

**ZŠ a MŠ Antonína Čermáka
Praha 6
Vzorové učebny**

Studie prostorové akustiky

Prosinec 2023

Název akce: **Studie prostorové akustiky učeben**
ZŠ Čermáka Praha 6

Zadavatel: **ZŠ a MŠ Antonína Čermáka**
Antonína Čermáka 1022/6
160 00 Praha 6 - Bubeneč

Zhotovitel: **FONICA art, s.r.o.**
Heřmanova 1088/8
170 00 Praha 7



Vedoucí projektu: **Vladimír Helebrant**

Zprávu vypracoval: **Vladimír Helebrant**

Kontroloval: **Vladimír Helebrant**

Veškerá práva k využití si vyhrazuje FONICA art, s.r.o. společně se zadavatelem.

Výsledky a postupy obsažené ve zprávě jsou duševním majetkem společnosti FONICA art, s.r.o., a jsou chráněny autorskými právy ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Praha, 18.12.2023

Obsah:

1. Úvod	3
2. Stručný popis řešeného prostoru	3
2.1 Místnost č. 211	3
2.2 Místnost č. 223	4
3. Požadavky na dobu dozvuku, resp. akustickou úpravu	7
4. Výpočet doby dozvuku	9
5. Materiály pro akustickou úpravu	10
5.1 Akustické úpravy stropu (podhledy)	10
5.2 Akustické úpravy stěn	12
6. Stručný popis akustických úprav	15
6.1 Akustické úpravy stropu (podhledy) místnosti č. 211	15
6.2 Akustické úpravy stěn místnosti č. 211.....	16
6.3 Akustické úpravy stropu (podhledy) místnosti č. 223	17
6.4 Akustické úpravy stěn místnosti č. 223.....	18
6.5 Výkaz výměr navrhovaného akustického materiálu pro obě místnosti	18
7. Závěr	19
8. Použité podklady	20
9. Přílohy	20

1. Úvod

Předmětem této zprávy je návrh akustických úprav dvou vzorových učeben v objektu ZŠ Čermáka Praha 6.

Jedná se o následující učebny :

- místnost č. 211 – standardní učebnu
- místnost č. 223 – standardní učebnu

V daných prostorách jsou navrženy akustické úpravy za účelem dosažení vhodných akustických podmínek – vhodné doby dozvuku.

Součástí zprávy je rovněž stanovení vhodných mezí doby dozvuku na základě rešerše technických norem, odborných doporučení a zkušeností z obdobných realizací.

Snížením doby dozvuku obecně dochází ke zlepšení srozumitelnosti konverzace a k omezení nežádoucích přeslechů a odrazů zvuku, což má za důsledek zlepšení celkově vnímaného akustického komfortu a kvality vnitřního prostředí obecně.

2. Stručný popis řešeného prostoru

2.1 Místnost č. 211

Dle dodané projektové dokumentace je podlahová plocha místnosti 61 m² a výška stropu cca 3,7 m nad podlahou.

Půdorys místnosti má obdélníkový tvar o délce cca 8,8 m a šířce cca 6,7 m (viz *obr. 1*).

Celkový objem místnosti je cca 226 m³ a celková plocha všech obklopujících stěn (včetně podlahy a stropu) je cca 242 m².

Plocha stropu se pro následující akustický výpočet (viz *kapitola 4*) uvažuje jako omítka na pevném podkladu, tedy z akustického hlediska odrazivá plocha.

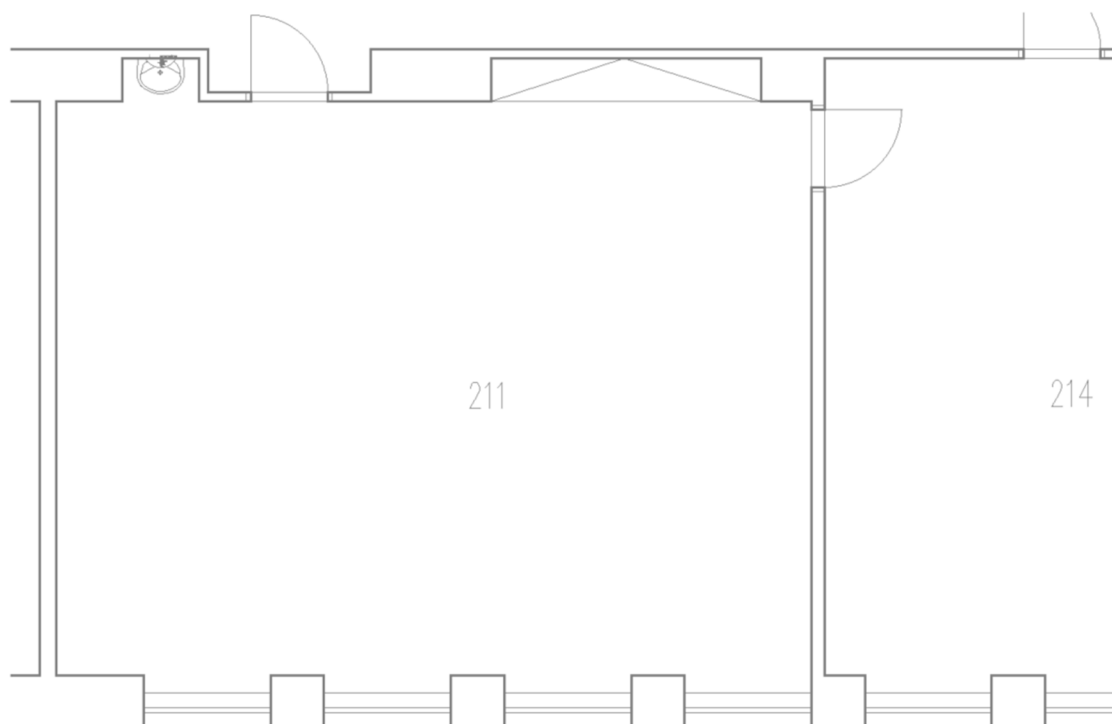
Plochy stěn se uvažují z části jako plochy oken s dvojitým zasklením, s částečnou zvukovou pohltivostí na nízkých frekvencích, dále jako plochy dveří (dřevo masiv, částečná zvuková pohltivost na nižších a středních frekvencích) a plochy skříní (dřevo univerzální, částečná zvuková pohltivost na nižších a středních frekvencích).

Zbylé plochy stěn se uvažují jako omítka na pevném podkladu, tedy akusticky odrazivé plochy.

Podlaha se uvažuje z vinylu, tedy obecně zvukově odrazivá.

V prostoru se počítá s lavicemi pro žáky a obsazeností cca 32 žáků.

Tato místnost se z hlediska požadavků pro stanovení optimální doby dozvuku (viz *kapitola 3*) uvažuje jako standardní učebna.



Obr. 1 – Půdorys místnosti č. 211.

2.2 Místnost č. 223

Podlahová plocha místnosti je 76 m² a výška stropu cca 3,7 m nad podlahou.

Půdorys místnosti má obdélníkový tvar o délce cca 11,2 m a šířce cca 6,6 m (viz *obr. 2*).

Celkový objem místnosti je cca 280 m³ a celková plocha všech obklopujících stěn (včetně podlahy a stropu) je cca 287 m².

Plocha stropu se pro následující akustický výpočet (viz *kapitola 4*) uvažuje jako omítka na pevném podkladu, tedy z akustického hlediska odrazivá plocha.

Plochy stěn se uvažují z části jako plochy oken s dvojitým zasklením, s částečnou zvukovou pohltivostí na nízkých frekvencích, dále jako plochy dveří (dřevo masiv, částečná zvuková pohltivost na nižších a středních frekvencích) a plochy skříní (dřevo univerzální, částečná zvuková pohltivost na nižších a středních frekvencích).

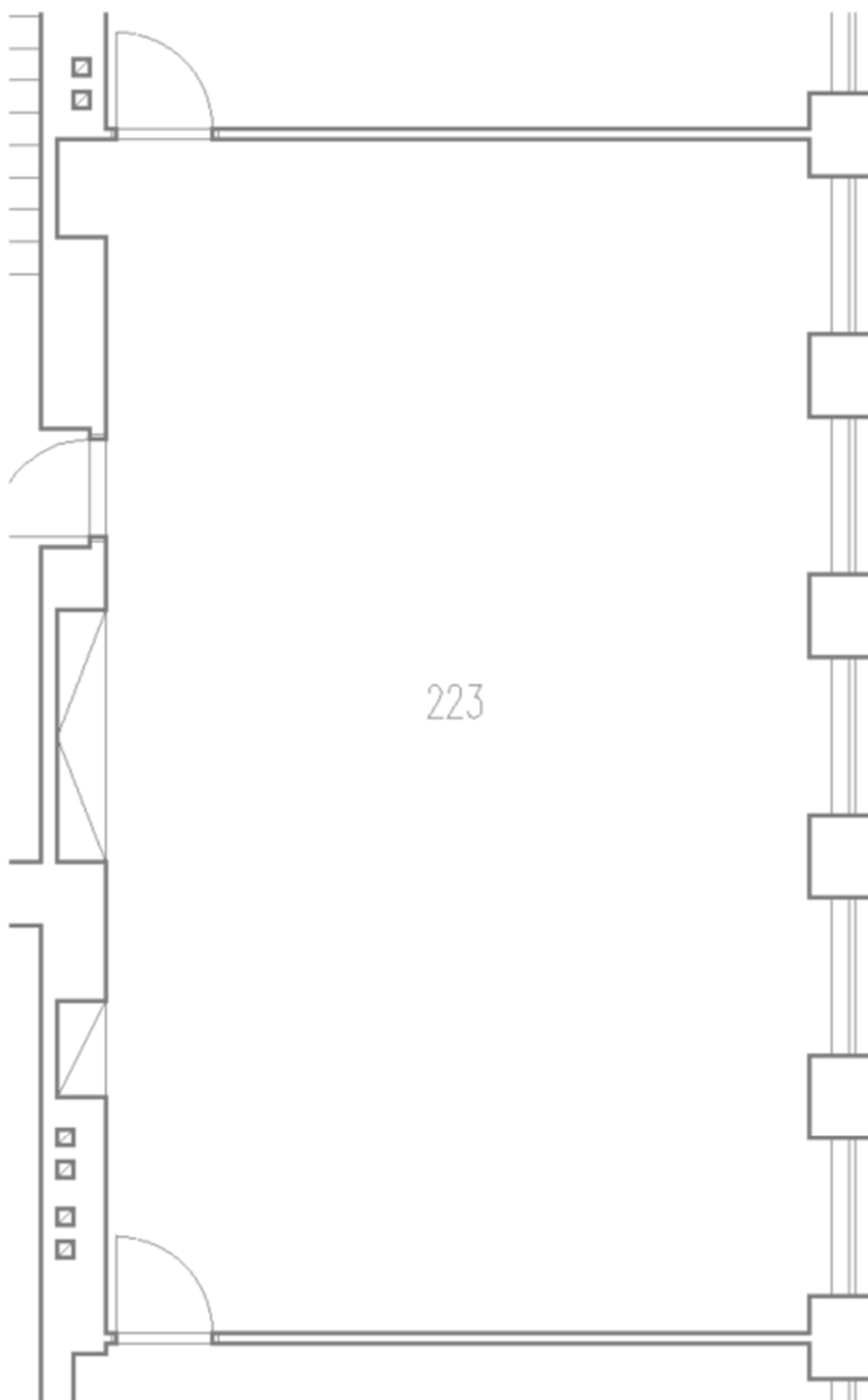
Zbylé plochy stěn se uvažují jako omítka na pevném podkladu, tedy akusticky odrazivé plochy.

Podlaha se uvažuje z vinylu, tedy obecně zvukově odrazivá.

V prostoru se počítá s lavicemi pro žáky a obsazeností cca 32 žáků.

Tato místnost se z hlediska požadavků pro stanovení optimální doby dozvuku (viz *kapitola 3*) uvažuje jako standardní učebna.

Parametry obou uvažovaných místností jsou přehledně uvedeny v *tabulce 1*.



Obr. 2 – Půdorys místnosti č. 223.

Parametry místností	Místnost č. 211	Místnost č. 223
Délka místnosti	8,8 m	11,2 m
Šířka místnosti	6,7 m	6,6 m
Plocha podlahy	61 m ²	75,7 m ²
Obvod podlahy	32,4 m	36,7 m
Výška místnosti	3,7 m	3,7 m
Objem místnosti	225,6 m ³	280,2 m ³
Obsah místnosti	241,8 m ²	287,4 m ²

Tab. 1 – Parametry uvažovaných místností.

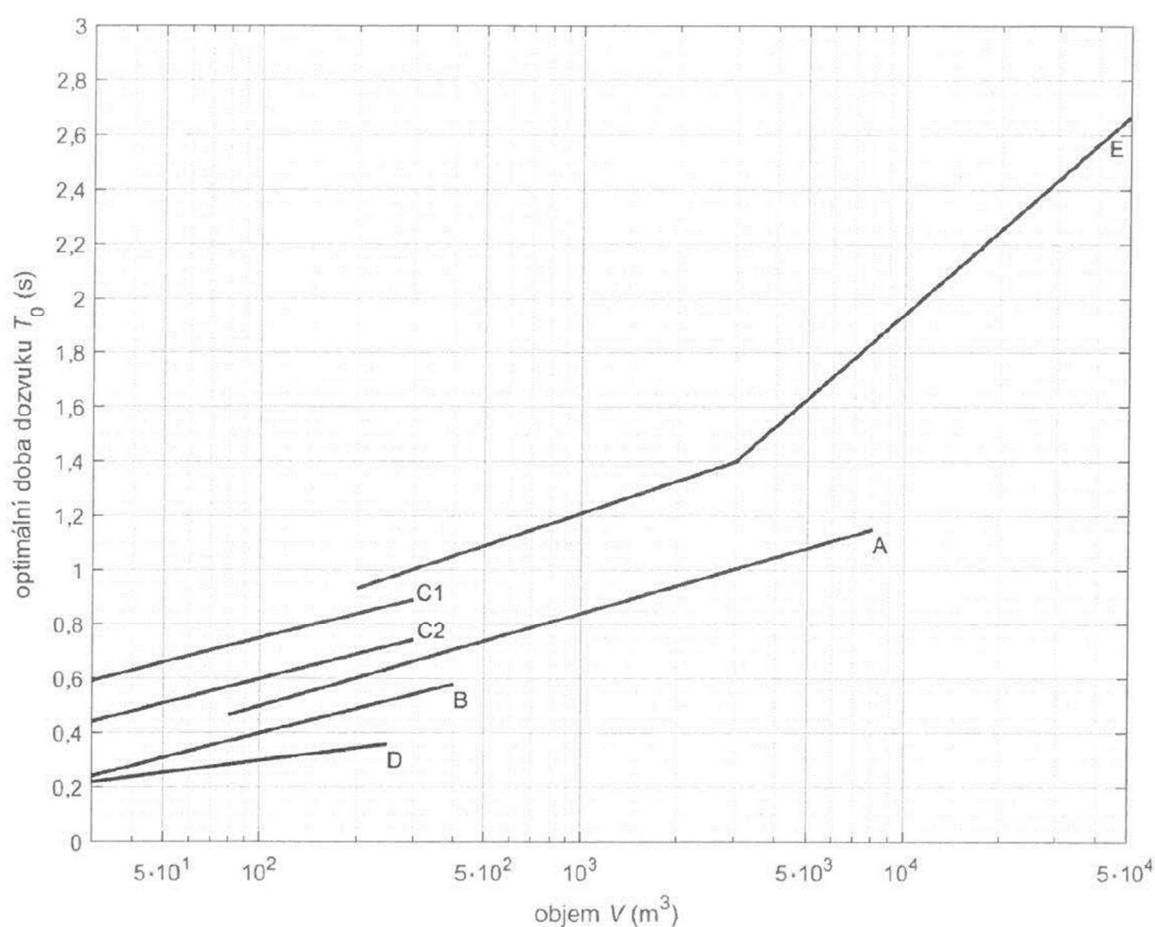
3. Požadavky na dobu dozvuku, resp. akustickou úpravu

Optimální doba dozvuku T_0 sledovaného prostoru je dána jeho objemem a způsobem využití.

Pro stanovení doporučených hodnot doby dozvuku vyjdeme z ČSN 73 0527. V našem případě **standardních (kmenových) učeben** norma přímo stanoví požadavky na prostory tohoto typu.

Optimální doba dozvuku T_0 se stanoví podle objemu místnosti a způsobu využití z následujícího normou udávaného obrázku (viz obr. 3) a vztahu /1/.

Pro stanovení optimální doby dozvuku pro prostory standardních učeben platí *křivka A* a vztah /1/.



Obr. 3 – Závislost optimální doby dozvuku T_0 (s) pro kmitočet 1000 Hz na objemu V (m^3) uzavřeného prostoru.

$$T_0 = 0,342 \cdot \log V - 0,185 \text{ (s)} \quad /1/$$

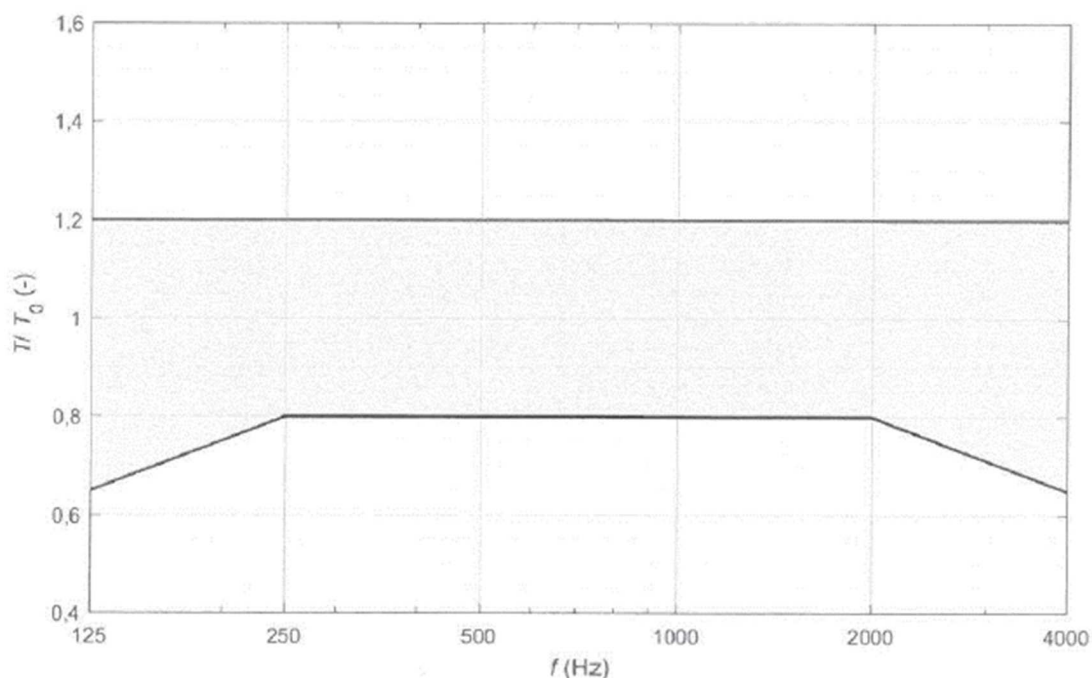
Konkrétní požadavek dle ČSN 73 0527 pro náš případ standardní učebny č. 211 (objem $V =$ cca 226 m³) je tento:

$$T_0 = \text{cca } 0,62 \text{ s} \quad /2/$$

Konkrétní požadavek dle ČSN 73 0527 pro náš případ standardní učebny č. 223 (objem $V =$ cca 287 m³) je tento:

$$T_0 = \text{cca } 0,65 \text{ s} \quad /3/$$

Frekvenční průběh doby dozvuku by měl v uvažovaném prostoru probíhat v rozsahu od 125 Hz do 4 kHz uvnitř tolerančního pásma dle ČSN 73 0527 – viz následující obrázek (obr. 4).



Obr. 4 - Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 učebny v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma.

4. Výpočet doby dozvuku

Výpočet doby dozvuku ve stavu bez navrhovaných akustických úprav po úpravách

Výpočet doby dozvuku v obou případech byl proveden dle ČSN 73 0525 podle Eyringova vztahu:

$$T_E = \frac{0,163 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_s) + 4mV} \text{ (s)} \quad /4/$$

kde V ... objem místnosti

S ... celková plocha ohraničujících stěn místnosti

α_s ... střední činitel zvukové pohltivosti (-)

m ... činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu

Střední činitel zvukové pohltivosti vypočteme podle vztahu:

$$\alpha_s = \frac{\sum S_i \cdot \alpha_i}{S} \text{ (-)} \quad /5/$$

kde S_i ... je dílčí pohltivá plocha (m²)

α_i ... činitel zvukové pohltivosti dílčí plochy (-)

Výpočet doby dozvuku byl proveden podle ČSN 73 0525 a ČSN 73 0527 v oktávových pásmech se středními frekvencemi 125 Hz až 4 kHz. Cílové doby dozvuku T_0 byly voleny v souladu s požadavky v kapitole 3.

Vypočítané doby dozvuku v daných místnostech jsou uvedeny v příloze 1 a příloze 2, kde jsou graficky znázorněny frekvenční průběhy vypočítané doby dozvuku.

Činitele zvukové pohltivosti α vstupující do výpočtů byly stanoveny na základě odborné literatury, firemních údajů a provedených měření stejných nebo podobných akustických materiálů a prvků.

5. Materiály pro akustickou úpravu

Při návrhu akustických úprav byly za základ vzaty požadavky uvedené v kapitole 3.

Z výpočtů doby dozvuku (viz příloha 1 a příloha 2 – červené křivky grafů) je zřejmé, že bez dodatečných akustických úprav by uvažované prostory nevyhověly konkrétnímu požadavku nebo doporučení dle ČSN 73 0527 na frekvenční průběh doby dozvuku. Proto musí být doplněny akustické úpravy, aby bylo zajištěno splnění požadavku nebo doporučení dle ČSN 73 0527 a aby byl zlepšen celkový akustický komfort uživatelů. Návrh těchto úprav je předmětem této studie.

5.1 Akustické úpravy stropu (podhledy)

Jako stropní akustický prvek je uvažována kombinace širokopásmového minerálního podhledu a nízkofrekvenčního minerálního podhledu.

ŠMP + MV – širokopásmový minerální podhled s minerální vatou

Technický popis:

- Minerální rastrový podhled s funkcí širokopásmové frekvenční zvukové pohltivosti.
- Vysoký činitel zvukové pohltivosti zejména v oblasti středních a vyšších frekvencí.
- Jednotlivé panely rastru o rozměru 600 x 600 mm, tl. 15 mm, nebo 1200 x 600 mm, tl. 15 mm.
- Instalace akustických minerálních panelů se provádí na pod strop svěšený kovový rošt – rastr.
- Instalace minerální vaty se provádí položením na akustické minerální panely do vzduchové mezery mezi strop a akustický podhled.
- Plošná hmotnost celého systému (roštu se zavěšenými NMP panely a minerální vatou) je cca 3 kg/m².
- Rastr s akustickými minerálními panely je svěšený pod stropem cca 150 mm.
- Standardní barva bílá.
(jiné barvy oproti standardním jsou možné po dohodě)
- Akustické panely jsou pohledově identické s podhledem NMP + MV.
- Hrana minerálních panelů A, přírazný rast T24.
- Hodnoty zvukové pohltivosti akustického materiálu o ploše 1 m² při svěšení 150 mm jsou uvedeny v tabulce níže (viz tab. 2).

Činitel zvukové pohltivosti α					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,55	0,9	1	1	1	1

Tab. 2 – Činitel zvukové pohltivosti ŠMP + MV udávané výrobcem.

Referenční produkt: Ecophon Gedina A + ExtraBass, svěšení 150 mm.

NMP + MV - nízkofrekvenční minerální podhled s minerální vatou

Technický popis:

- Minerální rastrový podhled s funkcí nízkofrekvenční zvukové pohltivosti.
- Vysoký činitel zvukové pohltivosti zejména v oblasti nízkých frekvencí.
- Jednotlivé panely rastru o rozměru 600 x 600 mm, tl. 15 mm, nebo 1200 x 600 mm, tl. 15 mm.
- Instalace akustických minerálních panelů se provádí na pod strop svěšený kovový rošt – rastr.
- Instalace minerální vaty se provádí položením na akustické minerální panely do vzduchové mezery mezi strop a akustický podhled.
- Plošná hmotnost celého systému (roštu se zavěšenými NMP panely a minerální vatou) je cca 3 kg/m².
- Rastr s akustickými minerálními panely je svěšený pod stropem cca 150 mm.
- Standardní barva bílá.
(jiné barvy oproti standardním jsou možné po dohodě)
- Akustické panely jsou pohledově identické s podhledem ŠMP + MV.
- Hrana minerálních panelů A, přírazný rast T24.
- Hodnoty zvukové pohltivosti akustického materiálu o ploše 1 m² při svěšení 150 mm jsou uvedeny v tabulce níže (viz tab. 3).

Činitel zvukové pohltivosti α					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,6	0,5	0,3	0,45	0,25	0,2

Tab. 3 – Činitel zvukové pohltivosti NMP + MV udávané výrobcem.

Referenční produkt : Ecophon Gedina A gamma + ExtraBass, svěšení 150 mm.



Obr. 5 – ukázka z realizace rastrového podhledu.

5.2 Akustické úpravy stěn

SAO – stěnový akustický obklad

Technický popis:

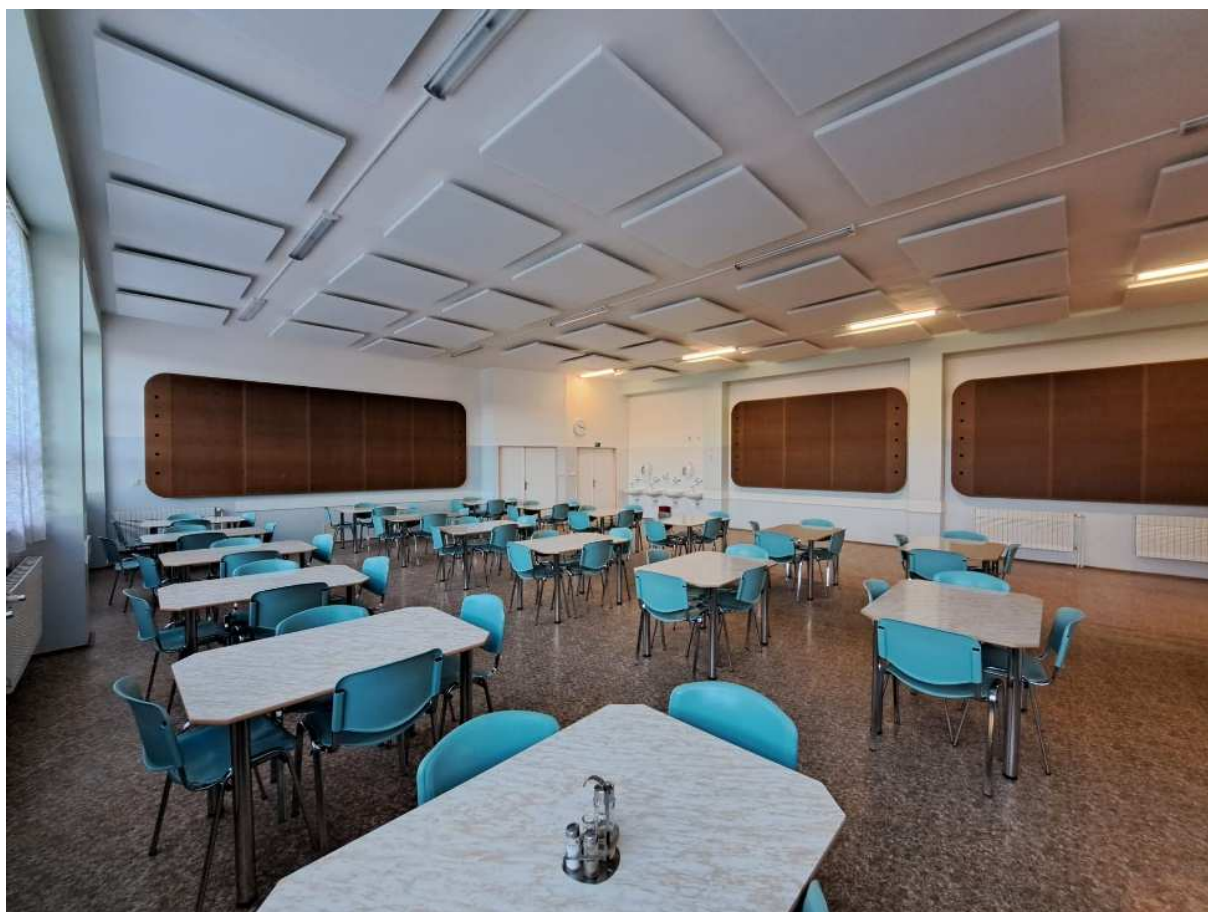
- Akustický obklad stěn na bázi dřeva s látkovým povrchem, nebo povrchem lakovaným nebo olejovaným s kombinovanou funkcí širokopásmové + nízko-tónové zvukové pohltivosti.
- Obklad je navržen tak, aby zvuková pohltivost ve frekvenčním pásmu byla naladěna na míru požadavkům dané místnosti.
- Jádrem ze zvukopohltivého materiálu, povrch průzvučná tkanina.
- Panel je nabízen v různých povrchových a barevných variantách.
- Uvažují se panely o rozměrech cca 1000 x 1000 mm, tloušťka cca 100 mm.
- Instalace kontaktně na stěny.

- Hodnoty zvukové pohltivosti jsou uvedené v tabulce níže (viz *tab. 4*).

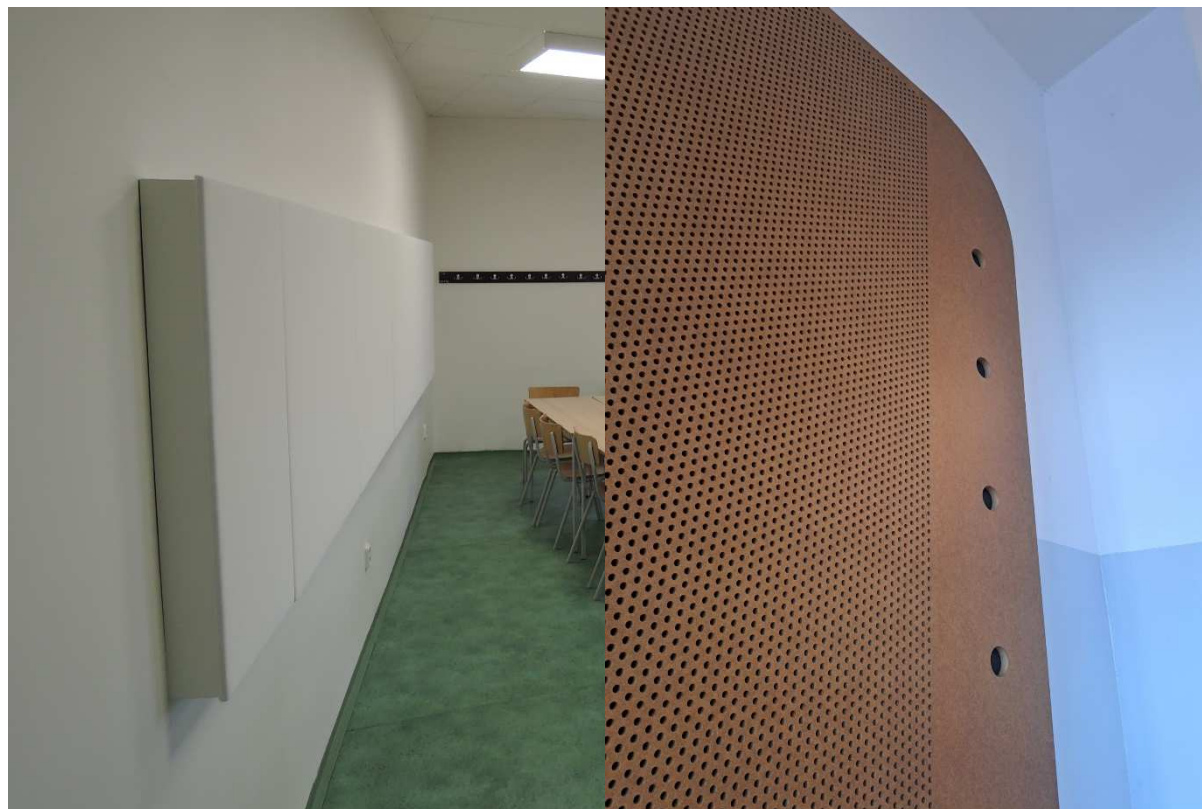
Zvuková pohltivost alfa					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3

Tab. 4 – Činitel zvukové pohltivosti SAO udávané výrobcem.

Referenční produkt : Ekola FRAMEX – DO-10 akustický stěnový panel.



Obr. 6 – Ukázka realizace panelu Framex.



Obr. 7 – Ukázka realizace panelu Framex. Povrch látka a povrch lakovaný.

6. Stručný popis akustických úprav

Následující kapitola stručně popisuje provedení navrhovaných akustických úprav obou učeben.

6.1 Akustické úpravy stropu (podhledy) místnosti č. 211

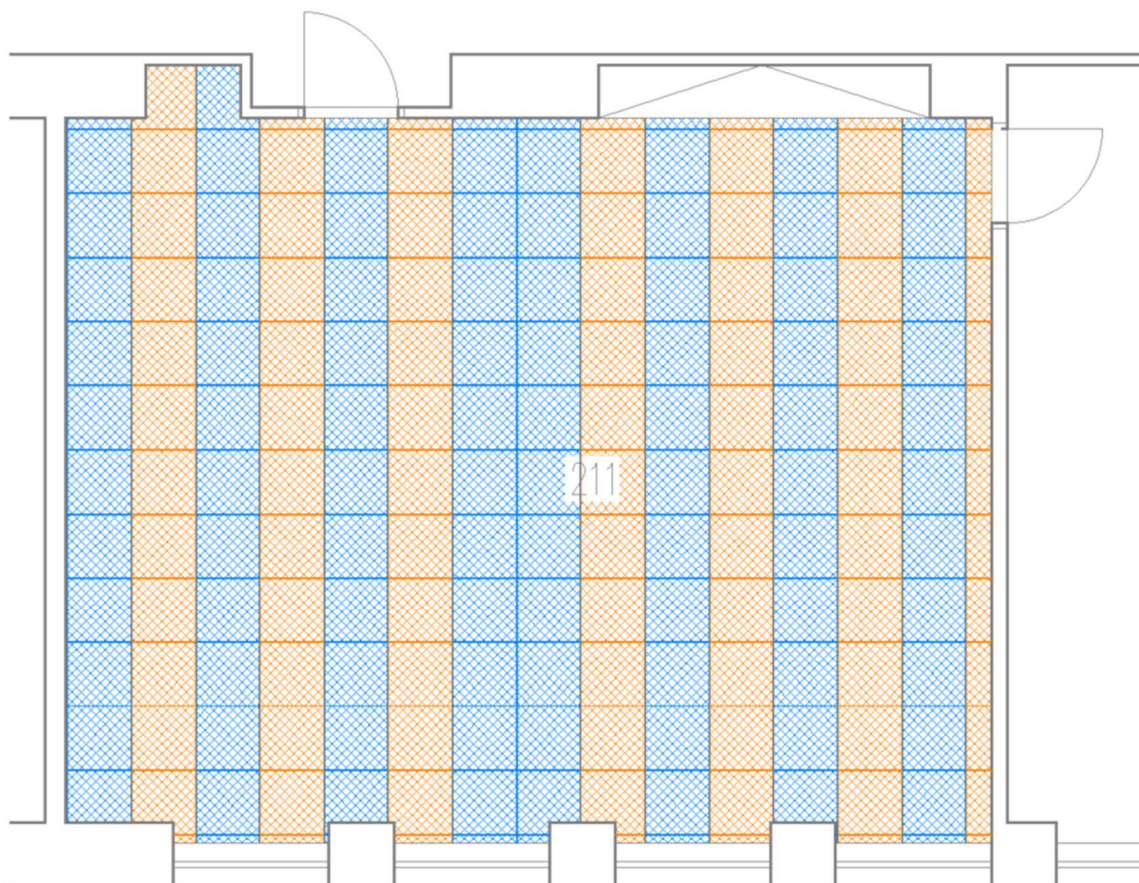
Stropní akustické panely ŠMP a NMP (viz popis v kapitole 5) o rozměrech 600 x 600 mm jsou uloženy v kovovém roštu s rastroem cca 14 x 11, který pokrývá celou plochu stropu.

Z toho 40% plochy stropního akustického podhledu tvoří akustické panely ŠMP a 60% plochy podhledu tvoří akustické panely NMP. Doporučené uspořádání akustických panelů je zobrazeno na *obrázku*, kde příčné řady NMP panelů se střídají s příčnými řadami ŠMP panelů.

Kovový rošt s akustickým podhledem je svěšen pod strop cca 150 mm.

Vzduchová mezera mezi podhledem a stropem je vyplněna minerální vatou v celé ploše podhledu.

Celý navrhovaný systém akustické úpravy stropu má plošnou hmotnost cca 3 kg/m².



Obr. 8 – Ukázka uspořádání stropních akustických panelů..

6.2 Akustické úpravy stěn místnosti č. 211

Pro akustický návrh obkladu stěn je použito 5 nástěnných akustických panelů SAO (viz popis v kapitole 5), které tvoří pás o celkové délce 5 m a výšce 1 m.

Jednotlivé akustické panely tvořící pás jsou na stěnu připevněny kontaktně (viz obr. 6 a obr. 7).

Stěnový akustický pás je horizontálně umístěn na střed zadní stěny učebny a vertikálně do výšky cca 1,2 m (počítáno od spodní hrany pásu).

Navrhovaný akustický stěnový obklad má zamezit vzniku třepotavé ozvěny (flutteru) mezi rovnoběžnými stěnami místnosti.

6.3 Akustické úpravy stropu (podhledy) místnosti č. 223

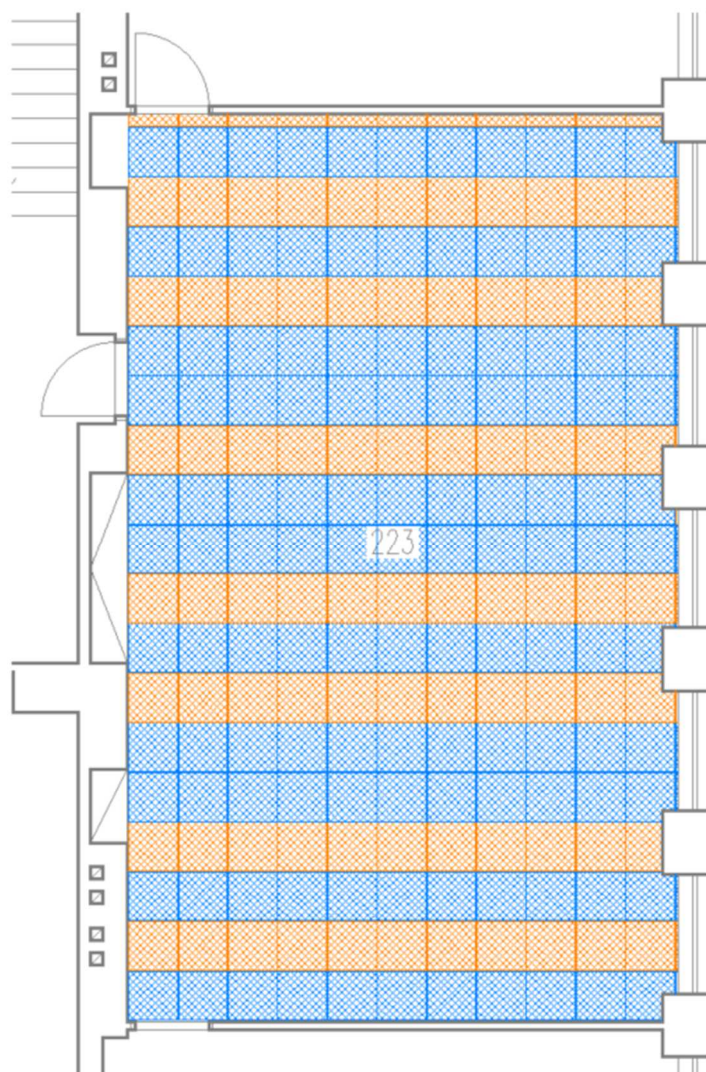
Stropní akustické panely ŠMP a NMP (viz popis v kapitole 5) o rozměrech 600 x 600 mm jsou uloženy v kovovém roštu s rastrem cca 18 x 11, který pokrývá celou plochu stropu.

Z toho akustické panely ŠMP pokrývají 40% plochy stropního akustického podhledu a zbylých 60% plochy akustického podhledu pokrývají akustické panely NMP. Doporučené uspořádání akustických panelů je zobrazeno na obrázku 9, kde příčné řady NMP panelů se střídají s příčnými řadami ŠMP panelů.

Kovový rošt s akustickým podhledem je svěšen pod strop cca 150 mm.

Vzduchová mezera mezi podhledem a stropem je vyplněna minerální vatou v celé ploše podhledu.

Celý navrhovaný systém akustické úpravy stropu má plošnou hmotnost cca 3 kg/m².



Obr. 9 – Ukázka uspořádání stropních akustických panelů.

6.4 Akustické úpravy stěn místnosti č. 223

Pro akustický návrh obkladu stěn je použito 5 nástěnných akustických panelů SAO o rozměrech 1 x 1 m (viz popis v kapitole 5), které tvoří pás o celkové délce 5 m a výšce 1 m.

Akustický pás je na stěnu připevněn kontaktně (viz obr. 6 a obr. 7).

Stěnový akustický pás je horizontálně umístěn na střed zadní stěny učebny a vertikálně do výšky cca 1,2 m (počítáno od spodní hrany pásu).

Navrhovaný akustický stěnový obklad má zamezit vzniku třepotavé ozvěny (flutteru) mezi rovnoběžnými stěnami místnosti.

6.5 Výkaz výměr navrhovaného akustického materiálu pro obě místnosti

Navržené akustické úpravy	Potřebná plocha akustického obkladu [m2]	Počet kusů akustických panelů [ks]
Místnost č. 211		
Stropní akustické panely ŠMP	24,4	68
Stropní akustické panely NMP	36,6	102
Stěnové akustické panely SAO	5	5
Místnost č. 223		
Stropní akustické panely ŠMP	30,3	85
Stropní akustické panely NMP	45,4	127
Stěnové akustické panely SAO	5	5

Tab. 5 – Výkaz výměr navrhovaného akustického materiálu.

7. Závěr

Výpočet doby dozvuku byl proveden teoreticky dle normy na základě Eyringova vztahu, viz kapitola 6.

Výsledky výpočtu doby dozvuku pro obě vzorové učebny jsou zobrazeny v tabulkách a grafech v příloze 1 a příloze 2.

Vypočítaná doba dozvuku učeben ve stavu bez akustických úprav s 80% obsazeností (viz červená křivka v grafech přílohy 1 a přílohy 2) leží nad normou udávaným tolerančním pásmem.

Po navrhovaných akustických úpravách (viz kapitola 5 a kapitola 6) frekvenční závislost doby dozvuku v obou uvažovaných učebnách (viz zelená křivka v grafech přílohy 1 a přílohy 2) již splňuje normou dané toleranční pásmo v celém uvažovaném frekvenčním rozsahu 125 Hz – 4 kHz.

Pro dosažení normou požadované doby dozvuku v celém uvažovaném rozsahu doporučujeme použít akustické prvky zmíněné v kapitole 5 v navrhovaném počtu kusů a rozmístění popsaném v kapitole 6.

Snížení doby dozvuku na základě výše popsaných navrhovaných akustických opatření způsobí snížení hlučnosti a zajistí zvýšení srozumitelnosti v obou učebnách. Všechny tyto zmíněné akustické faktory mají vliv na dosažení optimálního akustického komfortu v uvažovaných prostorách.

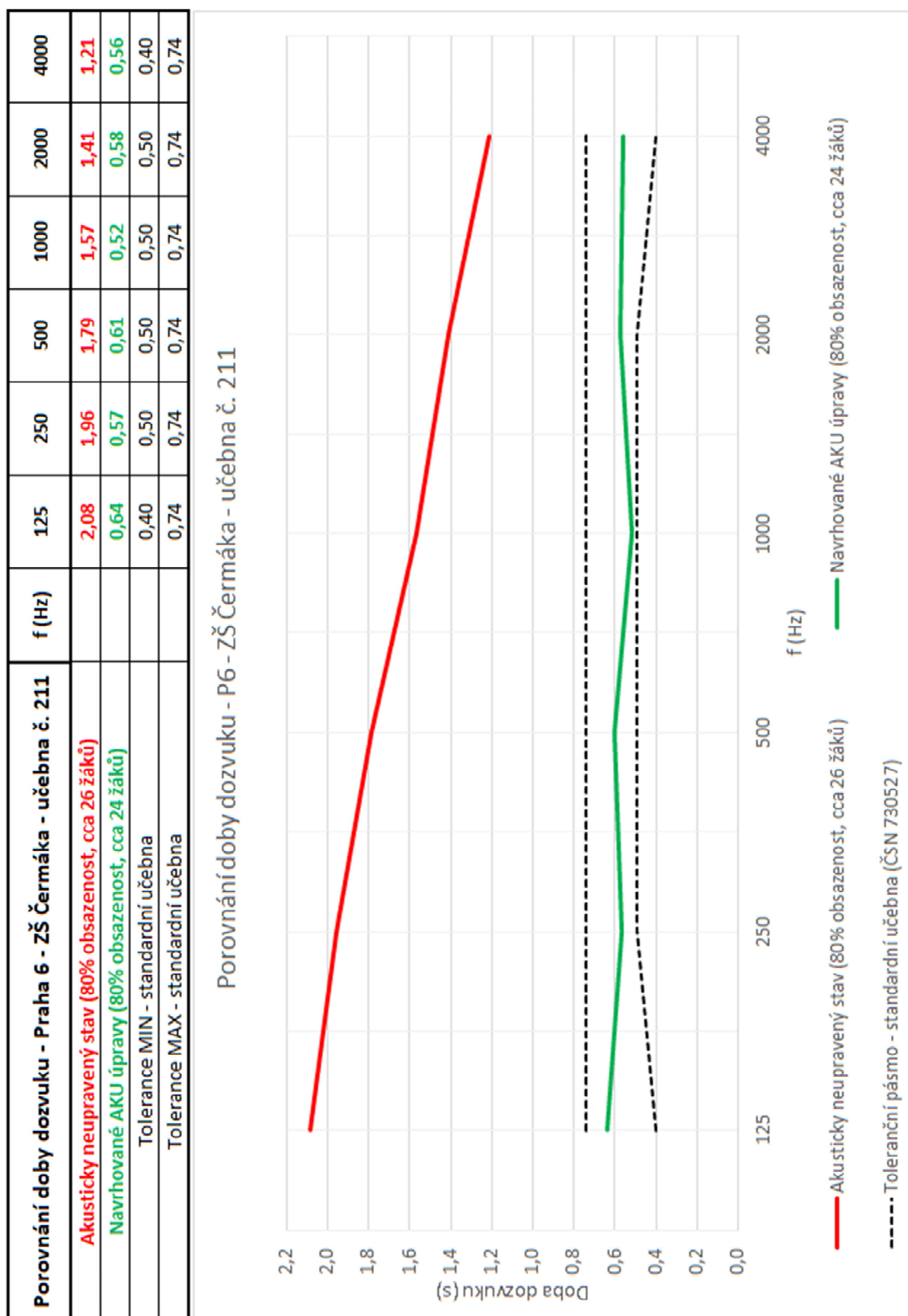
Akustické parametry závisí nejen na rozsahu akustické úpravy, ale také na rozmístění navrhovaných akustických prvků. Dojde-li k výraznějším změnám oproti návrhu v tomto dokumentu, je nutné je konzultovat s akustikem.

8. Použité podklady

- /1/ Podklady poskytnuté objednatelem (půdorysy a řezy objektu)
- /2/ ČSN 73 0525 – Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady. 1998
- /3/ ČSN 73 0527 - Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely. (srpen 2013)

9. Přílohy

- Příloha 1 – vypočtené průběhy doby dozvuku pro učebnu č. 211.
Příloha 2 – vypočtené průběhy doby dozvuku pro učebnu č. 223.

Příloha 1 – vypočtené průběhy doby dozvuku pro učebnu č. 211


Příloha 2 – vypočtené průběhy doby dozvuku pro učebnu č. 220
