

Název:

Novostavba pavilonu ZŠ Žitomířská, Český Brod – stará budova

Zakázkové číslo:	20-12-18d
Profese:	prostorová akustika
Dokument:	technická zpráva
Stupeň projektové dokumentace:	DSP
Datum:	listopad 2021
Revize:	00



Zpracoval: Ing. David Röhrich

AVETON s.r.o.

Drahobejlova 1452/54, 190 00 Praha 9

tel.: +420 608 840 676

e-mail.: rohricht@aveton.cz

web.: www.aveton.cz

IČ: 02436647

DIČ: CZ02436647

AVETON
AKUSTIKA
AV TECHNIKA
DESIGN

Obsah:

1.	ZÁKLADNÍ ÚDAJE	3
1.1.	VÝCHOZÍ ÚDAJE A PODKLADY	3
1.2.	POUŽITÉ NORMY A LITERATURA	3
2.	PROSTOROVÁ AKUSTIKA.....	4
2.1.	POŽADAVKY NA AKUSTICKÉ PARAMETRY	4
2.2.	TEORETICKÝ VÝPOČET DOBY DOZVUKU	6
2.3.	ŘEŠENÍ PROSTOROVÉ AKUSTIKY	7
2.4.	MATERIÁLY PROSTOROVÉ AKUSTIKY	9
3.	ZÁVĚR.....	10

Přílohy:

Výpočetní příloha:

VP01 – výpočet a graf vypočtené doby dozvuku – hudební učebna S00.10

VP02 – výpočet a graf vypočtené doby dozvuku – učebna S03.05

VP03 – výpočet a graf vypočtené doby dozvuku – jazyková učebna S03.15

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

1.1. VÝCHOZÍ ÚDAJE A PODKLADY

- výkresová dokumentace
- ústní informace předané při jednáních se zástupcem objednatele a generálního projektanta

1.2. 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 – březen 2005
- [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

2. PROSTOROVÁ AKUSTIKA

2.1. POŽADAVKY NA AKUSTICKÉ PARAMETRY

Pro akusticky náročné prostory vyžadují jak normy ČSN 73 0525 a 73 0527, tak i praktické zkušenosti, speciální akustickou úpravu z důvodu snahy o dosažení vhodných akustických podmínek.

Dále je nutné vhodnou konfigurací akustických prvků zabránit nežádoucím odrazům zvuku a podpořit odrazy žádoucí. Zejména u akusticky pohltivých materiálů je velmi důležité i jejich vhodné umístění tak, aby byly potlačeny silné odrazy zvuku s velkým časovým zpožděním za přímým zvukem (u učeben se povětšinou jedná o zadní stěnu), které mohou působit jako ozvěna a zhoršit tak srozumitelnost řeči a akustické podmínky.

Z výše uvedeného vyplývá, že 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. Třepotavá ozvěna negativně ovlivňuje srozumitelnost. Dále při úpravě akustiky soustředěné pouze na strop dochází často k tvrdým zpožděným odrazům od zadní stěny, které při větší vzdálenosti mohou být vnímány jako izolovaná ozvěna.

V případě výukových prostor je hlavním cílem splnit toleranční pásmo frekvenčního průběhu doby dozvuku předepsané výše zmiňovanou normou a dosáhnout co nejlepší srozumitelnosti mluveného slova

Hudební učebna S00.10

Optimální doba dozvuku T_0 pro hudební učebnu o objemu cca 200 m³ byla stanovena na základě normy ČSN 73 0527 na cca $T_0 = 0,70s$.

Frekvenční průběh doby dozvuku v učebně by měl probíhat v rozsahu od 125 Hz do 4 kHz uvnitř tolerančního pásma dle ČSN 73 0527 – viz Obr. 2. Jedná se o frekvenční průběh určený pro řeč a hudbu.

Učebna S03.05

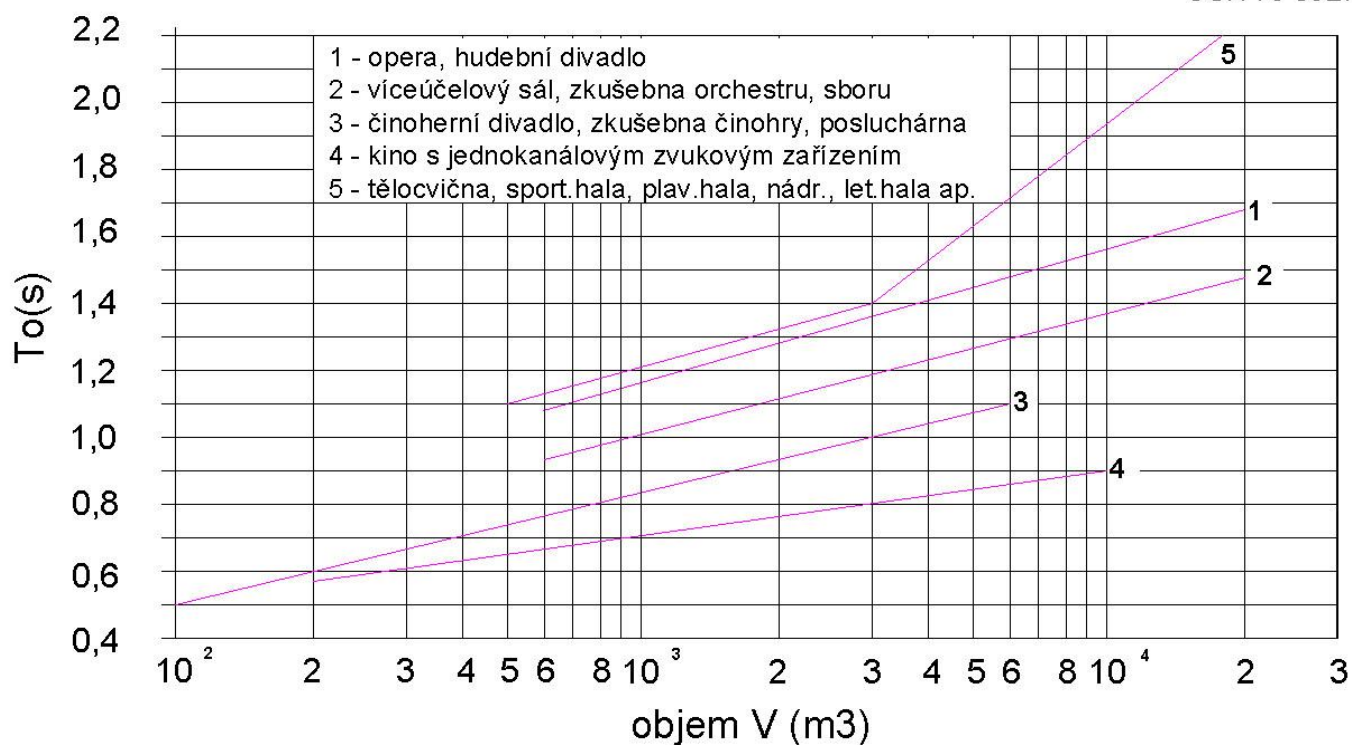
Optimální doba dozvuku T_0 pro učebnu o objemu cca 223 m³ byla stanovena na základě normy ČSN 73 0527 na cca $T_0 = 0,60 – 0,65s$.

Frekvenční průběh doby dozvuku v učebně by měl probíhat v rozsahu od 125 Hz do 4 kHz uvnitř tolerančního pásma dle ČSN 73 0527 – viz Obr. 2. Jedná se o frekvenční průběh určený pro řeč a hudbu.

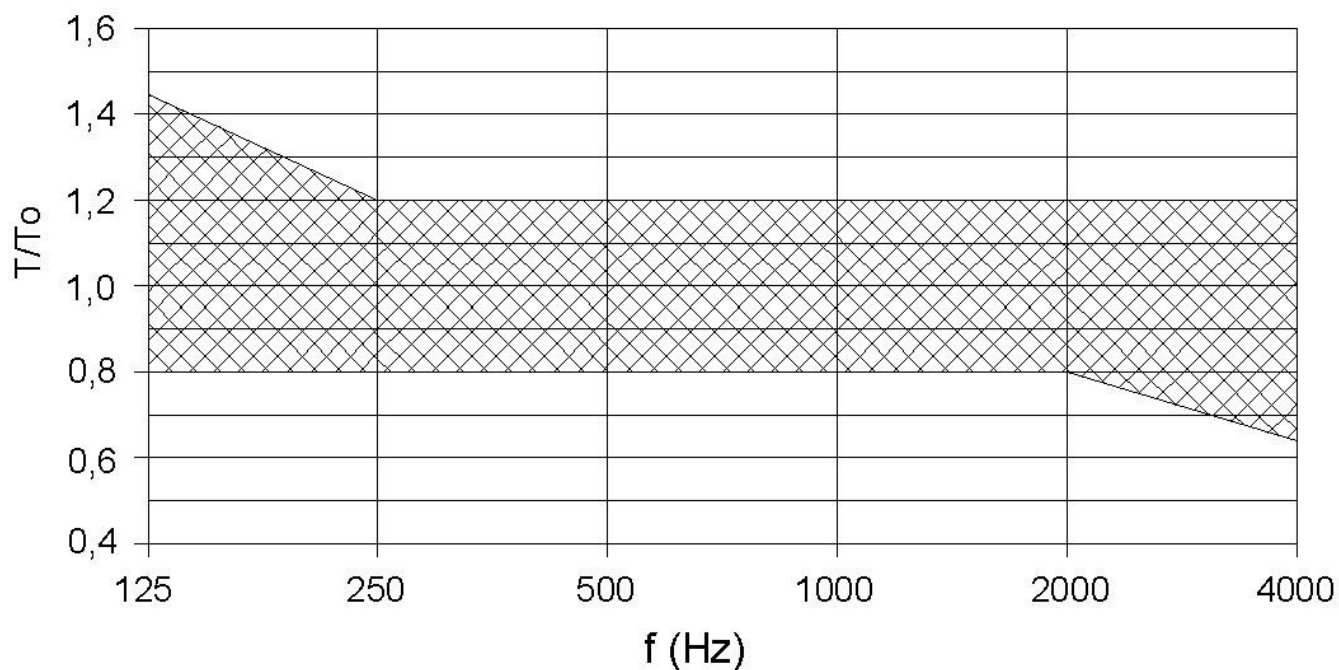
Jazyková učebna S03.15

Optimální doba dozvuku T_0 pro učebnu o objemu cca 150 m³ byla stanovena na základě normy ČSN 73 0527 na cca $T_0 = 0,45s$.

Frekvenční průběh doby dozvuku v učebně by měl probíhat v rozsahu od 125 Hz do 4 kHz uvnitř tolerančního pásma dle ČSN 73 0527 – viz Obr. 2. Jedná se o frekvenční průběh určený pro řeč a hudbu.



Obr. 1 – Závislost optimální doby dozvuku T_0 (s) pro kmitočty 1000 Hz na objemu V (m³) uzavřeného prostoru v obsazeném stavu (u závislosti 5 neobsazeném stavu)



Obr. 2 - Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči a hudby v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma.

2.2. TEORETICKÝ VÝPOČET DOBY DOZVUKU

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

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

kde $V [m^3]$ je objem místnosti

$S [m^2]$ je celková plocha ohraničujících stěn místnosti

$\alpha_s [-]$ je střední hodnota činitele zvukové pohltivosti

$m [-]$ je činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu

Střední hodnotu činitele zvukové pohltivosti vypočteme podle vztahu:

$$\alpha_s = \frac{\sum S_i \cdot \alpha_i}{S} [-]$$

kde $S_i [m^2]$ je dílčí pohltivá plocha

$\alpha_i [-]$ je činitel zvukové pohltivosti dílčích ploch

$S [m^2]$ 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. Obsazenost řešených prostor byla dle ČSN 73 0527 uvažována s 80% kapacitou.

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 (sedadla, přítomné osoby, apod.).

Grafy vypočtené doby dozvuku jsou uvedeny ve výpočetní příloze VP01 až VP03.

2.3. ŘEŠENÍ PROSTOROVÉ AKUSTIKY

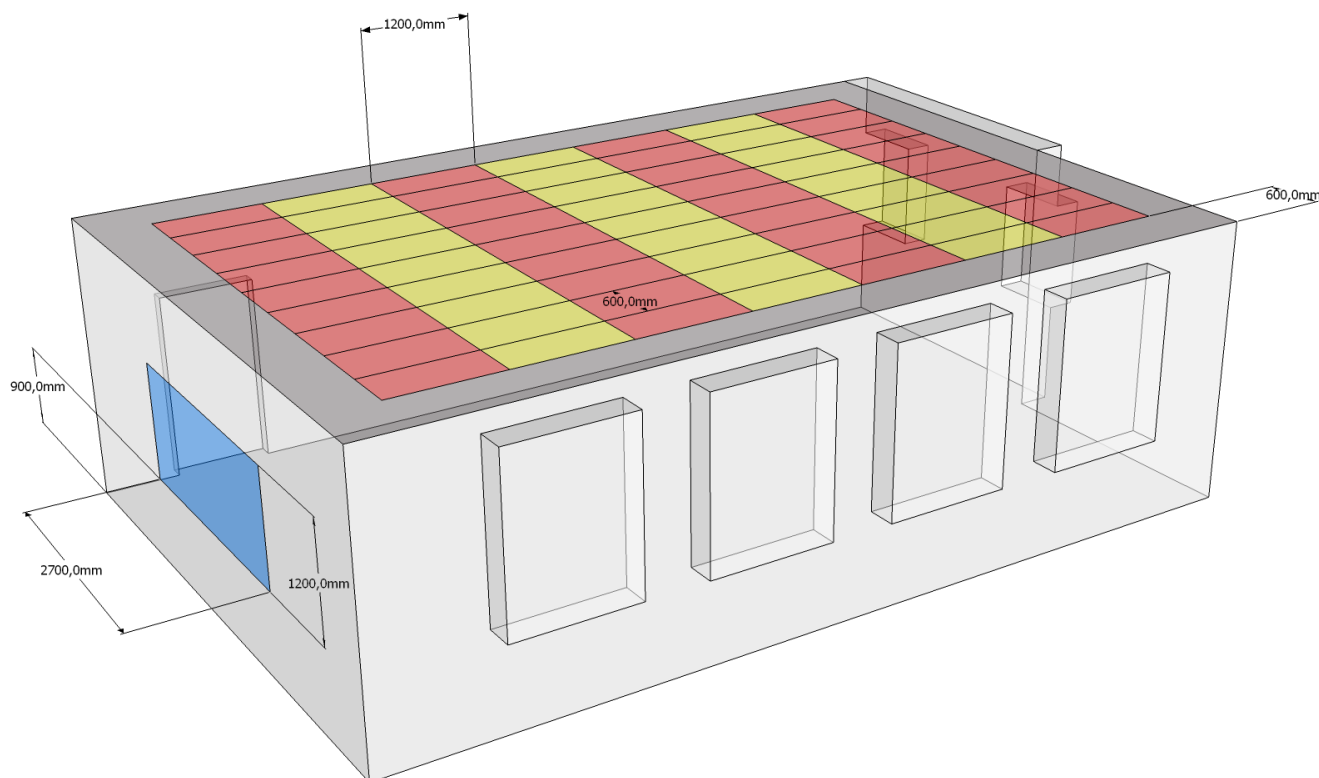
Hudební učebna S00.10

Akustický pohled: Na stropě je uvažován akustický kombinovaný širokopásmově pohltivými kazetami **AP-S** a nízkofrekvenčně pohltivými kazetami **AP-N**. Ve zbytku stropu je použit SDK pohled s doplňkovou minerální izolací **AP-SDK**.

Akustické obklady stěn: Na zadní stěně je uvažován širokopásmově pohltivý akustický obklad **MAO**.

Takto ošetřený prostor splňuje požadavky normy a akustické požadavky pro uvažované účely.

Na obr. 3 je znázorněn zjednodušený 3D model prostoru.



Obr. 3 – Zjednodušený 3D model kmenové učebny. **AP-S** – červeně, **AP-N** – žlutě, **AP-SDK** – šedě, **MAO** – modře

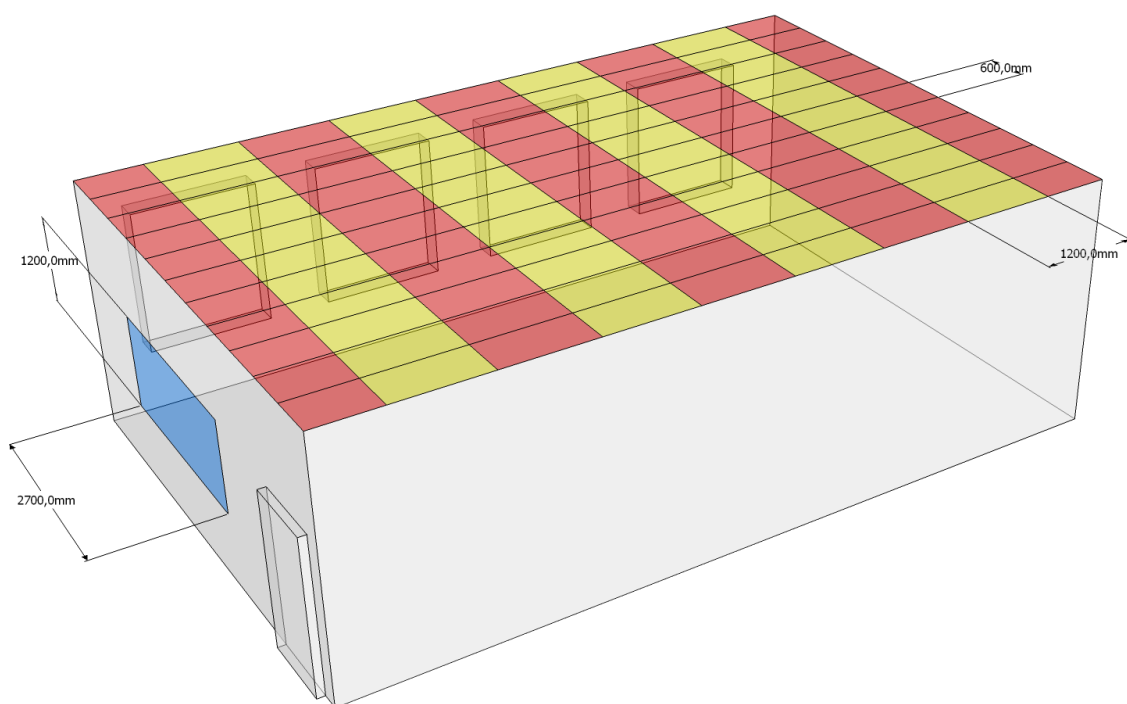
Učebna S03.05

Akustický pohled: Na stropě je uvažován akustický kombinovaný širokopásmově pohltivými kazetami **AP-S** a nízkofrekvenčně pohltivými kazetami **AP-N**.

Akustické obklady stěn: Na zadní stěně je uvažován širokopásmově pohltivý akustický obklad **MAO**.

Takto ošetřený prostor splňuje požadavky normy a akustické požadavky pro uvažované účely.

Na obr. 4 je znázorněn zjednodušený 3D model prostoru.



Obr. 4 – Zjednodušený 3D model kmenové učebny. **AP-S** – červeně, **AP-N** – žlutě, **MAO** – modře

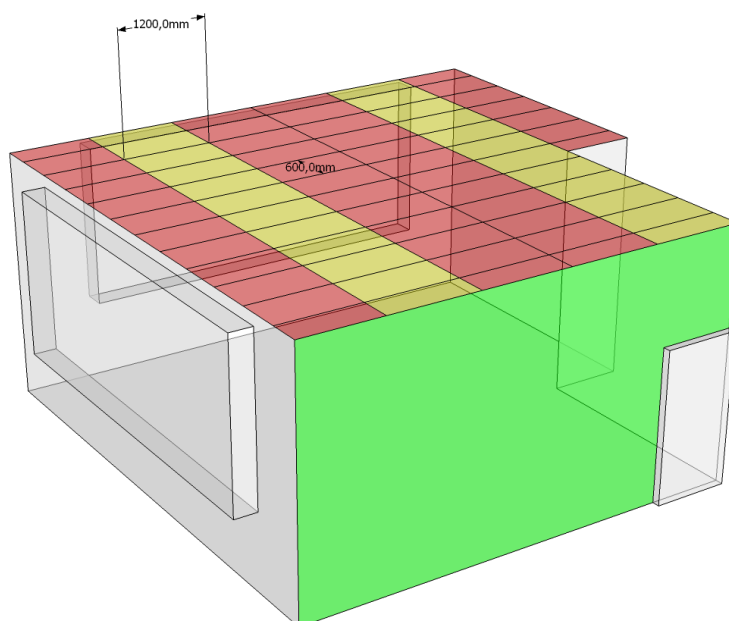
Jazyková učebna S03.15

Akustický pohled: Na stropě je uvažován akustický kombinovaný širokopásmově pohltivými kazetami **AP-S** a nízkofrekvenčně pohltivými kazetami **AP-N**.

Akustické obklady stěn: Na stěně je uvažován perforovaný akustický obklad **PAO**.

Takto ošetřený prostor splňuje požadavky normy a akustické požadavky pro uvažované účely.

Na obr. 5 je znázorněn zjednodušený 3D model prostoru.



Obr. 5 – Zjednodušený 3D model prostoru. **AP-SH** – zeleně, **SAO** – žlutě, **VP** – hnědě

2.4. MATERIÁLY PROSTOROVÉ AKUSTIKY

AP-S

Jedná se o širokopásmově pohltivý akustický podhled; podhledové kazety mají jádro vyrobené ze skelné vlny o vysoké hustotě; přední strana panelu disponuje povrchem umožňujícím denní stírání prachu a vysávání a týdenní čištění za mokra; hrany kazet jsou natřené; tloušťka podhledových desek je 20 mm a jejich základní formát je 1200x600mm; jedná se o podhledový systém se skrytým nosným rastrem; jednotlivé podhledové kazety jsou aplikovány na sraz a mezi nimi vzniká V spára šířky cca 3 mm; Svěšení akustického podhledu od nosného stropu dle výkresové dokumentace; uvažovaný činitel zvukové pohltivosti podhledu při skladebné tloušťce 200 mm v oktávových pásmech je: 125 Hz - $\alpha \div 0,35$; 250 Hz - $\alpha \div 0,75$; 500 Hz - $\alpha \div 0,90$; 1 kHz - $\alpha \div 0,90$; 2 kHz - $\alpha \div 0,90$; 4 kHz - $\alpha \div 0,9$;

AP-N

Jedná se o akustický podhled se sníženou pohltivostí; podhledové kazety mají jádro vyrobené ze skelné vlny o vysoké hustotě; přední strana panelu disponuje povrchem umožňujícím denní stírání prachu a vysávání a týdenní čištění za mokra; hrany kazet jsou natřené; tloušťka podhledových desek je 20 mm a jejich základní formát je 1200x600mm; jedná se o podhledový systém se skrytým nosným rastrem; jednotlivé podhledové kazety jsou aplikovány na sraz a mezi nimi vzniká V spára šířky cca 3 mm; Svěšení akustického podhledu od nosného stropu dle výkresové dokumentace; uvažovaný činitel zvukové pohltivosti podhledu při skladebné tloušťce 200 mm v oktávových pásmech je: 125 Hz - $\alpha \div 0,50$; 250 Hz - $\alpha \div 0,25$; 500 Hz - $\alpha \div 0,20$; 1 kHz - $\alpha \div 0,40$; 2 kHz - $\alpha \div 0,25$; 4 kHz - $\alpha \div 0,25$;

AP-SDK

jedná se o SDK podhled se zvýšenou pohltivostí na nízkých kmitočtech; tloušťka SDK desky je 12,5mm; SDK podhled je doplněn přídatnou absorpční vložkou tl. 40 mm zabalenou v mikroperforované folii; požadovaná hodnota činitele zvukové pohltivosti v oktávovém pásmu 125 Hz je $\alpha_{125\text{Hz}} \geq 0,15$; malba SDK není součástí dodávky a montáže prostorové akustiky; svěšení cca 250mm;

MAO

jedná se o akustický obklad s jádrem ze skelné vlny lisované v pláštích; základní formát jednotlivých panelů je 2700x1200x40 mm; povrchové provedení panelů je uvažováno se speciální mechanicky odolnou textilií v bílé barvě; jednotlivé panely jsou lemovány obvodovým lakovaným, hliníkovým systémovým profilem bílé barvy; celková skladebná tloušťka obkladu 40 mm; hodnoty činitele zvukové pohltivosti v oktávových pásmech pro tloušťku obkladu 40 mm jsou: 125 Hz $\alpha \div 0,20$; 250 Hz $\alpha \div 0,7$; 500 Hz $\alpha \div 0,9$; 1 kHz $\alpha \div 0,9$; 2 kHz $\alpha \div 0,9$; 4 kHz $\alpha \div 0,9$; povrchová úprava - bílá;

SAO

Jedná se širokopásmově pohltivý, mechanicky odolný akustický obklad tvořený perforovanými panely z materiálu na bázi dřeva; jde o sendvičovou konstrukci; lícová plocha prvku je tvořena oboustranně frézovanou deskou z materiálu na bázi dřeva tl. cca 19 mm; z rubové strany je navrtána kruhovými otvory o průměru 8 mm do hloubky 14 mm s roztečí otvorů 16 mm; z lícové strany je deska prořezána drážkami šířky 3 mm, hloubky 6 mm a osové vzdálenosti 16 mm; deska je z rubové strany celoplošně čalouněnou černou průzvučnou textilií; Panely o rozměru 1200x600 mm se instalují na mechanicky odolný vyrovnávací podkladní rošt (styčná spára šířky 4-5 mm) s možností rektifikace pomocí skrytých kotevních prvků; Ve vzduchové mezeře za obkladovými deskami je umístěna tlumící zvukově pohltivá vložka, parametry absorpční vložky dle požadovaných akustických parametrů; Požadovaný činitel zvukové pohltivosti obkladu v oktávových pásmech při skladebné tloušťce 100 mm je: 125 Hz - $\alpha \div 0,40$; 250 Hz - $\alpha \div 0,85$; 500 Hz - $\alpha \div 0,90$; 1 kHz - $\alpha \div 0,75$; 2 kHz - $\alpha \div 0,50$; 4 kHz - $\alpha \div 0,45$; Celková skladebná tloušťka obkladu je 100 mm; Součástí prvku jsou obložky a sokly; povrchová úprava – HPL viz katalog interiéru; požadavky PBŘ: třída reakce na oheň - B - s1, d0

3. ZÁVĚR

Studie prostorové akustiky řeší typové učebny v rámci staré budovy ZŠ Žitomířská v Českém Brodě. Pro tyto akustiky náročné prostory je stanovena optimální doba dozvuku a proveden návrh akustických úprav včetně výpočtu doby dozvuku tak, aby byl splněn definovaný požadavek normy ČSN 73 0527. Prostory návrh upravuje tak, aby zde byla dosažena dobrá srozumitelnost mluveného slova, snížena celková hladina hluku a byly zde celkově zajištěny vhodné akustické podmínky pro požadované účely.

V rámci realizace je nutné provést etapové měření doby dozvuku pro ověření a případnou korekci teoretického výpočtu. Dále je nutné po dokončení realizace provést závěrečné měření doby dozvuku se zpracováním výsledků formou měřicího protokolu.

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.

Výpočet doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - hudební dílna S00.10**

Cílová doba dozvuku	$T_0 =$	0,70	s	základní parametry prostoru:		
toleranční pásmo		řeč				
		hudba				
		hudba a řeč	1			
objem prostoru	$V =$	190,0	m ³	střední výška	3	m
plocha prostoru	$S =$	234,0	m ²	délka	9,48	m
				šířka	6,42	m

materiály	činitel zvukové pohltivosti k oktávovým pásmech						plochy
popis, základní charakteristika	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	[m ²]
vzduch, 50% relativní vlhkost	6,60E-05	2,50E-04	6,83E-04	1,10E-03	2,70E-03	9,40E-03	–
strop							
AP-S	0,35	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	24,5
AP-N	0,5	0,25	0,2	0,4	0,25	0,25	18,8
AP-SDK	0,2	0,12	0,06	0,04	0,04	0,04	17,7
podlaha							
podlaha	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	60,0
osoby a nábytkové vybavení - obsazenost 80%	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,4	15,0
stěny							
omítky a ostatní odrazivé plochy	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	68,9
MAO	0,2	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	3,2
okna, světlíky, dveře	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	25,9

celková plocha	234,0
----------------	-------

celková ekvivalentní pohltivá plocha [-]		35,6	39,5	42,7	46,9	46,0	50,1
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,46
	horní mez	1,02	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
vypočtená doba dozvuku dle řešení [s]		0,81	0,72	0,66	0,60	0,61	0,57

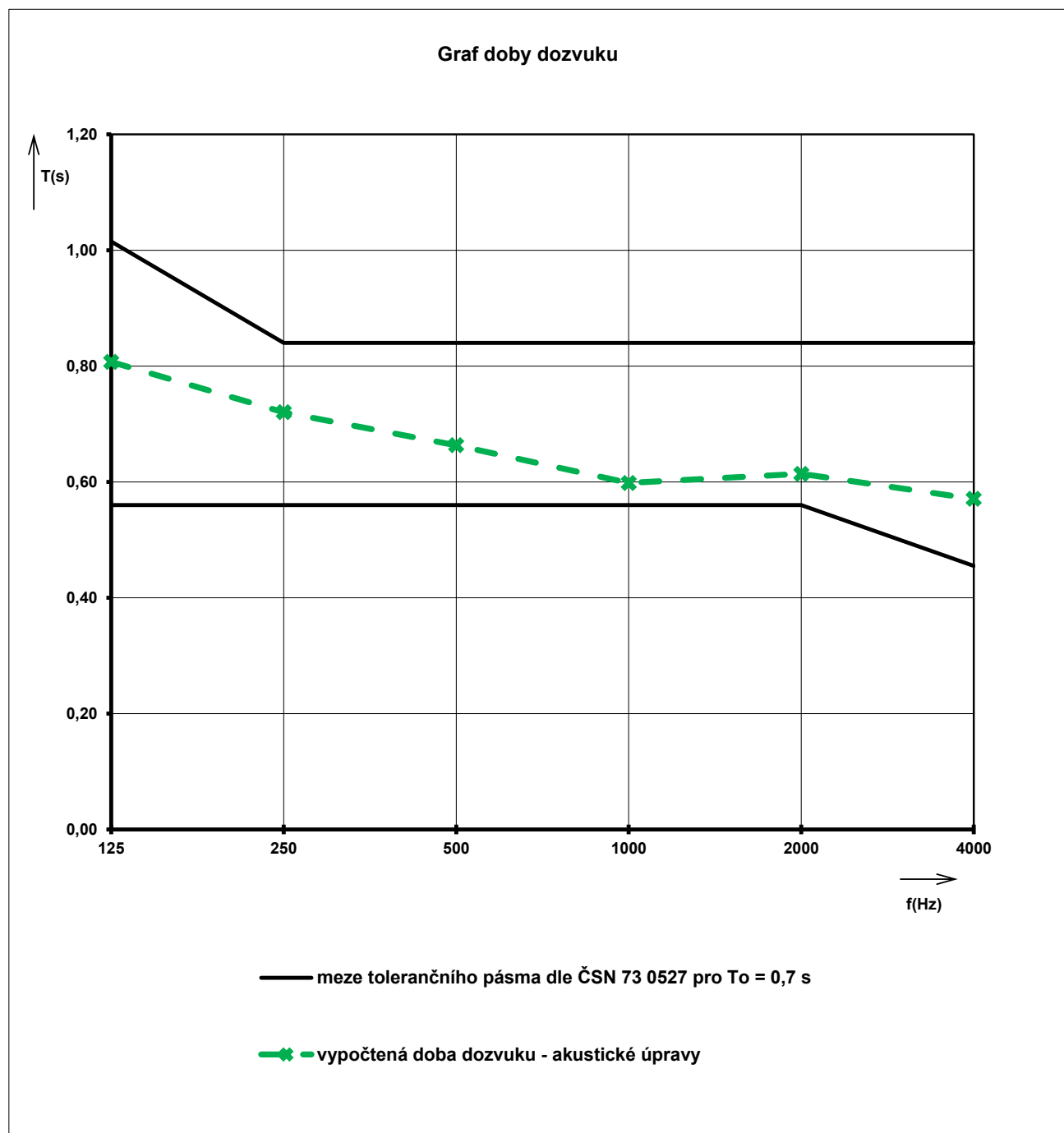
Graf vypočtené doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - hudební dílna S00.10**

objem prostoru $V = 190,0 \text{ m}^3$

plocha prostoru $S = 234,0 \text{ m}^2$

frekvence [Hz]		125	250	500	1000	2000	4000
vypočtená doba dozvuku - akustické úpravy		0,81	0,72	0,66	0,60	0,61	0,57
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,46
	horní mez	1,02	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84



Výpočet doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - učebna S03.05**

Cílová doba dozvuku	$T_0 =$	0,62	s	základní parametry prostoru:		
toleranční pásmo		řeč				
		hudba				
		hudba a řeč	1			
objem prostoru	$V =$	223,0	m ³	střední výška	3,3	m
plocha prostoru	$S =$	252,0	m ²	délka	10,1	m
				šířka	6,6	m

materiály	činitel zvukové pohltivosti k oktávovým pásmům						plochy
popis, základní charakteristika	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	[m ²]
vzduch, 50% relativní vlhkost	6,60E-05	2,50E-04	6,83E-04	1,10E-03	2,70E-03	9,40E-03	–
strop							
AP-S	0,35	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	35,0
AP-N	0,5	0,25	0,2	0,4	0,25	0,25	31,7
podlaha							
podlaha	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	57,0
osoby a nábytkové vybavení - obsazenost 80%	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,4	18,0
stěny							
omítky a ostatní odrazivé plochy	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	84,1
MAO							
okna, světlíky, dveře	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	23,0

celková plocha	252,0
----------------	-------

celková ekvivalentní pohltivá plocha [-]	43,4	49,9	55,3	62,6	60,2	65,1
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40
	horní mez	0,90	0,74	0,74	0,74	0,74
vypočtená doba dozvuku dle řešení [s]	0,77	0,66	0,59	0,51	0,54	0,50

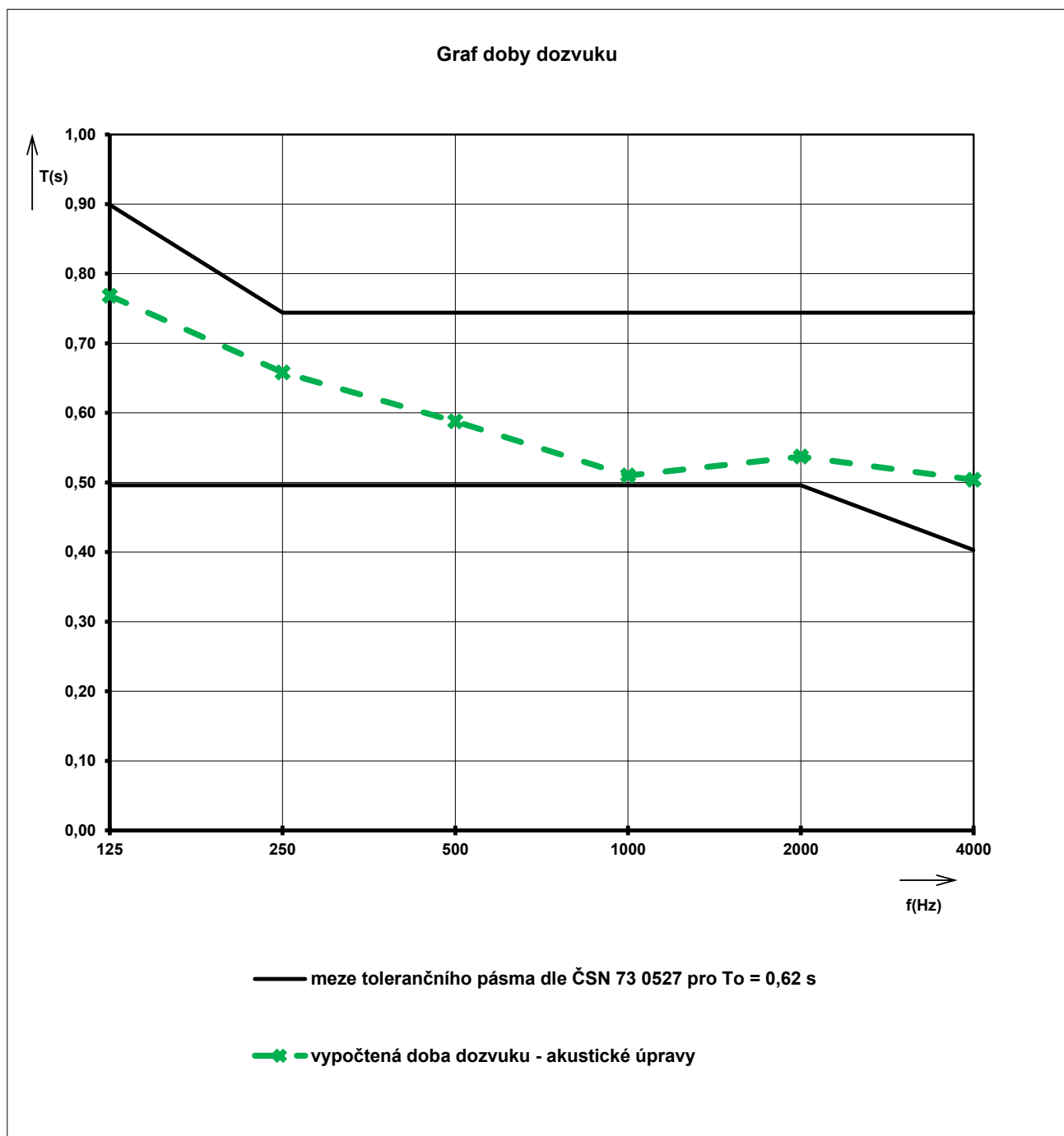
Graf vypočtené doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - učebna S03.05**

objem prostoru $V = 223,0 \text{ m}^3$

plocha prostoru $S = 252,0 \text{ m}^2$

frekvence [Hz]		125	250	500	1000	2000	4000
vypočtená doba dozvuku - akustické úpravy		0,77	0,66	0,59	0,51	0,54	0,50
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40
	horní mez	0,90	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74



Výpočet doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - jazyková učebna S03.15**

Cílová doba dozvuku	$T_0 = 0,45$	s	základní parametry prostoru:		
toleranční pásmo	řeč				
	hudba				
	hudba a řeč	1			
objem prostoru	$V =$	151,0	m ³	střední výška	3,3 m
plocha prostoru	$S =$	187,0	m ²	délka	6,86 m
				šířka	6,81 m

materiály	činitel zvukové pohltivosti k oktávovým pásmech						plochy
popis, základní charakteristika	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	[m ²]
vzduch, 50% relativní vlhkost	6,60E-05	2,50E-04	6,83E-04	1,10E-03	2,70E-03	9,40E-03	–
strop							
AP-S	0,35	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	27,4
AP-N	0,5	0,25	0,2	0,4	0,25	0,25	16,4
podlaha							
podlaha	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	60,0
osoby a nábytkové vybavení - obsazenost 80%	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,4	15,0
stěny							
omítka a ostatní odrazivé plochy	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	27,8
PAO	0,4	0,85	0,9	0,75	0,5	0,45	17,4
MAO	0,35	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	
okna, světlíky, dveře	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	23,0

celková plocha	187,0
----------------	-------

celková ekvivalentní pohltivá plocha [-]		35,4	49,3	54,2	55,6	50,6	52,7
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29
	horní mez	0,65	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
vypočtená doba dozvuku dle řešení [s]		0,63	0,43	0,39	0,38	0,42	0,41

Graf vypočtené doby dozvuku

název prostoru: **ZŠ Žitomířská - jazyková učebna S03.15**

objem prostoru $V = 151,0 \text{ m}^3$

plocha prostoru $S = 187,0 \text{ m}^2$

frekvence [Hz]		125	250	500	1000	2000	4000
vypočtená doba dozvuku - akustické úpravy		0,63	0,43	0,39	0,38	0,42	0,41
toleranční pásmo [s]	dolní mez	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29
	horní mez	0,65	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54

