

ATELIER

DEK

DEKPROJEKT s.r.o.
Zakázka číslo: 2024-013502-FE

Akustická studie

Řešení prostorové akustiky

SOŠ a SOU Neratovice

Školní 664

277 11 Neratovice

Vypracovala

Ing. Elizaveta Fatyanova

Zpracováno v období

Květen - červen 2024

Verze dokumentu

První vydání

Obsah

1. VŠEOBECNĚ.....	3
1.1 Předmět.....	3
1.2 Úkol.....	3
1.3 Objednatel.....	3
1.4 Dodavatel.....	3
1.5 Vypracovala.....	3
1.6 Kontroloval.....	3
1.7 Zpracováno v období.....	3
2. PODKLADY.....	3
3. SITUACE.....	4
4. POŽADAVKY.....	5
5. VÝPOČTOVÝ MODEL.....	5
6. NÁVRH ÚPRAV.....	6
7. POSOUZENÍ.....	7
8. ZÁVĚR.....	8

1. VŠEOBECNĚ

- 1.1 Předmět** SOŠ a SOU Neratovice
Školní 664
277 11 Neratovice
- 1.2 Úkol** Řešení prostorové akustiky
- 1.3 Objednatel** **Ing. Jolana Váňová**
Přístavní 3503 tel: +420 776 131 206
276 01 Přístavní 3503 email: vanova.jolana@seznam.cz
IČO: 68581971
- 1.4 Dodavatel** **DEKPROJEKT s.r.o.**
Tiskařská 10/257 IČO: 27642411
budova TTC DIČ: CZ699000797
108 00 Praha 10
tel.: +420 234 054 284 Bankovní spojení:
email: info@atelier-dek.cz Komerční banka Praha 9
35-7899980247/0100

Zapsáno v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze oddíl C., vložka 120996
- 1.5 Vypracovala** Ing. Elizaveta Fatyanova
- 1.6 Kontroloval** Ing. Jan Pešta, Ing. Tomáš Kupsa
- 1.7 Zpracováno v období** Květen - červen 2024

2. PODKLADY

- [1] Objednávka ze dne 29.05.2024 dle nabídky D2024-074574
- [2] ČSN 73 0527 (73 0527) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – prostory pro kulturní účely – prostory ve školách – prostory pro veřejné účely.
- [3] ČSN EN 12354-6 (73 0512) Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech
- [4] ČSN EN ISO 11654 (73 0528) Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti
- [5] Výpočtový program ODEON 15.16 Auditorium
- [6] Část projektové dokumentace zaslaná objednatelem
- [7] „Protokol o zkoušce č. A-03-24-03 Měření doby dozvuku“ - Aveton s.r.o. - Duben 2024
- [8] „Protokol o zkoušce č. A-03-24-04 Měření doby dozvuku“ - Aveton s.r.o. - Duben 2024

3. SITUACE

Předmětem studie jsou učebny SOŠ a SOU Neratovice v ulici Školní 664 v Neratovicích. Úkolem akustické studie je řešení prostorové akustiky v prostorech dvou učeben pro splnění normových požadavků na dobu dozvuku dle požadavků ČSN 73 0527.

Jedná se o aktualizaci návrhu úprav dle zakázky č. 2022-003505-LiM.

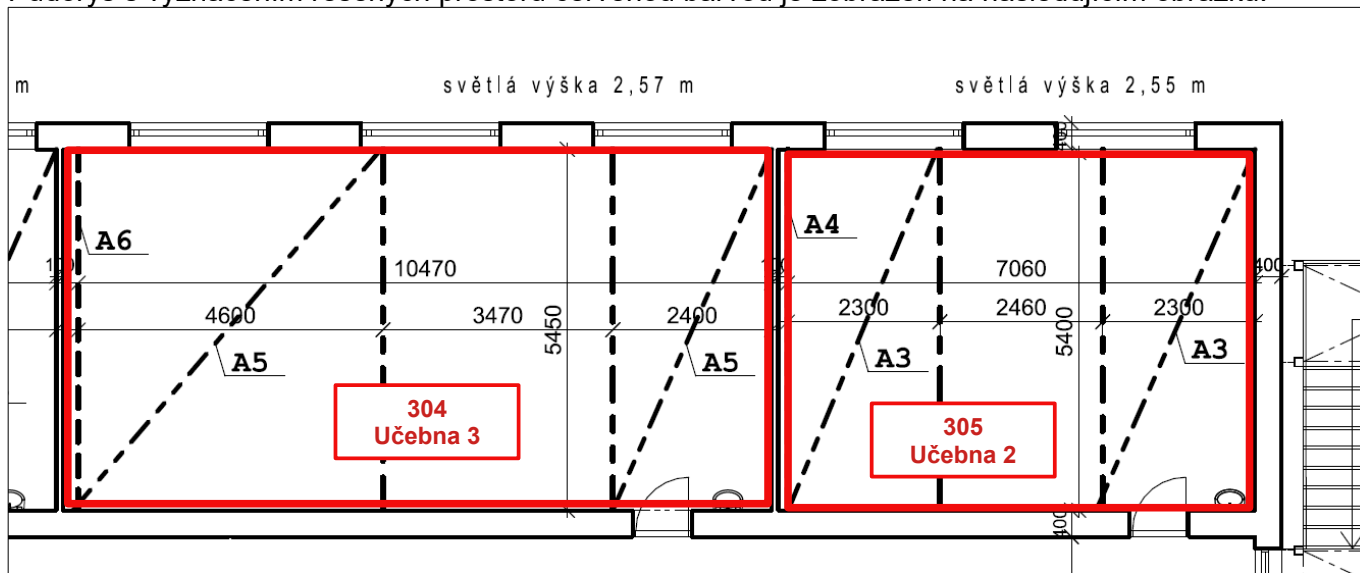
Objednatel je požadována aktualizace návrhu pohltivých úprav ve dvou učebnách (305 a 304) z hlediska prostorové akustiky dle požadavků ČSN 73 0527 platné od září 2023 pro počítačovou učebnu a učebnu bez speciálního využití. Aktualizace návrhu úprav je požadována na základě protokolů o měření doby dozvuku dodaných objednatel [7, 8].

Předmětem původní studie bylo víc rekonstruovaných učeben. Dle informací od objednatele učebna 305 (učebna 2) a učebna 303 (učebna 3) a také učebna 304 (učebna 3) a učebna 302 (učebna 5) jsou prostorově téměř stejné, mají stejné obsazení a stejné způsoby využití z hlediska prostorové akustiky. Z tohoto důvodu dle požadavků od objednatele aktualizace pohltivých úprav bude provedena pro učebnu 305 a učebnu 304 (ve kterých byly provedeny měření doby dozvuku dle dodaných protokolů [7, 8]) a tyto úpravy budou platit i pro ostatní podobné učebny.

Dle realizovaných opatření v učebnách jsou navrženy obklady z perforovaných sádkartonových desek Gyptone BIG Quattro 42. Součástí studie bude snížení pohltivé plochy v jednotlivých prostorech dle návrhů popsanych v kapitolách č. 6.1 a č. 7.1.

Akustická studie nenahrazuje projektovou dokumentaci. Součástí akustické studie není posouzení navrhovaných úprav vůči jiným než ve studii uvedeným akustickým požadavkům. Je nutné posouzení z hlediska statiky, tepelněvlhkostního režimu konstrukcí, z hlediska požární bezpečnosti staveb a dalších hledisek. Navrhované konstrukce musí být realizovány dle projektové dokumentace a technických postupů výrobců.

Půdorys s vyznačením řešených prostorů červenou barvou je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. /1/ Půdorys

4. POŽADAVKY

Optimální doba dozvuku T_0 prostorů daných účelů se stanoví podle využití a pro objem prostoru. Číselně vyjádřená hodnota optimální doby dozvuku v sekundách se vztahuje ke kmitočtu 1000 Hz a týká se prostorů v obsazeném stavu.

Hodnoty optimální doby dozvuku pro posuzované prostory jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. /1/ Optimální doba dozvuku

Popis prostoru		Orientační objem [m ³]	Optimální doba dozvuku [s]
305 (učebna 2)	Učebna	cca 97 m ³	0,49
304 (učebna 3)	Učebna	cca 147 m ³	0,56

Doba dozvuku se vypočítá podle ČSN EN 12354-6 pro oktavová pásma se středními kmitočty od 125 Hz do 4000 Hz. Kmitočtový průběh vypočítané doby dozvuku T se ve vztahu k optimální době dozvuku T_0 prověruje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí. Hodnoty přípustného rozmezí pro jednotlivá oktavová pásma jsou uvedeny v následující tabulce.

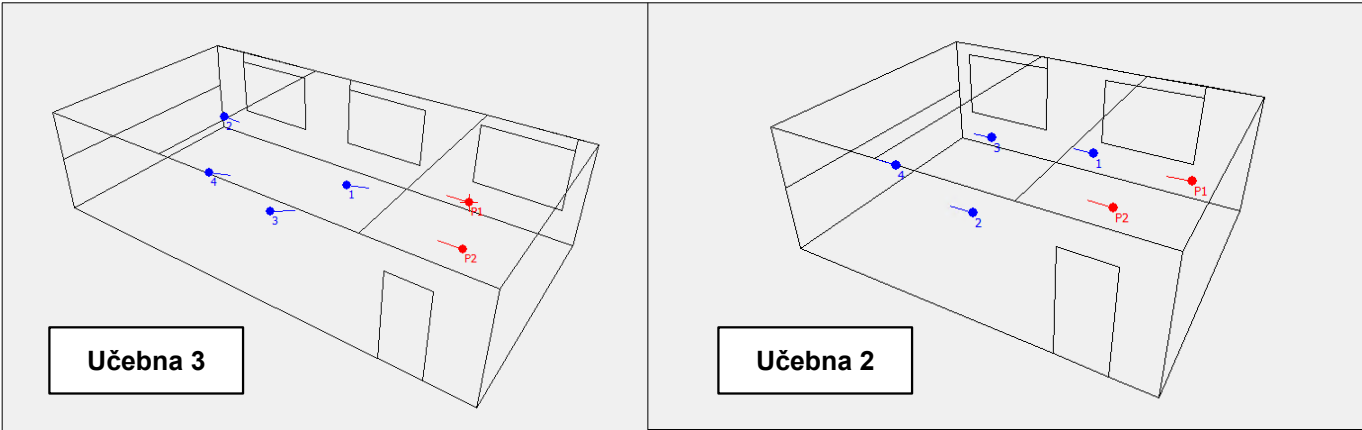
Tab./2 Přípustné rozmezí T/T_0

Místnost	Meze	Střední kmitočet f (Hz) oktavového pásma											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		T/T_0	T	T/T_0	T	T/T_0	T	T/T_0	T	T/T_0	T	T/T_0	T
305 (učebna 2)	horní	1,20	0,59	1,20	0,59	1,20	0,59	1,20	0,59	1,20	0,59	1,20	0,59
	dolní	0,65	0,32	0,80	0,39	0,80	0,39	0,80	0,39	0,80	0,39	0,65	0,32
304 (učebna 3)	horní	1,20	0,67	1,20	0,67	1,20	0,67	1,20	0,67	1,20	0,67	1,20	0,67
	dolní	0,65	0,36	0,80	0,45	0,80	0,45	0,80	0,45	0,80	0,45	0,65	0,36

5. VÝPOČTOVÝ MODEL

Výpočet doby dozvuku byl proveden za pomoci softwaru ODEON [5]. Software ODEON byl vyvinut pro simulaci a měření prostorové akustiky budov. Oproti zjednodušenému výpočtu podle ČSN EN 12354-6 přílohy D, výpočet v programu ODEON umožňuje přesné zadání tvaru prostoru, podrobné členění a to včetně určité úrovně detailů. Následně byla k vypočteným hodnotám doby dozvuku přičtena pohltivost osob. Jedná se o shodný postup jako při měření doby dozvuku.

Při výpočtu je uvažováno s dokonale difuzním zvukovým polem, které není reálně dosažitelné. Výpočtová metodika proto slouží pouze jako pomůcka pro návrh akustických úprav pro zlepšení prostorové akustiky prostoru. Vypočtené hodnoty doby dozvuku se mohou od hodnot reálně naměřených mírně lišit.



Obr./2/ Výpočtový model

6. MÍSTNOST 305 (UČEBNA 2)

6.1 Návrh úprav

Stávající stav

Dle informací od objednatele do posuzovaného prostoru na část plochy stropu je realizován podhled z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42 v kombinaci s plnými sádrokartonovými deskami odsazený 100 mm od plochy stropu s vloženou minerální izolací tl. 100 mm. Perforovaný podhled je realizován v pásích na celou šířku učeben a v délce 2,3 m v části učebny nad tabulí a v délce 2,3 m v zadní části učebny, o celkové ploše cca 25 m². Zbýlá část vedle perforovaného sádrokartonového podhledu je vyplněna plnou sádrokartonovou deskou s vloženou minerální izolací tl. 100 mm odsazenou v zarovnání s pohltivým podhledem. Světlá výška učebny po instalaci podhledu je 2,55 m.

Na zadní interiérovou stěnu naproti tabuli je umístěn obklad z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42 v odsazení 50 mm s vloženou minerální izolací tloušťky 50 mm. Obklad je realizován na celou šířku učebny výšky 2,4 m (začínající přímo pod stropem) o celkové ploše cca 13 m². Zbýlá část kolem perforovaného sádrokartonového obkladu (spodní část stěny) je vyplněna plnou sádrokartonovou deskou s vloženou minerální izolací odsazenou v zarovnání s pohltivým obkladem.

Uvažované činitele pohltivosti stávajících obkladů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab./3/ Průběh činitele pohltivosti v oktávových pásmech - 305 (učebna 2)

Použité obklady	Střední kmitočet f (Hz) oktávového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
Podhled z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42, odsazení 100 mm, s vloženou akustickou izolací tl. 75 mm ¹⁾	0,50	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40
Stěnový obklad z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42, odsazení 60 mm ²⁾ , s vloženou akustickou izolací tl. 50 mm	0,63	0,54	0,55	0,52	0,50	0,47

Pozn.: 1) Výrobce podhledu udává hodnoty činitele pohltivosti pro vloženou minerální izolaci tloušťky 75 mm. Objednatelem je navržena izolace tloušťky 100 mm. Dle pomocných výpočtů, kvalifikovaného odhadu a vzhledem ke kalibraci pomoci naměřené reálné době dozvuku lze očekávat, že pro vloženou minerální izolaci tloušťky 100 mm budou platit téměř stejné hodnoty jako pro vloženou minerální izolaci tloušťky 75 mm.

2) Výrobce stěnového obkladu udává hodnoty činitele pohltivosti pro odsazení stěnového obkladu o 60 mm. Dle informace od objednatele reálné odsazení obkladu je 50 mm. Dle pomocných výpočtů, kvalifikovaného odhadu a vzhledem ke kalibraci pomoci naměřené reálné době dozvuku ve výpočtu se bude uvažovat se stejnými hodnotami jako pro odsazení 60 mm.

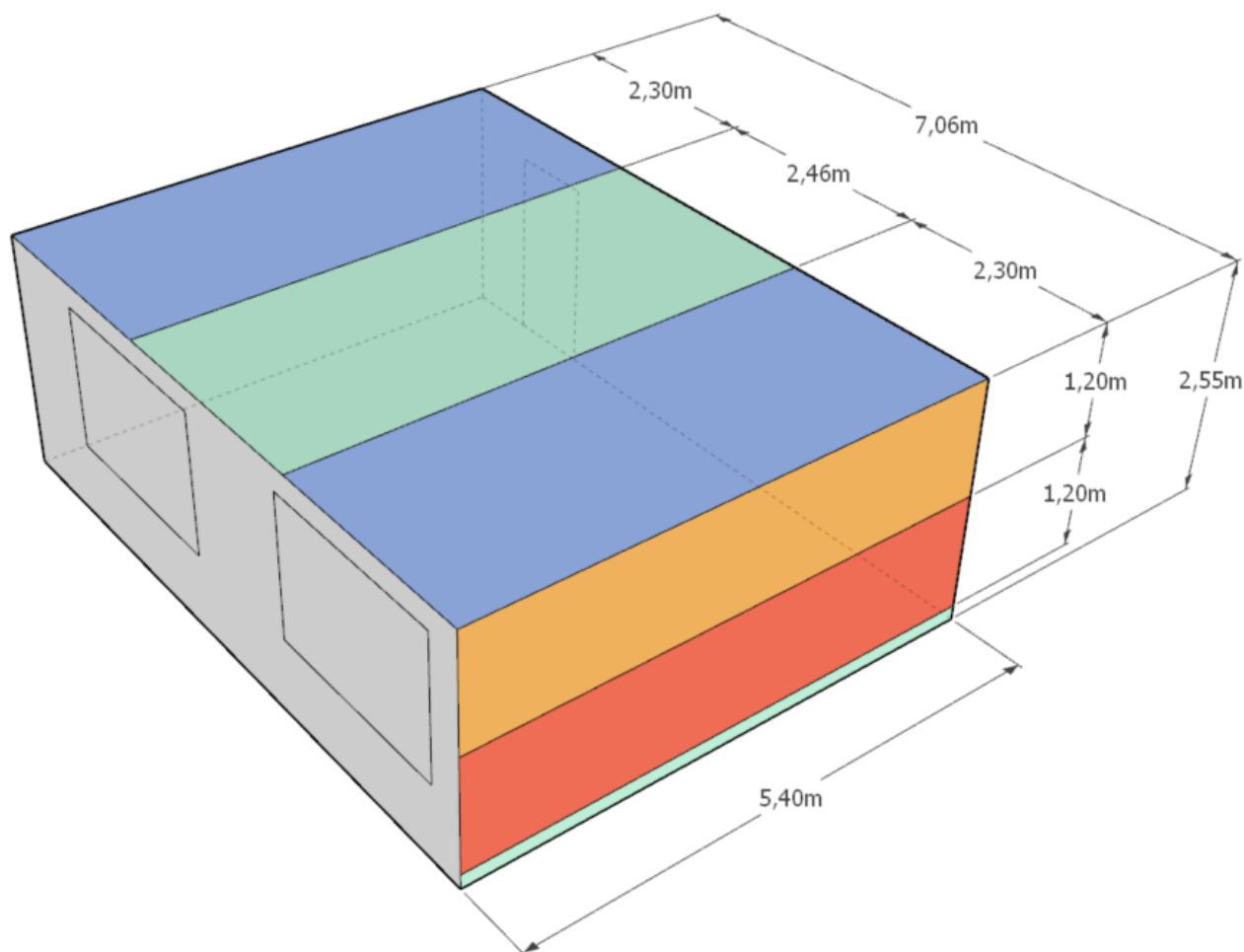
Ostatní povrchy jsou uvažovány jako odrazivé (všechny povrchy mají hodnotu váženého činitele zvukové pohltivosti $\alpha_w \leq 0,1$).

Návrh úprav

Dle kalibrace prostoru dle objednatelem dodaných protokolů o měření doby dozvuku [7, 8] pro splnění požadavků na dobu dozvuku je navrženo zmenšení plochy perforovaného sádrokartonového obkladu na zadní stěně učebny (stěna naproti tabuli). Je nutné zmenšit plochu stěnového obkladu o 6,5 m². Nově perforovaný stěnový obklad bude umístěn pouze v horní části stěny v pase na celou šířku učebny, výšky 1,2 m (od výšky 1,35 m nad podlahou) o celkové ploše cca 6,5 m².

Původní část perforovaného obkladu, kterou je potřeba odstranit je nutné buď vyměnit za plnou sádrokartonovou deskou anebo natěsno zakrýt další plnou sádrokartonovou deskou.

Zobrazení aktualizovaných pohltivých úprav v učebně je zobrazeno na následujícím obrázku.



Sádrokartonové perforované desky Gyptone BIG Quattro 42
odsazení od stropu 100 mm
s vloženou minerální izolací tl. 100 mm o ploše cca 25 m²



Sádrokartonové perforované desky Gyptone BIG Quattro 42
odsazení od stěny 50 mm
s vloženou minerální izolací tl. 50 mm o ploše cca 6,5 m²



Plocha perforovaného stěnového obkladu, kterou je zapotřebí vyměnit za plnou desku anebo zakryt
plnou deskou



Plné sádrokartonové desky s vloženou minerální izolací

Obr./3/ Rozmístění pohltivých ploch - 305 (učebna 2)

6.2 Posouzení

K hodnocení prostorové akustiky projektovaného prostoru je použit software ODEON 15.16 Auditorium. V učebně je uvažováno s kapacitou 24 žáků, pro výpočet je předpokládána obsazenost učebny z 80 % tj. 20 žáků a jeden učitel. Pohltivost žáků je uvažována dle ČSN 73 0527 pro žáky sedící u stolů dle výpočtu v prostoru bez nábytku.

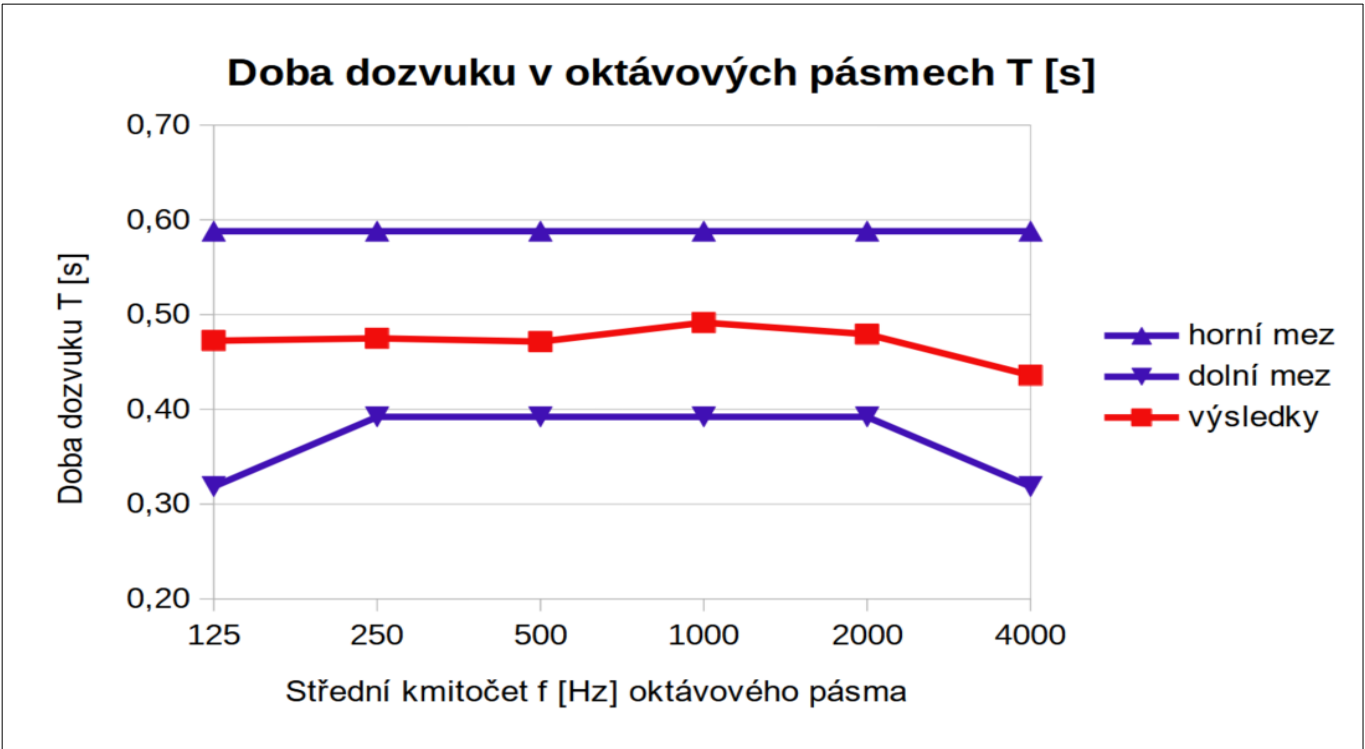
Dále jsou uvedeny vypočtené hodnoty doby dozvuku pro projektovanou místnost a jejich porovnání s normovými požadavky dle ČSN 73 0527.

Tab./4/ Posouzení vypočtené doby dozvuku - 305 (učebna 2)

Parametr		Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
				125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech		T	s	0,47	0,47	0,47	0,49	0,48	0,44
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,32	0,39	0,39	0,39	0,39	0,32
Hodnocení				+	+	+	+	+	+

Z tabulky je zřejmé, že vypočtené hodnoty doby dozvuku leží ve všech kmitočtových pásmech v požadovaném rozmezí stanoveném pro učebnu dle ČSN 73 0527.

Porovnání výsledků s požadovaným rozmezím je pro názornost uvedeno i na následujícím obrázku.



Obr./4/ Grafické porovnání výsledků s požadavky ČSN 73 0527 - 305 (učebna 2)

7. MÍSTNOST 304 (UČEBNA 3)

7.1 Návrh úprav

Stávající stav

Dle informací od objednatele do posuzovaného prostoru na část plochy stropu je realizován podhled z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42 v kombinaci s plnými sádrokartonovými deskami odsazený 100 mm od plochy stropu s vloženou minerální izolací tl. 100 mm. Perforovaný podhled je realizován v pásích na celou šířku učeben a v délce 2,4 m v části učebny nad tabulí a v délce 4,6 m v zadní části učebny, o celkové ploše cca 38 m². Zbýlá část vedle perforovaného sádrokartonového podhledu je vyplněna plnou sádrokartonovou deskou s vloženou minerální izolací tl. 100 mm odsazenou v zarovnání s pohltným podhledem. Světla výška učebny po instalaci podhledu je 2,57 m.

Na zadní interiérovou stěnu naproti tabuli je umístěn obklad z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42 v odsazení 50 mm bez vložené izolace. Obklad je realizován na celou šířku učebny výšky 2,4 m (začínající přímo pod stropem) o celkové ploše cca 13 m². Zbýlá část kolem perforovaného sádrokartonového obkladu (spodní část stěny) je vyplněna plnou sádrokartonovou deskou bez vložené izolace odsazenou v zarovnání s pohltným obkladem.

Uvažované činitele pohltnosti stávajících obkladů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab./5/ Průběh činitele pohltnosti v oktavových pásmech - 304 (učebna 3)

Použité obklady	Střední kmitočet f (Hz) oktavového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
Podhled z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42, odsazení 100 mm, s vloženou akustickou izolací tl. 75 mm ¹⁾	0,50	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40
Stěnový obklad z perforovaných sádrokartonových desek Gyptone BIG Quattro 42, odsazení 50 mm, bez vložené akustické izolace	0,20	0,40	0,60	0,60	0,45	0,40

Pozn.: 1) Výrobce podhledu udává hodnoty činitele pohltnosti pro vloženou minerální izolaci tloušťky 75 mm. Objednatel je s ohledem na dostupné výrobky navržena izolace tloušťky 100 mm. Dle pomocných výpočtů, kvalifikovaného odhadu a vzhledem ke kalibraci pomoci naměřené reálné době dozvuku lze očekávat, že pro vloženou minerální izolaci tloušťky 100 mm budou platit téměř stejné hodnoty jako pro vloženou minerální izolaci tloušťky 75 mm.

Ostatní povrchy jsou uvažovány jako odrazivé (všechny povrchy mají hodnotu váženého činitele zvukové pohltnosti $\alpha_w \leq 0,1$).

Návrh úprav

Při kalibraci obou učeben vzhledem k tomu, že v učebnách jsou navrženy stejné druhy perforovaného podhledu (který tvoří dominantní pohltnou plochu v obou prostorech) bylo stanoveno, že významná část pohltné plochy učebny je velice pravděpodobně tvořena nábytkem a zařizovacími předměty učebny. Dle informací od objednatel velké stoly tvořené větším počtem plných desek a větší množství monitorů s příslušným zařízením bude součástí učebny po celou dobu její provozu. Z tohoto důvodu na základě kalibračních výpočtů byla stanovena pohltná plocha nábytku, zařizovacích předmětů a žáků, které byly následně dle dohody s objednatelem přičteny k vypočteným hodnotám doby dozvuku.

Tab./6/ Průběh ekvivalentní absorpční plochy v oktavových pásmech - 304 (učebna 3)

Použité obklady	Střední kmitočet f (Hz) oktavového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
Dopočtena ekvivalentní absorpční plocha A_{eq} nábytku, zařizovacích předmětů a žáků	10,5	17,0	18,0	21,0	17,5	12,5

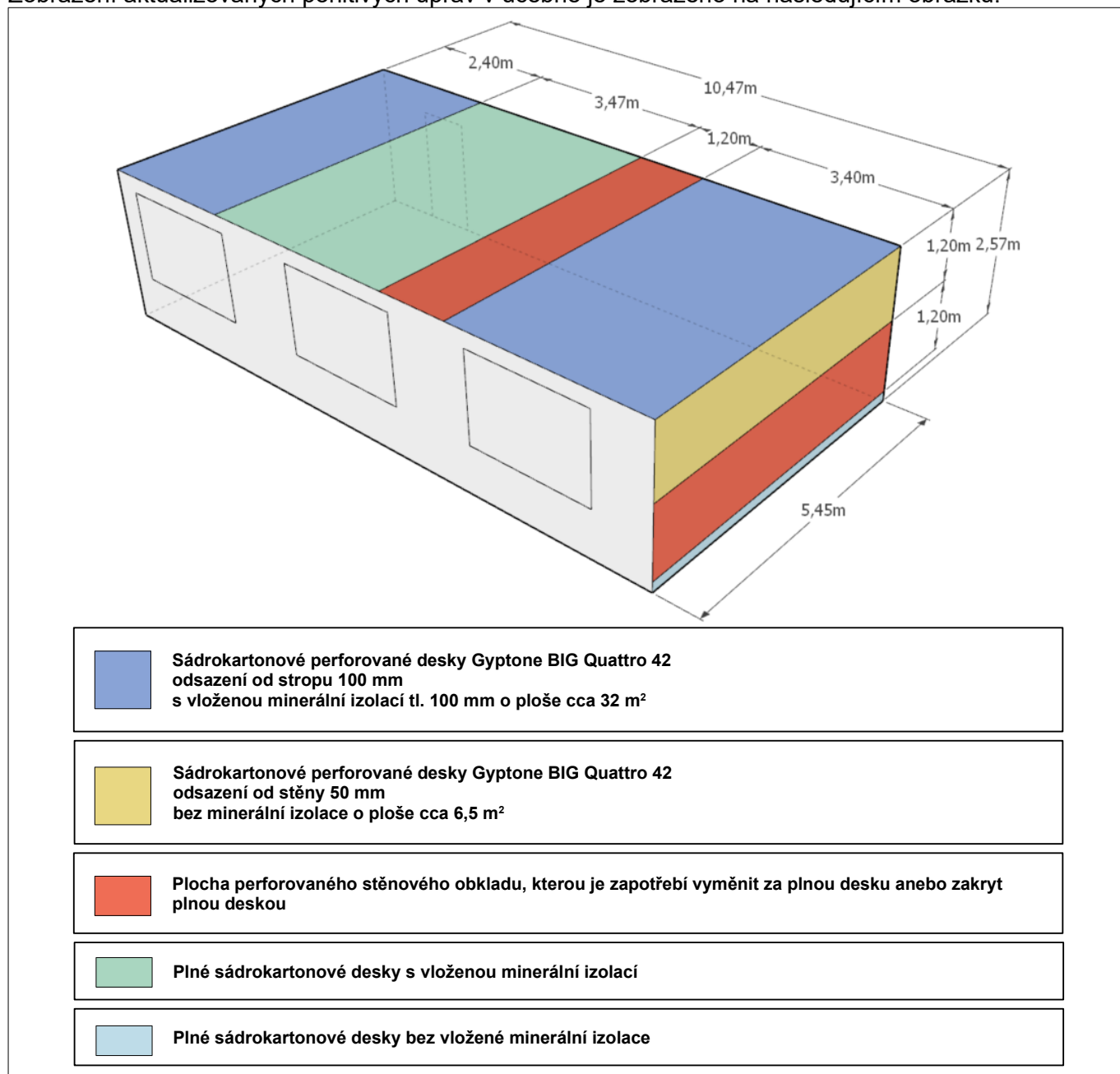
Dle kalibrace prostoru dle objednatelem dodaných protokolů o měření doby dozvuku [7,8] pro splnění požadavků na dobu dozvuku je navrženo zmenšení plochy perforovaných sádrokartonových obkladů.

Je nutné zmenšit plochu pohltivého obkladu na zadní stěně učebny (stěna naproti tabulí). Je navrženo zmenšení plochy stěnového obkladu o $6,5 \text{ m}^2$. Nově stěnový obklad bude umístěn pouze v horní části stěny v pásu na celou šířku učebny, výšky $1,2 \text{ m}$ (od výšky $1,37 \text{ m}$ nad podlahou) o celkové ploše cca $6,5 \text{ m}^2$.

Dále je také nutné zmenšit plochu perforovaných desek tvořících podhled. Je navrženo zmenšení plochy perforovaných desek na stropě o $6,5 \text{ m}^2$ v části podhledu bližší k zadní stěně učebny. Nově perforovaný podhled bude v pásu na celou šířku učeben v délce $2,4 \text{ m}$ v části učebny nad tabulí a v délce $3,4 \text{ m}$ v zadní části učebny, o celkové ploše cca 32 m^2 .

Původní část perforovaného obkladu na stěně a na stropě, kterou je potřeba odstranit je nutné buď vyměnit za plnou sádkartonovou desku anebo natěsno zakryt další plnou sádkartonovou deskou, pokud to bude s ohledem na únosnost závěsů stropního podhledu možné.

Zobrazení aktualizovaných pohltivých úprav v učebně je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr./5/ Rozmístění pohltivých ploch - 304 (učebna 3)

7.2 Posouzení

K hodnocení prostorové akustiky projektovaného prostoru je použit software ODEON 15.16 Auditorium. V učebně je uvažováno s kapacitou 16 žáků, pro výpočet je předpokládána obsazenost učebny z 80 % tj. 13 žáků a jeden učitel. Pohltivost žáků, nábytku a zařizovacích předmětů které budou v učebně po celou dobu její provozu je uvažována na základě kalibrace výpočtového modelu dle protokolů o měření doby dozvuku [7, 8] dle tabulky č. 6.

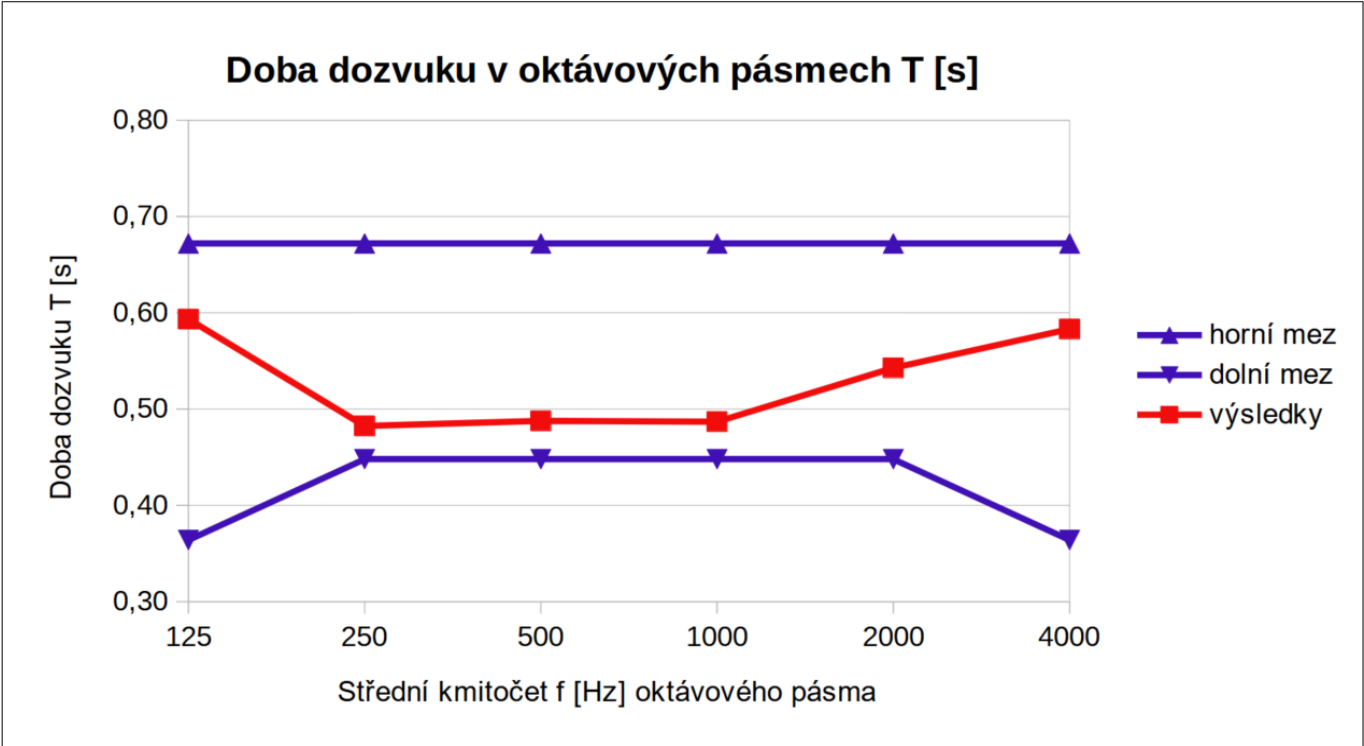
Dále jsou uvedeny vypočtené hodnoty doby dozvuku pro projektovanou místnost a jejich porovnání s normovými požadavky dle ČSN 73 0527.

Tab./7/ Posouzení vypočtené doby dozvuku - 304 (učebna 3)

Parametr		Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
				125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech		T	s	0,59	0,48	0,49	0,49	0,54	0,58
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,36	0,45	0,45	0,45	0,45	0,36
Hodnocení				+	+	+	+	+	+

Z tabulky je zřejmé, že vypočtené hodnoty doby dozvuku leží ve všech kmitočtových pásmech v požadovaném rozmezí stanoveném pro počítačovou učebnu dle ČSN 73 0527.

Porovnání výsledků s požadovaným rozmezím je pro názornost uvedeno i na následujícím obrázku.



Obr./6/ Grafické porovnání výsledků s požadavky ČSN 73 0527 - 304 (učebna 3)

8. ZÁVĚR

Předmětem studie jsou učebny SOŠ a SOU Neratovice v ulici Školní 664 v Neratovicích. Úkolem akustické studie je aktualizace návrhu pohltivých úprav ve dvou učebnách (305 a 304) z hlediska prostorové akustiky dle požadavků ČSN 73 0527 platné od září 2023 pro počítačovou učebnu a učebnu bez speciálního využití. Aktualizace návrhu úprav je požadována na základě protokolů o měření doby dozvuku dodaných objednatelem [7, 8].

Pro dodržení požadavků na dobu dozvuku ve studiích bylo navrženo nahrazení částí některých pohltivých perforovaných sádkartonových desek za odrazivé plné desky. Přesný popis opatření je popsán v kapitolách č. 6.1 a č. 7.1. Vypočtené hodnoty doby dozvuku jsou ve všech hodnocených pásmech v požadovaném rozmezí pro jednotlivé učebny dle ČSN 730527.

Dle informací od objednatele učebna 305 (učebna 2) a učebna 303 (učebna 3) a také učebna 304 (učebna 3) a učebna 302 (učebna 5) jsou prostorově téměř stejné, mají stejné obsazení a stejné způsoby využití prostorů z hlediska prostorové akustiky. Z tohoto důvodu dle požadavků od objednatele aktualizace pohltivých úprav byla provedena pro učebnu 305 a učebnu 304 (ve kterých byly provedeny měření doby dozvuku dle dodaných protokolů [7, 8]) a tyto úpravy platí i pro ostatní podobné učebny.

Akustická studie nenahrazuje projektovou dokumentaci. Součástí akustické studie není posouzení navrhovaných úprav vůči jiným než ve studii uvedeným akustickým požadavkům. Je nutné posouzení z hlediska statiky, tepelněvlhkostního režimu konstrukcí, z hlediska požární bezpečnosti staveb a dalších hledisek. Navrhované konstrukce musí být realizovány dle projektové dokumentace a technických postupů výrobců.

Návrh vychází z teoretických výpočtů, které nahrazují reálný stav pouze s omezenou přesností a pracují s hodnotami materiálových parametrů zjišťovaných v laboratorním prostředí. Skutečný stav akustiky prostoru se proto od výpočtových modelů může mírně lišit. Z tohoto důvodu doporučujeme počítat s jistou rozpočtovou rezervou na realizaci akustických opatření ve výši cca 20% nákladů.

V Praze dne 14.06.2024

za DEKPROJEKT s.r.o.

Ing. Elizaveta Fatyanova

Tel.: +420 735 768 772

Email: elizaveta.fatyanova@dek-cz.com