**Název:**

**VŠB-TUO CPIT TL4**

**Budova CPIT TL4 v areálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava**

**Zakázkové číslo: 23-09-08**

**Profese: Prostorová akustika, Stavební akustika**

**Dokument: technická zpráva**

**Stupeň projektové dokumentace: studie**

**Datum: červen 2024**

**Revize: 00**

****

**Prostorová akustika**

**Zpracoval: Ing. Lukáš Posekaný**

**Kontroloval: Ing. Tomáš Hrádek**

**AVETON s.r.o.**

Drahobejlova 1452/54, 190 00 Praha 9

tel.: +420 777 463 403

e-mail.: [hradek@aveton.cz](mailto:hradek@aveton.cz)

web.: [www.aveton.cz](http://www.aveton.cz/)

IČ: 02436647

DIČ: CZ02436647

**Obsah:**

[1. Základní údaje 3](#_Toc169628310)

[1.1. Výchozí údaje a podklady 3](#_Toc169628311)

[2. Prostorová akustika 3](#_Toc169628312)

[2.1. Použité normy a literatura 3](#_Toc169628313)

[2.2. Požadavky na akustické parametry 3](#_Toc169628314)

[2.3. Teoretický výpočet doby dozvuku 7](#_Toc169628315)

[2.4. Teoretický výpočet poměru *A*/*V* 7](#_Toc169628316)

[2.5. Řešení prostorové akustiky 8](#_Toc169628317)

[2.6. Požadavky na profesi prostorová akustika 10](#_Toc169628318)

[3. Závěr 12](#_Toc169628319)

**Přílohy:**

**Výpočetní příloha:**

VP01 – Výpočet doby dozvuku – zasedací místnost 2.06

VP02 – Výpočet doby dozvuku – zasedací místnost 4.06

VP01 – Výpočet doby dozvuku – zasedací místnost 5.12

VP04 – Výpočet hodnoty poměru *A*/*V* – Těžká laboratoř pohonů 1.10

**Tabulková příloha:**

Tab. 1 – Výkaz výměr a specifikace akustických prvků

**Výkresová příloha:**

PA01 – Zasedací místnost 2.06 – rozmístění akust. prvků

PA02 – Zasedací místnost 4.06 – rozmístění akust. prvků

PA03 – Zasedací místnost 5.12 – rozmístění akust. prvků

PA04 – Těžká laboratoř pohonů 1.10

# Základní údaje

# Výchozí údaje a podklady

* Výkresové podklady z V/2024 a z VI/2024 .
* Informace předané při telefonických jednáních se zástupcem objednatele, emailová komunikace

# Prostorová akustika

# Použité normy a literatura

1. ČSN 73 0525 - Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Všeobecné zásady – únor 1998
2. ČSN 73 0527 - Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely – srpen 2023
3. Vaverka, J., kol.: Stavební fyzika 1 - urbanistická, stavební a prostorová akustika, nakladatelství VUTIUM, Brno 1998.
4. Hrádek, T., Tuček, J.: Katalog akustických prvků, nakladatelství Akademie múzických umění v Praze, Praha 2011, ISBN 978-80-7331-316-6
5. Reichl J., Všetička M.: Multimediální Encyklopedie Fyziky, http://fyzika.jreichl.com

# Požadavky na akustické parametry

Akusticky náročné prostory vyžadují dle norem ČSN 73 0525 a ČSN 73 0527 a praktických zkušeností speciální akustickou úpravu z důvodu snahy o dosažení vhodných akustických podmínek. V případě kancelářských prostor, jako jsou zasedací, jednací a školící místnosti, příp. videokonferenční místnosti, je hlavním cílem splnit toleranční pásmo frekvenčního průběhu doby dozvuku předepsané výše uvedenými normami a dosáhnout odpovídajících akustických podmínek pro interpretaci řeči.

Hlučné dílny a strojovny jsou klasifikovány jako prostory s požadavkem na snížení hlučnosti a zajištění akustického pobytového komfortu. Zde je potřeba aplikovat odpovídající množství pohltivých akustických materiálů. To se posuzuje splněným doporučeného poměru celkové ekvivalentní pohltivé plochy *A* v prostoru k jeho objemu *V*, dále jen poměr *A*/*V*, a to v oktávových pásmech od 250 Hz do 2 000 Hz.

Dále je nutné vhodnou konfigurací akustických prvků zabránit vzniku nežádoucích odrazů zvuku. Zejména u akusticky pohltivých materiálů je velmi důležité i jejich vhodné umístění tak, aby byly potlačeny násobné odrazy zvuku mezi rovnoběžnými odrazivými stěnami (tzv. třepotavá ozvěna), fokusované odrazy zvuku a další negativní akustické jevy, které výrazně zhoršují akustické podmínky.

*Poznámka:*

*Z výše uvedeného vyplývá, že v řešených prostorech není možné provést plnohodnotnou akustickou úpravu pouze umístěním akustického podhledu. V případě takového řešení není pohltivá plocha rozmístěna rovnoměrně a mezi stěnami dochází často ke vzniku třepotavé ozvěny, a tedy i k celkovému prodloužení doby dozvuku v určitém frekvenčním pásmu.*

**Zasedací místnosti 2.06 a 4.06**

Stanovená hodnota cílové doby dozvuku vychází z požadavku normy ČSN 73 0527 pro zasedací, jednací a školící místnosti, který je daný závislostí na objemu prostoru dle obrázku 1 a křivky A, a dále je vzhledem k možnosti pořádání videokonferencí přihlédnuto ke křivce B**.** Objem daných místností je cca 162 a 159 m3. Optimální doba dozvuku je určena jako rozmezí hodnot ***T*0 = 0,55 – 0,60 s**. Doba dozvuku je v zasedací místnosti uvažována v obsazeném stavu.

Frekvenční průběh doby dozvuku v místnosti je hodnocen v rozsahu frekvenčních oktávových pásem od 125 Hz do 4 kHz, a v mezích stanovených pro prostor určený k přednesu hudby a řeči v závislosti na středním kmitočtu, což je stanoveno dle ČSN 73 0527 – viz Obr. 2. Dané toleranční pásmo je zvoleno vzhledem k plánované AV technologii v místnosti a možnosti prezentace řečových projevů i audiovizuálních děl.

**Zasedací místnost 5.12**

Stanovená hodnota cílové doby dozvuku vychází z požadavku normy ČSN 73 0527 pro zasedací, jednací a školící místnosti, který je daný závislostí na objemu prostoru dle obrázku 1 a křivky A, a dále je vzhledem k možnosti pořádání videokonferencí přihlédnuto ke křivce B**.** Objem dané místností je cca 130 m3. Optimální doba dozvuku je určena jako rozmezí hodnot ***T*0 = 0,50 – 0,55 s**. Doba dozvuku je v zasedací místnosti uvažována v obsazeném stavu.

Frekvenční průběh doby dozvuku v místnosti je hodnocen v rozsahu frekvenčních oktávových pásem od 125 Hz do 4 kHz, a v mezích stanovených pro prostor určený k přednesu hudby a řeči v závislosti na středním kmitočtu, což je stanoveno dle ČSN 73 0527 – viz Obr. 2. Dané toleranční pásmo je zvoleno vzhledem k plánované AV technologii v místnosti a možnosti prezentace řečových projevů i audiovizuálních děl.

**Těžká laboratoř pohonů**

Daná místnost svým charakterem nejvíce odpovídá kategorii 3 dle požadavků na prostory s potřebou snížení hlučnosti dle ČSN 73 0527, viz Obr. 3 (hlučné dílny a strojovny). Požadavek na poměr celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru k jeho objemu *A*/*V* dle ČSN 73 0527:2023 v rozsahu frekvenčních oktávových pásem od 250 Hz do 2 kHz pro kategorii 2 byl stanoven na ***A/V* = 0,216**. Objem dané místnosti je cca 296 m3.

Frekvenční průběh poměru *A*/*V* v místnosti je hodnocen v rozsahu frekvenčních oktávových pásem od 250 Hz do 2 kHz.



Obr. 1 - Graf pro stanovení hodnoty optimální doby dozvuku v závislosti na objemu – kancelářské a veřejné prostory

Požadavky na kancelářské a veřejné prostory

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Prostor** | **Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku** *T*0 **(s)** | **Toleranční pásmo** |
| Zasedací místnosti, Jednací místnosti, Školící místnosti | A | řeč |
| Videokonferenční místnosti  Jednací místnosti se zvýšeným nárokem na srozumitelnost  (např. cizojazyčná jednání) | B | řeč |
| Haly a dvorany veřejných budov (např. nádražní a letištní haly) | C | zúžené toleranční pásmo |



Obr. 2 – Přípustné toleranční pásmo poměru dob dozvuku T/T0 obsazeného prostoru

určeného k přednesu hudby a řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma



Obr. 3 – Požadavky na prostory s provozní potřebou snížení hlučnosti a zajištění akustického pobytového komfortu

# Teoretický výpočet doby dozvuku

Pro výpočet doby dozvuku byl dle ČSN 73 0525 použit Eyringův vztah:

kde je objem místnosti

je celková plocha ohraničujících stěn místnosti

je střední hodnota činitele zvukové pohltivosti

je činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu

Střední hodnotu činitele zvukové pohltivosti vypočteme podle vztahu:

kde je dílčí pohltivá plocha

je činitel zvukové pohltivosti dílčích ploch

je celková plocha ohraničujících stěn místnosti

Výpočet doby dozvuku byl proveden dle ČSN 73 0525 v oktávových pásmech se středními kmitočty 125 Hz až 4 kHz.

Do výpočtu doby dozvuku byly započítány i zvukové pohltivosti prvků a konstrukcí, které nejsou definovány jako akustický obklad. Jejich vliv na akustické parametry ale nelze pominout (podlaha, strop, okna, dveře, nábytek, technologie, přítomné osoby (obsazenost z 80%), apod.).

Graf vypočtené doby dozvuku je uveden ve výpočetních přílohách VP01 až VP03.

# Teoretický výpočet poměru *A*/*V*

Pro výpočet celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru *A* byl dle ČSN 73 0527 použit vztah:

Kde je Eyringův činitel zvukové pohltivosti

je celková plocha ohraničujících stěn místnosti

je činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu

je objem místnosti

Eyringův činitel zvukové pohltivosti vypočteme podle vztahu:

kde je střední hodnota činitele zvukové pohltivosti

Střední hodnotu činitele zvukové pohltivosti vypočteme podle vztahu:

kde je dílčí pohltivá plocha

je činitel zvukové pohltivosti dílčích ploch

je celková plocha ohraničujících stěn místnosti

Výpočet poměru celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru k jeho objemu *A/V* byl proveden dle ČSN 73 0525 v oktávových pásmech se středními kmitočty 125 Hz až 4 kHz.

Do výpočtu poměru celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru k jeho objemu byly započítány i zvukové pohltivosti prvků a konstrukcí, které nejsou definovány jako akustický obklad. Jejich vliv na akustické parametry ale nelze pominout (podlaha, strop, okna, dveře, nábytek, technologie, apod.). Na druhou stranu jsou tyto prostory posuzovány v neobsazeném stavu, tudíž do výpočtu celkové ekvivalentní pohltivé plochy *A* není započtena pohltivost zvuku osobami.

Výsledky výpočtu poměru *A*/*V* jsou uvedeny ve výpočetní příloze VP04.

# Řešení prostorové akustiky

**Zasedací místnosti 2.06 a 4.06**

Akustický podhled: Akustický podhled je celoplošný a skládá se ze dvou akustických prvků. Prvním prvkem je Akustický stropní podhled – perforovaný sádrokartonový, značený jako **ASP-PSDK**. Tento prvek má zásadní vliv na zkrácení doby dozvuku na cílovou hodnotu ve všech řešených frekvenčních pásmech. Druhým prvkem je Akustický stropní podhled – nízkofrekvenční rezonátor sádrokartonový, značený **ASP-NFRS**. Tento nízkofrekvenční akustický prvek zajišťuje vyrovnanou dobu dozvuku pro všechna uvažovaná frekvenční pásma.

Přesná výměra jednotlivých prvků a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní rozmístění prvků je dáno výkresy v přílohách PA01 a PA02.

Akustické obklady stěn: Stěny v těchto místnostech jsou poměrně dost členité a tak jsou pro dostání cílové doby dozvuku a pro prevenci vzniku třepotavé ozvěny a mnohačetných zpětných odrazů zvuku ke zdroji, navrženy pouze Akustické žaluzie, značení **AZ**, instalované v oknech. Tyto žaluzie jsou variabilním prvkem, ale svoji funkci plní jak při částečném zastínění místnosti, kdy jsou lamely otevřeny pouze z 50%, tak i při plném zastínění při úplném zavření lamel.

Přesná výměra jednotlivých prvků a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní rozmístění prvků je dáno výkresy v přílohách PA01 a PA02

**Zasedací místnost 5.12**

Akustický podhled: Akustický podhled je celoplošný a skládá se ze dvou akustických prvků. Prvním prvkem je Akustický stropní podhled – perforovaný sádrokartonový, značený jako **ASP-PSDK**. Tento prvek má zásadní vliv na zkrácení doby dozvuku na cílovou hodnotu ve všech řešených frekvenčních pásmech. Druhým prvkem je Akustický stropní podhled – nízkofrekvenční rezonátor sádrokartonový, značený **ASP-NFRS**. Tento nízkofrekvenční akustický prvek zajišťuje vyrovnanou dobu dozvuku pro všechna uvažovaná frekvenční pásma.

Přesná výměra jednotlivých prvků a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní rozmístění prvků je dáno výkresem v příloze PA03.

Akustické obklady stěn: Pro dostání cílové doby dozvuku a pro prevenci vzniku třepotavé ozvěny a mnohačetných zpětných odrazů zvuku ke zdroji, jsou zde navrženy dva akustické prvky. Prvním je Stěnový akustický panel – potištěný, značený **SAO-P**, který je širokopásmově pohltivý. Druhým navrženým prvkem jsou Akustické žaluzie, značení **AZ**, instalované v oknech. Tyto žaluzie jsou variabilním prvkem, ale svoji funkci plní jak při částečném zastínění místnosti, kdy jsou lamely otevřeny pouze z 50%, tak i při plném zastínění při úplném zavření lamel.

Přesná výměra jednotlivých prvků a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní rozmístění prvků je dáno výkresem v příloze PA03.

**Těžká laboratoř pohonů 1.10**

Akustický podhled: Hlavním zvukově pohltivým prvkem v místnosti je Akustický podhled - širokopásmový, značený jako **AP-S**. Jedná se o prvek s vysokou zvukovou pohltivostí ve všech řešených frekvenčních pásmech, jehož umístění respektuje navržené vzduchotechnické rozvody a vyústky. Tento prvek významně zvyšuje poměr celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru k jeho objemu *A/V* a to pro všechna předepsaná frekvenční pásma.

Přesná výměra a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní rozmístění prvků je dáno výkresem v příloze PA04.

Akustické obklady stěn: Na dvou přilehlých stěnách je umístěný akustický prvek Stěnový akustický panel, značený **SAO**, který je širokopásmově pohltivý. Toto uspořádání jednak významně přispívá ke zvýšení poměru A/V a také je prevencí vzniku třepotavé ozvěny mezi hladkými stěnami.

Přesná výměra a detaily jsou dány Tab. 1. Konkrétní umístění prvku je dáno výkresem v příloze PA04.

# Požadavky na profesi prostorová akustika

* Etapové měření doby dozvuku řešených typových místností s normou předepsanou dobou dozvuku (rozsah viz Tab. 1) dle normy ČSN EN ISO 3382-1.
* Závěrečné měření doby dozvuku všech řešených typových místností s normou předepsanou dobou dozvuku (rozsah viz Tab. 1) dle normy ČSN EN ISO 3382-1.
* Prvky prostorové akustiky podléhají vzorkování a odsouhlasení ze strany investora (z hlediska kvality provedení), architekta/projektanta (z hlediska designu) a akustika (z hlediska funkčnosti).

# Stavební Akustika

Skladba posuzované dělící konstrukce byla specifikována objednavatelem posudku.

Jedná se o posouzení stropu mezi m.č. 1.10 Těžká laboratoř pohonů a m.č. 2.06 Zasedací místnost, která se nachází nad laboratoří. Těžká laboratoř je výzkumné pracoviště, zasedací místnost je administrativním prostorem s nárokem na vysokou ochranu proti hluku a je chráněnou místností.

Požadavky na neprůzvučnosti dělících konstrukcí jsou specifikovány v ČSN 73 0532 – Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky (Prosinec 2020), Tabulka 5, řádek 3. Kročejová izolace není řešena, neboť laboratoř není chráněným prostorem a ošetření přenosu kročejového hluku ze zasedací místnosti do laboratoře není zadavatelem vyžadováno.

R´w ≥ 52 dB

Specifikace posuzované konstrukce:

- EPOXIDOVÝ ČTYŘVRSTVÝ STĚRKOVÝ SYSTÉM 2 mm

- SAMONIVELAČNÍ STĚRKA NA BÁZI CEMENTU min. 1,5 MPa ~5 mm

- PENETRAČNÍ NÁTĚR

- BETONOVÁ MAZANINA VČETNĚ ROZVODŮ PRO PODLAHOVÉ VYTÁPĚN (deska pro podlahové vytápění je tlustá celkem 52 mm) 103 mm

- SYSTÉMOVÁ DESKA PRO PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ

- KROČEJOVÁ IZOLACE MINERÁLNÍ 40 mm

- ŽELEZOBETONOVÁ STROPNÍ DESKA (monolit) 280 mm

CELKEM 430 mm

Poznámka: Dynamická tuhost minerální kročejové izolace na zatížení 200 kg/m2 je max. 15 MN/m3.

Vypočtená laboratorní vzduchová neprůzvučnost: Rw = 64 dB

Korekce na vedlejší cesty přenosu k1 = 3 dB

Faktor přispůsobení spektru *Ctr* = -5 dB

Vypočtená vážená stavební vzduchová neprůzvučnost **R´w = 56 dB**

Splnění vzduchové neprůzvučnosti dle ČSN 73 0532: **ANO**

**Poznámka: Pro zamezení šíření strukturálního hluku je nutné pružné uložení všech těžkých strojů v laboratoři!**

# Závěr

Studie prostorové akustiky se zaměřuje na akusticky náročné prostory zasedacích místností a na prostor s požadavkem na snížení hlučnosti těžká laboratoř strojů budovy CPIT TL4 Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Pro akusticky náročné prostory je stanovena optimální doba dozvuku a pro prostor s požadavkem na snížení hluku je stanoven optimální poměr celkové ekvivalentní pohltivé plochy v prostoru k jeho objemu *A/V*. V dokumentaci je dále proveden návrh akustických úprav včetně výpočtu doby dozvuku, nebo poměru *A/V*, tak, aby byl splněn definovaný požadavek normy ČSN 73 0527 resp. ČSN 73 0525.

V průběhu realizace je nezbytné provést kontrolní etapové měření doby dozvuku. Po dokončení realizace je nutné provést závěrečné měření doby dozvuku se zpracováním výsledků formou měřicího protokolu. Všechny výše uvedené akustické zkoušky jsou nutné pro úspěšné dokončení díla.

Studie stavební akustiky posuzuje splnění požadavků vzduchové neprůzvučnosti dle ČSN 73 0532 pro strop mezi těžkou laboratoří strojů a zasedací místností. Vypočtené hodnoty splňují požadavky normy.

**V případě jakýchkoliv změn v koncepci, umístění nebo typu akustických prvků, dispozičních změn či změn skladeb konstrukcí a povrchových úprav je nutné zajistit odsouhlasení těchto změn odpovědným akustikem.**