

Návrh akusticky-pohltivých úprav

Právnická fakulta v Brně

Objednavatel: **Projekční architektonická kancelář spol. s r.o.**

Ing. arch. V.Steinhauserová

Gorkého 11, 602 00 Brno

☎ +420 541 642 238

Zpracovatel: **Ing. Dagmar Donatřáková**

☎ +420 777 727 813, 541 147 415

e-mail: donatakova.d@fce.vutbr.cz



Dagmar Donatřáková

Lelekovice, květen 2016

Na základě objednávky ze dne 9. května 2016 bylo dne 10.5.2016 uskutečněno kontrolní měření doby dozvuku v prostorách stávající posluchárny 1051 v INP Právnické fakulty v Brně.

Účelem měření bylo získání podkladů pro návrh vhodného typu akusticky pohltivých prvků a materiálů, které budou nově instalovány v uvedené posluchárně. Současně byla provedena poslechová a vizuální kontrola dalších vybraných administrativních místností v INP pro výpočtový model návrhu akusticko-pohltivých úprav těchto místností v rámci jejich rekonstrukce na posluchárny.

Rozsah měření byl stanoven projektantem, ing. Janem Mynářem.

O získaných poznatcích podávám tuto zprávu, která obsahuje:

1. Identifikační údaje	3
2. Seznam použitých předpisů	3
3. Základní údaje měřené místnosti	3
4. Datum a čas měření	4
5. Použité měřicí přístroje	4
6. Metoda měření	5
7. Podmínky měření	5
8. Měření doby dozvuku	6
8.1 Legislativní požadavky	6
8.2 Výsledky měření	6
9. Návrh akustického opatření	7
9.1 Technicko-fyzikální popis navrženého řešení	7
9.2 Ověření akustického návrhu	9
10. Závěr	11

1. Identifikační údaje

Akce: Právnická fakulta v Brně – úpravy vnitřních prostor 1NP

Projektant: Projekční architektonická kancelář spol. s r.o. Ing. arch. V. Steinhauserová,
Gorkého 11, 602 00 Brno

2. Seznam použitých předpisů

- ČSN ISO 3382-2, únor 2009 Akustika. Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech (ČSN 73 0534).
- ČSN 73 0525 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady.
- ČSN 73 0527, březen 2005 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky- Prostory pro kulturní účely-Prostory ve školách-Prostory pro veřejné účely.
- ČSN EN 12354-6 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech. (73 0512).

3. Základní údaje měřeného prostoru

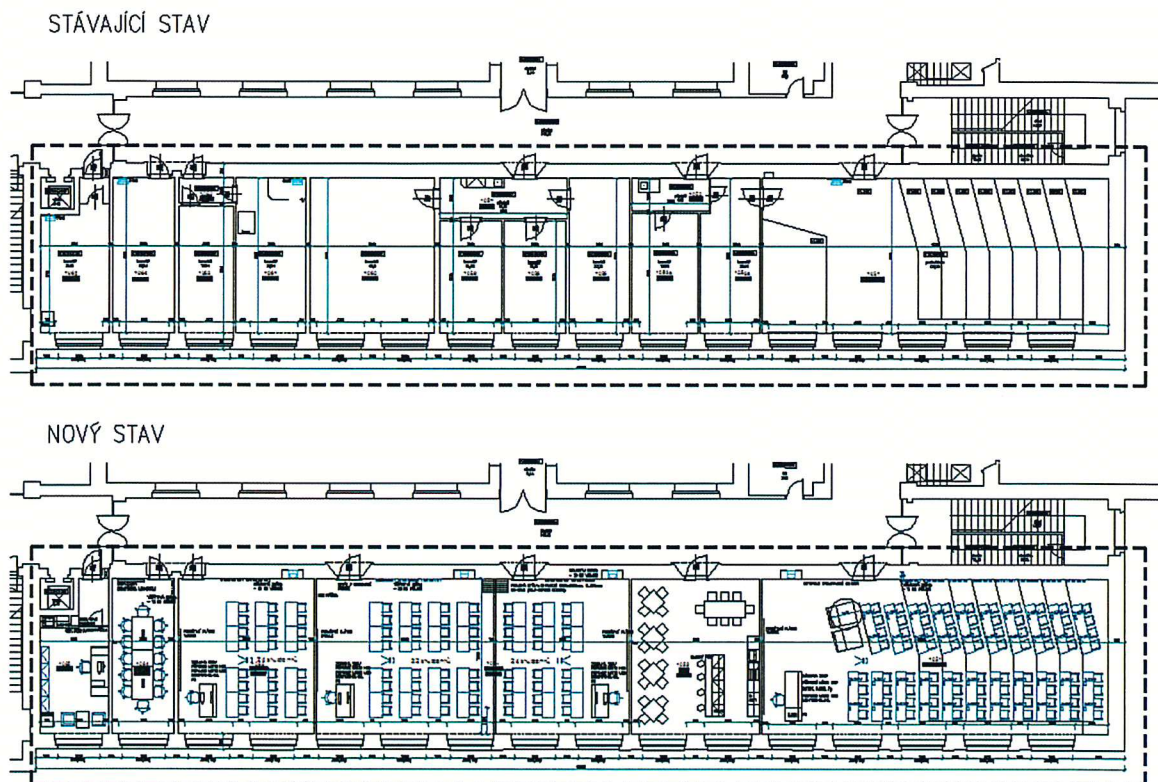
Za účelem zpracování návrhu vhodných akustických úprav poslucháren a následné realizaci byl projektantem zpracován návrh modernizace prostor 1NP a následně poskytnut jako podklad pro kontrolní měření doby dozvuku stávající posluchárny 1051 a následný návrh akustického řešení.

Místnosti určené pro modernizaci v 1NP jsou v současnosti využívány a jsou tedy vybavena základním zařízením dle účelu svého využití. Místnost 1051 je užívána jako posluchárna (výuka). Ostatní místnosti 1053b, 1053a, 1056, 1058, 1059, 1060, 1061, 1063, 1064 jsou v současné době využívány jako kanceláře – viz. *Obr. 1*. Po realizaci stavebního záměru budou tyto kanceláře využívány jako seminární místnosti (1061 a 1063), jako denní místnost (1053) a zasedací místnost (1064) – viz. *Obr. 1*.

Stěny místností jsou opatřeny omítkou. V posluchárně 1051 v 1NP je prostor pro posluchače upraven stupňovitě s pevnými lavicemi. Podlaha je v nášlapné vrstvě z PVC. Strop je opatřen omítkou. Okna jsou bez závěsů a záclon. V posluchárně jsou okna opatřena zatemňovacím zařízením v provedení (koženka – černé barvy).

Pro prostory poslucháren je investorem a projektantem preferováno použití akustických materiálů, které zajistí fyzikálně – akustické podmínky pro požadovaný způsob využití – řeč a současně budou umístěny přednostně jako podhled stropu s případným rozsahem nezbytným doplněním obkladu stěn.

Pro vlastní návrh akusticky pohltivých úprav nových poslucháren připravených ke stavebním interiérovým úpravám byly zástupcem objednatele návrhu a zástupcem provozovatele místností vybrány materiály a výrobky, vhodné do prostor pro výuku.



Obr. 1 Půdorys 1NP – stávající a nová dispozice

4. Datum a čas měření

Příprava informativního měření a vlastní měření v prostorách posluchárny 1051 v 1NP proběhlo ve dne 10. května 2016, od 10:10 h do 10:55 hodin.

5. Použité měřicí přístroje

Při měření byly použity následující přístroje Brüel & Kjaer:

- přesný modulární analyzátor zvuku typ 2260 Investigator, výrobní číslo 2354816,
ČSN IEC 651 třída přesnosti 1,
ČSN IEC 60804 třída přesnosti 1,
ČSN IEC 61260 (části normy) třída přesnosti 1,
- měřicí předpolarizovaný 1/2" mikrofon typ 4189, výrobní číslo 2352807,
Mikrofon splňuje požadavky normy PNÚ 1802.1, 1802.2
- hladinový zvukový kalibrátor typ 4231, výrobní číslo 2343360,
ČSN IEC 942 třída přesnosti 1,
Kalibrační list č. 6035-KL-K049-09.
Kalibrační list č. 6035-KL-K0013-12
- Termohygrobarometr typ C4130 – COMET, výrobní číslo 01900132.
- startovací pistole ZORAKI Mod.914 Ø 9mm výrobní číslo 099Z16

6. Metoda měření

Měření doby dozvuku bylo prováděno dle ČSN ISO 3382-2, únor 2009. Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech (ČSN 73 0534).

Pro měření byla zvolena metoda integrované impulsové odezvy. Impulsová odezva byla získána pomocí startovací pistole ZORAKI Mod.914 Ø 9mm. Polohy zdroje zvuku jsou uvedeny v obrázku schéma měřicích poloh, vždy ke konkrétní měřené místnosti.

Měření doby dozvuku bylo provedeno v 1/3 oktávových pásmech ve frekvenčním rozsahu 100 Hz až 5 000 Hz v polohách mikrofonu vyznačených v příloze 1. Mikrofon byl umístěn ve výšce 1,5 m nad podlahou.

Při měření byly polohy mikrofonu voleny tak, aby došlo k optimálnímu pokrytí místnosti a byly splněny následující požadavky:

- minimální vzdálenost jednotlivých poloh mikrofonu volena 2 m,
- vzdálenost od kterékoliv polohy mikrofonu k nejbližšímu odrazivému povrchu, včetně podlahy byla větší jak čtvrtina vlnové délky tj. normálně kolem 1 m,
- mikrofon byl umístěn vždy ve větší vzdálenosti od zdroje, než je

$$d_{\min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} = 2,5 \text{ m}$$

kde $V = 535$ - objem místnosti v m^3 pro místnost P1,

$c = 340$ - rychlost šíření zvuku v m/s ,

$T = 1,0$ s - odhad očekávané doby dozvuku v s.

Vybuzené hladiny akustického tlaku v prostoru převyšovaly ve všech kmitočtových pásmech hladinu akustického tlaku pozadí o více než 45 dB. Doba dozvuku v každé poloze byla stanovena z výsledné křivky poklesu v rozmezí hladin 5 dB až 25 dB. Průměrná doba dozvuku v místnosti byla stanovena aritmetickým průměrem ze všech poloh mikrofonu.

Rozložení poloh mikrofonu bylo voleno tak, aby předvídalo hlavní vlivy, které pravděpodobně způsobí rozdíly doby dozvuku v místnosti. Počet poloh mikrofonu byl 10. Pro každou z jednotlivých poloh zdroje hluku bylo zvoleno pět poloh mikrofonu tak, aby se zajistilo normální pokrytí místnosti.

Všechny hladiny hluku jsou vztaženy k referenčnímu akustickému tlaku 20 μPa . **Kalibrace celé měřicí sestavy před a po měření** byla provedena pomocí hladinového zvukového kalibrátoru s hladinou akustického tlaku 94,0 dB o kmitočtu 1000 Hz.

Záznam a zpracování akustického signálu bylo realizováno standardním způsobem, kdy byl využit dvoukanálový analyzátor Brüel & Kjaer typ 2260 a signál byl ihned kmitočtově analyzován. Výsledky měření hluku jsou vyjádřeny ve formě třetinooktávových spekter akustického tlaku. Časová charakteristika "Fast".

7. Podmínky měření

Dne 10. května 2016 - Relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_i = 48,3$ až $47,5$ %
- Teplota vnitřního vzduchu	$\theta_i = 20,4$ až $21,1$ °C
- Atmosferický tlak	$p_h = 919$ až 932 hPa

8. Měření doby dozvuku

8.1 Legislativní požadavky

Dle ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely, má být dosaženo doporučené optimální doby dozvuku T_o (s) pro oktávová pásma se středními kmitočty od 125 Hz do 4 000 HZ.

Účelem vhodné akustické úpravy učebny je dosažení doby dozvuku T (s) takové, aby závislost hodnot T/T_o (-) na středních kmitočtových pásmech vyhovovala přípustnému rozmezí těchto hodnot.

Stanovení optimální doby dozvuku pro **posluchárny a pracovní pedagogů** dle vztahu

$$T_o = (0,3424 \cdot \log V) - 0,185 \quad (s)$$

Místnost	Objem V (m ³)	Optimální doba dozvuku T_o (s)
1NP	1051	0,75
	1061	0,75
	1063	0,63

8.2 Výsledky měření

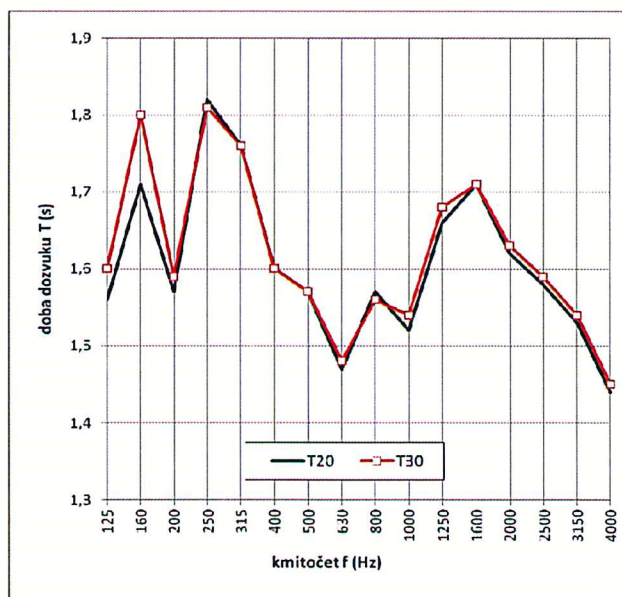
Průměrná hodnota doby dozvuku v 1/3 oktávových pásmech dle ČSN EN ISO 3382-2 pro každé kmitočtové pásmo je uvedena v tabulce.

Posluchárna 1051 – stávající stav

Tab. 1 Průměrná měřená doba dozvuku T
v 1/3 oktávových pásmech

f (Hz)	Průměrná T_{30} (s)	Průměrná T_{20} (s)
125	1,60	1,56
160	1,80	1,71
200	1,59	1,57
250	1,81	1,82
315	1,76	1,76
400	1,60	1,60
500	1,57	1,57
630	1,48	1,47
800	1,56	1,57
1000	1,54	1,52
1250	1,68	1,66
1600	1,71	1,71
2000	1,63	1,62
2500	1,59	1,58
3150	1,54	1,53
4000	1,45	1,44

Graf 1 Kmitočtová charakteristika



Uvedené výsledky měření se týkají pouze měřených míst za situace v dané době na daném místě a nemohou být vztahovány k jinému prostředí či situaci. Nenahrazují jiné dokumenty, které jsou požadovány orgány státního odborného dozoru.

9. Návrh akustického opatření

9.1 Technicko - fyzikální popis navrženého řešení

Základním předpokladem pro dosažení přiměřené doby dozvuku blízké doporučené optimální hodnotě, v daném případě pro řešení posluchárny, je vhodná aplikace zvuk pohlcujících materiálů a jejich umístění na strop, případně i na stěny.

U stropu je standardním způsobem úpravy instalace sníženého podhledu, zavěšeného pod stavebním stropem s významnou vzduchovou mezerou, která se blíží 200 mm a více. Podhled musí být tvořen deskami s vysokým činitelem pohltivosti. Pro tento účel byly po dohodě s projektantem zvoleny děrované desky SDK s poměrem děrování $\epsilon > 15 \%$ tak, aby plnily funkci porézního pohlcovače zvuku. Do prostoru vzduchové mezery jak u podhledu, tak i u obkladu stěn bude vložen porézní pohlcovač zvuku z minerálních vláken v tloušťce a s objemovou hmotností dle specifikace dodavatele – výrobce (Knauf nebo Rigol), který bude garantovat akustické parametry podhledu či obkladu (Knauf Rigol).

Samotné obložení stropu učeben však z hlediska dobré akustiky poslucháren není vždy dostačující – v některých učebnách, vzhledem k jejich konstrukčnímu, tvarovému řešení a vybavení, je nutné upravit také stěny a to z důvodů zajištění dobré srozumitelnosti slova na všech místech určených pro práci studentů. Zde patrně bude nutné klást primární důraz ani ne tak na akustické vlastnosti obkladového materiálu (jakkoli jsou významné), jako především na to, aby se neutralizoval nepříznivý vliv paralelního uspořádání protilehlých stěn. Takové uspořádání totiž vede ke vzniku tzv. třepotavých ozvěn, jejichž výskyt má zpravidla za následek anomální nárůst doby dozvuku na středních kmitočtech, tedy v oblasti, která má rozhodující význam pro srozumitelnost mluveného slova.

Ve stávající posluchárně hodnoty ekvivalentní pohltivé plochy vycházejí z naměřených hodnot doby dozvuku v neobsazené učebně.

Pro určení skutečné upravené plochy je nutné hodnoty ekvivalentní pohltivé plochy zkorigovat ekvivalentní pohltivou plochou standardního počtu studentů. Konkrétní hodnota je závislá na hustotě obsazení a typu oděvu. Zařízení učeben je v provedení klasických školních lavic se židlemi v provedení MDF bez pohltivých částí. Výpočtové parametry byly použity z ČSN EN 12354-6/2004 (ČSN 73 0512).

Nejrozsáhlejší plochu dostupnou pro akustickou úpravu tvoří strop resp. podhled.

Akustickému ošetření prostoru na nízkých kmitočtech je všeobecně vhodné věnovat větší pozornost. Většina běžně používaných obkladových porézních materiálů jakož i další interiérové prvky stejného typu totiž pohlcují zvuk převážně na středních a vyšších kmitočtech. Norma sice toleruje nárůst doby dozvuku na nejnižších kmitočtech (125 a 250 Hz). Zatlumení nízkých kmitočtů se však nesmí zanedbávat. Jedním z možných opatření je použití prvků, které mají charakter rezonátoru typu kmitající deska nebo dutinový rezonátor.

V případě potřeby je vhodné navrhnout konkrétní provedení rezonátoru „na míru“ dané aplikace – konstrukční řešení je však vždy nutné na základě dílčího měření doby dozvuku po provedení částečné úpravy interiéru ostatními porézními pohltivými materiály na stropě, případně zadní či boční stěně učebny.

Charakteristika vhodných materiálů

Pro akusticky pohltivou úpravu řešeného prostoru výukových místností byly provozovatelem a projektantem vybrány prvky děrovaných SDK desek vhodné pro úpravu místností mající optimální akustické vlastnosti ve vztahu k výsledkům měření a výpočtu doby dozvuku.

Typ prvku	Součinitel pohltivosti α (-) pro kmitočet f (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
STROP - podhled						
SDK - děrování 12/25 – kruhové – zavěšení 200mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 18,1\%$. Variantně –12/50	0,65	0,95	0,95	0,85	0,70	0,50
Variantní řešení						
SDK - děrování 8-12/50 – kruhové – zavěšení 200mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 18,1\%$.	0,40	0,70	0,75	0,70	0,60	0,45
SDK - děrování 12-20-35 – kruhové – zavěšení 200mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 11\%$.	0,45	0,65	0,70	0,60	0,45	0,35
STĚNY – obklad						
SDK - děrování 12/25 – kruhové – odsazení 50mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 18,1\%$. Variantně –12/50	0,10	0,25	0,65	0,85	0,65	0,50
Variantní řešení						
SDK - děrování 8-12/50 – kruhové – odsazení 50mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 18,1\%$.	0,20	0,35	0,70	0,80	0,50	0,40
SDK - děrování 12-20-35 – kruhové – odsazení 50mm, tl. desky 12,5 mm + izolace min. 40 mm, $\epsilon = 11\%$.	0,25	0,40	0,70	0,70	0,35	0,30

Plochy uvedené u zvolených materiálů pro akustickou úpravu učeben jsou v minimálních hodnotách dle výpočtu a nezahrnují případnou %-tní rezervu na prořezy. Rozměrové zaměření posluhářen bylo provedeno projektantem. Při měření doby dozvuku zpracovatelé této zprávy provedly vlastní zaměření rozměrů učeben.

Po dokončení realizace nového podhledu stropu a osvětlení je vhodné provést nové kontrolní měření.

Na základě tohoto měření bude upřesněn nezbytně nutný rozsah konečných akustických úprav stěn v rozsahu pohltivých případně rezonančních prvků pro řešení nízkých kmitočtů (125 Hz, event. 250 Hz) a třepotavé ozvěny – tím je zajištěna optimálně dosažitelná ekonomická náročnost rekonstrukce učeben ve vztahu k výsledku akustiky prostoru pro daný účel jeho využití.

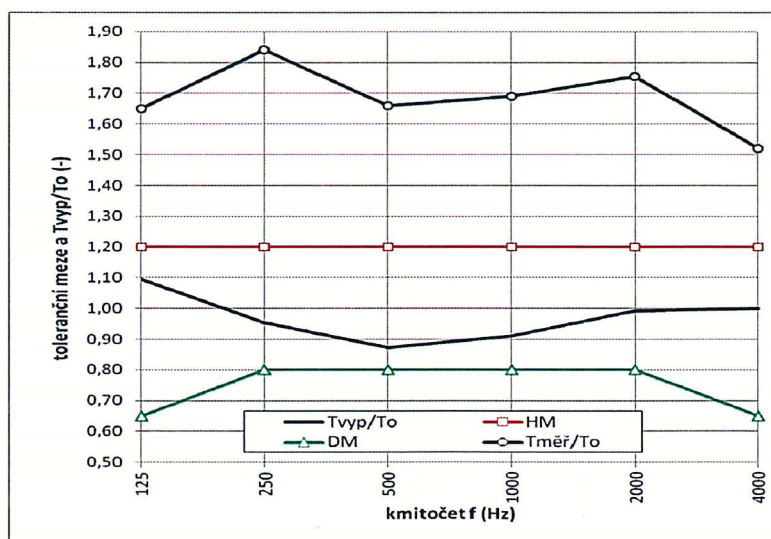
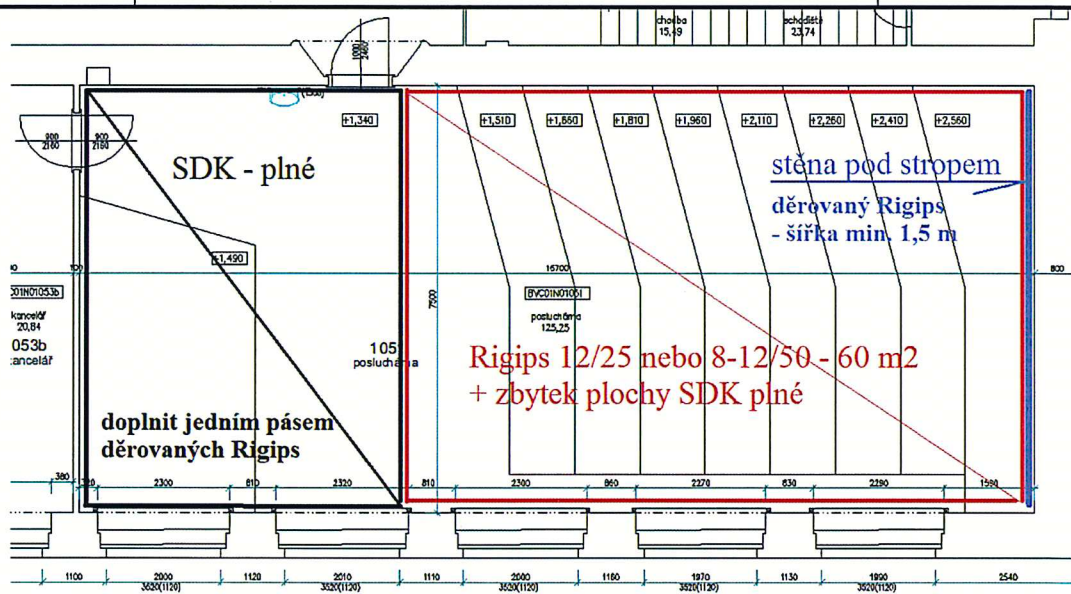
Při volbě optimálního materiálu bylo přihlédnuto k zatížení konstrukce způsobené akusticky pohltivým prvkem, k zvuk pohltivým vlastnostem (součinitel akustické pohltivosti α (-)), ke způsobu čištění a údržby, k životnosti prvku v charakteristickém prostředí výukových místností, event. ke způsobu demontáže pro výměnu či opravu a samozřejmě k ceně, která souvisí s min. plochou (m^2), která musí být vybraným materiálem upravena pro dosažení doporučené doby dozvuku místnosti.

9.2 Akustický návrh

9.2.1 Posluchárna 1051

Stropní konstrukce bude doplněna o podhled typu sádkartonové kruhové děrované desky v navrženém provedení - viz. tabulka str. 8. Podhled bude proveden v minimální ověřené ploše stropu, kdy po obvodu místnosti bude plocha s děrovanými deskami doplněna pásem plného SDK (šířka 600 mm) a to z konstrukčních důvodů. Zbývající část stropu bude provedena z plných desek SDK - viz. obr. 1. Osvětlovací tělesa budou zavěšena pod podhledem.

Konstrukce	Materiál - prvek	Min. upravená plocha S (m ²)
Strop	SDK – kruhové děrování – zavěšení 200 mm – viz. tab. str. 8	60
Stěna	SDK - děrování – kruhové – odsazení 50mm – viz. tab. str. 8	11



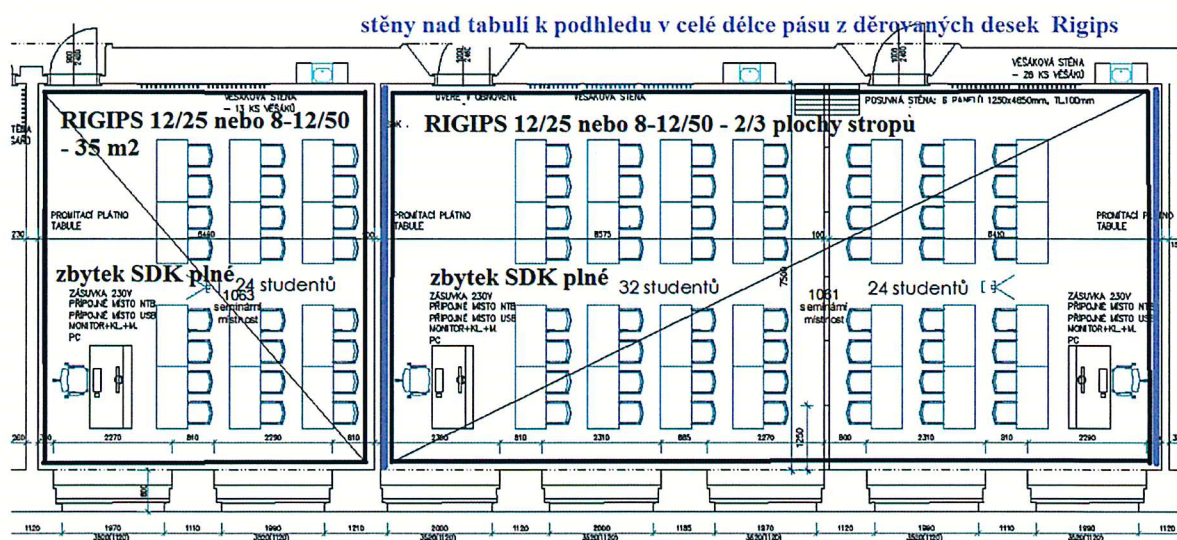
Graf 4 Poměr měřené a vypočítané doby dozvuku k optimální hodnotě v tolerančním pásmu – místnost 1051

9.2.2 Seminární místnost – 1061 a 1063

Stropní konstrukce bude v místnosti 1061 a 1063 doplněna o podhled typu viz. tabulka str. 8. Vzhledem k dispozičnímu řešení místnosti 1061, kdy je navržena možnost místnost rozdělit mobilní stěnou na dvě samostatné výukové prostory, bude doplněna stěna nad tabulí oboustranně o akustický obklad viz. tabulka na str. 8.

V místnosti 1063 stěny akusticky upravené nebudou.

Konstrukce		Materiál - prvek	Min. upravená plocha S (m ²)
Strop	1061	SDK – kruhové děrování – zavěšení 200 mm – viz. tab. str. 8	80
	1063	SDK – kruhové děrování – zavěšení 200 mm – viz. tab. str. 8	35
Stěna	1061	SDK - kruhové, čtvercové – odsazení 50mm – viz. tab. str. 8	2x 9
	1063	Bez úpravy	-



10. Závěr

Z výsledků výpočtu jsou zřejmé plochy, typy prvků a materiálů použitých pro dosažení optimálních akustických vlastností v místnostech poslucháren a pracoviště pedagogů.

Předpokládaná doba dozvuku po nově navržených úpravách bude v tolerančním doporučeném pásmu, tedy v souladu s požadavky legislativy při standardním obsazení posluchárny vycházející z běžné výuky.

Pro mluvené slovo je tato hodnota doby dozvuku pozitivně významná.

Upozorňuji, že při montáži akustických obkladů je nutné dodržet technologický a stavebně technický postup a použití navržených materiálů v souladu s touto zprávou a předpisem výrobce navržených desek.

V ploše akusticky pohltivého podhledu z děrovaných desek bude ve všech upravovaných místnostech po obvodu místnosti v návaznosti na stěny proveden pás o šířce 600 mm z plných desek SDK.

Současně je nutné dodržet minimálně stanovené plošné hodnoty akusticky pohltivého materiálu pro konkrétní místnost. Zvýšení upravené plochy je reálně možné.

V Lelekovicích, 27. května 2016

Ing. Dagmar Donatřáková