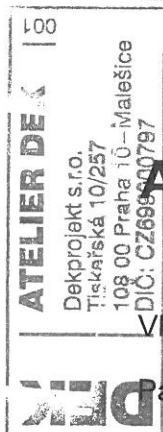


ATELIER

**DEK**

**DEKPROJEKT s.r.o.**  
Zakázka číslo: 2019-017966-KrP



## Akustická studie

VFU Brno – budova č. 15

Palackého třída 1946/1

612 00 Brno, Královo Pole

### Vypracoval:

Ing. Petr Kropáč

### Kontroloval:

Ing. Roman Pavelka

### Zpracováno v období:

srpen 2019

## Obsah

<b>1. VŠEOBECNĚ.....</b>	<b>3</b>
1.1. Předmět.....	3
1.2. Úkol.....	3
1.3. Objednatel.....	3
1.4. Zpracovatel.....	3
1.5. Vypracoval.....	3
1.6. Kontroloval.....	3
1.7. Zpracováno v období.....	3
<b>2. PODKLADY.....</b>	<b>3</b>
<b>3. SITUACE.....</b>	<b>4</b>
<b>4. POŽADAVKY.....</b>	<b>6</b>
<b>5. NÁVRH AKUSTICKÝCH ÚPRAV.....</b>	<b>7</b>
5.1. Výpočtový model.....	7
5.2. Návrh úprav.....	8
5.2.1. Cvičebny (m.č. 207, 216, 320).....	8
5.2.2. Cvičebny a laboratoř (m.č. 214, 317).....	10
5.2.3. <i>Ostatní prostory</i> .....	11
5.2.4. Činitelé pohltivosti navržených materiálů.....	11
5.3. Výpočet.....	12
5.4. Posouzení.....	14
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>15</b>

## 1. VŠEOBECNĚ

### 1.1. Předmět

VFU Brno – budova č. 15  
Palackého třída 1946/1  
612 00 Brno, Královo Pole

### 1.2. Úkol

Akustická studie – prostorová akustika

### 1.3. Objednatel

**UNIVERS projekt v.o.s.**

Pechova 1595/5  
615 00  
IČ: 060724609

kontaktní osoba:  
Ing. Jakub Král  
+420 770118295  
kral@up-i.cz

### 1.4. Zpracovatel

**DEKPROJEKT s.r.o.**

Tiskařská 10/257  
budova TTC TECHKOM  
CENTRUM  
108 00, Praha 10  
tel.: +420 234 054 284-5  
fax.: +420 234 054 291

IČO: 27 64 24 11  
DIČ: CZ 27 64 24 11  
bankovní spojení:  
35-7899980247/0100  
KB Praha 9

Zapsáno v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze oddíl C., vložka 120996

### 1.5. Vypracoval

Ing. Petr Kropáč

### 1.6. Kontroloval

Ing. Roman Pavelka

### 1.7. Zpracováno v období

srpen 2019

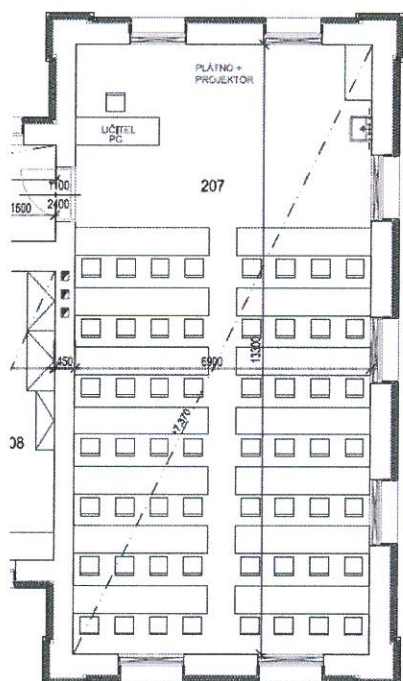
## 2. PODKLADY

- [1] Objednávka ze dne 23. 8. 2019 dle D2019-036544
- [2] Projektová dokumentace v elektronické podobě
- [3] Stavební fyzika 10 – Akustika stavebních konstrukcí – Doc. Ing. Jiří Čechura, Csc.
- [4] ČSN 73 0525 (73 0525) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady.
- [5] ČSN 73 0527 (73 0527) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – prostory pro kulturní účely – prostory ve školách – prostory pro veřejné účely.
- [6] Stavební fyzika I – Urbanistická, stavební a prostorová akustika – Prof. Ing. Jiří Vaverka DrSc., VUTIUM 1998.
- [7] ČSN EN 12354-6 (73 0512) Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech
- [8] ČSN EN ISO 11654 (73 0528) Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti
- [9] Výpočetní program ODEON 15.10 Auditorium

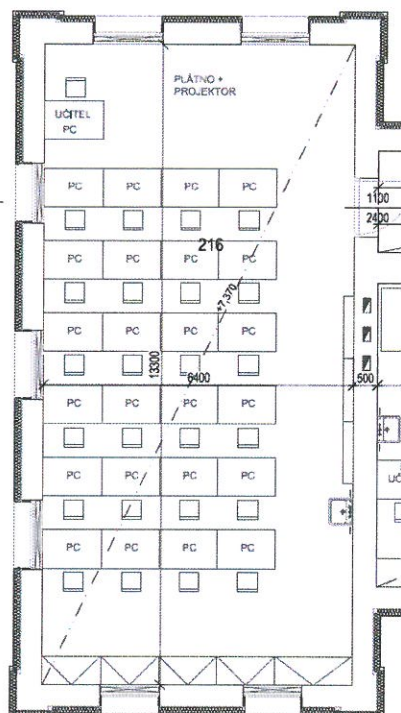
Pozn.: U předpisů a norem platí poslední znění včetně novelizací a změn vydaných k datu zpracování studie

### 3. SITUACE

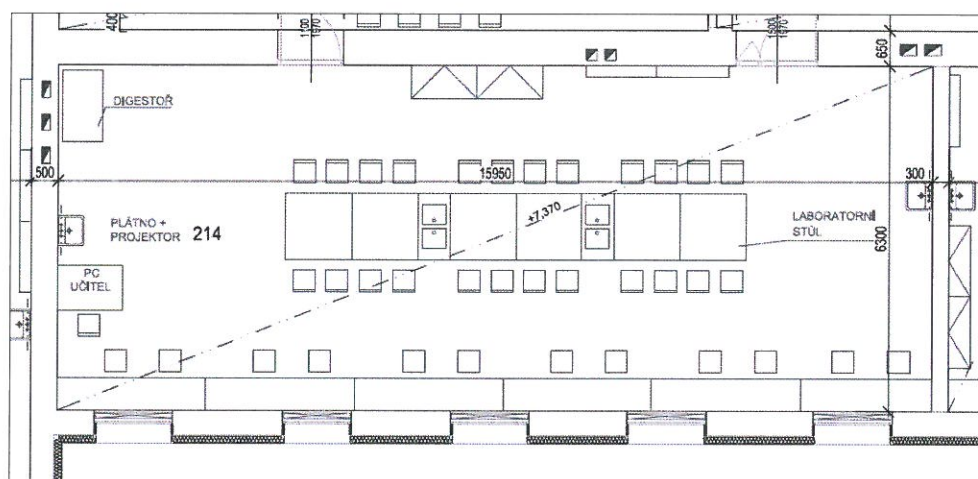
Předmětem studie je veterinární a farmaceutická univerzita v Brně. Objednatelem je požadováno posouzení vnitřního prostoru pro výuku (m.č. 207, 214, 216, 317, 320) z hlediska prostorové akustiky a návrh koncepce zvukopohltivých úprav vedoucích ke splnění požadavků ČSN 73 0527. Součástí návrhu a posouzení zvukopohltivých úprav není posouzení z hlediska tepelnévlhkostního režimu skladeb a z hlediska požární bezpečnosti staveb. Situace vnitřních prostor je zobrazena na následujících obrázcích.



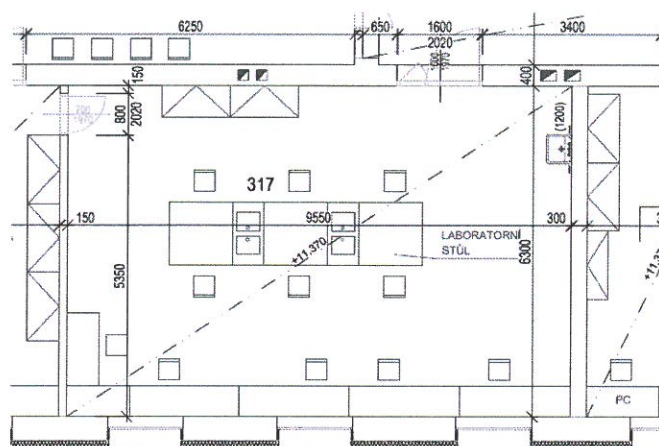
Obr. /1/ Vnitřní prostor – cvičebna/56 míst (m.č. 207)



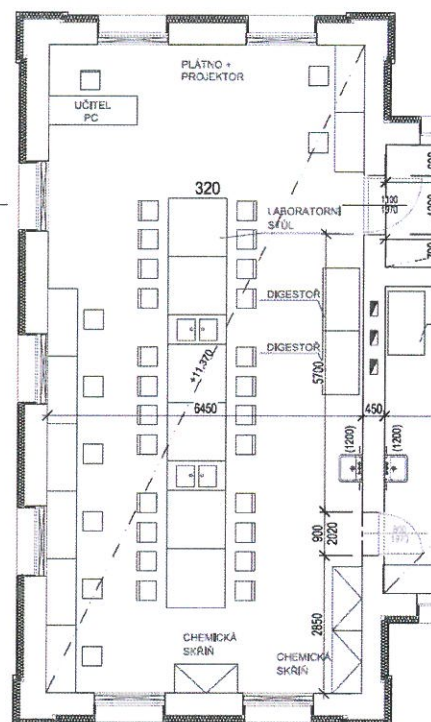
Obr. /2/ Vnitřní prostor – PC cvičebna/24 míst (m.č. 216)



Obr. /3/ Vnitřní prostor – cvičebna/24 míst (m.č. 214)



Obr. 14/ Vnitřní prostor – laboratoře/6 míst (m.č. 317)



Obr. 15/ Vnitřní prostor – cvičebna/24 míst (m.č. 320)

## 4. POŽADAVKY

Optimální doba dozvuku  $T_0$  prostoru daného účelu se stanoví pro objem prostoru. Číselně vyjádřená hodnota optimální doby dozvuku v sekundách se týká prostoru v obsazeném stavu a vztahuje se ke kmitočtu 1000 Hz.

Hodnota optimální doby dozvuku pro učebny nad 250 m<sup>3</sup> se určí podle následujícího vztahu:

$$T_0 = 0,3424 \cdot \log(V) - 0,185$$

Hodnota optimální doby dozvuku pro učebnu s vnitřním objemem do 250 m<sup>3</sup> je  $T_0 = 0,7$  s.

Hodnota optimální doby dozvuku pro posuzované prostory je uvedena v následující tabulce.

Místnost	Objem [m <sup>3</sup> ]	Optimální doba dozvuku [s]
Cvičebna (m.č. 207)	304,0	0,67
Cvičebna (m.č. 214)	348,7	0,69
PC Cvičebna (m.č. 216)	302,2	0,66
Laboratoř (m.č. 317)	213,6	0,70
Cvičebna (m.č. 320)	302,2	0,66

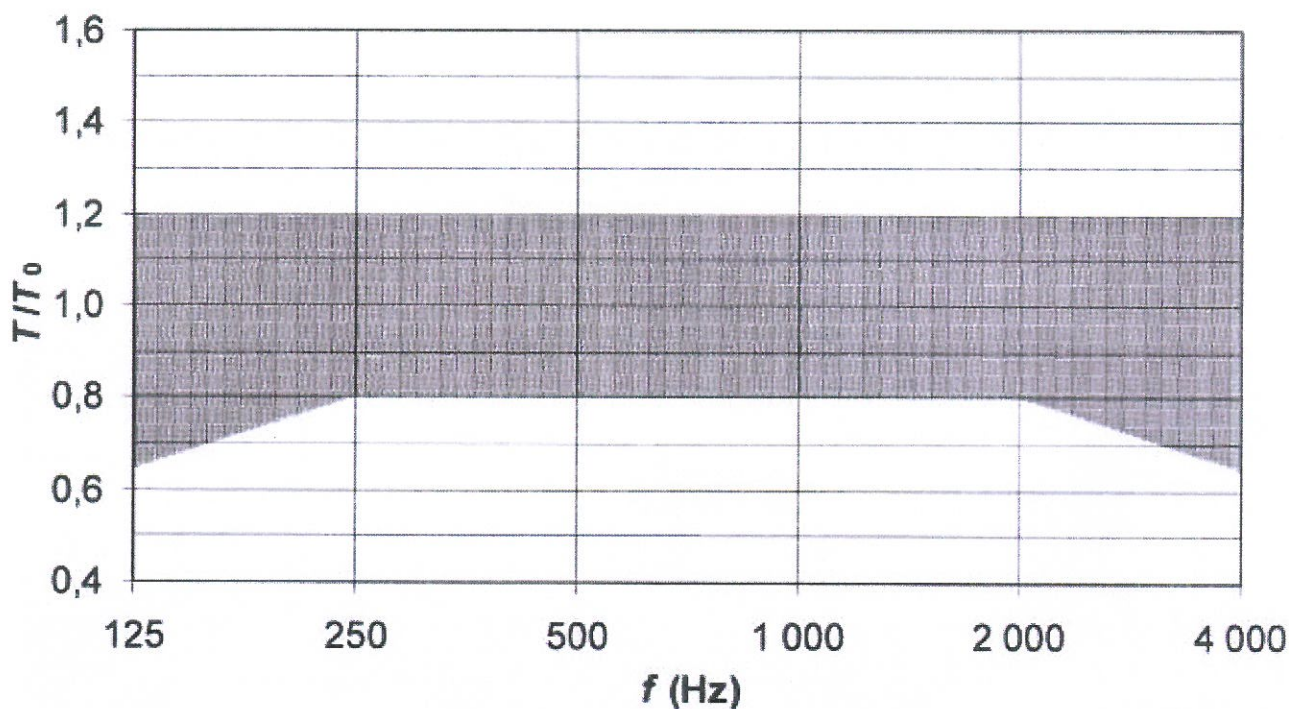
Tab. /1/ Optimální doba dozvuku

Doba dozvuku se vypočítá podle ČSN EN 12354-6 pro oktafóvová pásma se středními kmitočty od 125 Hz do 4 000 Hz. Kmitočtový průběh vypočítané doby dozvuku  $T$  se ve vztahu k optimální době dozvuku  $T_0$  prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí. Hodnoty přípustného rozmezí pro jednotlivá oktafóvová pásma jsou uvedeny v následující tabulce.

Účel prostoru	Meze	Střední kmitočet $f$ (Hz) oktafóvového pásma											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$
Cvičebna (m.č. 207) (m.č. 216) (m.č. 320)	horní	1,2	0,80	1,20	0,80	1,20	0,80	1,20	0,80	1,20	0,80	1,2	0,80
	dolní	0,65	0,43	0,80	0,53	0,80	0,53	0,80	0,53	0,80	0,53	0,65	0,43
Cvičebna (m.č. 214)	horní	1,2	0,82	1,20	0,82	1,20	0,82	1,20	0,82	1,20	0,82	1,2	0,82
	dolní	0,65	0,45	0,80	0,55	0,80	0,55	0,80	0,55	0,80	0,55	0,65	0,45
Učebny a posluchárny do 250 m <sup>3</sup> (m.č. 317)	horní	1,20	0,84	1,20	0,84	1,20	0,84	1,20	0,84	1,20	0,84	1,20	0,84
	dolní	0,65	0,46	0,80	0,56	0,80	0,56	0,80	0,56	0,80	0,56	0,65	0,46

Tab. /2/ Přípustné rozmezí  $T/T_0$





Obr. /6/ Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči v závislosti na středním kmitočtu oktaového pásma

## 5. NÁVRH AKUSTICKÝCH ÚPRAV

### 5.1. Výpočtový model

V následující tabulce jsou uvedeny uvažované konstrukce v posuzovaném prostoru

Popis konstrukce	Pohledový materiál	Cvičebna (m.č. 207) [m <sup>2</sup> ]	Cvičebna (m.č. 214) [m <sup>2</sup> ]	PC Cvičebna (m.č. 216) [m <sup>2</sup> ]	Laboratoře (m.č. 317) [m <sup>2</sup> ]	Cvičebna (m.č. 320) [m <sup>2</sup> ]
Podlaha	tvrdá podlahovina	85,8	98,2	85,1	60,2	85,1
Stěny	Omítka/ker. obklad	115,7	132,8	115,3	99,8	113,9
Okna	sklo	22,3	15,5	22,3	9,6	22,3
Dveře	dřevo	2,2	5,6	2,2	3,2	3,6
Strop	nespecifikováno	85,8	98,2	85,1	60,2	85,1

Tab. /3/ Pohledové konstrukce

Hodnoty činitele útlumu ve vzduchu byly uvažovány následující (pro relativní vlhkost vnitřního vzduchu 50%):

Kmitočet $f$ [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Činitel útlumu ve vzduchu [np/m]	0,0001	0,0003	0,0006	0,0010	0,0019	0,0058

Tab. /4/ Činitel útlumu ve vzduchu

V následující tabulce jsou uvedeni činitelé pohltivosti jednotlivých pohledových materiálů. Hodnoty činitelů pohltivosti pro jednotlivé materiály byly převzaty z [3, 6, 7 a 9]. Pro materiály, pro něž nebyli činitelé pohltivosti k dispozici, jsou tyto hodnoty stanoveny odborným odhadem, případně výpočtem.

Pohledový materiál	Střední kmitočet f (Hz) oktávového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
Tvrdá podlahovina	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Omítka	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
Prosklené výplně	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
Dřevo (dveře)	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Děti ve třídě s odrazivým vybavením, 1 osoba na plochu 1m <sup>2</sup> (80 % zaplněnost)	0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,40

Tab. /5/ Průběh činitele pohltivosti v oktávových pásmech

## 5.2. Návrh úprav

Úpravy doby dozvuku lze obecně dosáhnout změnou celkové pohltivosti prostoru, tj. opatřením prostoru pohltivými materiály. Výpočet doby dozvuku byl proveden za pomoci softwaru ODEON. 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 detailů.

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.

### 5.2.1. Cvičebny (m.č. 207, 216, 320)

Do posuzovaných prostorů navrhujeme provedení stropního akustického podhledu z akusticky pohltivých kazet Ecophon Gedina A 15 mm + Extra Bass (tl. 50 mm) v kombinaci s méně pohltivými panely Ecophon A/gamma 15 mm. Podhledy budou instalovány pod celým stropem se svěšením 200 mm.

V jednotlivých učebnách bude podhled proveden v následujících plochách stropu:

#### Cvičebna (m.č. 207)

- Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm) 65,8 m<sup>2</sup> (cca 75 % stropu)
  - Ecophon Gedina A/gamma 15 mm 20,0 m<sup>2</sup> (cca 25 % stropu)
- Schematicky vyznačeno na obrázku 7*

#### PC cvičebna (m.č. 216)

- Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm) 65,3 m<sup>2</sup> (cca 75 % stropu)
  - Ecophon Gedina A/gamma 15 mm 19,8 m<sup>2</sup> (cca 25 % stropu)
- Schematicky vyznačeno na obrázku 7*

#### cvičebna (m.č. 320)

- Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm) 65,3 m<sup>2</sup> (cca 75 % stropu)
  - Ecophon Gedina A/gamma 15 mm 19,8 m<sup>2</sup> (cca 25 % stropu)
- Schematicky vyznačeno na obrázku 7*





Obr. 17/ Schematické zobrazení akustického pohledu cvičeben m.č. 207, 216, 320

**5.2.2. Cvičebny a laboratoř (m.č. 214, 317)**

Do posuzovaných učeben navrhujeme provedení stropního akustického podhledu z akusticky pohltivých kazet Ecophon Gedina A 15 mm + Extra Bass (tl. 50 mm) v celé ploše stropu. Podhled bude instalován pod celým stropem se svěšením 200 mm.

Dále bude do obou prostorů navržen akustický obklad z minerálních panelů Ecophon Akusto Wall A Akutex FT 40 mm.

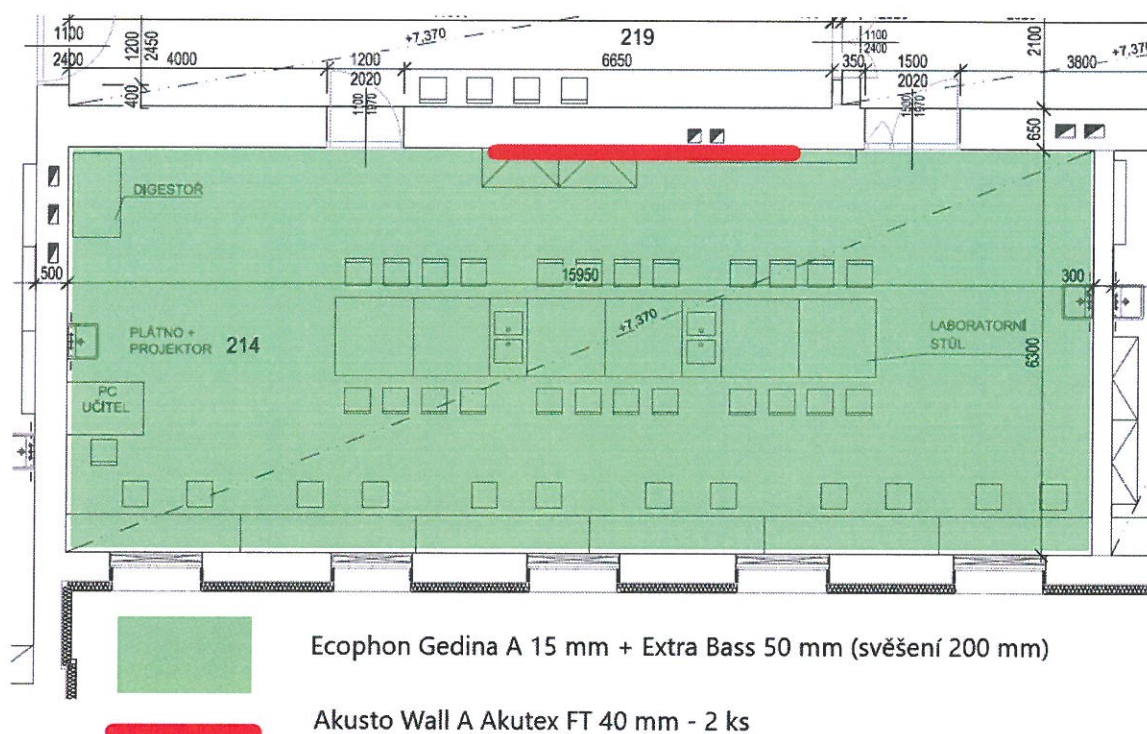
V jednotlivých učebnách bude podhled a obklad proveden v následujících plochách:

**cvičebna (m.č. 214)**

- Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm) 98,2 m<sup>2</sup> ( 100 % stropu)
  - Ecophon Akusto Wall A Akutex FT 40 mm 6,48 m<sup>2</sup> (2 ks na vnitřní podélné stěně)
- Schematicky vyznačeno na obrázku 8*

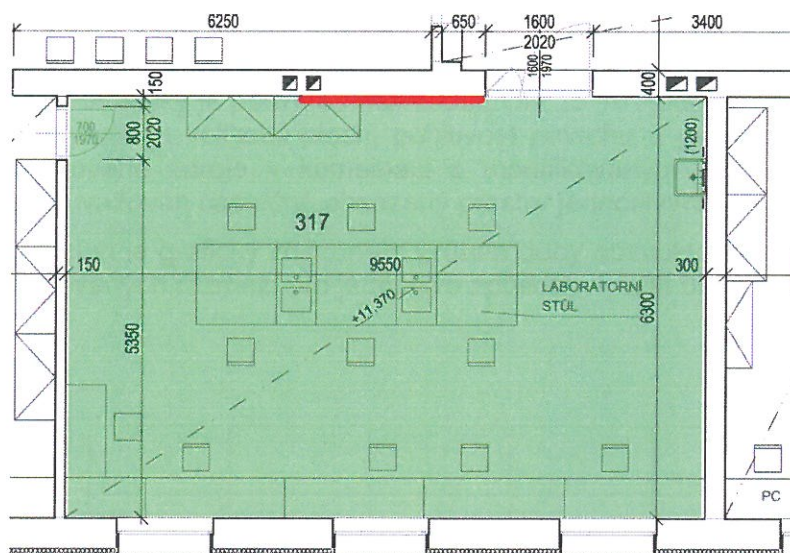
**laboratoř (m.č. 317)**

- Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm) 60,2 m<sup>2</sup> ( 100 % stropu)
  - Ecophon Akusto Wall A Akutex FT 40 mm 6,48 m<sup>2</sup> (2 ks na vnitřní podélné stěně)
- Schematicky vyznačeno na obrázku 9*



Obr. /8/ Schematické zobrazení akustického podhledu a obkladu cvičebny m.č. 214





Ecophon Gedina A 15 mm + Extra Bass 50 mm (svěšení 200 mm)



Akusto Wall A Akutex FT 40 mm - 2 ks

Obr. /9/ Schematické zobrazení akustického podhledu a obkladu laboratoře m.č. 317

### 5.2.3. Ostatní prostory

Do učeben pracovních výuk (přípravny m. č. 114, 115, 116, 117, 118, 318) je nutno z hlediska ČSN 73 0527 navrhnout širokopásmový akustický podhled (podhled, jehož vážený číselník zvukové pohltivosti  $\alpha \geq 0,8$ ). Tento požadavek plní mimo jiné například akustický podhled z minerálních kazet Ecophon Gedina A 15 mm se svěšením 200 mm (vážený číselník zvukové pohltivosti  $\alpha = 0,95$ ).

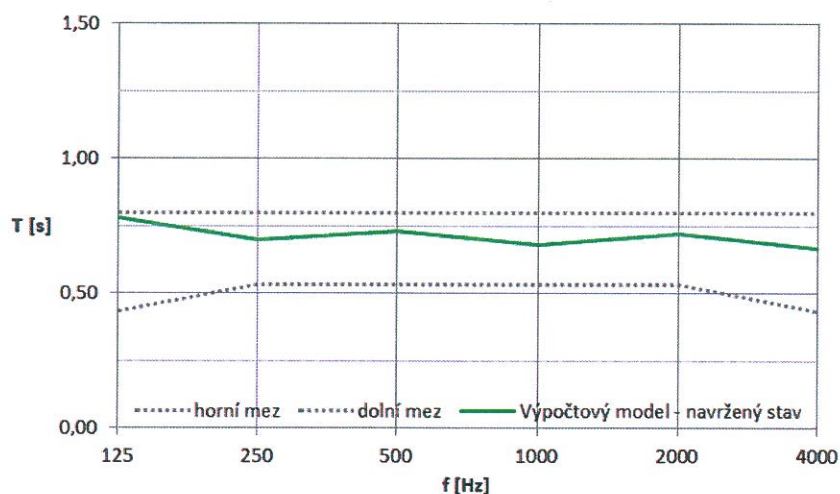
Příznivých akustických poměrů v prostorech, pro něž není určena optimální doba dozvuku (např.: chodby, sekretariát), se dosáhne také zpravidla pomocí širokopásmově pohlcujícího stropního podhledu.

### 5.2.4. Číselníky pohltivosti navržených materiálů

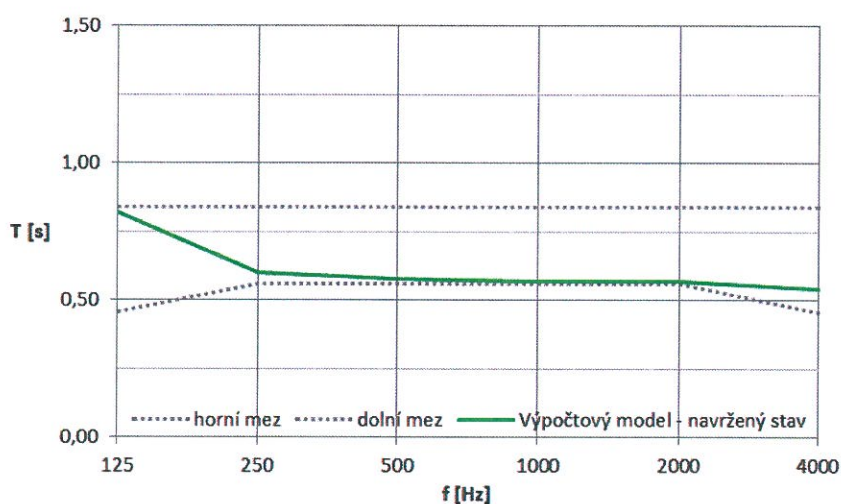
V následující tabulce jsou uvedeny číselníky pohltivosti zvukopohltivých materiálů uvažovaných ve výpočtu.

Pohledový materiál	Střední kmitočet f (Hz) oktavového pásma					
	125	250	500	1000	2000	4000
Akustický podhled Ecophon Gedina A + Extra Bass (tl. 50 mm), svěšení 200 mm	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Akustický podhled Ecophon Gedina A/gamma 15 mm, svěšení 200 mm	0,50	0,40	0,30	0,45	0,25	0,20
Akustický obklad Ecophon Akusto Wall A Akutex FT 40 mm	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00

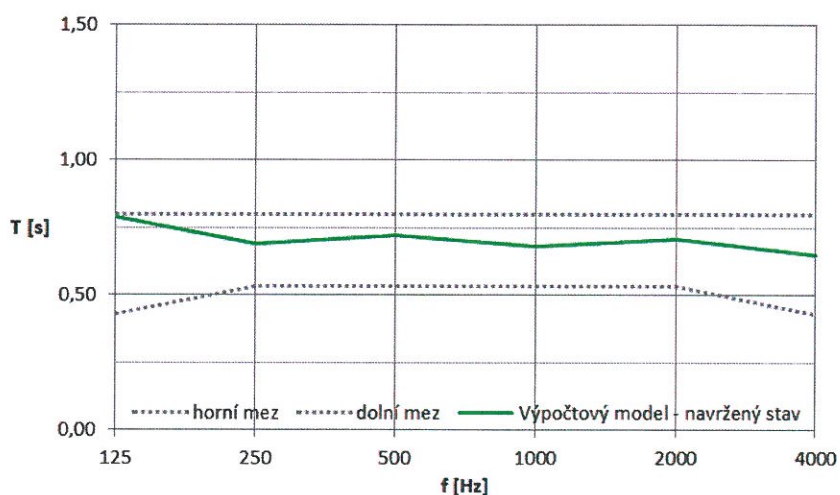
Tab. /6/ Průběh číselníku pohltivosti v oktavových pásmech



Obr./12/ Výsledná doba dozvuku – PC cvičebna m.č. 216



Obr./13/ Výsledná doba dozvuku – laboratoř m.č. 317



Obr./14/ Výsledná doba dozvuku – cvičebna m.č. 320

**5.4. Posouzení**

V následující tabulce je provedeno posouzení doby dozvuku dle ČSN 73 0527.

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
			125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech	T	s	0,76	0,68	0,70	0,60	0,68	0,63
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku – učebna	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,43	0,53	0,53	0,53	0,53
Hodnocení (cvičebna m.č. 207)			+	+	+	+	+	+

**Tab. /7/ Posouzení vypočtené doby dozvuku – stav po návrhu úprav, cvičebna m.č. 207**

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
			125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech	T	s	0,82	0,66	0,63	0,62	0,63	0,58
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku – učebna	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,45	0,55	0,55	0,55	0,45
Hodnocení (cvičebna – m.č. 214)			+	+	+	+	+	+

**Tab. /8/ Posouzení vypočtené doby dozvuku – stav po návrhu úprav, cvičebna – m.č. 214**

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
			125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech	T	s	0,78	0,70	0,73	0,68	0,72	0,67
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku – učebna	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,43	0,53	0,53	0,53	0,43
Hodnocení (PC cvičebna m.č. 216)			+	+	+	+	+	+

**Tab. /9/ Posouzení vypočtené doby dozvuku – stav po návrhu úprav, PC cvičebna – m.č. 216**

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
			125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech	T	s	0,82	0,60	0,58	0,57	0,57	0,54
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku – učebna	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,46	0,56	0,56	0,56	0,46
Hodnocení (laboratoř m.č. 317)			+	+	+	+	+	+

**Tab. /10/ Posouzení vypočtené doby dozvuku – stav po návrhu úprav, laboratoř – m.č. 317**

Parametr	Znač.	Jedn.	Střední kmitočet f [Hz] oktávového pásma					
			125	250	500	1000	2000	4000
Vypočtená doba dozvuku v oktávových pásmech	T	s	0,79	0,69	0,72	0,68	0,71	0,65
Požadované rozmezí hodnot doby dozvuku – učebna	Horní mez	$T_{E,N}$	s	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dolní mez	$T_{E,N}$	s	0,43	0,53	0,53	0,53	0,43
Hodnocení (cvičebna m.č. 207)			+	+	+	+	+	+

**Tab. /11/ Posouzení vypočtené doby dozvuku – stav po návrhu úprav, cvičebna – m.č. 320**

Pozn.: + ... Vyhovuje požadavku, X ... Nevyhovuje požadavku, - ... nehodnoceno



Z výsledků v tab. 7 - 11 je zřejmé, že posuzované prostory **výpočtově splňují požadavky na optimální dobu dozvuku po provedení kompletního rozsahu navržených opatření.**

Kontrolní měření doby dozvuku doporučujeme provést po dokončení realizace podhledů a stěnových obkladů. Ze zkušenosti lze říci, že předpokládaná doba dozvuku v pohltivých prostorech je o něco vyšší než doba dozvuku získaná výpočtem. Příčinou může být nerovnoměrné rozložení pohltivých ploch. 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 kontrolovat dobu dozvuku prostoru měřením. Na základě výsledků měření lze přistoupit k doladění akustiky prostoru, např. návrhem dalších stěnových obkladů. Z tohoto důvodu doporučujeme počítat s jistou rozpočtovou rezervou na realizaci akustických opatření ve výši cca 25 % nákladů.

## 6. ZÁVĚR

Úkolem akustické studie byl návrh zvukopohltivých úprav do vnitřního prostoru cvičeben a laboratoře (m.č. 206, 214, 216, 317, 320) VFU v Brně. Výpočtová doba dozvuku posuzovaných prostorů splňuje požadavky ČSN 73 0527 pro dané účely využití.

Do učeben pracovních výuk je nutno z hlediska ČSN 73 0527 navrhnout širokopásmový akustický podhled (podhled, jehož vážený činitel zvukové pohltivosti  $\alpha \geq 0,8$ ). Tento požadavek plní mimo jiné například akustický podhled z minerálních kazet Ecophon Gedina A 15 mm se svěšením 200 mm (vážený činitel zvukové pohltivosti  $\alpha = 0,95$ ).

Kontrolní měření doby dozvuku doporučujeme provést po realizaci navržených opatření. Doporučujeme tepelnětechnické a požární posouzení.

V Olomouci dne 30.8.2019

za **DEKPROJEKT s.r.o.**

Ing. Petr Kropáč

Tel.: +420 739 488 141

e-mail: petr.kropac@dek-cz.com



**ATELIER DEK**

DEKPROJEKT s.r.o.  
Tiskařská 10/257  
108 00 Praha 10  
DIČ: CZ699000797

10