

AKUSTICKÝ POSUDEK

k projektu
„ZŠ Na Pěšině, třída chemie“
z hlediska prostorové akustiky

Objednatel BERYL, spol. s r.o.
Erbenova 146
460 08 Liberec

Číslo zakázky 23017320
Datum vydání 2023-12-12
Vypracoval Ing. Jan Dolejší
mobil: 733 716 153

Počet výtisků 2
Výtisk číslo 1 2 (E)

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | VŠEOBECNÁ ČÁST..... | 3 |
| 1.1 | Předmět zkoušky..... | 3 |
| 1.2 | Metodické předpisy | 3 |
| 1.1.1 | Standards..... | 3 |
| 1.1.2 | Pomocné standardy | 3 |
| 1.3 | Použité softwary | 3 |
| 1.4 | Použité podklady | 3 |
| 1.5 | Dokumentace | 4 |
| 2 | VÝSLEDKOVÁ ČÁST | 5 |
| 2.1 | 1.01 Učebna Chemie..... | 5 |
| 2.1.1 | Popis prostoru..... | 5 |
| 2.1.2 | Akustické řešení | 5 |
| 2.1.3 | Návrh akustických úprav..... | 6 |
| 2.1.4 | Akustická simulace a její hodnocení | 6 |
| 3 | INTERPRETACE | 11 |
| 3.1 | Požadavky z hlediska prostorové akustiky | 11 |
| 3.2 | Vyhodnocení..... | 13 |
| 4 | PŘÍLOHY..... | 14 |
| 4.1 | Vysvětlivky hodnocených parametrů | 14 |
| 4.2 | Rozmístění akustických materiálů..... | 15 |

Seznam grafů

| | | |
|---------|--|---|
| Graf 1: | Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu | 9 |
| Graf 2: | Simulace a porovnání průměrných hodnot veličin dob dozvuků T_{30} , T_{20} , EDT v místnosti v navrženém stavu | 9 |

Seznam obrázků

| | | |
|------------|--|----|
| Obrázek 1: | Půdorys vybrané učebny..... | 4 |
| Obrázek 2: | Počítačový 3D model místnosti – s vyznačením pozic virtuálních mikrofonů (modře) a všesměrového zdroje hluku (červeně) | 5 |
| Obrázek 3: | Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů | 7 |
| Obrázek 4: | Přípustné zúžené toleranční pásmo poměru doby dozvuku T/T_0 v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma..... | 7 |
| Obrázek 5: | Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu | 8 |
| Obrázek 6: | Schéma rozmístění akustických systémů | 15 |

Seznam tabulek

| | | |
|------------|---|----|
| Tabulka 1: | Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru | 6 |
| Tabulka 2: | Průměrné hodnoty akustických veličin v místnosti | 8 |
| Tabulka 3: | Tabulka pro základní vyhodnocení srozumitelnosti řeči STI | 10 |
| Tabulka 4: | Požadavky na školské prostory pro vzdělání | 11 |
| Tabulka 5: | Požadavky na prostory s provozní potřebou snížení hlučnosti a zajištění akustického pobytového komfortu | 12 |

1 VŠEOBECNÁ ČÁST

1.1 Předmět zkoušky

Tato studie byla vypracována na základě objednávky s cílem navrhnout akustické systémy upravující parametry prostorové akustiky místností učebny chemie „ZŠ Na Pěšině“ v Děčíně.

V řešených prostorách (podrobněji viz dále) byla navržena akustická opatření. Je zde dáván důraz na kvalitu prostorové akustiky (dle ČSN 73 0527, srpen 2023), zejména ale pak na kvalitu a funkčnost provedených akustických opatření včetně všech dalších nároků.

1.2 Metodické předpisy

1.1.1 Standardy

- ČSN EN ISO 3382-1 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky –
- Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči
- ČSN EN ISO 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti
- ČSN EN ISO 11654 Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti
- ČSN EN 12354-6 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech

1.1.2 Pomocné standardy

- Vyhláška 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- Vyhláška 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- ČSN 73 0525 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady
- ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely

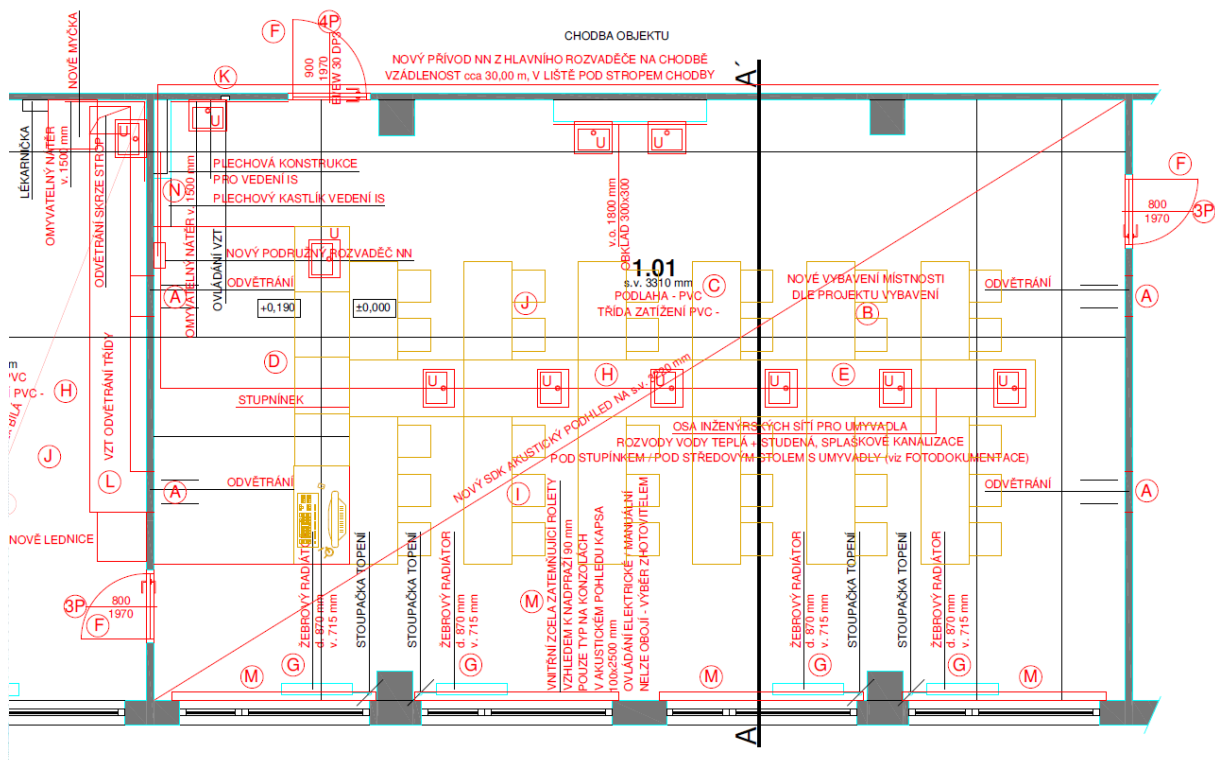
1.3 Použité softwary

- GstarCAD 2023
- Cinema 4D V11.027
- Odeon Auditorium v. 17.03
- MS Office (Excel, Word)

1.4 Použité podklady

- vybrané výkresy z PD ve stupni DSP ve formátu .pdf
- technické listy výrobců pohltivých materiálů

1.5 Dokumentace



Obrázek 1: Půdorys vybrané učebny

2 VÝSLEDKOVÁ ČÁST

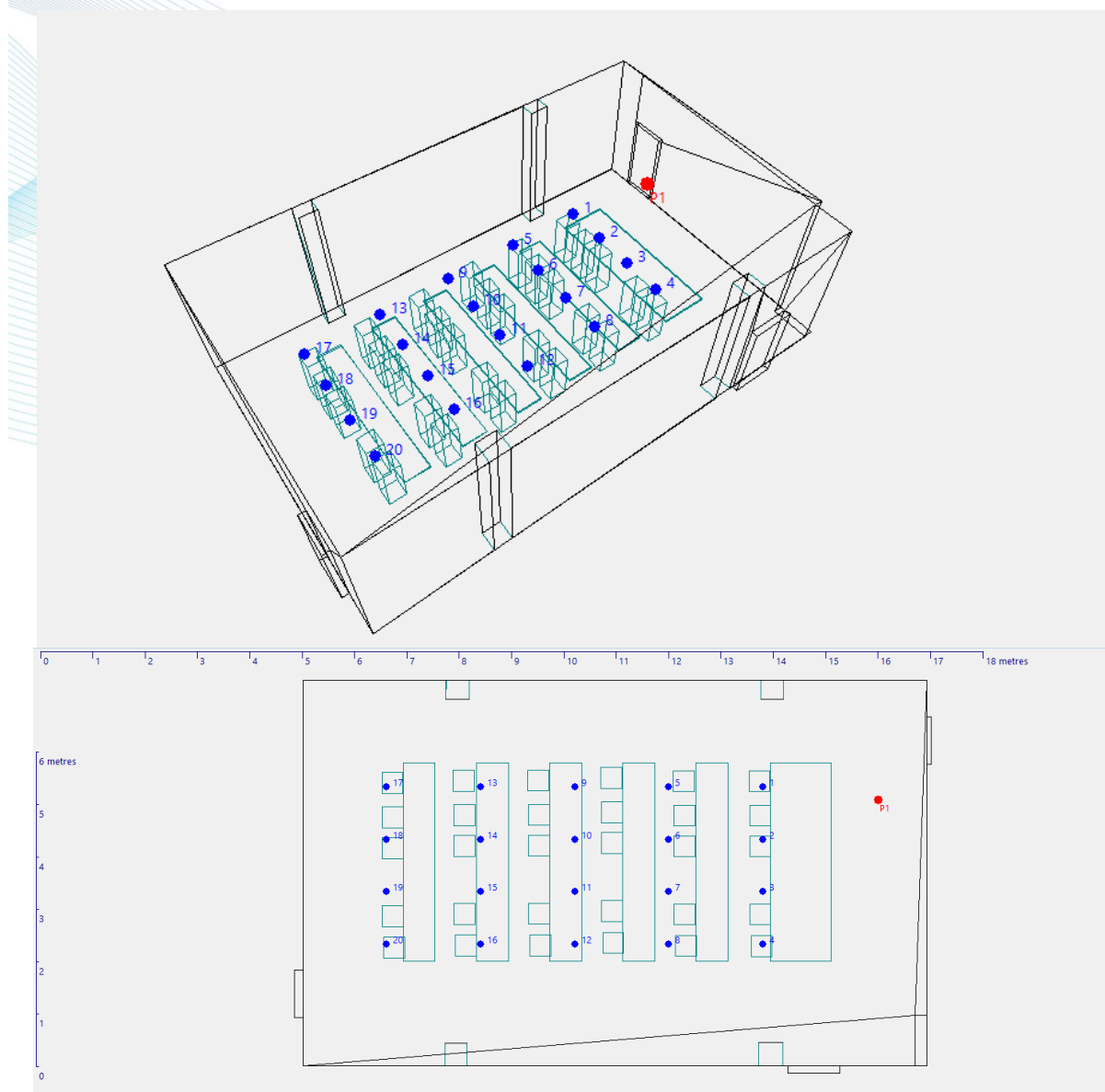
2.1 1.01 Učebna Chemie

2.1.1 Popis prostoru

Místnost 1.01 má půdorysný obdélníkový tvar o délce 11,9 a šířce 7,35 m. Světlá výška místnosti je 3,31 m. Objem prostoru je cca $V = 289 \text{ m}^3$ (odměřeno z modelu) a celková plocha ohraničujících vnitřních povrchů konstrukcí je cca $S = 423,7 \text{ m}^2$ (odměřeno z modelu).

2.1.2 Akustické řešení

Na základě podkladů byly vytvořeny akustické modely. Před provedením akustických modelů nebylo provedeno měření jednotlivých parametrů prostorové akustiky, tudíž nemohl být akustický model zkalibrován dle skutečného stavu prostoru na základě těchto měření.



Obrázek 2: Počítačový 3D model místnosti – s vyznačením pozic virtuálních mikrofónů (modře) a všesměrového zdroje hluku (červeně)

2.1.3 Návrh akustických úprav

Místnost bude sloužit jako učebna chemie, podlaha bude tvořena omyvatelným akusticky odrazivým materiálem – např. PVC. Obvodové stěny jsou zděné, omítnuté, opatřené vnitřním štukem a výmalbou. Strop bude opatřen akustickým podhledem – vše viz přílohy a PD.

| Ozn. | Typ akustického materiálu | Odsazení od tuhé desky | Popis | Výměra / m ² | Poznámka |
|------|---|------------------------|--|------------------------------------|---|
| A1 | Akusticky pohltivý perforovaný bezesparý podhled (ref. výrobek Rigits Rigitone R8-15-20 Activ' Air) | 200 mm | Akusticky pohltivý perforovaný sádkartonový podhled s perforací R8-15-20 | <u>Cca 87 m²</u> | Výška svěšení opatřena minerální vatou o tl. 50 mm (Např. Akustic SSP2) |

Tabulka 1: Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru

Pozn.: Vzhledem ke skutečnosti, že se můžu na stěně nebo stropu nacházet blíže neurčené množství různých zařízení (světelné prvky, apod.) je třeba prověřit výměru navržených akustických systémů a případně provést korekci, či změnit uspořádání navržených prvků (za dodržení navržených výměr).

2.1.4 Akustická simulace a její hodnocení

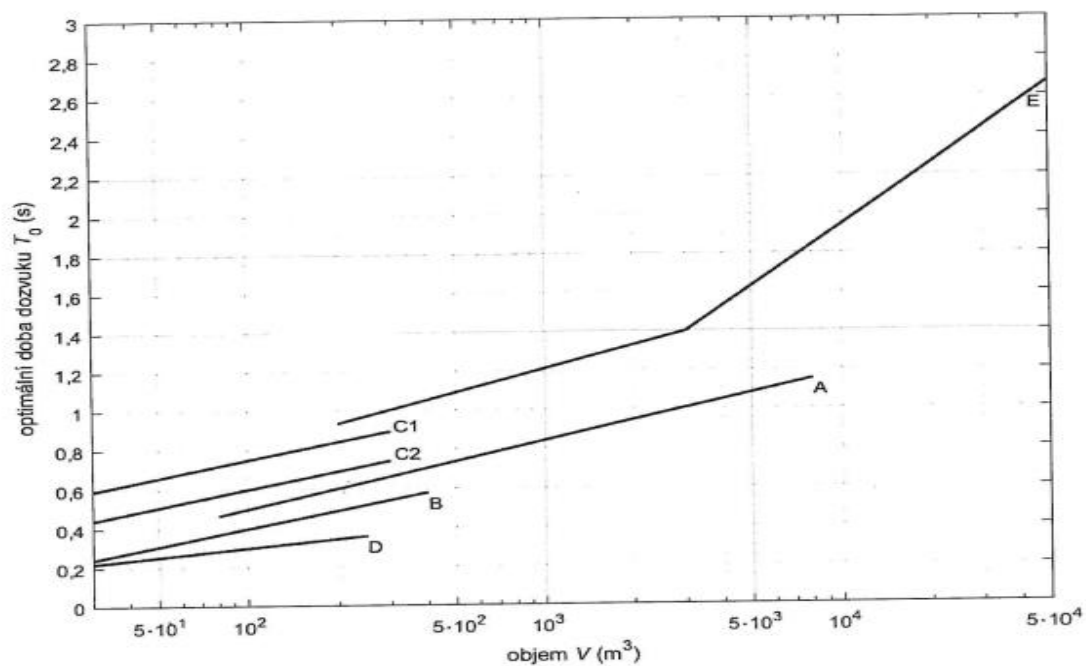
Zjednodušený geometrický model místností byl vytvořen na základě projektové dokumentace poskytnuté zadavatelem. Zvukpohltivé vlastnosti vnitřních povrchů byly stanovené podle dříve naměřených dat. Počítačová simulace byla provedená pro všesměrový zdroj zvuku a všesměrové přijímače (mikrofony).

Optimální řešení doby dozvuku (resp. prostorové akustiky) byla stanovena na základě doporučených hodnot normou ČSN 73 0527 (srpen 2023) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory pro veřejné účely.

Pro Přednáškovou místnost/učebnu chemie byl zvolen požadavek na optimální doby dozvuku **T₀=0,66 s**, obr.5 (viz níže).

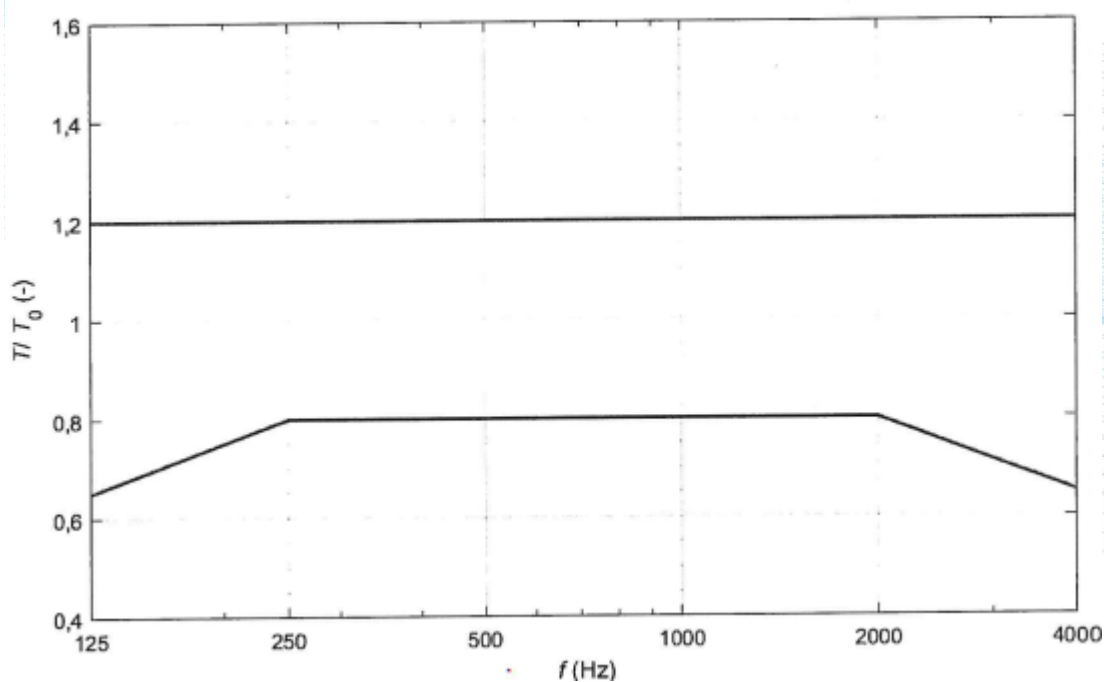
Výsledky simulace T₃₀ jsou zobrazené v následujícím grafu, ze kterého je zřejmé, že doba dozvuku v navrhované místnosti po provedení akustických úprav se pohybuje v mezích zvoleného tolerančního pásma.

Veškeré simulované průměrné hodnoty akustických veličin jsou uvedeny v následujících tabulkách.



(ČSN 73 0527)

Obrázek 3: Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů



Obrázek 4: Pripustné zúžené toleranční pásmo poměru doby dozvuku T/T_0 v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma

| Frekvence [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| Simulace T₃₀ [s] | 0,6 | 0,66 | 0,62 | 0,6 | 0,58 | 0,55 |
| Simulace T₂₀ [s] | 0,61 | 0,69 | 0,65 | 0,62 | 0,58 | 0,56 |
| Simulace EDT [s] | 0,53 | 0,56 | 0,5 | 0,48 | 0,45 | 0,44 |
| SPL [dB] **** | 75,8 | 75,5 | 75,7 | 75,6 | 75,6 | 75,1 |
| C₈₀ [dB] | 11,2 | 11,1 | 10,2 | 9,4 | 9,2 | 10,4 |
| D₅₀ [-] | 0,83 | 0,84 | 0,81 | 0,79 | 0,79 | 0,82 |
| T_s [ms] | 27 | 26 | 28 | 30 | 31 | 27 |
| LF₈₀ [-] | 0,344 | 0,353 | 0,355 | 0,359 | 0,362 | 0,361 |
| ECHO_{MAX} [-]* | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,41 |
| STI [Male]*** | 0,75 | | | Alcons [%]** | | 3,26 |
| STIPA [-]*** | 0,75 | | | | | |

Tabulka 2: Průměrné hodnoty akustických veličin v místnosti

*Echo bylo vypočteno dle Dietsch-Kraakova kritéria. Z tabulky je patrné, že maximální hodnoty ve všech bodech se nacházejí v rozmezí 0-0,9 (= 0-90%), tzn. v místnosti nevznikají rušivé jevy, jako např. třepotavá ozvěna, apod.

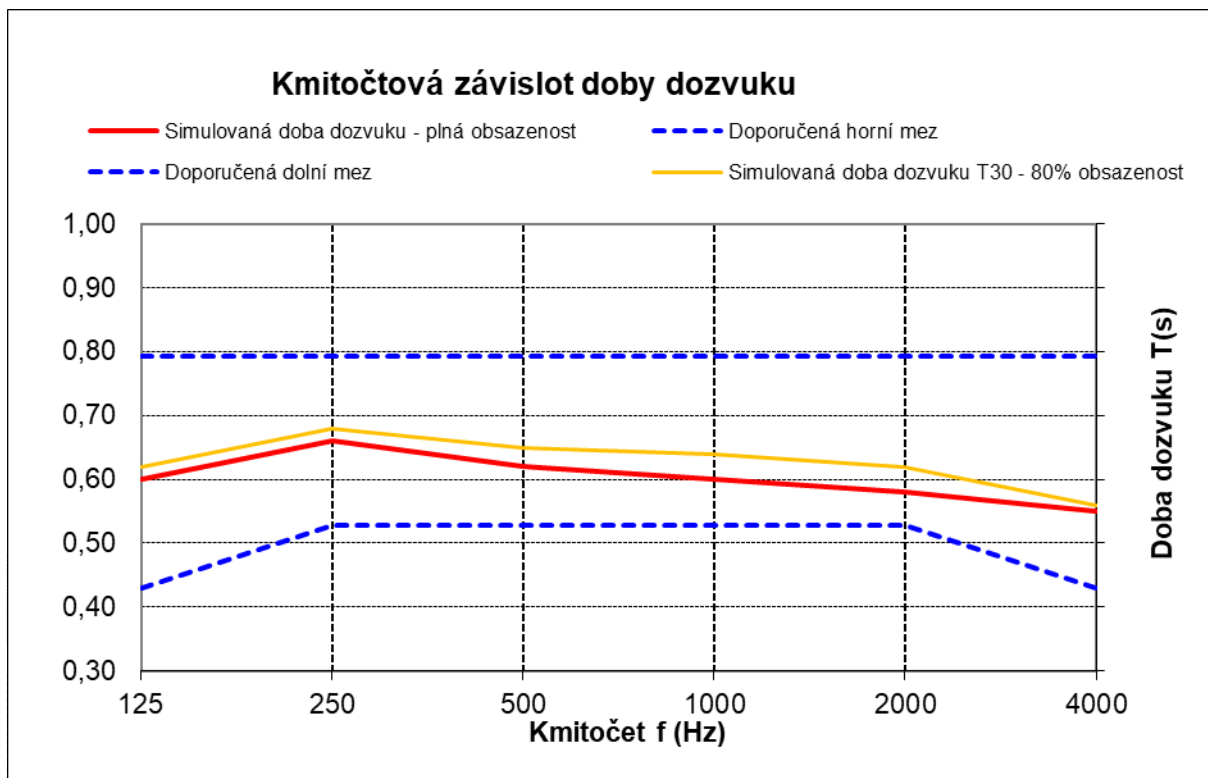
** Parametr Alcons (Articulation loss) je sice parametr používaný v zahraničí, avšak je vhodné jej určit. Přípustné rozmezí je 0-11%.

*** Hodnoty STI a stejně tak STIPA byly vypočítané pro předpokládanou hladinu pozadí hluku <35 dB. Doporučené hodnoty parametru STI pro mluvené slovo jsou v rozmezí 0,6-1,0. Přičemž ideálně by se měly nacházet v rozmezí 0,7-1. hodnoty STI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu hluku pozadí <35 dB.

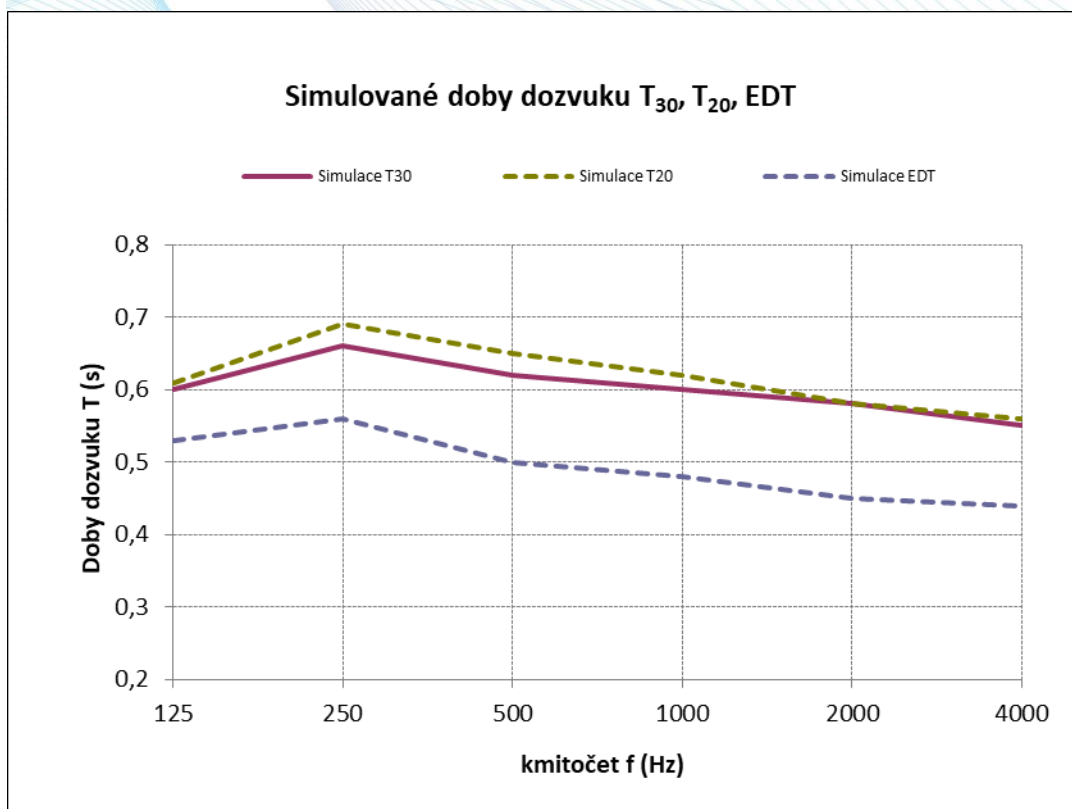
****Průměrná hodnota akustického tlaku v místnosti za předpokladu akustického výkonu zdroje cca 90 dB.

| Frekvence [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 |
|-------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Simulace T₃₀ [s] | 0,6 | 0,66 | 0,62 | 0,6 | 0,58 | 0,55 |
| Horní mez T₃₀ [s] | 0,61 | 0,69 | 0,65 | 0,62 | 0,58 | 0,56 |
| Dolní mez T₃₀ [s] | 0,53 | 0,56 | 0,5 | 0,48 | 0,45 | 0,44 |

Obrázek 5: Simulovaná průměrná doba dozvuku T₃₀ a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu



Graf 1: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v místnosti v navrženém stavu



Graf 2: Simulace a porovnání průměrných hodnot veličin dob dozvuků T_{30} , T_{20} , EDT v místnosti v navrženém stavu

| STI - hodnocení | Standard STI | Kategorie I pokročilý, denně používá druhý cizí jazyk | Kategorie II středně pokročilý i v úrovni druhého cizího jazyk | Kategorie III začátečník, zřídka používá druhý cizí jazyk |
|-----------------|--------------|--|---|--|
| špatná | 0,30 | 0,33 | 0,36 | 0,44 |
| dostatečná | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,74 |
| dobrá | 0,60 | 0,68 | 0,86 | nedosažitelné |
| výborná | 0,75 | 0,86 | nedosažitelné | nedosažitelné |

Tabulka 3: Tabulka pro základní vyhodnocení srozumitelnosti řeči STI

STI zkoumá srozumitelnost jednotlivých slabik, slov i celých vět v mluveném projevu. Tato hodnota je velice důležitá pro poslech mluveného slova a její posouzení by mělo být součástí každého posudku řešícího prostory primárně určené jako činoherní sály, posluchárny, učebny, síně apod.

Hodnoty STI pro mužský i ženský hlas, a stejně tak RASTI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu pozadí hluku <35 dB. Doporučené hodnoty parametru STI pro mluvené slovo jsou v rozmezí 0,8-0,9.

Po provedení akustických opatření uvedených v této studii je STI (srozumitelnost) **výborná**

3 INTERPRETACE

3.1 Požadavky z hlediska prostorové akustiky

Optimální doba dozvuku je odvozena na základě doporučených hodnot normy ČSN 73 0527. A to na základě účelu posuzované místnosti a na jejím objemu. Z optimální doby dozvuku jsou stanoveny hranice tolerančního pásma.

| Prostor | Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku T_0 (s), (viz příloha A, obrázek A.2) | Toleranční pásmo (viz příloha A) |
|--|---|---------------------------------------|
| Kmenové učebny Odborné učebny Učebny pracovní výuky Seminární místnosti Posluchárny Denní místnosti mateřských škol | A | Řeč (obrázek A.5) |
| Hudební učebny | A | Hudba a řeč (obrázek A.4) |
| Jazykové učebny Speciální učebny se zvýšeným nárokem na srozumitelnost | B | Řeč (obrázek A.5) |
| Multimediální učebny Hudební učebny s reprodukovanou hudbou | B | Řeč (obrázek A.5) |
| Učebny pro elektronické a elektrofonické hudební nástroje | B | Hudba a řeč (obrázek A.4) |
| Učebny hry na individuální akustické nástroje učebny zpěvu – dolní mez | C1 | Hudba a řeč (obrázek A.4) |
| Učebny hry na bicí nástroje | C2 | Hudba a řeč (obrázek A.4) |
| Učebna orchestrální hry hudebních škol | D | Hudba a řeč (obrázek A.4) |
| Tělocvičny a sportovní haly Plavecké haly Učebny gymnastiky a tance Posilovny Prostory pro fitness | E | Zúžené toleranční pásmo (obrázek A.7) |

(ČSN 73 0527, srpen 2023, tab. 5)

Tabulka 4: Požadavky na školské prostory pro vzdělání

Tabulka 7 – Požadavky na prostory s provozní potřebou snížení hlučnosti a zajištění akustického pobytového komfortu

| Kategorie | Kategorie 1 | Kategorie 2 | Kategorie 3 |
|--|---|---|---|
| Typy prostorů: | hlavní chodby ^{a)} vstupní haly schodiště čekárny knihovny výstavní prostory pasáže nákupních center | recepce laboratoře ateliéry velkoplošné kanceláře ^{b)} kancelářské prostory individuální čítárny a studovny sborovny výtvarné ateliéry foodcourty restaurace a kavárny nemocniční ordinace nemocniční sály nemocniční pokoje přepážkové haly úřadů, bank a dalších veřejných budov do objemu 300 m ³ | školní jídelny a menzy hlučné dílny a strojovny kuchyňky a kopírky ^{c)} call centra ^{d)} denní místnosti jeslí družiny |
| Výška prostoru ≤ 2,5 m | $A/V \geq 0,15$ | $A/V \geq 0,23$ | $A/V \geq 0,3$ |
| Výška prostoru > 2,5 m | $A/V \geq \frac{1}{4,8 + 4,69 \log h}$ | $A/V \geq \frac{1}{2,49 + 4,69 \log h}$ | $A/V \geq \frac{1}{1,47 + 4,69 \log h}$ |
| ^{a)} Při bezprostřední návaznosti či blízkosti vůči chráněným prostorům doporučujeme úpravu akustiky chodeb podle předpisu pro vyšší kategorie, optimálně kategorie 3. ^{b)} jedná se o základní předpis, komplexnímu řešení prostorové akustiky velkoplošných kanceláří se věnuje norma ČSN ISO 22955. ^{c)} U těchto prostor hraje roli zejména dispozice vůči okolním prostorům. Pro jejich časté otevření, nebo polootevřené provedení je řešení podle kategorie 3 zcela nezbytné. ^{d)} U prostorů call center je potřeba dbát na absorpci zvuku přímo u zdroje, ideálně pomocí vysoce pohltivých stolních nebo samostatných paravánů dostatečné výšky, doplněných lokálním akustickým obkladem stropu (více viz ČSN EN ISO 17624). | | | |

Význam veličin v tabulce 7:

- A celková ekvivalentní pohltivá plocha v prostoru, v m²;
V vnitřní objem prostoru, v m³;
h světlá výška prostoru, v m.

(ČSN 73 0527, srpen 2023, tab. 7)

Tabulka 5: Požadavky na prostory s provozní potřebou snížení hlučnosti a zajištění akustického pobytového komfortu

3.2 Vyhodnocení

Byl vypracován posudek prostorové akustiky na základě objednávky s cílem navrhnout a posoudit akustické systémy upravující parametry prostorové akustiky v rámci učebny Chemie v ZŠ Na Pěšině, Děčín. Simulace potvrdila, že opatření plochy podhledu akustickým systémem dle dané specifikace zajistí dobu dozvuku v rámci doporučených mezí daných normou ČSN 730527, a zároveň i výbornou hodnostu srozumitelnosti řeči STI. Je nutné konzultovat jakékoliv změny, aby nedošlo k narušení prostorové akustiky v posuzované místnosti.

Akustický zavěšený podhled případně akustické obklady stěn musí být odsazeny od tuhé konstrukce. Aby konstrukce byla tuhá, musí vykazovat minimální plošnou hmotnost $m' = 12 \text{ kg/m}^2$ (lépe $m' = 15 \text{ kg/m}^2$). Popř. musí být konstrukce ztužena pomocí ocelového rastru (např. z jejlů) 600x600 mm. Bez splnění požadavku na tuhou konstrukci nad minerálním podhledem nelze garantovat účinnost navržených opatření zavěšeného akustického podhledu.

Všechny prvky a rošty musí být provedeny precizně a dotaženy, aby nedocházelo k rezonanci panelů. Musejí být dodrženy veškeré technologické předpisy a postupy dané výrobcem. Výsledné provedení závisí na realizační firmě.

Posudek řeší pouze prostorovou akustiku. Neřeší zbylé části akustiky (stavební akustiku, hluk z objektu apod.) ani požární, mechanicko-odolnostní, bezpečnostní, tepelně technická ani jiná hlediska. Především doporučujeme prověřit umístění akustických materiálů z bezpečnostních hledisek (ostré hrany apod.) a z mechanicko-odolnostních hledisek

4 PŘÍLOHY

4.1 Vysvětlivky hodnocených parametrů

Při posouzení byly použity tyto parametry:

Doby dozvuku T_{30} , T_{20} , EDT (ČSN 73 0525, 73 0526 a 73 0527). Hodnoty a jejich toleranční rozsah jsou dány normami. Křivka doby dozvuku v závislosti na frekvenci by měla být vyrovnaná.

Hladina akustického tlaku SPL, pomocí něhož byla posouzena kvalita distribuce zvuku ve všech místech prostoru. Posuzuje se rozdíl mezi hodnotami SPL v jednotlivých bodech.

Jasnost C_{80} : Ukazatel „kvality“ prostoru pro daný účel, zejména pak pro hudební představení. Různé styly hudby vyžadují různou hodnotu jasnosti. Např. pro komorní hudbu se ideální hodnoty pohybují mezi -4 a +4 dB, atp.

Zřetelnost D_{50} : Parametr spjatý se srozumitelností řeči. Určuje kvalitu poslechu řeči v závislosti na daném prostoru. Používá se spíše v zahraničí (zejména v německy mluvících zemích).

Lateral fraction LF_{80} : hodnota závislá především na tvaru sálu a odrazivosti ploch. Spolu s hodnotami LF_{50} , LFC_{50} a LFC_{80} spoluurčuje kvalitu distribuce zvuku v závislosti na tvaru a objemu prostoru.

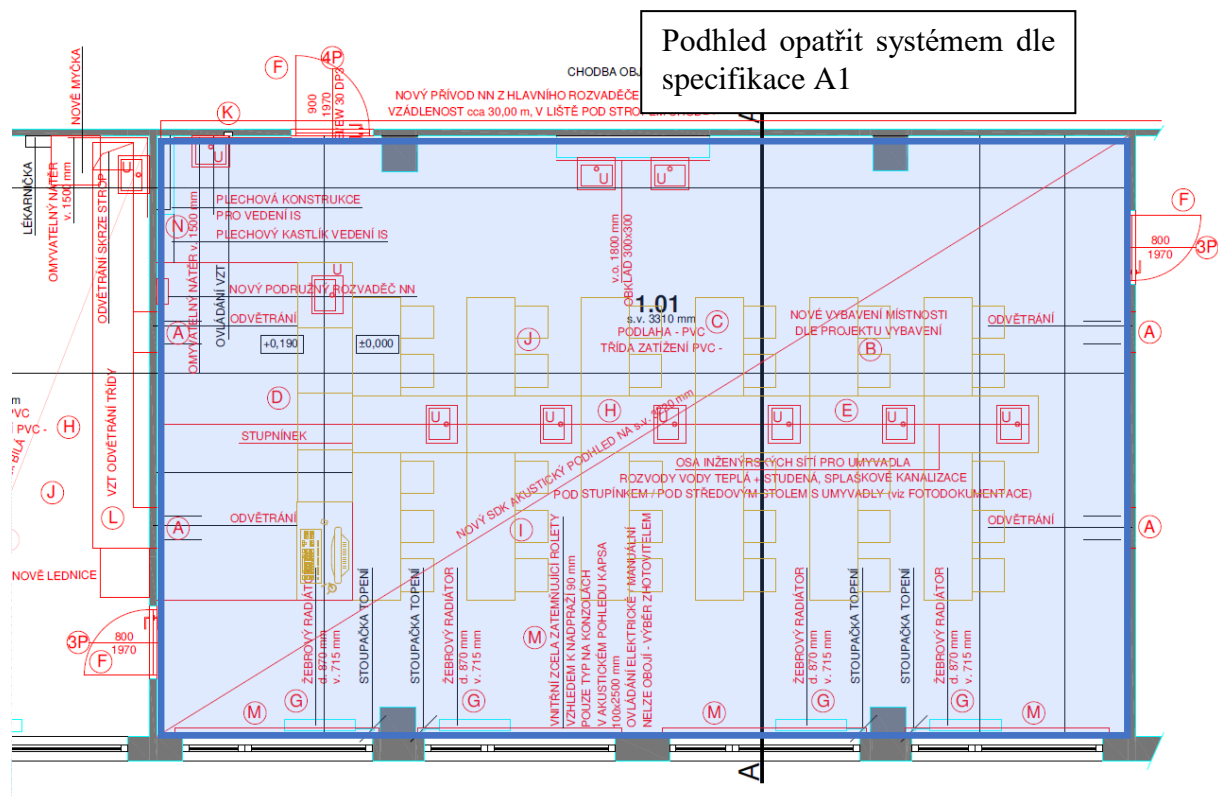
Echo: Hodnota, díky ní lze přesně určit, zda někde v prostoru nevzniká nepříjemná ozvěna, popř. ono místo s ozvěnou určit. Tento případný jev se pomocí pouhého výpočtu průměrné doby dozvuku nedá odhalit.

Obecná srozumitelnost řeči STI: zkoumá srozumitelnost jednotlivých slabik, slov, i celých vět v mluveném projevu. Tato hodnota je velice důležitá pro poslech mluveného slova a její posouzení by mělo být součástí každého posudku řešícího prostory primárně určené jako činoherní sály, posluchárny, učebny, apod.

STIPA – zjednodušená metoda měření frekvencí (testovacím signálem je šum) srozumitelnosti řeči

Alcons: Obdoba srozumitelnosti řeči STI, na rozdíl od srozumitelnosti řeči Alcons posuzuje také hluk pozadí, a pokud je, i jeho tónovou složku. V simulaci není s výraznějším hlukem pozadí počítáno.

4.2. Rozmístění akustických materiálů



Obrázek 6: Schéma rozmístění akustických systémů