

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

BUDOVA OBČANSKÉ VYBAVENOSTI

CIVIC AMENITIES BUILDING

PŘÍLOHA Č.4 - PROSTOROVÁ AKUSTIKA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpán Stehlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Berková, Ph.D.

BRNO 2025

Obsah

1.	Identifikační údaje	3
2.	Účel posouzení.....	3
3.	Situace a okolní objekty	3
4.	Požadavky normy	4
5.	Princip výpočtu.....	5
6.	Posouzení místnosti Open space kanceláře	6
7.	Posouzení jednací místnosti.....	11
8.	Posouzení, závěr.....	15

1. Identifikační údaje

Název stavby: Budova občanské vybavenosti
Místo stavby: ulice Na Zavadilce p. č. 000/1 a 000/2
551 01 Jaroměř
k.ú.: Jaroměř
Královéhradecký kraj
Zpracovatel: Bc. Štěpán Stehlík
Novotného 11
551 01 Jaroměř

Objekt je novostavba polyfunkčního domu se třemi nadzemními a jedním podzemním podlažím. Stavba je určena pro komerční účely, administrativní využití a trvalé bydlení.

Obvodové konstrukce jsou zděné z keramických tvárnic Porotherm 30 Profi opatřené kontaktním zateplovacím systémem ETICS z expandovaného polystyrenu. Střecha je jednoplášťová plochá vegetační extenzivní. Vodorovné konstrukce jsou monolitické železobetonové desky. Konstrukce základů jsou základové pásy z prostého betonu.

2. Účel posouzení

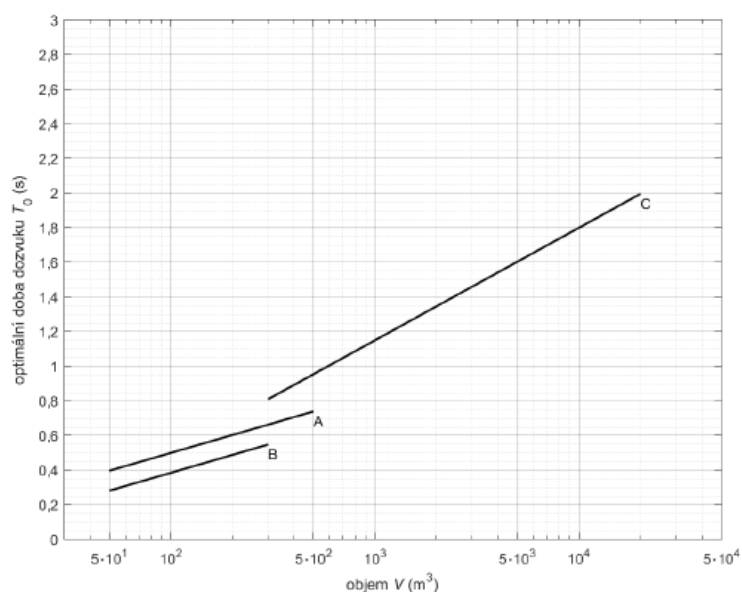
Účelem posouzení prostorové akustiky je zajistit optimální podmínky pro poslech v uzavřených prostorech, jako jsou kulturní sály, učebny, veřejné budovy a podobné prostory. Hlavním cílem je vytvořit prostředí, kde bude řeč i hudba srozumitelná, jasná a přirozená, aby docházelo k efektivnímu přenosu zvuku bez rušivých odrazů, dozvuků nebo ztráty srozumitelnosti.

Posouzení prostorové akustiky zahrnuje zhodnocení parametrů, jako je doba dozvuku, srozumitelnost, jasnost zvuku a prostorový útlum. Tyto parametry se sledují v souladu s normou ČSN 73 0527, která stanovuje požadavky pro prostory určené pro kulturní, vzdělávací a veřejné účely.

3. Situace a okolní objekty

Objekt je samostatně stojící na parcele č. 000/1 a 000/2. Ze severní, východní a západní strany je příjezdová komunikace k okolním bytovým domům. Na severní straně je také nově vybudovaná příjezdová cesta k navrženému objektu. Jsou celkem tři hlavní vstupy do objektu a nacházejí se na východní straně. V prvním nadzemním podlaží se nachází kavárna s příslušenstvím na jižní straně. Na severní straně se nachází obchodní plocha. A ve středu objektu je vstup do chodby se schodištěm, kde se dostaneme do vyšších podlaží. Druhé nadzemní podlaží zaujímá administrativní zázemí jedné firmy. Třetí a poslední nadzemní podlaží je využité pro trvalé bydlení. Jsou zde čtyři bytové jednotky o velikosti 3+KK. Objekty okolní zástavby jsou převážně bytové či rodinné domy s plochými střechami. Na jižní straně se nachází posilovna a obchodní dům. Jejich chráněný venkovní prostor stavby je ve vzdálenosti 2 m od středu kritických okenních otvorů.

4. Požadavky normy



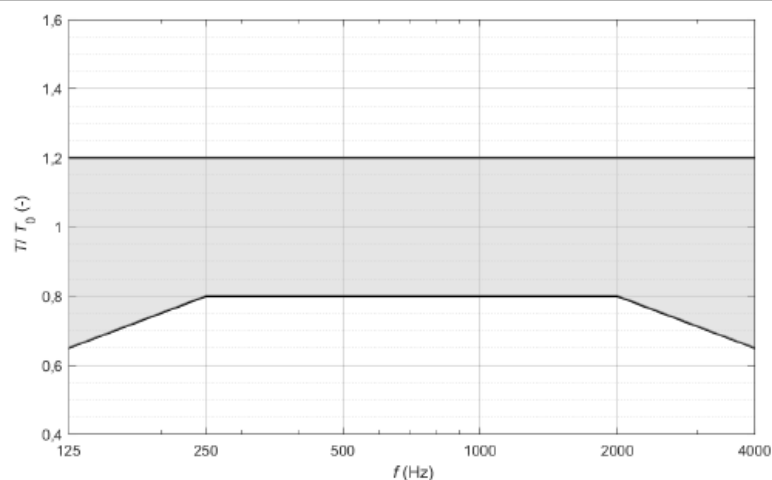
Legenda

Prostor	Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku T_0 (s)
Zasedací místnosti, jednací místnosti, školící místnosti	A
Videokonferenční místnosti Jednací místnosti se zvýšeným nárokem na srozumitelnost (např. cizojazyčná jednání)	B
Haly a dvorany veřejných budov (např. nádraží a letištní haly)	C

Obrázek A.3 – Graf pro stanovení hodnoty optimální doby dozvuku v závislosti na objemu – kancelářské a veřejné prostory

Tabulka 6 – Požadavky na kancelářské a veřejné prostory

Prostor	Křivka průběhu pro stanovení optimální doby dozvuku T_0 (s) (viz příloha A, obrázek A.3)	Toleranční pásmo (viz příloha A)
Zasedací místnosti Jednací místnosti Školící místnosti	A	řeč (obrázek A.5)
Videokonferenční místnosti Jednací místnosti se zvýšeným nárokem na srozumitelnost (např. cizojazyčná jednání)	B	řeč (obrázek A.5)
Haly a dvorany veřejných budov (např. nádraží a letištní haly)	C	zúžené toleranční pásmo (obrázek A.7)



Obrázek A.5 – Přípustné toleranční pásmo poměru dob dozvuku T/T_0 obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma.

A: $T_0 = 0,342 \log V - 0,185$; rozsah $V = 50 \text{ m}^3$ až 500 m^3

5. Princip výpočtu

Výpočet se začíná pomocí výpočtu činitele zvukové pohltivosti, což je schopnost plochy pohlcovat dopadající zvukovou energii. Značí se α (-) a jeho hodnota se pohybuje od 0 do 1. Nula znamená, že se všechnen zvuk odrazil a 1 znamená, že se všechnen zvuk pohltil.

Dále se vypočítá zvuková pohltivost A (m^2), ta vyjadřuje schopnost pohlcovat akustickou energii. A stanoví se pro konkrétní materiál jako:

$$A = \alpha \cdot S$$

S ... plocha povrchu (m^2)

α ... činitel zvukové pohltivosti (-)

Celková pohltivost je součtem všech zvukových pohltivostí jednotlivých ploch ohraničujících konstrukci, ale také předměty uvnitř jako je nábytek, osoby, zařízení.

$$A = \sum (\alpha_i \cdot S_i)$$

Střední činitel zvukové pohltivosti

$$\alpha_{stř} = A / S$$

A ... zvuková pohltivost (m^2)

S ... celková plocha povrchů uzavřeného prostoru (m^2)

Pro dobu dozvuku existují tři různé vztahy, které se použijí podle objemu místnosti a podle toho kolik vyjde $\alpha_{stř}$.

- SABINEHO VZTAH

Podmínka použití: Vztah dle Sabine lze použít pro místnosti o $V \leq 2000 m^3$ a $\alpha_{stř} \leq 0,2$

$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{A}$$

V ... objem vyšetřované místnosti (m^3)

A ... celková pohltivost vyšetřované místnosti (m^2)

- EYRINGŮV VZTAH

Podmínka použití: $0,2 < \alpha_{stř} \leq 0,8$

$$T = 0,164 * \left(\frac{V}{S \cdot \alpha_E} \right)$$

V ... objem vyšetřované místnosti (m^3)

S ... celková plocha povrchů místnosti (m^2)

$\alpha_E \dots = -\ln(1 - \alpha_{stř})$, Eyringův činitel zvukové pohltivosti

- MILLINGTONŮV VZTAH

Podmínka použití: Je-li $\alpha_{stř} > 0,8$ a objem místnosti $V \geq 2000 \text{ m}^3$, pak pro $f \geq 2000 \text{ Hz}$:

$$T = 0,164 * \left(\frac{V}{S * \alpha E + 4mV} \right)$$

m ... činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu (m^{-1}), který je závislý na relativní vlhkosti vzduchu φ_i (%) a na teplotě vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

f (Hz)	Relativní vlhkost (%)										
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1000	0,0041	0,0025	0,0018	0,0013	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013
2000	0,0137	0,0095	0,0067	0,0041	0,0031	0,0027	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0023
4000	0,0297	0,0295	0,0242	0,0161	0,0118	0,0094	0,0079	0,0069	0,0063	0,0058	0,0055

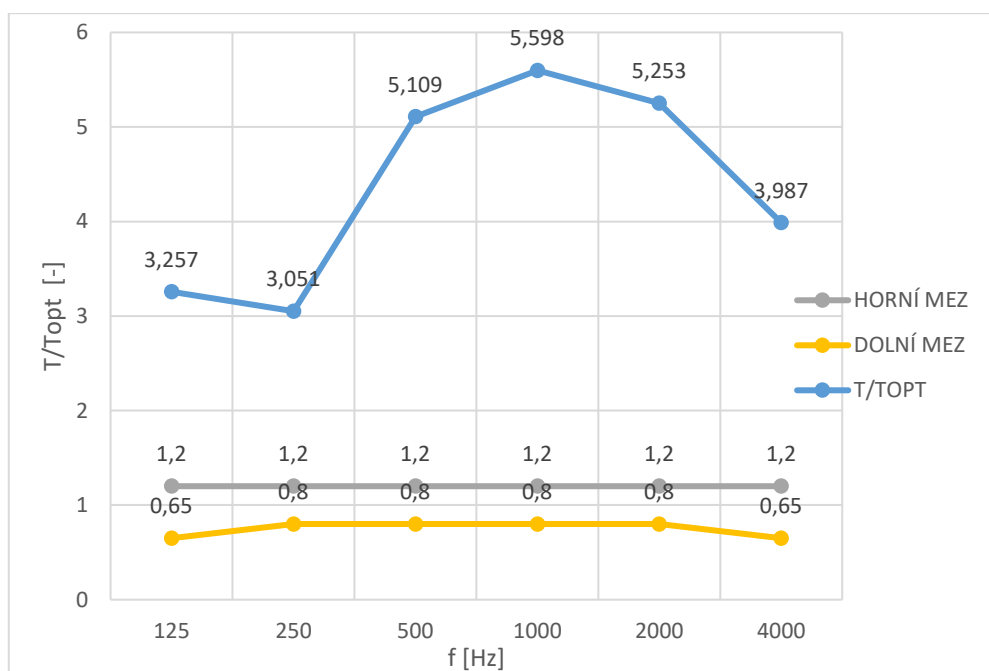
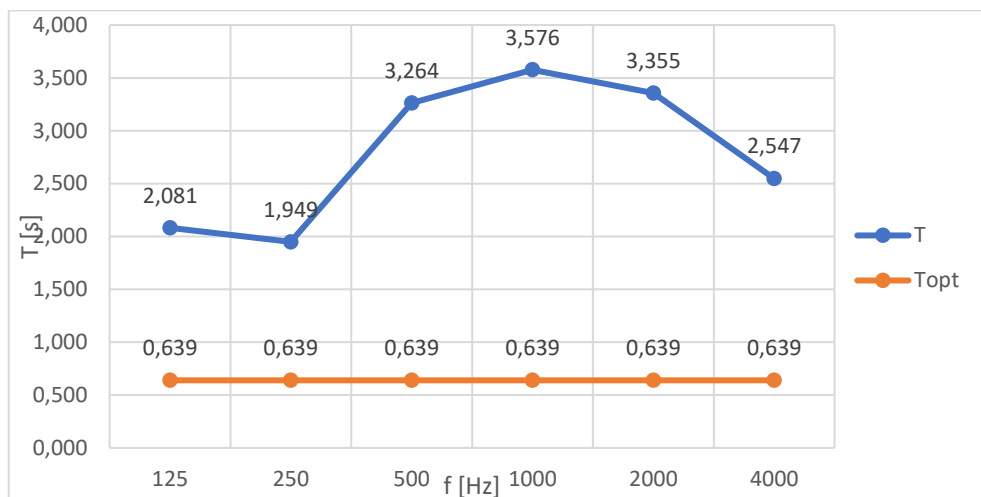
6. Posouzení místnosti Open space kanceláře

- PŮVODNÍ STAV

OPEN SPACE $V = 254,718 \text{ m}^3$

Povrchová úprava	Plocha [m ²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	111,9	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m ²]	3,36	3,36	3,36	4,47	5,59	8,95
Okenní výpně	35	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m ²]	4,20	2,80	1,75	1,40	1,05	0,70
Dveře	1,818	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m ²]	0,25	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
Strop								
SDK podhled	94,34	α [-]	0,11	0,13	0,05	0,02	0,02	0,03
		A[m ²]	10,38	12,26	4,72	1,89	1,89	2,83
Podlaha								
Vinyl	94,34	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m ²]	1,89	2,83	2,83	3,77	3,77	3,77
Osoby								
Obsazení osobami	20 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46
		A ₂₀ osoby	3,00	6,00	8,80	9,00	9,20	9,20
Σ S ; Σ A	337,4	[m ²]	20,07	21,43	12,80	11,68	12,45	16,40
α _{stř}		[-]	0,068	0,081	0,064	0,061	0,064	0,076

$T=0,164 \cdot (V/A)$	[s]	2,081	1,949	3,264	3,576	3,355	2,547
$T_{OPT}=0,3424 \cdot \log V - 0,185$	[s]	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639
T/T_{OPT}	[-]	3,257	3,051	5,109	5,598	5,253	3,987
Horní mez	[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez	[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65



Posouzení: Z grafu je patrné, že místnost nesplňuje požadavky na dobu dozvuku. Je nutné poskytnout útlum na všech frekvencích, hlavně okolo frekvence 1000 Hz.

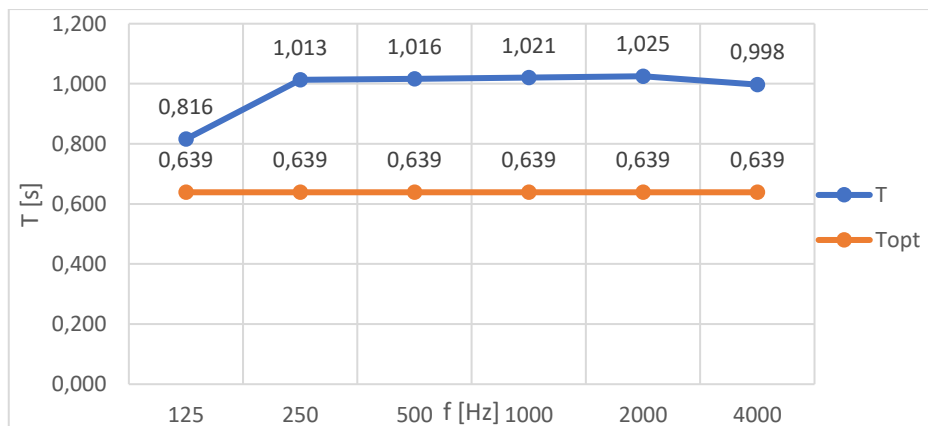
- ÚPRAVA NAHRAZENÍM SDK PODHLEDU AKUSTICKÝM SDK - GYPTONE BIG QUATTRO 47

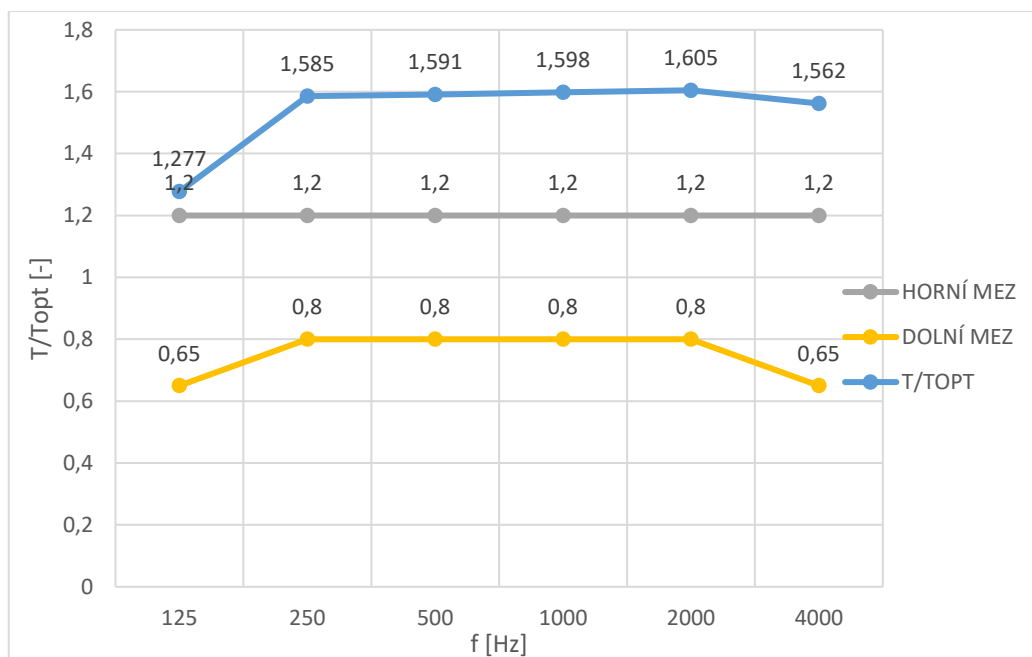
OPEN SPACE

$$V = 254,718 \text{ m}^3$$

Povrchová úprava	Plocha [m ²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	111,9	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m ²]	3,36	3,36	3,36	4,47	5,59	8,95
Okenní výpně	35	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m ²]	4,20	2,80	1,75	1,40	1,05	0,70
Dveře	1,818	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m ²]	0,25	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
Strop								
SDK podhled - DESKY GYPTONE BIG QUATTRO 47	94,34	α [-]	0,44	0,34	0,35	0,33	0,32	0,3
		A[m ²]	41,51	32,08	33,02	31,13	30,19	28,30
Podlaha								
Vinyl	94,34	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m ²]	1,89	2,83	2,83	3,77	3,77	3,77
Osoby								
Obsazení osobami	20 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46
		A ₂₀ osoby	3,00	6,00	8,80	9,00	9,20	9,20

$\sum S ; \sum A$	337,4	[m ²]	51,21	41,24	41,10	40,93	40,75	41,87
$\alpha_{stř}$		[-]	0,161	0,140	0,148	0,148	0,148	0,151
$T=0,164*(V/A)$		[s]	0,816	1,013	1,016	1,021	1,025	0,998
$T_{OPT}=0,3424*\log V-0,185$		[s]	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639
T/T_{OPT}		[-]	1,277	1,585	1,591	1,598	1,605	1,562
Horní mez		[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65





Posouzení: Realizace podhledu vykazuje útlum na většině frekvencí, ale je nutný ještě další útlum.

- ÚPRAVA PŘIDÁNÍM OBKLADU NA STĚNU NOVATOP GUILIA

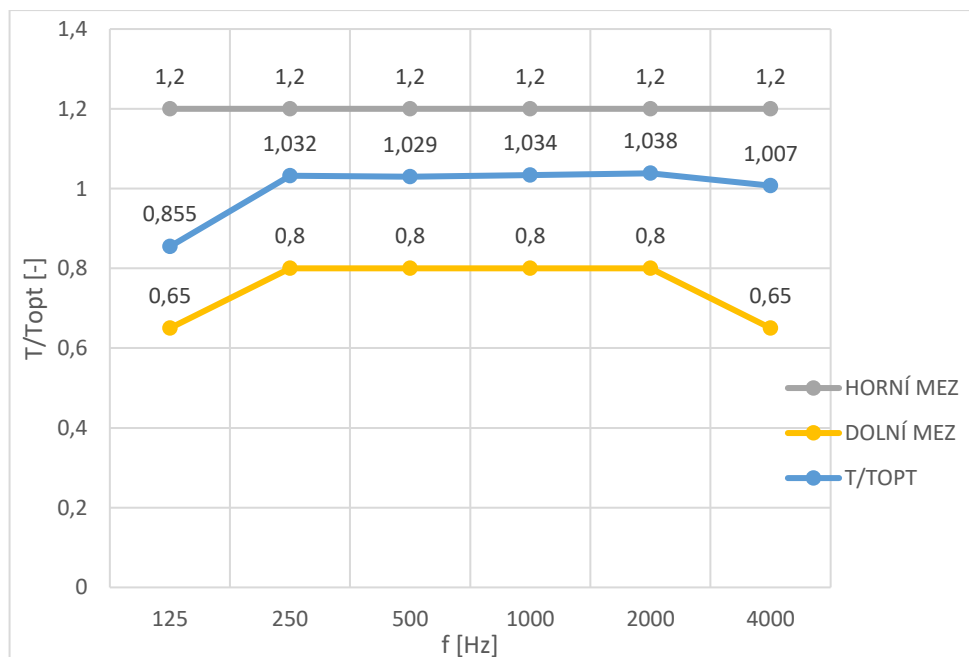
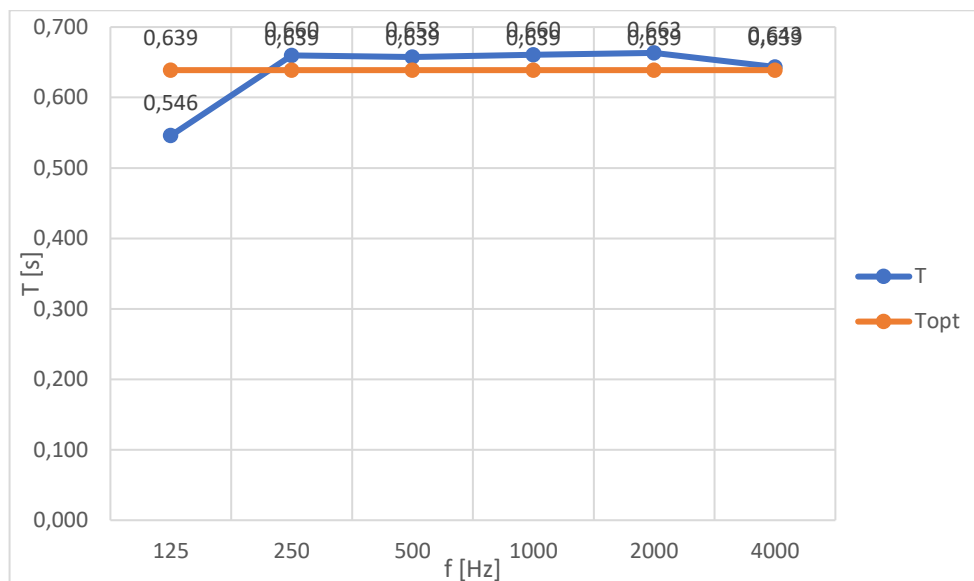
OPEN SPACE

$$V = 254,718 \text{ m}^3$$

Povrchová úprava	Plocha [m ²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	86,87	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m ²]	2,61	2,61	2,61	3,47	4,34	6,95
Okenní výpně	35	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m ²]	4,20	2,80	1,75	1,40	1,05	0,70
Dveře	1,818	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m ²]	0,25	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
Obklad Novatop Guilia	25	α [-]	0,6	0,45	0,35	0,35	0,35	0,4
		A[m ²]	15,00	11,25	8,75	8,75	8,75	10,00
Strop								
SDK podhled - DESKY GYPTONE BIG QUATTRO 47	94,34	α [-]	0,44	0,34	0,35	0,33	0,32	0,3
		A[m ²]	41,51	32,08	33,02	31,13	30,19	28,30
Podlaha								
Vinyl	94,34	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m ²]	1,89	2,83	2,83	3,77	3,77	3,77
Osoby								
Obsazení osobami	20 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46

		A_{20} osoby	3,00	6,00	8,80	9,00	9,20	9,20
--	--	-------------------	------	------	------	------	------	------

$\Sigma S ; \Sigma A$	337,4	[m ²]	65,46	51,74	49,10	48,68	48,25	49,87
$\alpha_{stř}$		[-]	0,203	0,171	0,172	0,171	0,170	0,175
$T=0,164*(V/(S.\alpha E))$		[s]	0,546	0,660	0,658	0,660	0,663	0,643
$T_{OPT}=0,3424*\log V-0,185$		[s]	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639
T/T_{OPT}		[-]	0,855	1,032	1,029	1,034	1,038	1,007
Horní mez		[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65



Posouzení: Realizace pohledu a zároveň obkladu na část stěny vypadá velmi dobře z hlediska doby dozvuku.

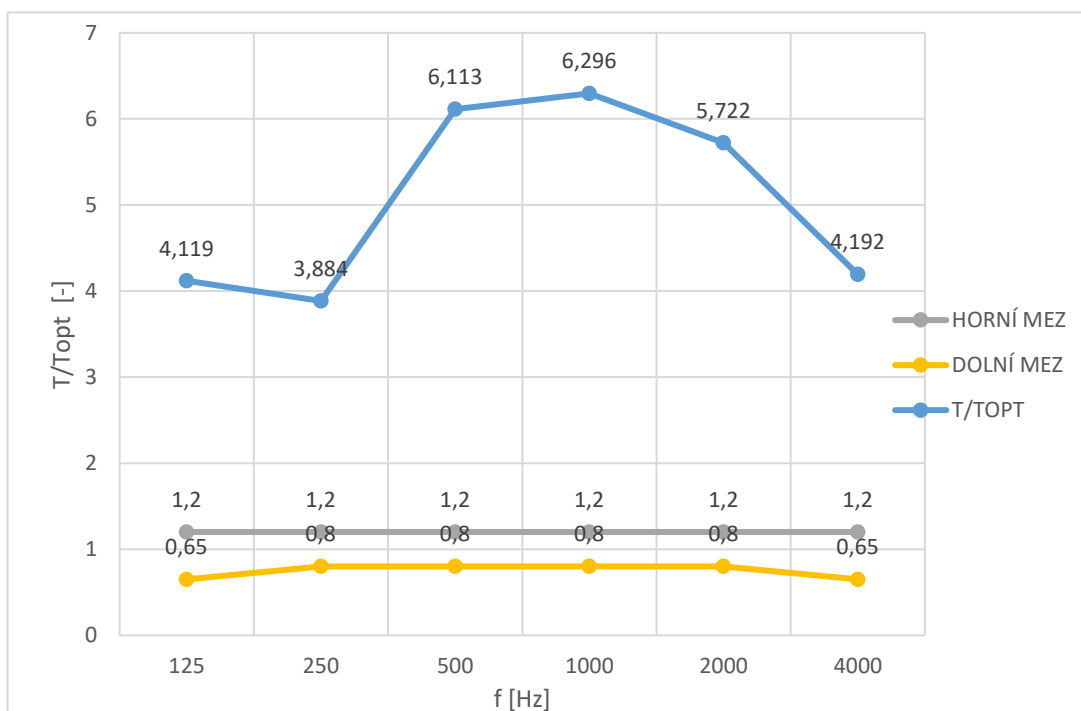
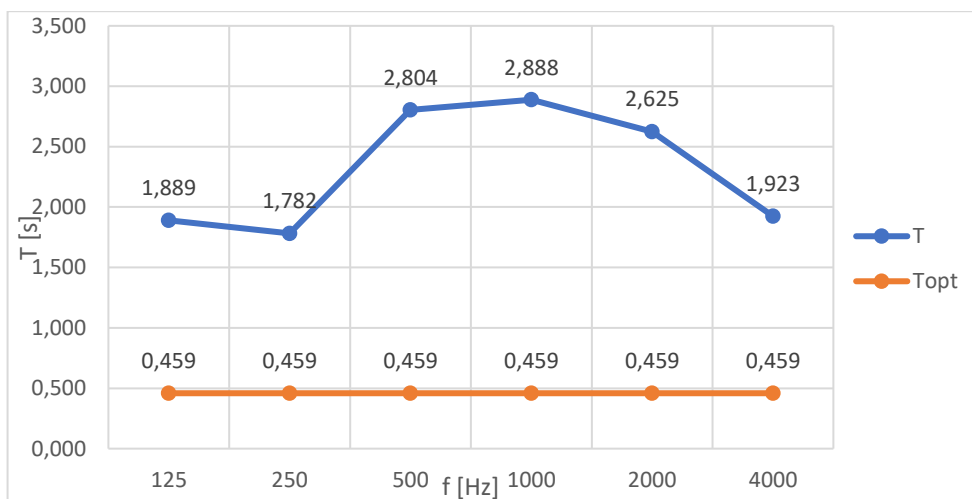
7. Posouzení jednacích místností

- PŮVODNÍ STAV

JEDNACÍ MÍSTNOST

$$V = 75,87 \text{ m}^3$$

Povrchová úprava	Plocha [m ²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	50,78	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m ²]	1,52	1,52	1,52	2,03	2,54	4,06
Okenní výpně	7,5	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m ²]	0,90	0,60	0,38	0,30	0,23	0,15
Dveře	3,636	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m ²]	0,51	0,36	0,29	0,29	0,29	0,29
Strop								
SDK podhled	28,1	α [-]	0,11	0,13	0,05	0,02	0,02	0,03
		A[m ²]	3,09	3,65	1,41	0,56	0,56	0,84
Podlaha								
Vinyl	28,1	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m ²]	0,56	0,84	0,84	1,12	1,12	1,12
Osoby								
Obsazení osobami	8 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46
		A ₂₀ osoby	1,20	2,40	3,52	3,60	3,68	3,68
Σ S ; Σ A	118,1	[m ²]	6,59	6,98	4,44	4,31	4,74	6,47
α _{stř}		[-]	0,066	0,079	0,067	0,067	0,071	0,086
T=0,164*(V/A)		[s]	1,889	1,782	2,804	2,888	2,625	1,923
T _{OPT} =0,3424*logV-0,185		[s]	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459
T/T _{OPT}		[-]	4,119	3,884	6,113	6,296	5,722	4,192
Horní mez		[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65



Posouzení: Z grafu je patrné, že místnost nesplňuje požadavky na dobu dozvuku. Je nutné poskytnout útlum na všech frekvencích. Místnost vychází podobně jako předešlá.

- ÚPRAVA NAHRAZENÍM SDK PODHLEDU AKUSTICKÝM SDK - GYPTONE BIG QUATTRO 47

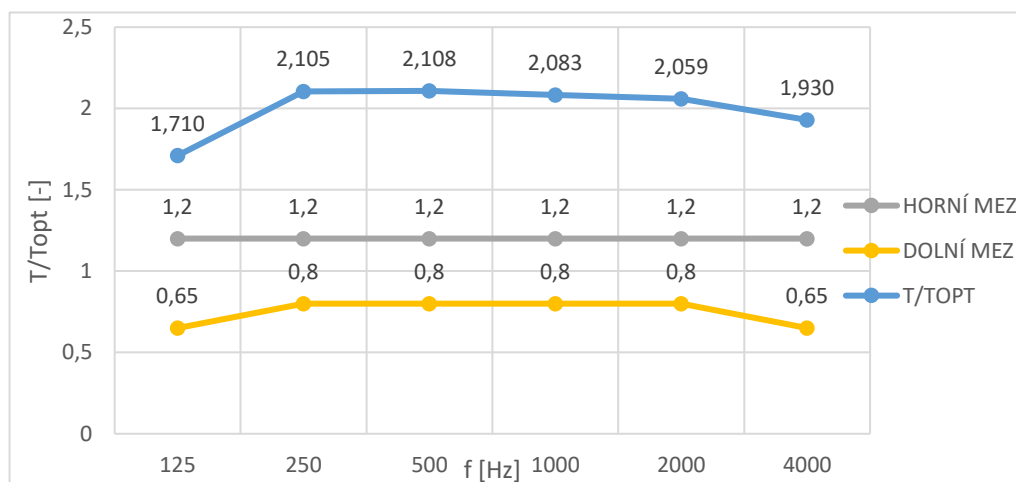
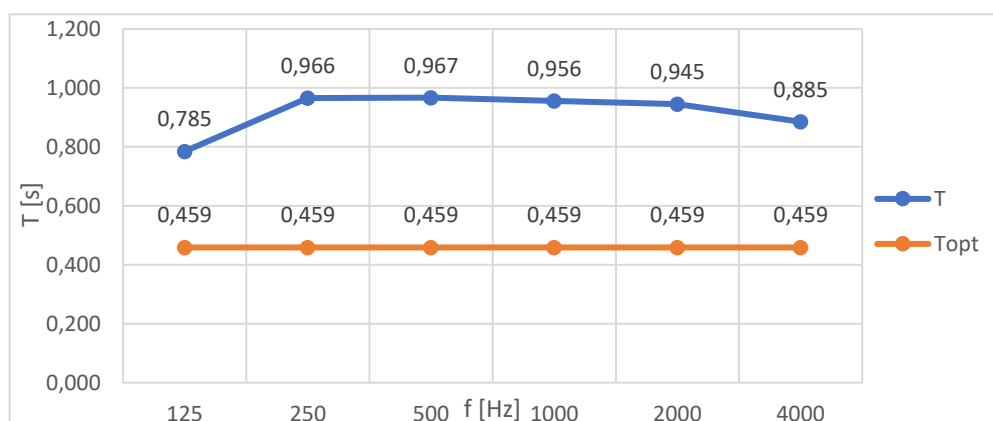
JEDNACÍ MÍSTNOST

$$V = 75,87 \text{ m}^3$$

Povrchová úprava	Plocha [m²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	50,78	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m²]	1,52	1,52	1,52	2,03	2,54	4,06
Okenní výpně	7,5	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m²]	0,90	0,60	0,38	0,30	0,23	0,15

Dveře	3,636	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m²]	0,51	0,36	0,29	0,29	0,29	0,29
Strop								
SDK podhled - DESKY GYPTONE BIG QUATTRO 47	28,1	α [-]	0,44	0,34	0,35	0,33	0,32	0,3
		A[m²]	12,36	9,55	9,84	9,27	8,99	8,43
Podlaha								
Vinyl	28,1	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m²]	0,56	0,84	0,84	1,12	1,12	1,12
Osoby								
Obsazení osobami	8 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46
		A ₂₀ osobv	1,20	2,40	3,52	3,60	3,68	3,68

$\Sigma S ; \Sigma A$	118,1	[m ²]	15,86	12,88	12,87	13,02	13,17	14,06
$\alpha_{stř}$		[-]	0,144	0,129	0,139	0,141	0,143	0,150
$T=0,164*(V/A)$		[s]	0,785	0,966	0,967	0,956	0,945	0,885
$T_{OPT}=0,3424*\log V-0,185$		[s]	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459
T/T_{OPT}		[-]	1,710	2,105	2,108	2,083	2,059	1,930
Horní mez		[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65



Posouzení: Realizace podhledu vykazuje útlum na většině frekvencí, ale je nutný ještě další útlum.

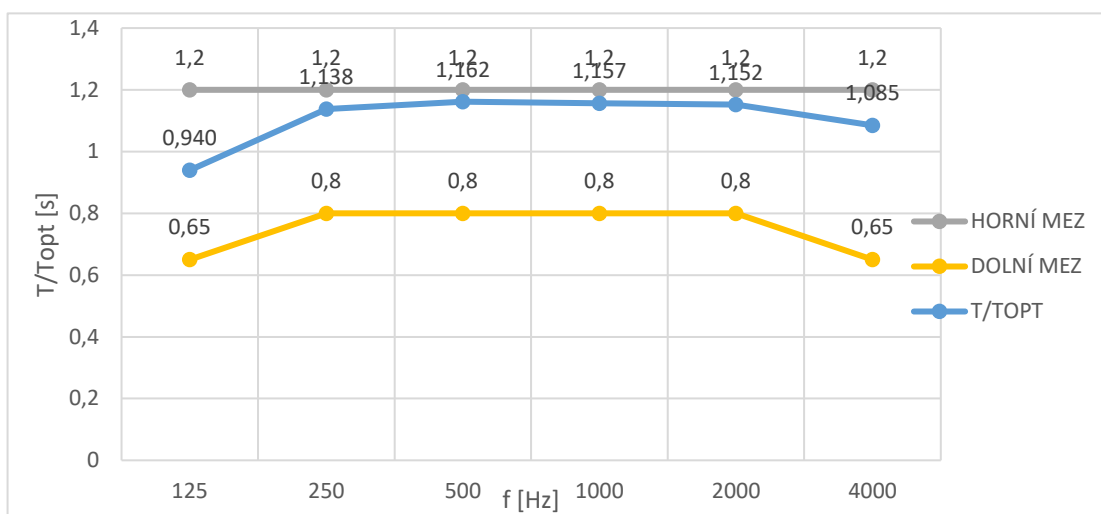
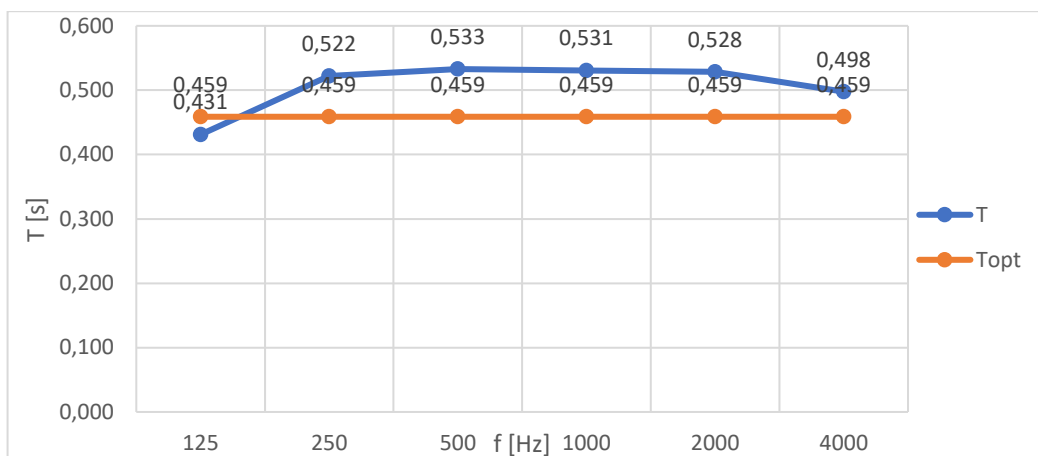
• ÚPRAVA PŘIDÁNÍM OBKLADU NA STĚNU NOVATOP GUILIA

JEDNACÍ MÍSTNOST

$$V = 75,87 \text{ m}^3$$

Povrchová úprava	Plocha [m ²]	α [-]	Frekvence [Hz]					
		A[m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny								
Omítka	35,78	α [-]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
		A[m ²]	1,07	1,07	1,07	1,43	1,79	2,86
Okenní výpně	7,5	α [-]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
		A[m ²]	0,90	0,60	0,38	0,30	0,23	0,15
Dveře	3,636	α [-]	0,14	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08
		A[m ²]	0,51	0,36	0,29	0,29	0,29	0,29
Obklad Novatop Guilia	15	α [-]	0,6	0,45	0,35	0,35	0,35	0,4
		A[m ²]	9,00	6,75	5,25	5,25	5,25	6,00
Strop								
SDK podhled - DESKY GYPTONE BIG QUATTRO 47	28,1	α [-]	0,44	0,34	0,35	0,33	0,32	0,3
		A[m ²]	12,36	9,55	9,84	9,27	8,99	8,43
Podlaha								
Vinyl	28,1	α [-]	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
		A[m ²]	0,56	0,84	0,84	1,12	1,12	1,12
Osoby								
Obsazení osobami	8 os.	A ₁ osoba	0,15	0,3	0,44	0,45	0,46	0,46
		A ₂₀ osobv	1,20	2,40	3,52	3,60	3,68	3,68

$\sum S ; \sum A$	118,1	[m ²]	24,41	19,18	17,67	17,67	17,67	18,86
$\alpha_{stř}$		[-]	0,217	0,183	0,179	0,180	0,181	0,191
$T=0,164*(V/(S.\alpha E))$		[s]	0,431	0,522	0,533	0,531	0,528	0,498
$T_{OPT}=0,3424*\log V-0,185$		[s]	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459
T/T_{OPT}		[-]	0,940	1,138	1,162	1,157	1,152	1,085
Horní mez		[-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez		[-]	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65



Posouzení: Realizace podhledu a zároveň obkladu na část stěny vypadá velmi dobře z hlediska doby dozvuku.

8. Posouzení, závěr

V této práci jsem posuzoval a hodnotil původní stav bez akustických opatření dvou místností v projektu, a to místnosti Open space kanceláře a jednací místnosti. Místnosti byly vyhodnoceny jako nevyhovující z hlediska doby dozvuku a byly navrženy akustické panely v celé ploše podhledu. Byl proveden výpočet a místnost byla stále nevyhovující, proto bylo nutné navrhnout dále obklad na stěnu. Výpočet byl proveden znova a zhodnocen jako vyhovující z hlediska doby dozvuku podle ČSN 73 0527.