

AKUSTICKÝ POSUDEK

**„Změna účelu využití stávajících prostor učebny
výtvarné výchovy v objektu ZŠ Gen. F. Fajtla“
z hlediska prostorové akustiky**

Objednatel Architektonická kancelář Křivka s.r.o.
Veronské nám. 377
109 00 Praha

Číslo zakázky 21015821-1
Datum vydání 2023-11-02

Vypracoval Ing. Jan Dolejší, Bc. Sofya Belov
mobil: 733 716 153



Počet výtisků 3
Výtisk číslo 1 2 3 E



Studio D-akustika s.r.o.
U Sirkárny 467/ 2a, 370 04 Č. Budějovice
DIČ: CZ25174240 (2)

© Všechna práva vyhrazena

Obsah tohoto Akustického posudku je chráněn Autorským zákonem.

Bez písemného svolení zpracovatele Studio D – akustika s.r.o. se nesmí Akustický posudek reprodukovat jinak než celý.

Obsah

1	VŠEOBECNÁ ČÁST	4
1.1.	Předmět zkoušky.....	4
1.2.	Metodické předpisy	4
1.2.1.	Standards.....	4
1.2.2.	Pomocné standardy	4
1.3.	Použité softwary	4
1.4.	Použité podklady	4
1.5.	Dokumentace	5
2	VÝSLEDKOVÁ ČÁST	7
2.1.	Učebna 1.10 - Popis prostoru	7
2.1.1.	Akustické řešení místnosti	7
2.1.2.	Návrh akustických úprav	8
2.1.3.	Akustická simulace a její hodnocení.....	9
2.1.4.	Akustická simulace a její hodnocení – obrazová část.....	13
3.	INTERPRETACE	16
3.1.	Požadavky z hlediska prostorové akustiky	16
3.2.	Vyhodnocení.....	17
4.	PŘÍLOHY.....	18
4.1.	Vysvětlivky hodnocených parametrů	18
4.2.	Schéma navržených akustických úprav	19

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru učebny 1.10	8
Tabulka 2:	Průměrné hodnoty akustických veličin v učebně 1.10 v obsazeném stavu	10
Tabulka 3:	Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} v učebně 1.10.....	11
Tabulka 4:	Tabulka pro základní vyhodnocení srozumitelnosti řeči STI	15

Seznam obrázků

Obrázek 1: Půdorys učebny 1.10.....	5
Obrázek 2: Řezy učebnou 1.10	6
Obrázek 3: Náhled 3D modelu učebny 1.10 včetně vyznačených virtuálních mikrofonů (modře) a zdroje zvuku (červeně)	7
Obrázek 4: Akustické vlastnosti navrženého systému A1	8
Obrázek 5: Akustické vlastnosti navrženého systému A2	9
Obrázek 6: Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů (ČSN 73 0527)	10
Obrázek 7: Průměrná doba dozvuku T_{30} (s) 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10.....	13
Obrázek 8: Zřetelnost D_{50} (%) pro 1 kHz v místnosti 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10.....	13
Obrázek 9: Echo dle Dietsch-Kraakova kritéria v úrovni 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10..	14
Obrázek 10: Srozumitelnost řeči STI, 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10.....	14
Obrázek 11: Schéma rozmístění akustických prvků dle specifikace – učebna 1.10 – půdorys .	19
Obrázek 12: Schéma rozmístění akustických prvků dle specifikace – učebna 1.10 – pohled do 3D modelu	20



1 VŠEOBECNÁ ČÁST

1.1. Předmět zkoušky

Tato studie byla vypracována na základě objednávky s cílem navrhnout a posoudit akustické systémy upravující parametry prostorové akustiky učebny 1.10 v projektu „Změna účelu využití stávajících prostor učebny výtvarné výchovy v objektu ZŠ Gen. F. Fajtla“.

Řešený prostor bude sloužit jako kmenová učebna. Zde je dáván důraz na kvalitu prostorové akustiky (dle doporučení normy ČSN 73 0527), zejména ale pak na kvalitu a funkčnost provedených akustických opatření vč. všech dalších nároků – např. mechanickou odolnost navržených akustických systémů.

Před provedením akustického modelu nebylo provedeno měření jednotlivých parametrů prostorové akustiky, tudíž nemohl být akustický model zkalibrován dle skutečného stavu prostoru na základě těchto měření. Před provedením akustických úprav prostoru doporučujeme tato měření provést a zkalibrovat, a případně upravit akustické řešení celého prostoru.

1.2. Metodické předpisy

1.2.1. 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

1.2.2. 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

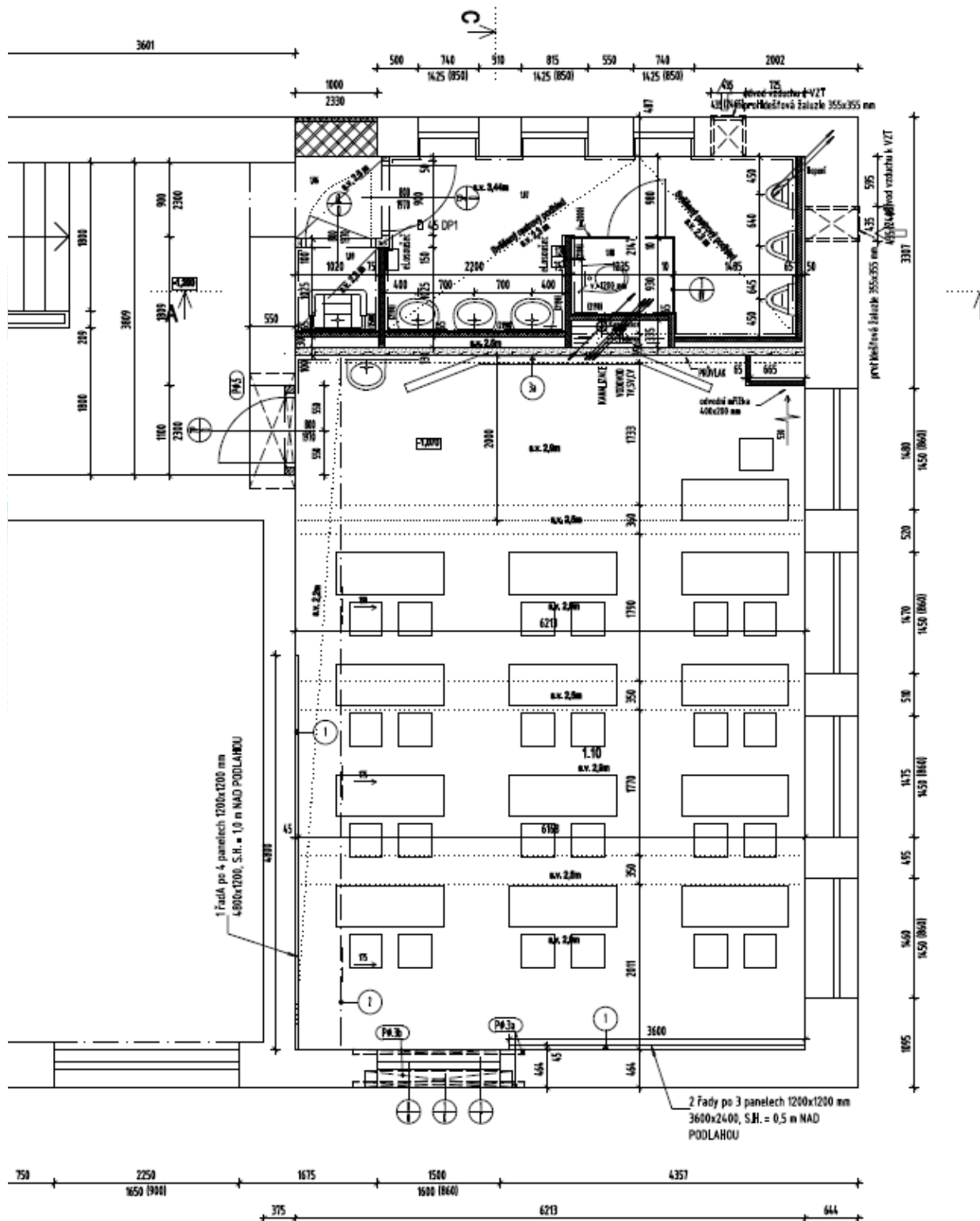
1.3. Použité softwary

- GstarCAD 2017
- Cinema 4D V11.027
- Odeon Auditorium v. 15.00
- MS Office (Excel, Word)

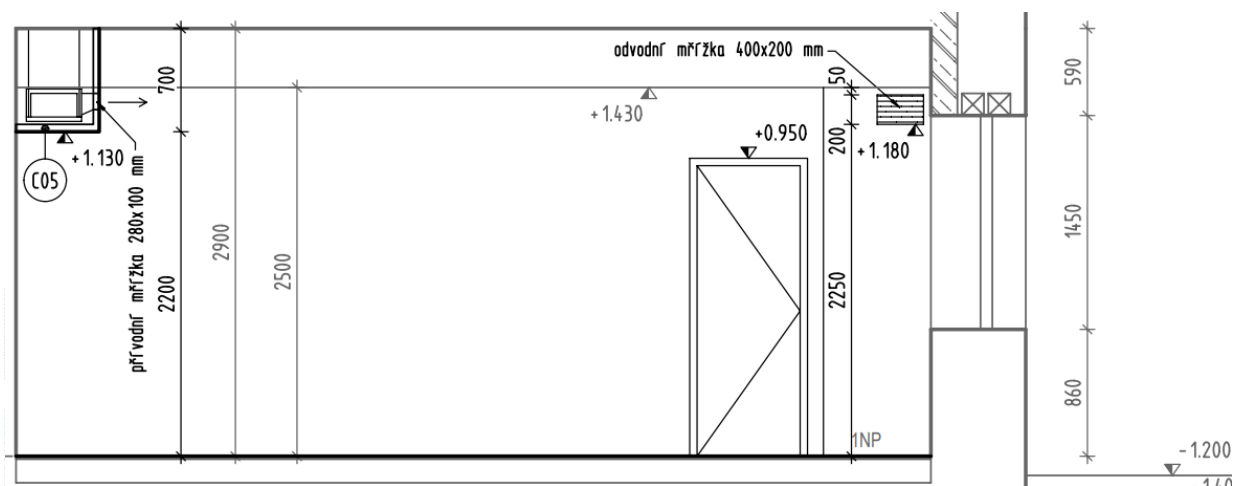
1.4. Použité podklady

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

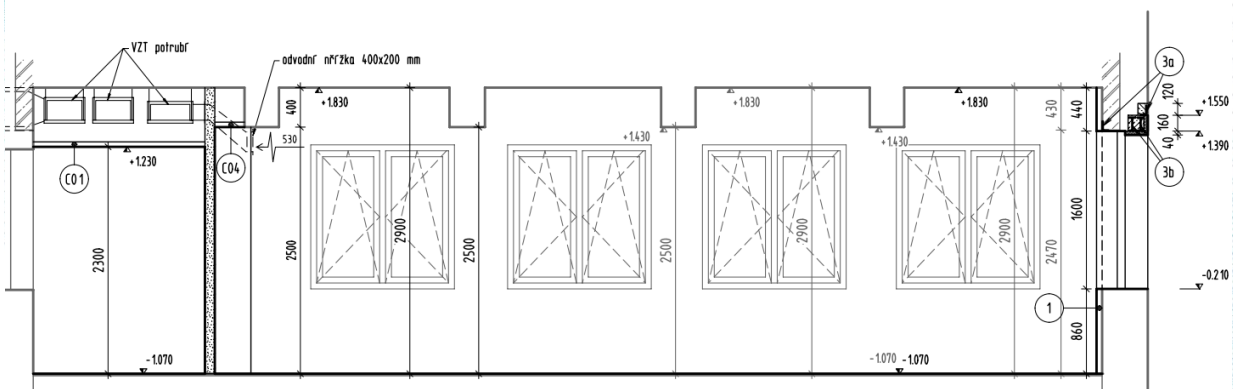
1.5. Dokumentace



Obrázek 1: Půdorys učebny 1.10



ŘEZ B-B'



Obrázek 2: Řezy učebnou 1.10

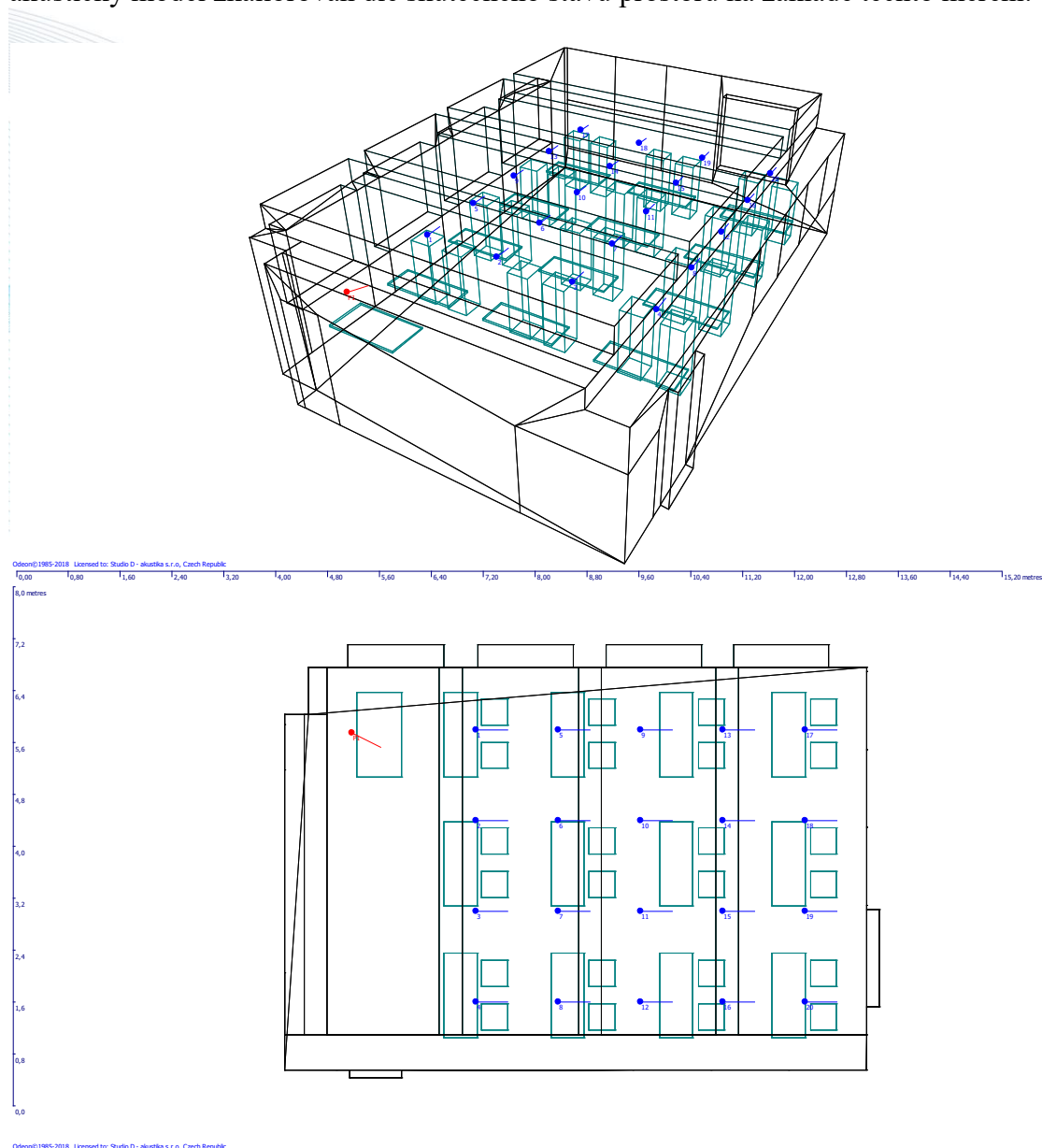
2 VÝSLEDKOVÁ ČÁST

2.1. Učebna 1.10 - Popis prostoru

Učebna 1.10 má délku 8,971 m a šířku 6,213 m. Nejvyšší světlá výška místnosti je 2,9 m, pod průvlakly stropu je světlá výška 2,5 m, pod opláštěním VZT potrubí je 2,2 m. Objem prostoru je $V = 158,20 \text{ m}^3$ (odměřeno z modelu) a celková plocha ohraničujících vnitřních povrchů konstrukcí je $S = 287,85 \text{ m}^2$ (odměřeno z modelu).

2.1.1. Akustické řešení místnosti

Na základě podkladů byl vytvořen akustický model. Před provedením akustického modelu nebylo provedeno měření jednotlivých parametrů prostorové akustiky, tudíž nemohl být akustický model zkalibrován dle skutečného stavu prostoru na základě těchto měření.



Obrázek 3: Náhled 3D modelu učebny 1.10 včetně vyznačených virtuálních mikrofónů (modře) a zdroje zvuku (červeně)

2.1.2. Návrh akustických úprav

V návrhu je uvažováno s místností v obsazeném stavu (dle ČSN 73 0527). Uvažované konstrukční materiály: povrch podlahy z PVC, kratší vnitřní stěnu, opláštění VZT potrubí, u umyvadla keramický obklad, ostatní stěny a strop tvoří omítnuté zděné konstrukce opatřené nátěrem. Detailněji jsou popsány jednotlivé skladby v projektové dokumentaci.

Veškeré použité akustické systémy jsou zobrazeny v následujících tabulkách a budou uspořádány dle přiložených výkresů (viz kapitola 4. Přílohy).

Ozn.	Typ akustického materiálu	Odsazení od tuhé desky	Popis	Výměra / m ²	Poznámka
A1	AMF THERMATEx Line Modern	Přisazeno přímo ke stěně	Akusticky pohltivé stěnové panely o rozměrech 1200 x 1200 x 43 mm	14,4 m²	Rozmístění viz přílohy
A2	Rigips Gyptone BIG Line 6	60 mm	Sádrokartonové perforované desky o rozměrech 1200 x 2400 x 12,5 mm	43,1 m²	Rozmístit celoplošně na svislou část opláštění VZT potrubí a do 3 polí mezi průvlaky v zadní části učebny +50 mm minerální izolace

Tabulka 1: Tabulka použitých akustických materiálů v interiéru učebny 1.10

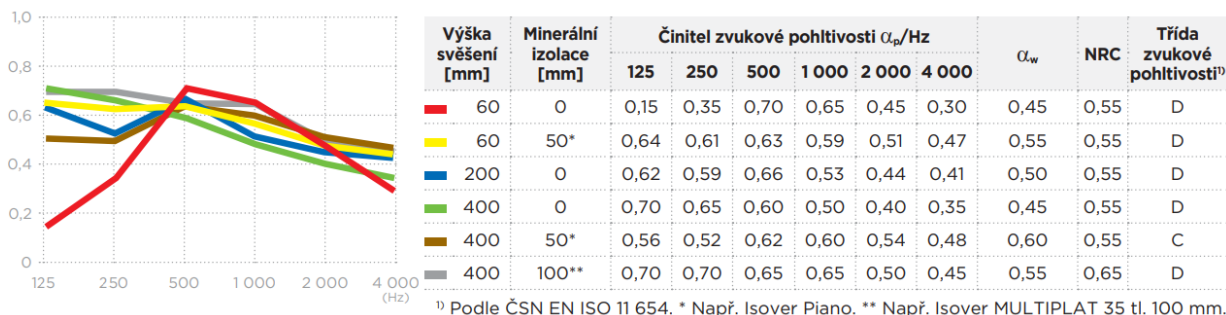
EN ISO 354

Frekvence f (Hz) ekvivalentní absorpční plocha A_{obj}^*	125	250	500	1000	2000	4000
1200 x 600mm	0.20	0.60	1.00	0.90	0.80	0.90
1200 x 1200mm	0.50	1.10	1.60	1.50	1.50	1.50
1800 x 1200mm	0.60	1.90	2.50	2.40	2.20	2.40
2400 x 1200mm	1.10	2.20	3.10	3.10	3.00	3.10

* Zobrazené hodnoty jsou střední hodnoty 3 frekvencí v rámci jedné oktávy.

Obrázek 4: Akustické vlastnosti navrženého systému A1

Činitel zvukové pohltivosti α_p



Obrázek 5: Akustické vlastnosti navrženého systému A2

Pozn.: Vzhledem ke skutečnosti, že se může na 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).

2.1.3. Akustická simulace a její hodnocení

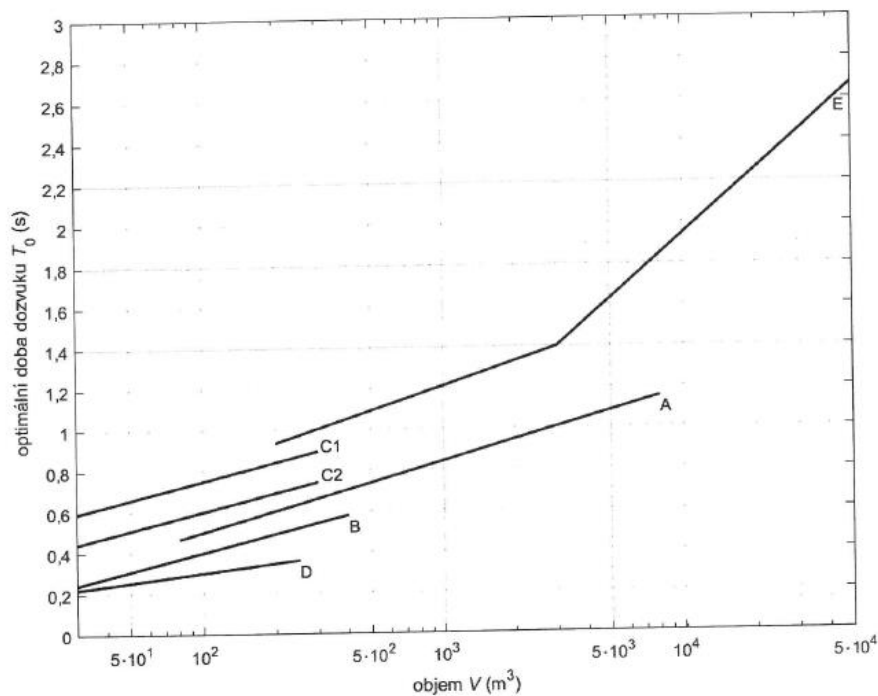
Zjednodušený geometrický model místnosti byl vytvořený na základě projektové dokumentace poskytnuté zadavatelem. Zvukopohltivé vlastnosti vnitřních povrchů byly stanovené podle dříve naměřených dat. Počítačová simulace byla provedená pro všesměrový zdroj zvuku a všesměrové přijímače (mikrofony).

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

Na základě objemu místnosti a jejího účelu využití (kmenová učebna) byl zvolen požadavek na optimální dobu dozvuku $T_0 = 0,57$ s.

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.



Obrázek 6: Optimální doba dozvuku T_0 pro jednotlivé typy prostorů (ČSN 73 0527)

Frekvence (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Simulace T_{30} (s)	0,67	0,64	0,56	0,52	0,52	0,45
Simulace T_{20} (s)	0,66	0,62	0,56	0,51	0,5	0,45
Simulace EDT (s)	0,62	0,59	0,43	0,41	0,44	0,42
SPL (dB) ****	79,5	78,2	76,7	76,5	76,8	76,6
C_{80} (dB)	4,3	6,0	8,5	9,0	8,5	8,8
D_{50} (-)	0,55	0,63	0,73	0,75	0,73	0,74
T_s (ms)	61	50	37	36	38	37
LF_{80} (-)	0,273	0,258	0,241	0,240	0,243	0,244
$ECHO_{MAX}$ (-)*	0,48	0,46	0,43	0,43	0,43	0,43
STI (-)***	0,76			Alcons (%)**		4,29
STI (Žena) (-)***	0,75			RASTI (-)***		0,75
STI (Muž) (-)***	0,74					

Tabulka 2: Průměrné hodnoty akustických veličin v učebně 1.10 v obsazeném stavu

*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.

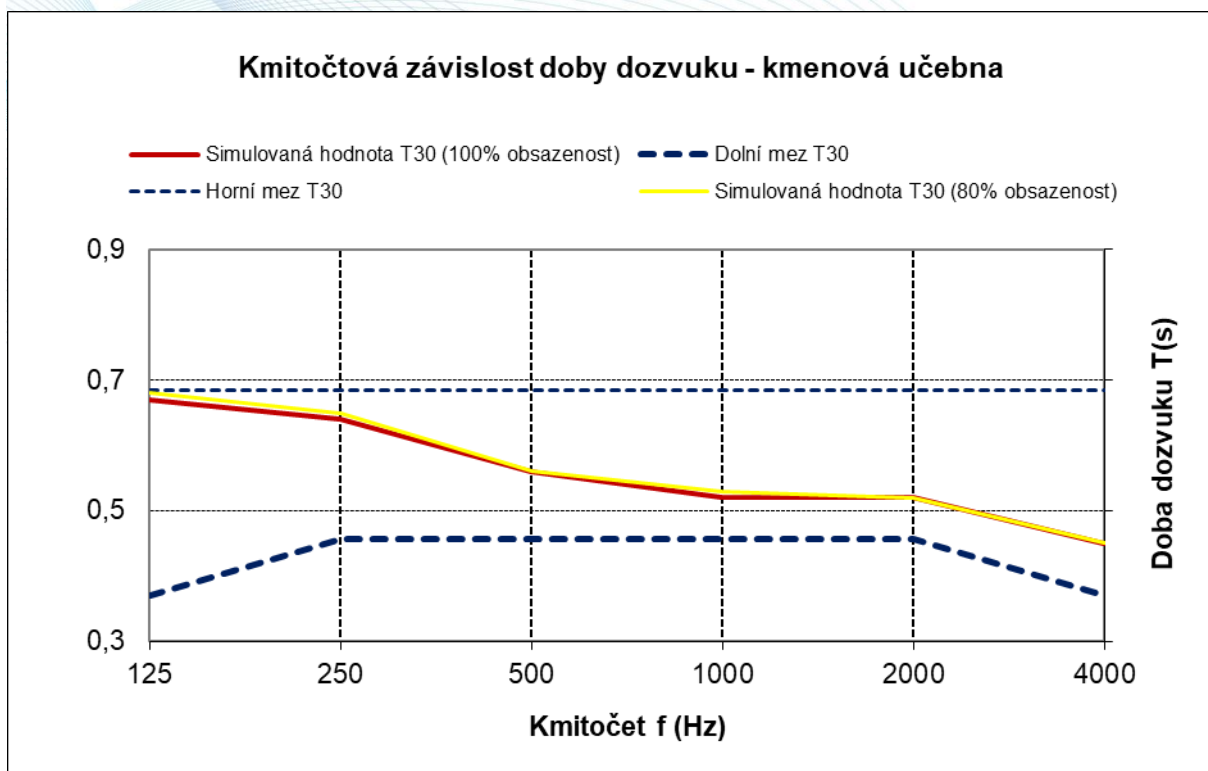
** Parametr Alcons (Articulation loss): Přípustné rozmezí je 0-11%.

*** 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 0,6-1,0. Přičemž ideálně by se měly nacházet v rozmezí 0,7-1. hodnoty STI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu hluku pozadí <35 dB.

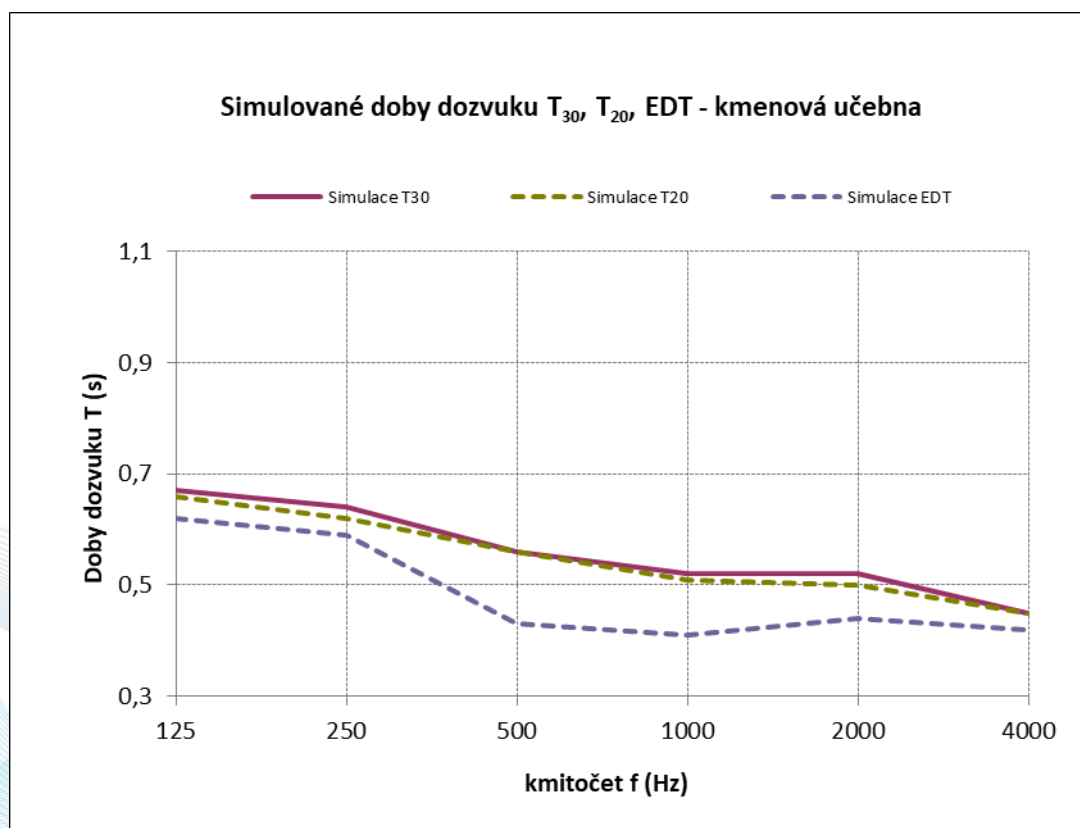
****Průměrná hodnota akustického tlaku v místnosti za předpokladu akustického výkonu zdroje 90 dB.

Frekvence (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Simulace T_{30} (s) (80% obsazená místnost)	0,67	0,64	0,56	0,52	0,52	0,45
Simulace T_{30} (s) (100% obsazená místnost)	0,68	0,65	0,56	0,53	0,52	0,45
Horní mez T_{30} (s)	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684
Dolní mez T_{30} (s)	0,3705	0,456	0,456	0,456	0,456	0,3705

Tabulka 3: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} v učebně 1.10

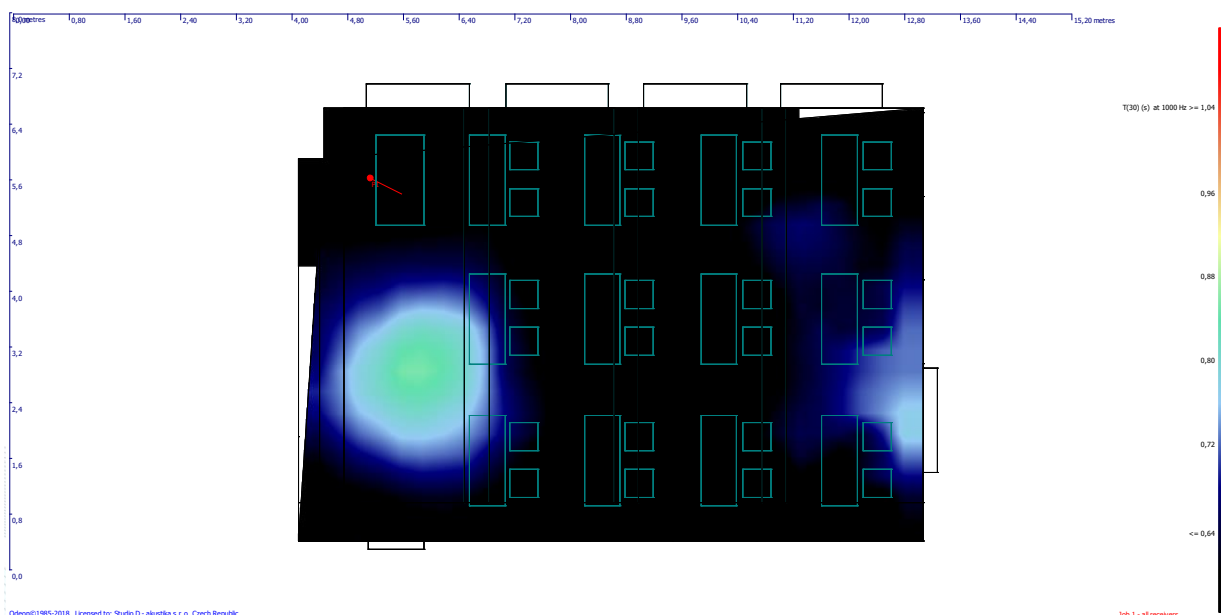


Graf 1: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{30} a meze jejího tolerančního pásma v učebně 1.10

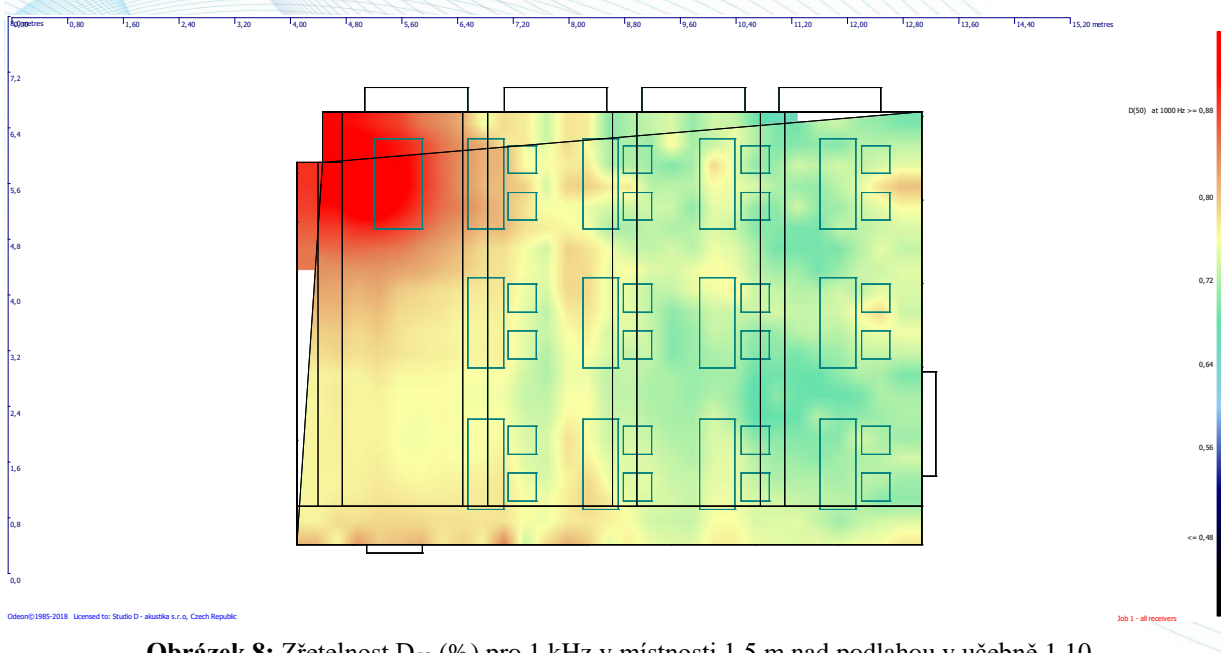


Graf 2: Simulovaná průměrná doba dozvuku T_{20} , T_{30} a EDT v učebně 1.10 v obsazeném stavu

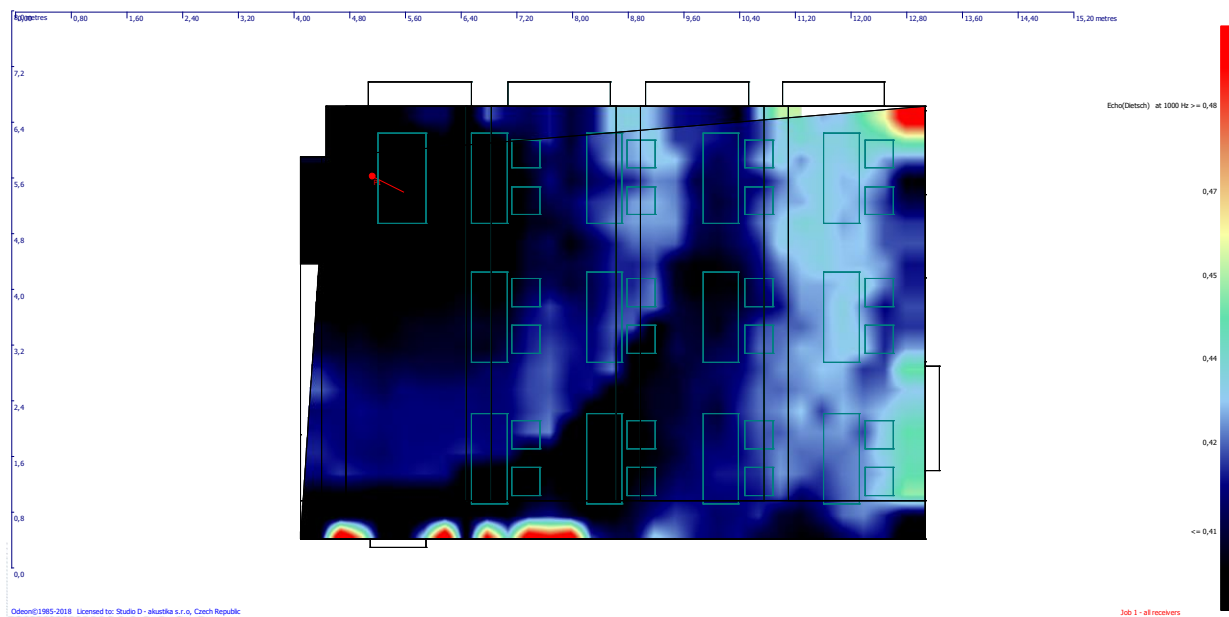
2.1.4. Akustická simulace a její hodnocení – obrazová část



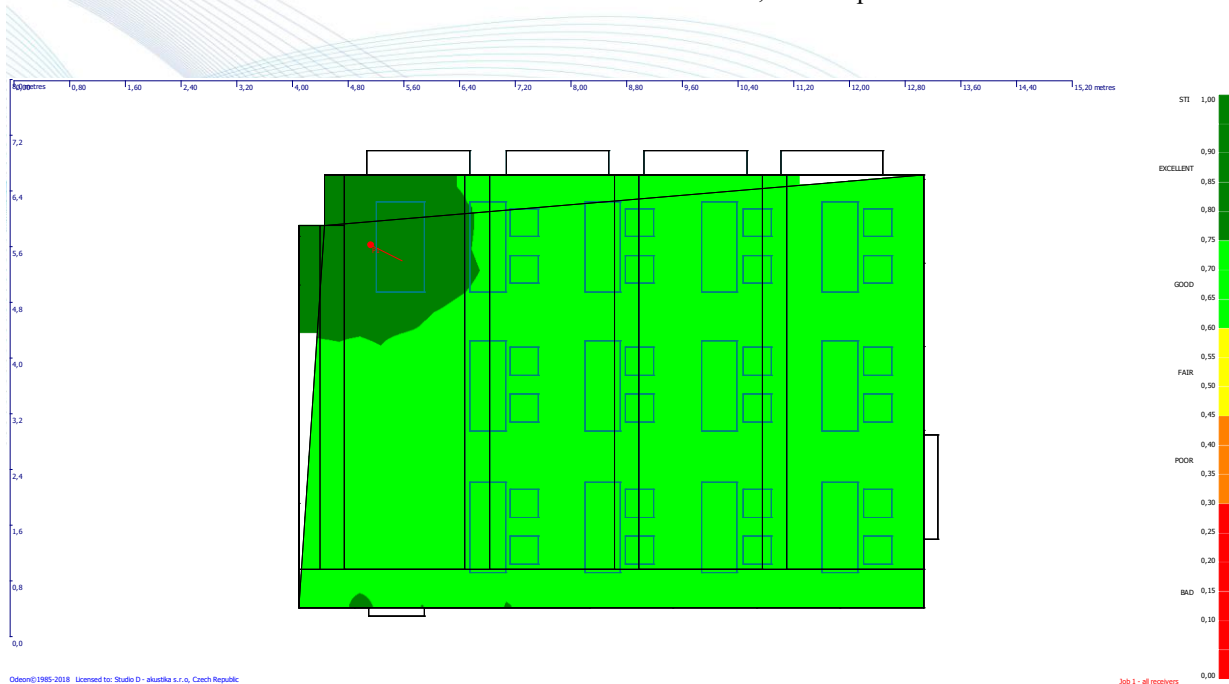
Obrázek 7: Průměrná doba dozvuku T_{30} (s) 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10



Obrázek 8: Zřetelnost D_{50} (%) pro 1 kHz v místnosti 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10



Obrázek 9: Echo dle Dietsch-Kraakova kritéria v úrovni 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10



Obrázek 10: Srozumitelnost řeči STI, 1,5 m nad podlahou v učebně 1.10

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 4: 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 apod.

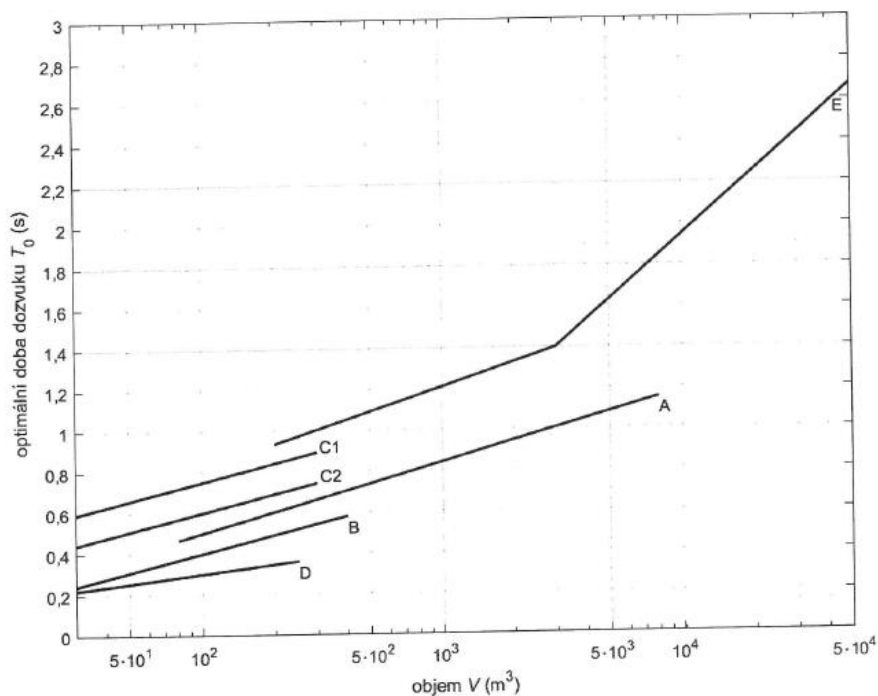
Hodnoty STI pro mužský i ženský hlas, a stejně tak RASTI byly vypočítané pro předpokládanou hladinu pozadí hluku <35 dB. Doporučené hodnoty parametru STI pro mluvené slovo jsou v rozmezí 0,8-0,9.

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.



Graf 3: Požadavky na optimální dobu dozvuku v učebnách v závislosti na objemu a účelu jejich využití

3.2. Vyhodnocení

Byl vypracován a následně posouzen návrh upravující prostorovou akustiku v učebně 1.10 v projektu „Změna účelu využití stávajících prostor učebny výtvarné výchovy v objektu ZŠ Gen. F. Fajtla“.

Z výpočtů je zřejmé, že výsledné hodnoty doby dozvuku v obou hodnocených prostorech se budou pohybovat cca v limitních (mezních) hodnotách – zejména na oktávovém frekvenčním pásmu 125 Hz. Z tohoto důvodu doporučujeme prostor doplnit dodatečně prvky/materiály, které budou zajišťovat zvukovou pohltivost na nízkých frekvencích (perforované odsazené systémy, basové pasty v rozích místností, apod.).

Akustické simulace potvrdily, že navržené akustické úpravy zabezpečí dobrou srozumitelnost řeči v obou učebnách. Průměrná doba dozvuku T_{30} v učebně se bude nacházet v mezích tolerančního pásma doporučených hodnot doby dozvuku pro dané využití.

Je nutné konzultovat jakékoliv změny, aby nedošlo k narušení prostorové akustiky v posouzených místnostech.

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.

Akustický zavěšený podhled včetně akustických obkladů stěn musí být přisazeny přímo k tuhé konstrukci. 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 jelek) 600x600 mm. Bez splnění požadavku na tuhou konstrukci nad minerálním podhledem nelze garantovat účinnost navržených opatření zavěšeného minerálního podhledu.

Je nutné konzultovat jakékoliv změny, aby nedošlo k narušení prostorové akustiky v posouzených místnostech.

4. PŘÍLOHY

4.1. Vysvětlivky hodnocených parametrů

Při posouzení byly použity tyto parametry:

Doby dozvuku T30, T20, 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 C80: 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 D50: Parametr spjatý se srozumitelností řeči. Určuje kvalitu poslechu řeči v závislosti na daném prostoru.

Lateral fraction LF80: hodnota závislá především na tvaru sálu a odrazivosti ploch. Spolu s hodnotami LF50, LFC50 a LFC80 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.

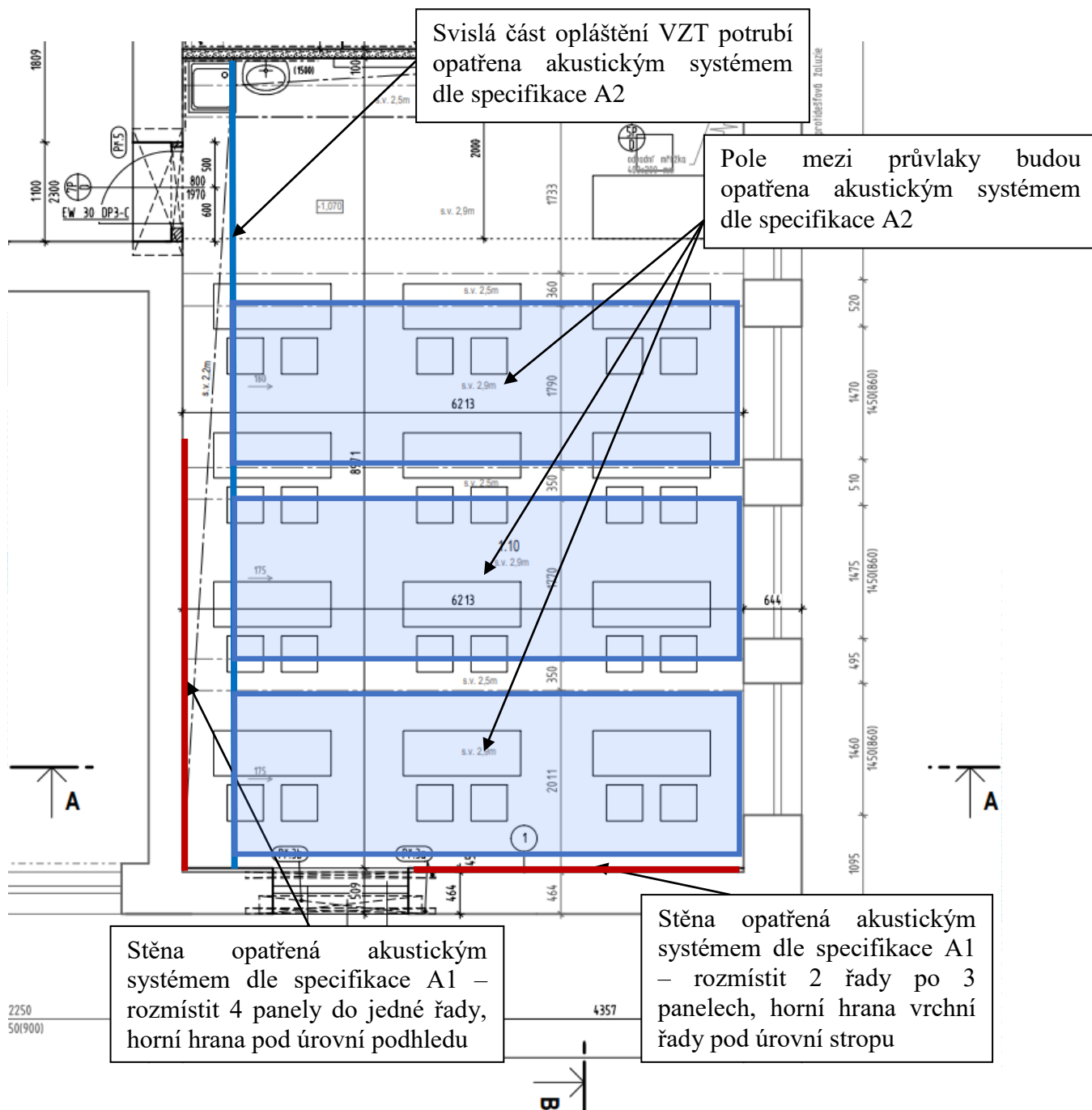
Obecná srozumitelnost řeči STI: zkoumá srozumitelnost jednotlivých slabik, slov i celých vět v mluveném projevu. Tato hodnota je velice důležitá pro poslech mluveného slova a její posouzení by mělo být součástí každého posudku řešícího prostory primárně určené jako činoherní sály, posluchárny, učebny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

Srozumitelnosti řeči STI/Muž/ a STI/Žena/ Jsou řešené kvůli rozdílné průměrné hloubce/výšce hlasu muže/ženy.

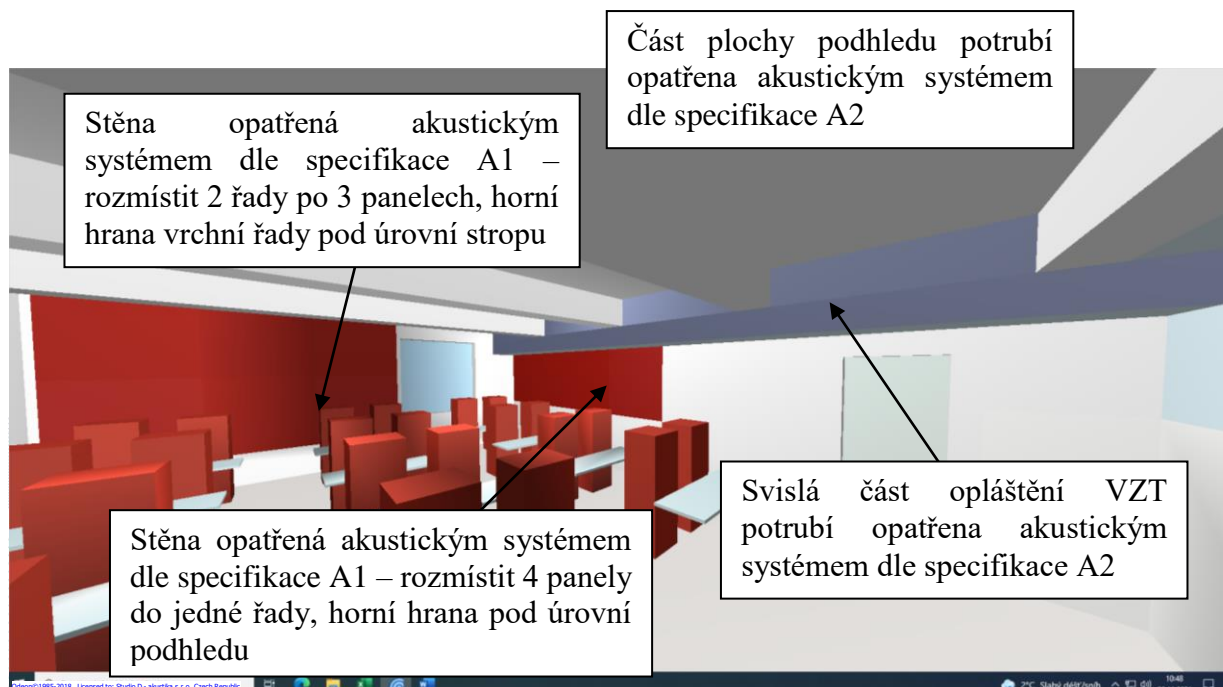
Srozumitelnost řeči RASTI: STI, kde jsou započteny rušivé vlivy elektroniky a měřicích přístrojů bez možnosti kalibrace měřicího systému (např. šum, malý rozsah spektra apod.).

Alcons: Obdobu 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. Schéma navržených akustických úprav



Obrázek 11: Schéma rozmístění akustických prvků dle specifikace – učebna 1.10 – půdorys



Obrázek 12: Schéma rozmístění akustických prvků dle specifikace – učebna 1.10 – pohled do 3D modelu