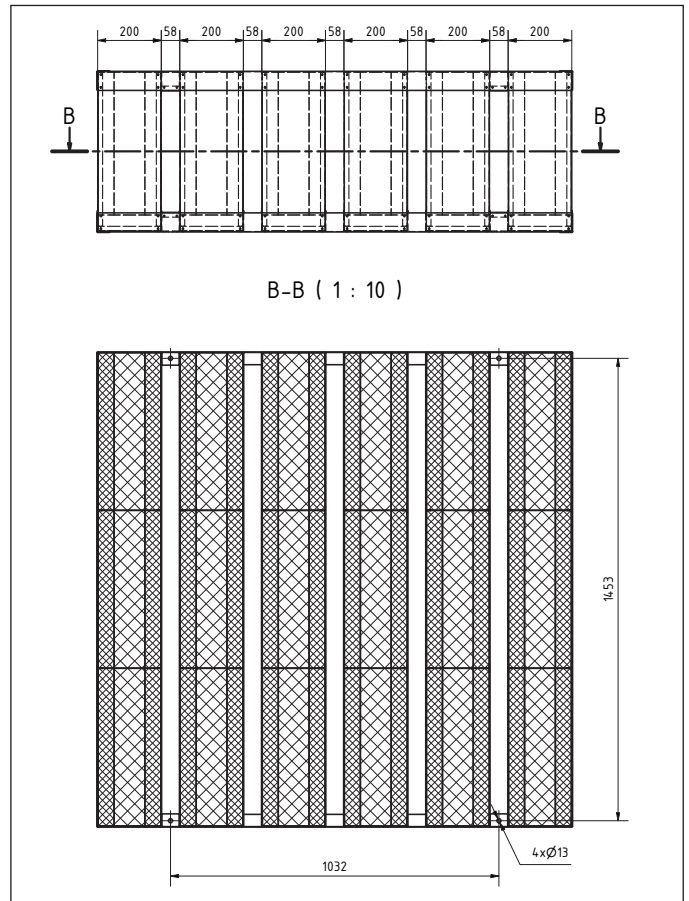


Obr. 2a Prostorové schéma akustického absorbérů: 1 – tlumicí vložky; 2 – rám absorbérů, 3 – rám tlumicích vložek; 4 – akustická výplň tvořená zvuk pohltivým materiálem

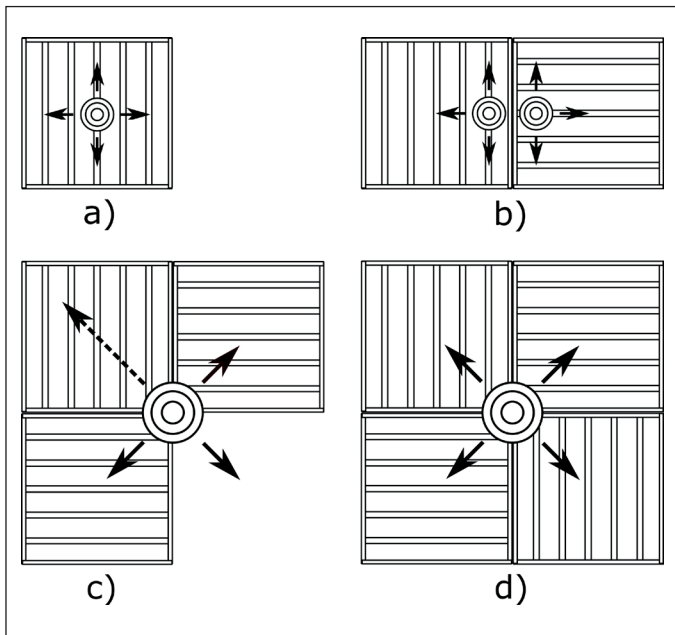
Fig. 2a Spatial scheme of the acoustic absorber: 1 – noise attenuating inserts; 2 – frame of the absorber, 3 – frame of the inserts; 4 – acoustic filling from a sound absorbing material

možného umístění je instalován jeden nebo více absorbérů (viz obr. 3). Záleží na dispozici a výši očekávaného účinku. Princip funkce akustického absorbérů je znázorněn na obr. 1. Uvedené hladiny hluku jsou ilustrativní.

Zkoumaný akustický absorbér čtvercového rozměru 1500 × 1500 mm je složen celkem z 6 tlumicích vložek, které připomínají kulíškové tlumiče hluku (obr. 2). Každá tlumicí vložka má rozměr 1500 × 500 × 200 mm, mezi vložkami je mezera 58 mm. Tlumicí vložky jsou vyplněny zvuk pohltivým materiálem typu minerální nebo skelné vaty, povrch vložek tvoří netkaná textilie. Boční a spodní stěny vložek jsou také zvuk pohltivé, vrchní rovina je zakryta plechem. Mezerami mezi vložkami může svisle vzhůru proudit přirozeně vzduch. Nedochází tak k ovlivnění tepelného pole nad zdrojem hluku. Absorbér je určen k zavěšení nad zdroj hluku do výšky max. 2,5 m nad podlahou.



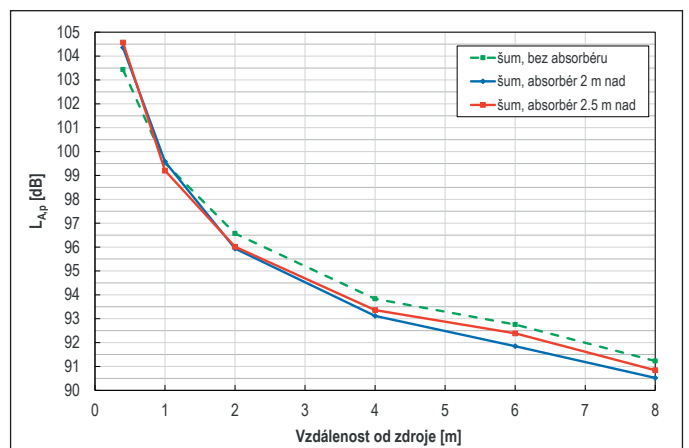
Obr. 2b Vlevo umístění absorberu ve výrobní hale, výška absorberu 2,5 m nad podlahou, všesměrový zdroj hluku; vpravo je část výkresové dokumentace, příčný pohled a horizontální řez
 Fig. 2b On the left is position of the absorber in the production hall, absorber at the height of 2.5 m above the floor, omnidirectional source of noise; on the right is part of the technical documentation, side view and horizontal cross-section



Obr. 3 Možné sestavy a uspořádání akustického absorberu vůči zdroji hluku (půdorys): kruhové značky charakterizují dominantní zdroj hluku na stroji, např. motor; čárkovaná šipka ukazuje směr chráněného pracoviště
 Fig. 3 Possible assemblies and arrangements of the acoustic absorber in relation to the source of noise (ground plan): circular marks indicate the dominant source of noise on the machine, e.g. an engine; dashed arrow indicates the direction of the protected space

MĚŘENÍ ÚČINKU AKUSTICKÉHO ABSORBÉRU

Sledování účinku akustického absorberu bylo realizováno experimentálně v různých typech místností (viz dále). Uspořádání absorberu a



Obr. 4 Závislost hladiny akustického tlaku A na vzdálenosti od zdroje hluku, změřeno ve výrobní hale (všesměrová koule s růžovým šumem), střed koule ve výšce 1,2 m nad podlahou, pro výšky absorberu 2,0 m (0,6 m nad povrchem zdroje), 2,5 m (1,1 m nad povrchem zdroje) a bez absorberu
 Fig. 4 Dependence of the sound pressure level A on the distances from the source of noise; measured in the production hall (omnidirectional sphere ball speaker with pink noise), the centre of the sphere at the height of 1.2 m above the floor, with absorber at the heights of 2.0 m (0.6 m above the surface of the source), 2.5 m (1.1 m above the surface of the source) and without absorber

zdroje hluku bylo vždy podle obr. 3a. Výsledky útlumu hluku absorbéru byly získány na základě měření vložného útlumu, tj. na základě rozdílu hladin akustického tlaku bez absorbéru a s instalovaným absorbérem nad zdrojem zvuku měřeným v třetinooktávném spektru zvuku 20 Hz až 20 kHz. Výsledný útlum absorbéru představuje vždy průměrnou hodnotu několika měření. Zdroj zvuku (viz níže) byl vždy umístěn ve výšce 1,2 m nad podlahou (střed všesměrové koule). Absorbér byl umísťován do 4 úrovní nad podlahou: 1,6 m, 1,8 m, 2,0 m a 2,5 m. Měření akustického tlaku bylo realizováno vždy ve výšce 1,5 m nad podlahou daného prostoru.

Zdroj hluku

Jako zdroj hluku byl použit normalizovaný zdroj – všesměrová koule o průměru 400 mm generující růžový šum. Na obr. 4 jsou znázorněny průběhy celkové hladiny akustického tlaku A v závislosti na vzdálenosti od zdroje hluku, zjištěné ve výrobní hale, viz tab. 1 ozn. a). Všesměrová koule má rovnoměrně generované spektrum akustického výkonu, v čase ustálené a pro měření se jeví jako vhodný zdroj hluku.

Vybrané prostory

Měření účinku akustického absorbéru bylo realizováno v následujících prostorách.

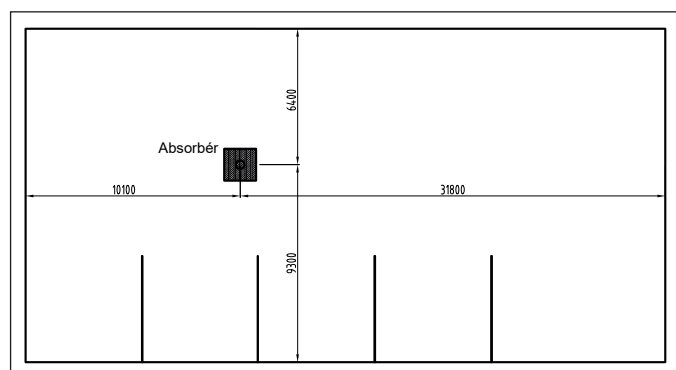
Tab. 1 Rozměry zkoumaných prostorů

Tab. 1 Dimensions of the examined spaces

Prostor	Půdorysné rozměry [m]	Výška [m]	Plocha [m ²]	Objem [m ³]
a) Výrobní hala	15,6 × 41,9	7,2	615	4 419
b) Halová laboratoř 1. NP	11,6 × 26,7	3	310	929
c) Halová laboratoř 2. NP	11,6 × 26,7	4,5	310	1 394
d) Velká průmyslová hala	52,3 × 39,1	7,5	2045	15 337
e) Učebna	11,6 × 4,4	4,5	51	230
f) Kancelář	6 × 4,8	3,3	28,8	95

a) Výrobní hala

Pilotní měření útlumu bylo realizováno ve výrobní hale společnosti Greif-akustika, s.r.o. v Uhlířských Janovicích. Parametry haly jsou uvedeny v tab. 1. Na obr. 5 je znázorněno schéma uspořádání měření ve výrobní hale, na obr. 6 jsou fotografie z měření. V hale bylo měřeno blízké zvukové pole zdroje ve vzdálenostech 0,4 m, 1 m, 2 m, 4 m, 6 m a 8 m od zdroje, pro polohy absorbéru v úrovni 2,0 a 2,5 m nad podlahou. Dále bylo realizováno měření se zástěnou (OSB desky, 1,25 × 2,5 m, tl. 15 mm) na 2 stranách absorbéru (obr. 6b) ve vzdálenostech 0,4 m, 1 m, 2 m, 4 m, 6 m a 8 m od zástěny pro polohu absorbéru v úrovni 2,5 m nad podlahou.



Obr. 5 Schéma měření ve výrobní hale

Fig. 5 Schematic diagram of the measurement in the production hall



Obr. 6a Uspořádání měření ve výrobní hale bez absorbéru s volným prostorem kolem zdroje hluku

Fig. 6a Measurement setup in the production hall without absorber, with free space around the source of noise



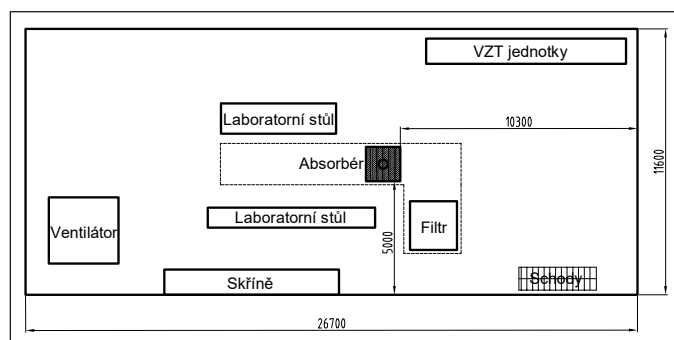
Obr. 6b Uspořádání měření ve výrobní hale s absorbérem a zástěnou

Fig. 6b Measurement setup in the production hall with absorber and screen

Umístění dvou odrazivých ploch v podobě OSB desek simuluje umístění zdroje hluku na stroji (např. tvářecí lis, u něhož vzniká hluk v pracovním prostoru a který je obklopen odrazivými plochami). Podlaha haly je betonová, obvodové stěny jsou z betonu, částečně prosklené, stejně tak strop (odrazivé povrchy). Hala je vybavená nářadím, pracovními stoly, menšími skříněmi, předělovacími příčkami oddělujícími jednotlivá pracoviště. Z haly byly odstraněny balíky minerální izolace a zvuk pohltivé předměty (výrobky – tlumiče hluku), aby nezvyšovaly svojí přítomností zvukovou pohltivost prostoru. Měření probíhalo v nočních hodinách, bez výroby a v době, kdy poklesl hluk pozadí na přilehlých komunikacích.

b) Halová laboratoř 1. NP

Uspořádání měření v halových laboratořích je znázorněno na obr. 7. Parametry haly jsou uvedeny v tab. 1. Z fotografie na obr. 8 je patrné umístění absorbéru a zdroje hluku. V 1. NP laboratoři bylo měřeno blízké zvukové



Obr. 7 Schéma měření v halové laboratoři 1. NP

Fig. 7 Schematic diagram of the measurement in the hall laboratory 1st Floor



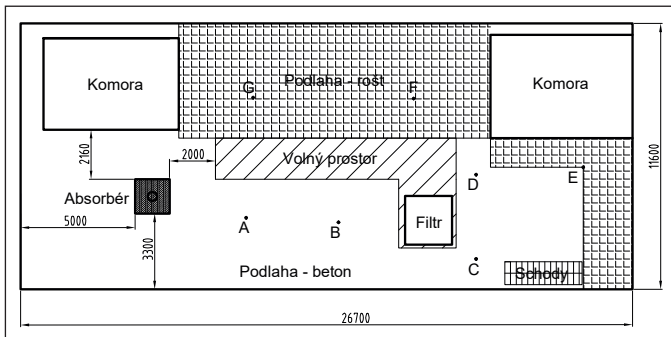
Obr. 8 Uspořádání měření v halové laboratoři 1. NP
Fig. 8 Measurement setup in the hall laboratory 1st Floor

pole zdroje. V prostoru haly se nachází otevřený prostor do vyššího patra. V tomto otvoru mezi podestami byl akustický absorbér umístěn (obr. 8). Podlaha laboratoře je betonová – odrazivý povrch. V hale je umístěno strojní zařízení jako ventilátory, filtrační zařízení, vzduchotechnické jednotky, vzduchovody apod., dále běžné vybavení jako stoly a skříně.

c) Halová laboratoř 2. NP

Uspořádání měření v 2. NP halových laboratořích je znázorněno na obr. 9, parametry haly jsou uvedeny v tab. 1. Z fotografie na obr. 10 je patrné umístění absorbéru a zdroje hluku.

V 2. NP laboratořích bylo měřeno vzdálené hlukové pole zdroje ve vybraných bodech A až G rozmístěných po prostoru haly. Místnost je vybavena regály s potrubím, měřicími komorami a laboratorním vybavením. Uprostřed haly se nachází otevřený prostor do spodního patra. Vzdá-



Obr. 9 Schéma měření v halové laboratoři 2. NP (ověření účinku v tvarově složitějším prostoru)
Fig. 9 Schematic diagram of the measurement in the hall laboratory 2nd floor (verification of the function in a more complex environment)

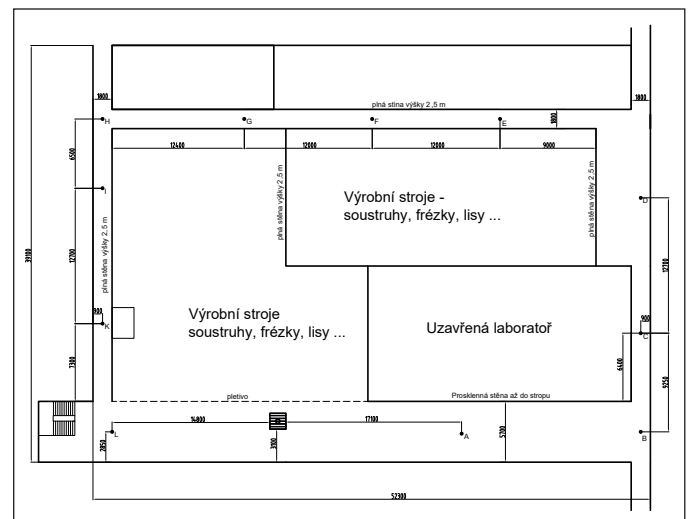


Obr. 10 Uspořádání měření v halové laboratoři 2. NP
Fig. 10 Measurement setup in the hall laboratory 2nd Floor

lenost měřících bodů od zdroje hluku činí A: 4 m, B: 8 m, C a D: 14 m, E: 19 m, F: 12 m, G: 6 m.

d) Velká průmyslová hala

Další měření byla realizována ve velké průmyslové hale. Schéma haly je znázorněno na obr. 11, parametry haly jsou uvedeny v tab. 1. Z fotografie na obr. 12 je patrné umístění absorbéru a zdroje hluku. V prostoru haly se nachází strojní zařízení – soustruhy, frézky, lisy, zkušební zařízení apod. V hale jsou samostatně uzavřené technologické prostory, které jsou vzájemně odděleny stěnami nebo prosklenými přičkami. Podlaha haly je betonová. V prostoru haly bylo měřeno vzdálené hlukové pole zdroje, ve vybraných bodech A až G rozmístěných po prostoru haly, viz obr. 11. Vzdálenost měřících bodů od zdroje hluku činí A: 17,1 m, B: 33,9 m, C: 35 m, D: 39,7 m, E: 35 m, F: 29,5 m, G: 28,6 m, H: 32,9 m, I: 27,5 m a K: 15,8 m.



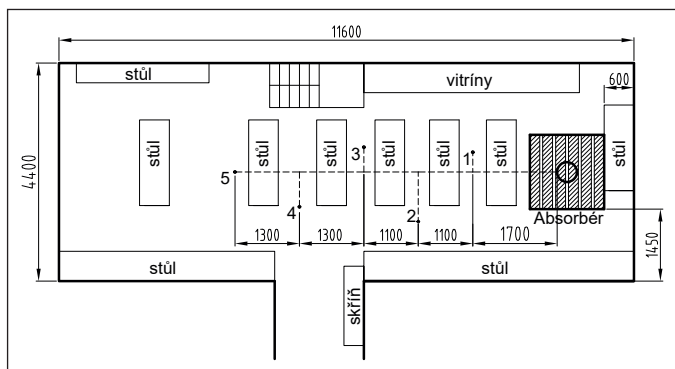
Obr. 11 Schéma měření ve velké průmyslové hale
Fig. 11 Schematic diagram of the measurement in the large industrial hall



Obr. 12 Uspořádání měření ve velké průmyslové hale
Fig. 12 Measurement setup in the large industrial hall

e) Učebna

Schéma učebny je znázorněno na obr. 13, parametry učebny jsou uvedeny v tab. 1. Z fotografie na obr. 14 je patrné umístění absorbéru a zdroje hluku během měření. Měřicí body (1 až 5) byly v prostoru učebny rovnoměrně rozmístěny. V učebně se nachází školní lavice, skříně a výukové předměty. Podlaha místnosti je z dlažby.



Obr. 13 Schéma měření v učebně

Fig. 13 Schematic diagram of the measurement in the classroom



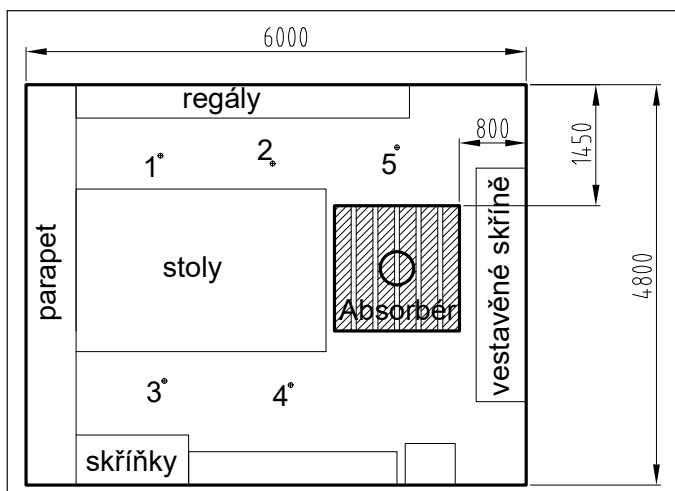
Obr. 14 Uspořádání měření v učebně

Fig. 14 Measurement setup in the classroom

f) Kancelář

Schéma kanceláře je znázorněno na obr. 15, parametry učebny jsou uvedeny v tab. 1. Z fotografie na obr. 16 je patrné umístění absorberu a zdroje hluku během měření.

V místnosti se nachází kancelářské stoly s polstrovanými židlemi, regály, skříně, monitory a kancelářská technika. Podlahu místnosti tvoří kancelářský koberec. Nad parapetem je celoprosklená fasáda. Měření bylo realizováno v pěti bodech (1 až 5), které reprezentují jednotlivá pracoviště v kanceláři. Vzdálenost měřících bodů od zdroje hluku činí: 1: 2,9 m, 2: 1,8 m, 3: 2,9 m, 4: 1,8 m a 5: 1,3 m.



Obr. 15 Schéma měření v kanceláři

Fig. 15 Schematic diagram of the measurement in the office

Způsoby měření

Výsledné vyhodnocení útlumu akustického absorberu, resp. vložného útlumu, probíhalo pro čtyři základní způsoby měření:

1. Blízké akustické pole kolem absorberu – prostory a), b), d)

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku probíhalo ve 2 až 4 měřících bodech. Měření probíhalo pouze ve velkých halách – prostory a), b), d). Měření hluku v blízkosti zdroje i pod absorberem má za úkol zjistit možné navýšení hluku vlivem odrazu od absorberu přímo do míst, kde je umístěn zdroj hluku (případně pracoviště). Prostor kolem zdroje hluku je otevřený bez zástěn nebo zábran.

2. Blízké akustické pole kolem absorberu za zástěnou – prostor a)

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku probíhalo ve 2 měřících bodech za akustickou zástěnou, která obklopovala zdroj ze 2 stran do výše 2,5 m nad podlahou. Poloha absorberu byla v úrovni 2,5 m nad podlahou (obr. 6). Měření probíhalo pouze ve velké hale – prostor a).

3. Vzdálené akustické pole zdroje – prostory c), d)

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku probíhalo v bodech rovnoměrně rozmístěných v prostoru ve velkých halách s podlahovou plochou



Obr. 16 Uspořádání měření v kanceláři

Fig. 16 Measurement setup in the office

310 m² a 2045 m² – prostory c) a d). V těchto prostorách je vliv absorbéru na dobu dozvuku haly zcela zanedbatelný. Měření se zjišťuje schopnost útlumu absorbéru ve vzdálených bodech. Mezi měřicím bodem a zdrojem hluku byla často překážka.

4. Akustické pole v malých prostorech – prostory e), f)

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku probíhalo v bodech rovnoměrně rozmístěných v prostoru – prostory e), f). Měření bylo realizováno za účelem zjištění schopnosti útlumu absorbéru v malých místnostech s plochou do cca 50 m². V takto odrazivém prostředí může absorbér svoji plochou a objemem mírně ovlivnit dobu dozvuku.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

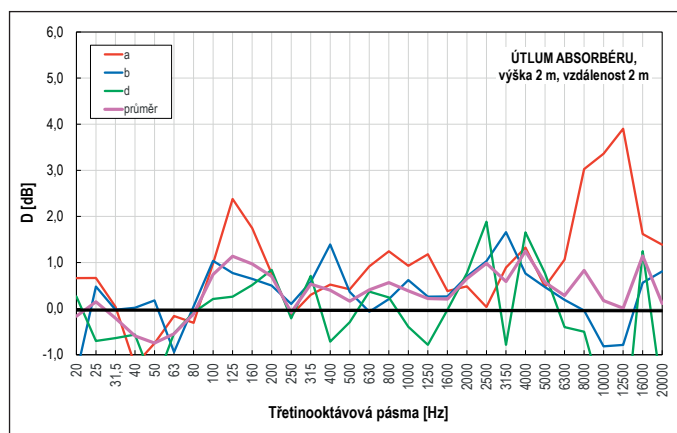
Z důvodu omezeného rozsahu příspěvku jsou v článku uvedeny pouze vybrané – reprezentativní výsledky v grafické podobě. Hodnoty útlumů prezentované v následujících grafech byly stanoveny jako rozdíly průměrných naměřených hladin akustického tlaku v příslušné vzdálenosti od zdroje bez absorbéru a s absorbérem. Tlustá čára na nulové hodnotě útlumu *D* znázorňuje rozhraní, kdy absorbér zvuk tlumí (kladné hodnoty *D*) a kde zvuk odrazem zesiluje (záporné hodnoty *D*).

**1. a 2. Blízké akustické pole kolem absorbéru
Prostory a), b), d)**

Na obr. 17 je znázorněno vyhodnocení výsledků naměřeného útlumu absorbéru pro 3 zkoumané místnosti: a) výrobní hala, b) halová laboratoř, d) velká průmyslová hala společně s průměrnou hodnotou útlumu. Graf zobrazuje výsledky pro polohu absorbéru ve výšce 2 m nad podlahou a vzdálenost měřicího místa 2 m od zdroje. Průměrné hodnoty útlumu absorbéru pro všechny vzdálenosti měřicího místa od zdroje jsou znázorněny na obr. 18.

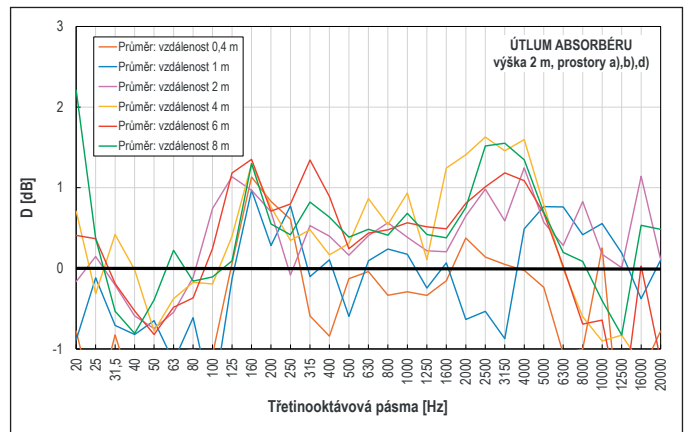
Na obr. 19 je znázorněno vyhodnocení útlumu absorbéru umístěného 2,5 m nad podlahou (1,1 m nad povrchem zdroje), ve vzdálenosti 4 m od zdroje hluku v prostorách a), b), d). Měření ve výrobní hale a) bylo následující: a – bez zástěny, a* – měření s instalovanou zástěnou z otevřené strany tak, že měřicí body nejsou stíněny zástěnou, a* za zástěnou – měřicí body jsou stíněné zástěnou (vzdálenost měřicího místa je měřena od zástěny). Průměrné hodnoty útlumu absorbéru pro všechny vzdálenosti měřicího místa od zdroje jsou znázorněny na obr. 20. Do průměrné hodnoty jsou započítána pouze data z měření a, b, d (měření se zástěnou a* do průměru není započítáno).

Z naměřených hodnot v blízkém zvukovém poli od absorbéru (do cca 4 m) je útlum hluku velmi malý (do 1 dB). Na některých frekvencích se projevuje



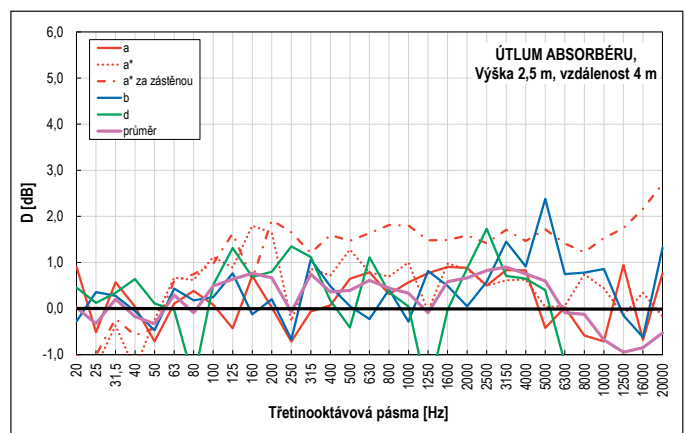
Obr. 17 Vyhodnocení útlumu akustického absorbéru v blízkém poli kolem absorbéru ve vzdálenosti 2,0 m od zdroje hluku, poloha absorbéru ve výšce 2 m (0,6 m nad povrchem zdroje)

Fig. 17 Evaluation of the acoustic absorber attenuation in the acoustic near field around the absorber at the distance of 2.0 m from the noise source; with the absorber positioned at the height of 2 m (0.6 m above the surface of the source)



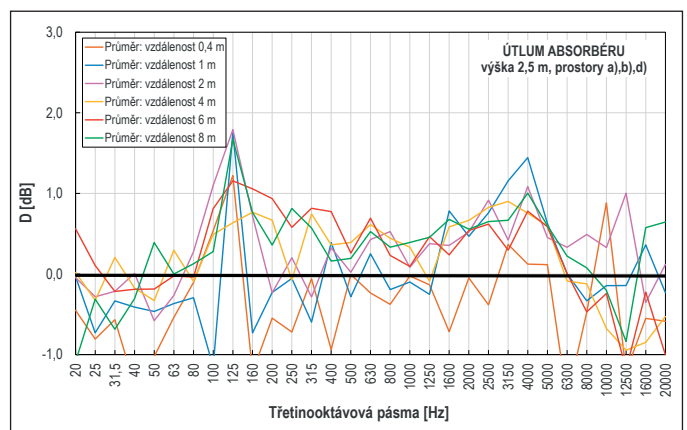
Obr. 18 Průměrný útlum akustického absorbéru pro blízké akustické pole v prostorách a), b), d), poloha absorbéru ve výšce 2 m (0,6 m nad povrchem zdroje)

Fig. 18 Average attenuations of the acoustic absorber for the acoustic near field in the spaces a), b), d); with the absorber positioned at the height of 2 m (0.6 m above the surface of the source)



Obr. 19 Příklad vyhodnocení útlumu akustického absorbéru v blízkém poli kolem absorbéru ve vzdálenosti 4 m od zdroje hluku, poloha absorbéru ve výšce 2,5 m (1,1 m nad povrchem zdroje)

Fig. 19 Example of an evaluation of the acoustic absorber attenuation in the acoustic near field around the absorber at the distance of 4 m from the noise source; with the absorber positioned at the height of 2.5 m (1.1 m above the surface of the source)



Obr. 20 Průměrný útlum akustického absorbéru pro blízké akustické pole v prostorách a), b), d) poloha absorbéru ve výšce 2,5 m (1,1 m nad povrchem zdroje)

Fig. 20 Average attenuation of the acoustic absorber for the acoustic near field in the spaces a), b), d); with the absorber positioned at the height of 2.5 m (1.1 m above the surface of the source)

i odraz od vlastního absorbéru (na frekvencích do 80 Hz a nad 6300 Hz). Je tedy zřejmé, že absorbér umístěný nad běžným zdrojem hluku nepřinese snížení hluku v jeho blízkosti. Např. hluková expozice pracovníka obsluhujícího takto zatlučený stroj nezaznamená prakticky žádnou změnu.

3. Vzdálené akustické pole zdroje

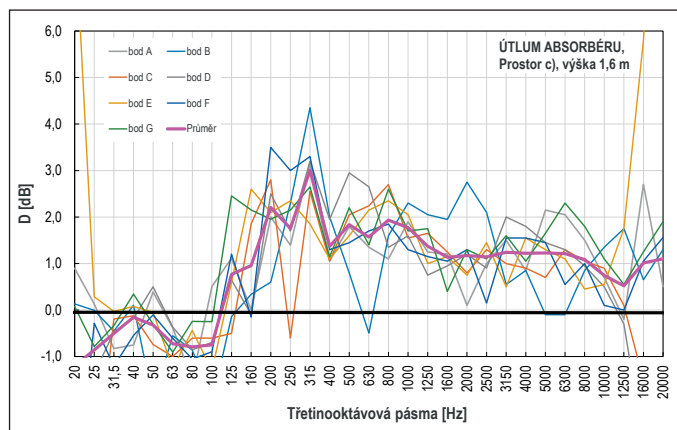
Prostor c) – halová laboratoř 2. NP

Na obr. 21 jsou uvedeny výsledky útlumu hluku D [dB] v třetinooktávovém pásmu pro umístění absorbéru 1,6 m nad podlahou (0,2 m nad povrchem zdroje hluku). Zaznamenány jsou průběhy v jednotlivých měřicích bodech A až G a jejich průměrná hodnota. Obdobně byly vyhodnoceny i výsledky pro zbylé 3 měřené polohy absorbéru, tj. 1,8 m, 2,0 m a 2,5 m nad podlahou. Průměrné hodnoty útlumu absorbéru v halové laboratoři jsou znázorněny na obr. 22.

Prostor d) – velká průmyslová hala

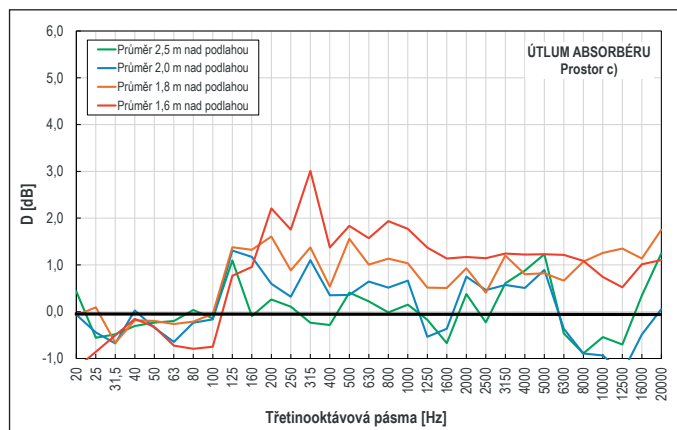
Obdobně jako v předchozím případě jsou na obr. 23 a obr. 24 zobrazeny výsledky útlumu hluku pro umístění absorbéru 1,6 m nad podlahou (body A až K), resp. průměrné hodnoty útlumu pro všechny zkoumané výšky v prostoru průmyslové haly d).

Z naměřených hodnot ve vzdálenějším zvukovém poli je zřejmé, že se zde již projevuje účinek absorbéru (cca od 125 Hz výše). Absorbér pohlcuje zvuk v místě jeho vzniku a brání jeho šíření na další pracoviště. Výše útlumu se pohybuje od cca 1 do 3 dB. Tento efekt má pozitivní vliv na pokles hlukové expozice na vzdálenějších pracovištích.



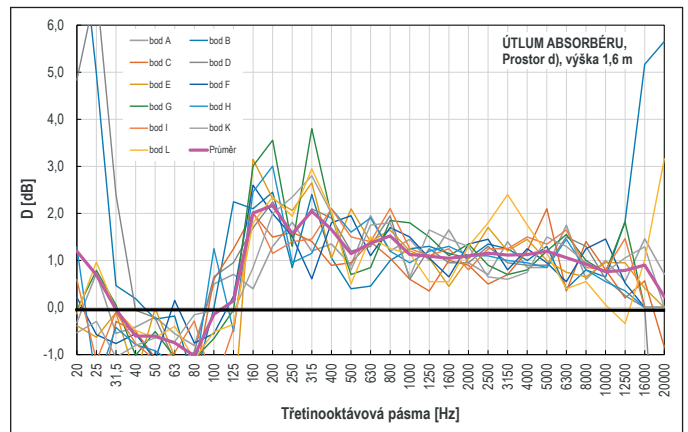
Obr. 21 Útlum akustického absorbéru v prostoru c) pro výšku absorbéru 1,6 m nad podlahou

Fig. 21 Attenuation of the acoustic absorber in the space c) for the absorber at the height of 1.6 m above the floor



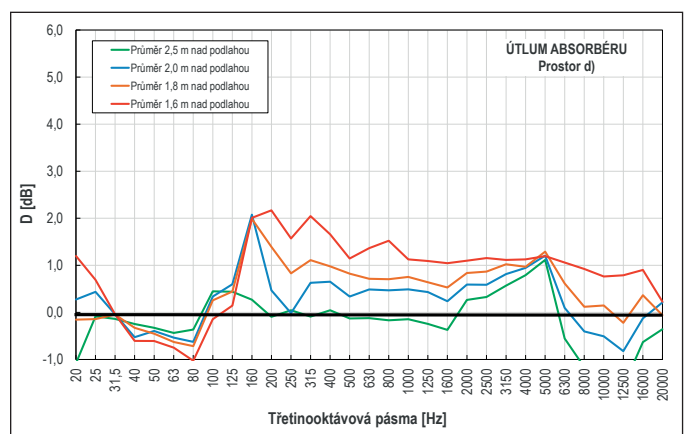
Obr. 22 Průměrný útlum akustického absorbéru v prostoru c) pro variantní umístění nad zdrojem hluku

Fig. 22 Average attenuations of the acoustic absorber in space c) for various placements above the source of noise



Obr. 23 Útlum akustického absorbéru v prostoru d) pro výšku absorbéru 1,6 m nad podlahou

Fig. 23 Attenuation of the acoustic absorber in the space d) for the absorber at the height of 1.6 m above the floor



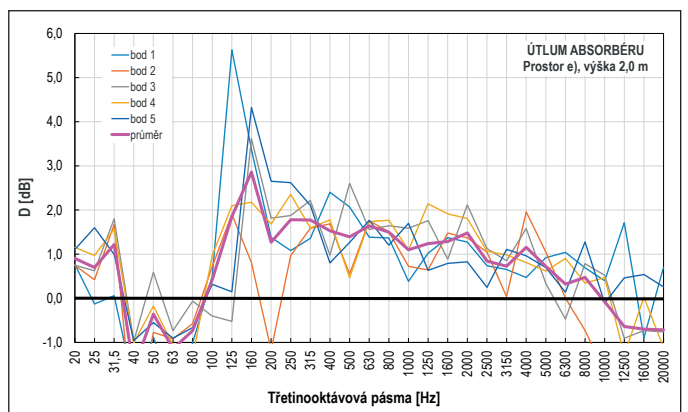
Obr. 24 Průměrný útlum akustického absorbéru v prostoru d) pro variantní umístění nad zdrojem hluku

Fig. 24 Average attenuations of the acoustic absorber in space d) for various placements above the source of noise

4. Akustické pole v malých prostorách

Prostor e) – učebna

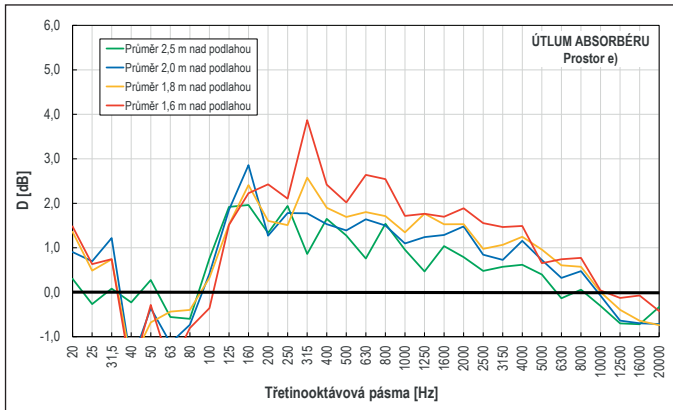
Na obr. 25 jsou uvedeny výsledky útlumu hluku D [dB] v třetinooktávovém pásmu pro umístění absorbéru 2,0 m nad podlahou (0,6 m nad povrchem zdroje hluku). Zaznamenány jsou průběhy v jednotlivých mě-



Obr. 25 Útlum akustického absorbéru v prostoru e) pro výšku absorbéru 2,0 m nad podlahou

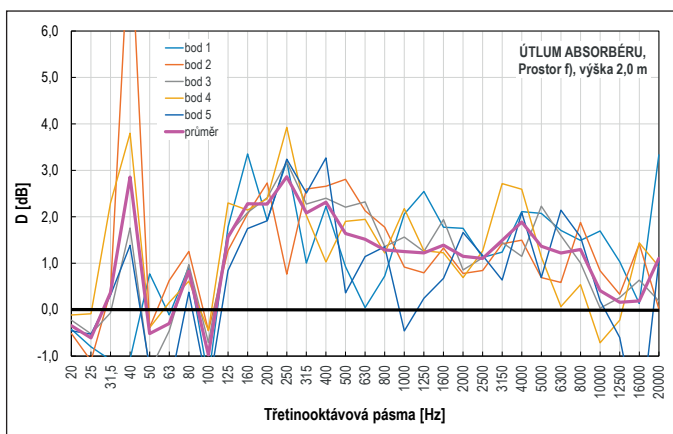
Fig. 25 Attenuation of the acoustic absorber in the space e) for the absorber at the height of 2.0 m above the floor

řících bodech 1 až 5 a jejich průměrná hodnota. Obdobně byly vyhodnoceny i výsledky pro zbylé 3 měřené polohy absorbérů, tj. 1,6 m, 2,0 m a 2,5 m nad podlahou. Průměrné hodnoty útlumu absorbérů v učebně jsou znázorněny na obr. 26.



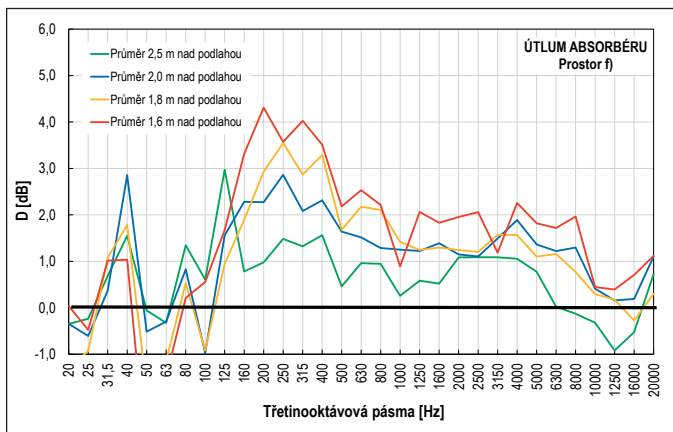
Obr. 26 Průměrný útlum akustického absorbérů v prostoru e) pro variantní umístění nad zdrojem hluku

Fig. 26 Average attenuations of the acoustic absorber in space e) for various placements above the source of noise



Obr. 27 Útlum akustického absorbérů v prostoru f) pro výšku absorbérů 2,0 m nad podlahou

Fig. 27 Attenuation of the acoustic absorber in the space f) for the absorber at the height of 2.0 m above the floor



Obr. 28 Průměrný útlum akustického absorbérů v prostoru f) pro variantní umístění nad zdrojem hluku

Fig. 28 Average attenuations of the acoustic absorber in space f) for various placements above the source of noise

Prostor f) – kancelář

Obdobně jako v předchozím případě jsou na obr. 27 a obr. 28 zobrazeny výsledky útlumu hluku pro umístění absorbérů 2,0 m nad podlahou (body 1 až 5), resp. průměrné hodnoty útlumu pro všechny zkoumané výšky v prostoru kanceláře.

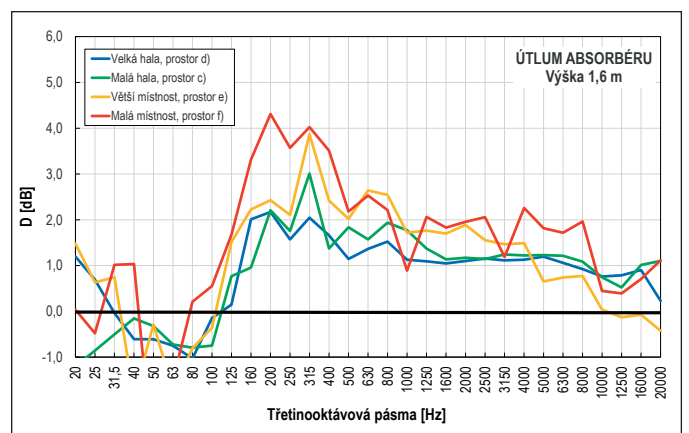
Z naměřených hodnot pro malé prostory je patrný vyšší útlum hluku absorbérů, než je dosahováno ve velkých halách. To je způsobeno tím, že objem akustické hmoty absorbérů již významným způsobem modifikuje dobu dozvuku takto malého prostoru. Dochází k pohlcování zvuku i v poli odražených vln. Útlum hluku absorbérů tak dosahuje až 4 dB.

ZOBECNĚNÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

Na obr. 29 a obr. 30 je znázorněno porovnání průměrných útlumů akustického absorbérů pro výšky 1,6 m, resp. 2,5 m nad podlahou.

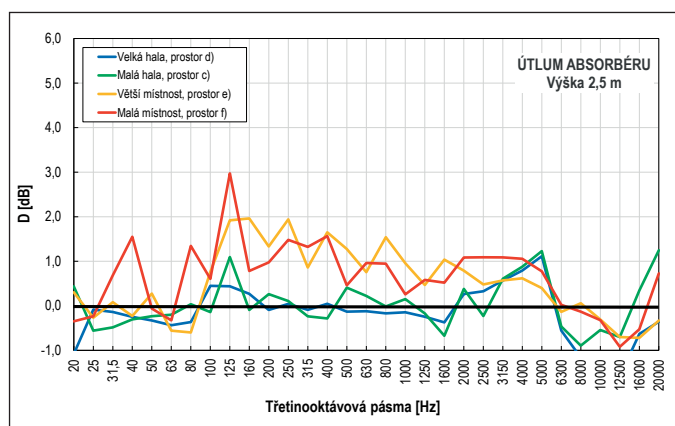
Z prezentovaných výsledků lze vyvodit dílčí závěry. Pro haly s rozlohou nad 300 m² bude spektrální útlum absorbérů instalovaného ve výšce 1,6 až 1,8 m nad podlahou (tj. 0,2 až 0,4 m nad povrchem zdroje hluku) v rozsahu 0,5 až 2,0 dB, pro instalace ve výšce od 2,0 m do 2,5 m (0,6 m a 1,1 m nad povrchem zdroje hluku) vykazuje absorbér útlum do 1 dB. Zároveň ale absorbér zhoršuje hlukovou expozici vlivem odrazu ve spodních frekvencích pod 100 Hz do 1,0 dB pro výšky 1,6 až 1,8 m; pro větší výšky 2,0 až 2,5 m je zhoršení do 0,5 dB.

Pro místnosti s plochou do 50 m² s absorbérů instalovaným 1,6 m nad podlahou činí útlum hluku 2 až 4 dB v pásmu 125 až 1000 Hz, od 1000 Hz je útlum do 2 dB. Pro větší instalační výšky 1,8 a 2,0 m je útlum absorbérů 1,5 až 3 dB v pásmu 125 až 1000 Hz, v úrovni od 1000 Hz je útlum do 1,5 dB. Pro výšku 2,5 m se útlum absorbérů omezuje na 1 až 2 dB. Pro nízké frekvence opět dochází ke zhoršení podmínek, konkrétně v pásmu pod 100 Hz pro výšky 1,6 až 2,0 m do 1 dB, pro výšku 2,5 m do 0,5 dB. V blízkosti zdroje hluku, přímo pod absorbérů je vliv odrazu od absorbérů patrný také pro nižší frekvence, kde pro pásmo pod 100 Hz dochází při instalaci ve výšce 2,0 m k navýšení hluku v úrovni 1 až 2 dB, pro vyšší frekvence dochází pouze k útlumu v pásmu 125 až 250 Hz, jinak lze konstatovat, že se absorbér chová neutrálně, nebo zhoršuje hlukovou situaci do 1 dB. Pro větší instalační výšku 2,5 m je zhoršení hluku u zdroje vlivem odrazu patrné v pásmu pod 80 Hz do 1 dB, pro vyšší frekvence se útlum vytvořený absorbérů u zdroje téměř neprojevuje, spíše dochází ke zhoršení hlukové expozice do 0,5 dB.



Obr. 29 Porovnání průměrného útlumu akustického absorbérů pro 4 typy prostorů dle plochy a objemu v poli odražených vln, výška absorbérů nad podlahou 1,6 m (0,2 m nad povrchem zdroje)

Fig. 29 Comparison of the average attenuation of the acoustic absorber for 4 types of spaces according to the area and volume in the reflected wave field; with the absorber at the height 1.6 m above the floor (0.2 m above the surface of the source)



Obr. 30 Porovnání průměrného útlumu akustického absorberu pro 4 typy prostorů dle plochy a objemu v poli odražených vln, výška absorberu nad podlahou 2,5 m (1,1 m nad povrchem zdroje)

Fig. 30 Comparison of the average attenuation of the acoustic absorber for 4 types of spaces according to the area and volume in the reflected wave field; with the absorber at the height 2.5 m above the floor (1.1 m above the surface of the source)

Na akustické expozici pracovníků ve vzdáleném poli se bude významnou měrou podílet přímá vlna šířící se k posluchači přímou cestou, nebo vlna odražená od stěn. Prezentovaný akustický absorber omezuje pouze vlny, které se šíří svisle vzhůru, a to tak, že je částečně tlumí. Na celkovou akustickou situaci v prostoru bude mít vliv nejen velikost a pohltivost prostoru, ale také jeho vybavenost. Z tohoto vyplývá, že zvýšení tlumicí schopnosti je možné dosáhnout zvětšením pohltivosti, ale zejména zvětšením plochy absorberu.

ZÁVĚR

Na základě experimentálních analýz byla ověřena schopnost akustického absorberu tlumit zvuk. V rozlehlých halách pro umístění absorberu ve výšce do 2,0 m nad podlahou je útlum hluku do 2 dB, pro výšku 2,5 m je útlum do 1 dB. Pro menší prostory a umístění ve výšce do 2,0 m je útlum absorberu v úrovni 2 až 4 dB, pro výšku 2,5 m je útlum do 2 dB. K útlumu dochází zejména pro frekvence nad 100 Hz, v nižších pásmech dochází ke zhoršení hlukových parametrů vlivem odrazu od absorberu.

Útlum vlivem přítomnosti absorberu nad pracovištěm se zdrojem hluku závisí jednak na velikosti dané místnosti, vybavení místnosti, velikosti absorberu a na výšce umístění absorberu nad podlahou, resp. nad zdrojem hluku.

Z provedených měření pro jednotlivé situace je možné formulovat tyto závěry:

Akustický absorber umístěný přímo nad zdroj hluku omezuje část akustické energie vyzářené ve směru absorberu. To se projevuje poklesem hluku na vzdálenějších pracovištích, kde se sčítají akustické vlny přicházející do sledovaného místa přímo a tlumeným odrazem od stěn.

V blízkém zvukovém poli (pod absorberem) dochází k mírnému nárůstu hluku vlivem odrazu od absorberu (ve frekvenčním pásmu do cca 80 Hz). S ohledem na vysoké korekce „A“ na nižších kmitočtech se to na hlukové expozici pracovníka stojícího přímo u zdroje téměř neprojevuje. Výška absorberu nad zdrojem hluku má vliv na výši útlumu. Čím blíže je absorber vůči zdroji umístěn, tím pohltí větší část akustické energie. Přímá akustická vlna, šířená mimo profil absorberu, není tlumena.

U menších prostor má absorber vliv i na celkovou dobu dozvuku prostoru, což se projevuje zvýšeným útlumem hluku v prostoru. Obdobného

účinku lze dosáhnout i u větších hal, avšak v prostoru by muselo být úměrně více akustických absorberů (např. nad všemi hlučnými stroji).

Maximální účinek absorberu se pohybuje ve frekvenčním pásmu cca 125 až 500 Hz, což ho předurčuje pro použití na většinu strojního vybavení na pracovištích. Lze jej rovněž použít jako doplněk pro již akusticky obložené haly (zde se tlumení dosahuje zpravidla běžnými obklady stěn a stropů, s útlumem až od frekvence 500 Hz výše).

K měření a vyhodnocení účinku byl využit jeden kus absorberu. Je však zřejmé, že pro efektivní tlumení na pracovištích je zapotřebí absorber instalovat v hnízdech, jak je znázorněno na obr. 3, a na všechny dominantní zdroje hluku v hale.

Výsledný efekt absorberu bude vždy závislý na tvaru místnosti, jeho umístění vůči zdroji, vzdálenosti jednotlivých pracovišť apod. Je tedy nutné každý případ posoudit individuálně.

Akustický absorber umístovaný do přímého zvukového pole tvoří vhodný doplněk akustických úprav pro pracoviště. Uplatnění najde zejména tam, kde jsou již všechny možnosti odhlučnění vyčerpány, anebo lze jen obtížně nějaká instalovat (např. z důvodů omezení plynulosti výroby, prostorových možností apod.).

Kontakt na autora: Jan.Kralicek@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] NOVÝ, R. Hluk a chvění. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2019. 401 s. ISBN 978-80-01-06554-9.
- [2] ČSN EN ISO 11820. Akustika – Měření tlumičů in situ, Český normalizační institut. Červen 1998.
- [3] BUJOREANU, C., BENCHEA, M. Experimental investigation of noise characteristics for HVAC silencers. MATEC Web of Conferences. 2017.
- [4] BINOIS, R., PERREY-DEBAIN, E., DAUCHEZ, N., NENNIG, B., VILLE, J. M., MEILLARD, G. On the efficiency of parallel baffle-type silencers in rectangular ducts: prediction and measurement. Acta Acustica United with Acustica. Hirzel Verlag, 2015, 101, pp. 520-530. f10.3813/AAA.918849ff. fhal-01179023f

Čidla a akční členy jako součást textilu

Začlenit snímací či akční funkce do textilních materiálů anebo různých elastomerů je úloha výrazně obtížnější než vybavit snímací nebo akčními členy stroj či technologické zařízení, je totiž třeba mít k dispozici senzorické prvky vyznačující se mimořádnou pružností a odolností při protažení či ohybu. Vývoj takových senzorických struktur je mj. náplní činnosti střediska Cesma, součásti Fraunhoferova ústavu ISC.

Ve středisku pro chytré materiály Cesma (Center Smart Materials and Adaptive Systems, <http://www.cesma.de>) Fraunhoferova ústavu ISC (Fraunhofer Institute for Silicate Research – ISC) byla v poslední době vyvinuta nová, mimořádně elastická čidla a akční členy na bázi silikonu. Tím se otevřela možnost vyrábět chytré elektronické textilie s různými senzorickými funkcemi se širokými možnostmi využití v lékařské a zdravotnické technice, ve sportu, v nábytkářském a automobilovém průmyslu, ke zvýšení bezpečnosti v dopravě atd.

Navrství-li se na sebe střídavě vodivé a izolující silikonové fólie, vznikají pružné kondenzátory, jejichž změnu kapacity při deformaci je možné využít k měření prodloužení, tj. tlaku/tahu. Provedení a tuhost těchto kapacitních čidel lze přizpůsobit podle účelu použití, je tedy možné nastavit citlivost a další charakteristiky čidla „na míru“ pro konkrétní použití podle požadavků zákazníka. Použitý silikon se volí tak, aby nedráždil pokožku, byl dostatečně robustní a elastický, nedegradoval při praní textilie atd. Silikonová čidla vyrobená uvedenou technikou jsou schopna extrémního prodloužení, aniž by i po milionech pracovních cyklů ztratila své výchozí vlastnosti. Čidla v kombinaci s patřičnou elektronikou tvoří snímače, převodníky měnící mechanické prodloužení materiálu na elektrický signál, které jsou svými vlastnostmi mimořádně vhodné mj. k měření pochodů v lidském těle, např. dechových aktivit a jiných pohybů, kontrakce svalů atd.

Zdroj: AUTOMA (1/2020)

(VZ)