

## Projekt akustických úprav

# STŘEDISKO TEIRESIAS KOMENSKÉHO NÁM. 2, BRNO

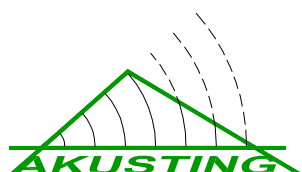
## Řešení prostorové akustiky

Objednatel: **Masarykova univerzita; Žerotínovo náměstí 617/9; 601 77 Brno**

Číslo zakázky: **15 029**

Počet stran: **44**

Zhotovitel:



**AKUSTING, spol. s r. o., Cejl 76, 602 00 BRNO**  
tel.+ fax +420 545 210 297

Vypracovala: **Ing. Hana Vojřínová**

Zodpovídá: **Ing. Miroslav Frič**

Datum: **9. února 2015**

Veškerá práva k využití si vyhrazuje AKUSTING společně se zadavatelem. Výsledky obsažené v dokumentaci jsou duševním vlastnictvím firmy AKUSTING. Jejich veřejná publikace a další využití nad rámec původního smluvního určení nebo předání třetí osobě je vázáno na souhlas zpracovatele.

AKUSTING, spol. s r. o. je držitelem certifikátů systému managementu kvality ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005 pro činnosti "zpracování akustických studií, projektů a realizace protihlukových opatření".

DIČ: **CZ 27679748**  
IČO: **27679748**

e-mail: **akusting@akusting.cz**  
http: **www.akusting.cz**

# 1 Úvod

Tato zpráva, obsahující výsledky měření a návrhy opatření na zlepšení poslechových podmínek v prostorách střediska Teiresias v budově na Komenského náměstí 2 v Brně, byla vypracována na základě objednávky č. 9984/0001/15 ze dne 27. ledna 2015. Zpráva slouží jako projektová dokumentace pro provedení akustických úprav.

Pro posouzení je použito normy ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely.

Místnosti střediska slouží převážně pro výuku. Z hodnocení uživatelů i provedeného měření doby dozvuku v místnostech vyplývá, že poslechové podmínky jsou nevyhovující. Záměrem je navrhnout a zrealizovat taková opatření, aby se poslechové podmínky zlepšily na co možná nejlepší úroveň. Místnosti jsou obdélníkového půdorysu s klenbovým stropem a objemem většinou do 100 m<sup>3</sup>. Přáním uživatelů je co možná nejvíce zachovat viditelnou stropní klenbu. Pro řešení prostorové akustiky není proto používán širokopásmový pohled, ale kombinace pohltivých obkladů stěn a akustických rezonátorů.

## 1.1 Použité podklady a předpisy

- 1 Protokol č. 2D-9-2014\_12: Měření doby dozvuku místností a sálu T30, dle ČSN ISO 3382-1; AVA – Ing. Rostislav Daněk; Plachý, Daněk; září 2014
- 2 Část projektové dokumentace stavby „Fakulty a účel. zařízení Masarykovy Univerzity zpřístupnění objektů studentům se sp. nároky“; TIPRO projekt s. r. o.; Ing. Havel; září 2014
- 3 ČSN 73 0525: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Všeobecné zásady. Český normalizační institut; únor 1998.
- 4 ČSN 73 0527: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní účely. Prostory ve školách. Prostory pro veřejné účely. Český normalizační institut; březen 2005.
- 5 Výstavba školských zařízení - Akustické řešení školních staveb; Ministerstvo školství ČR; duben 1972.

## 1.2 Seznam použitých zkratk a symbolů

$f$ [Hz]	- frekvence
$T$ [s]	- doba dozvuku
$T_{30}$ [s]	- doba dozvuku určená z poklesu mezi v rozmezí 5 až 35 dB
$T_o$ [s]	- optimální doba dozvuku pro dané využití a objem místnosti
$V$ [m <sup>3</sup> ]	- objem místnosti
$c$ [m.s <sup>-1</sup> ]	- rychlost šíření zvuku ve vzduchu
$\alpha_w$ [-]	- vážený činitel zvukové pohltivosti
$\alpha$ [-]	- činitel zvukové pohltivosti
$\alpha_{125-4kHz}$ [-]	- frekvenční průběh zvukové pohltivosti v oktávách
NRC [-]	- střední hodnota činitele pohltivosti $NRC = (\alpha_{n,250} + \alpha_{n,500} + \alpha_{n,1000} + \alpha_{n,2000})/4$

## 2 Základní pojmy prostorové akustiky

### 2.1 Obecné zásady

Kvalitu zvukového pole v prostorech popisují různá akustická kritéria. Tato kritéria můžeme rozdělit na subjektivní a objektivní. Nejznámější a nejpoužívanější objektivní kritérium je dozvuk. Definujeme ho jako zvuk, který se šíří prostorem po vypnutí zvukového zdroje. Kvantitativní charakteristikou je doba dozvuku, což je časové rozpětí, ve kterém hladina akustického tlaku po vypnutí zvukového zdroje klesne o 60 dB.

Optimální doba dozvuku pro prostory s nároky na akustiku prostředí je uvedena v normách. Zde je také uvedeno přípustné rozmezí dob dozvuku.

U prostorů, které svými akustickými vlastnostmi nesplňují požadavky normy, je potřeba provést akustické úpravy. Tím se rozumí věcná součást místnosti, která má za účel zlepšit její akustické vlastnosti. Patří sem úpravy pohlcující, rozptylující a směřující zvuk. V tomto případě je hlavním úkolem akustických úprav zlepšení srozumitelnosti řeči a vytvoření podmínek dobrého poslechu řeči. Materiály pro úpravu musí být dostatečně pohltivé a současně vhodně umístěné.

Na dobu dozvuku má vliv veličina označovaná jako pohltivost. Pohltivostí zvuku se rozumí ztráta zvukové energie při odrazu od ohraničujících ploch místnosti, předmětů a osob, které se v ní nalézají.

Absorpce určité plochy  $A$  ( $m^2$ ) se určí dle vztahu:

$$A = \alpha \cdot S \text{ kde } S \text{ je velikost plochy v } m^2 \text{ a } \alpha \text{ činitel zvukové pohltivosti}$$

Dobu dozvuku lze vypočítat dle základního vztahu:

$$T = 0,163 \frac{V}{A} \text{ kde } V \text{ je objem prostoru v } m^3$$

Při každém zdvojnásobení pohltivosti místnosti klesá doba dozvuku na polovinu své původní hodnoty a hladina akustického tlaku se zároveň sníží o 3 dB.

Pro výslednou akustiku prostoru je do značné míry určující i jeho tvar. V případech nevhodného tvarování pro daný účel se již nepodaří takovýto nedostatek pomocí akustických úprav zcela eliminovat.

### 2.2 Rozdělení akustických materiálů pro akustické úpravy

Z hlediska pohlcování zvuku můžeme rozdělit akustické obklady do následujících skupin:

- Pórezní materiály – jsou materiály s otevřenými průchodnými póry nebo kanálky (minerální vlna nebo plst', desky ze skleněných mikrovláken). Připevněny přímo na stěně působí převážně ve střední a vyšší kmitočtové oblasti, vytvořením vzduchového polštáře mezi pohltivým materiálem a stěnou jejich účinek rozšíříme i na nízké kmitočty. Obvykle bývají chráněny různými perforovanými kryty nebo foliemi pro zamezení přístupu prachu apod.
- Kmitající panely (kmitáky) – obvykle rámy opatřené na přední straně tenkými deskami z překližky, dřevotřísky nebo umělé hmoty apod. a pružně připevněné na rošt tak, aby vznikl vzduchový polštář mezi kmitající deskou a stěnou. Vnitřní prostor má být nejlépe vzduchotěsný a obvykle je vyplněn pohltivým materiálem. Působí v úzkém kmitočtovém rozsahu převážně v hlubokých kmitočtech.
- Dutinové a štěrbinové rezonátory – jsou tvořeny dutinami spojenými s vnějším prostorem úzkým hrdlem nebo štěrbinou. Jsou vysoce selektivní a mají podobný účinek jako kmitající panely – používají se hlavně v oblasti nízkých kmitočtů.
- Kombinované pohlcovače – vznikají kombinací výše uvedených druhů.

### 3 Legislativa

Pro hodnocení hluku jsou využita následující ustanovení:

- ČSN 73 0525: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Všeobecné zásady. Únor 1998.
- ČSN 73 0527: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní účely. Prostory ve školách. Prostory pro veřejné účely. Český normalizační institut; březen 2005.

Kompletní přepis legislativy zabývající se těmito účely je pro účely této práce nadbytečný, proto zde uvádíme pouze odstavce, které se dotýkají tématu.

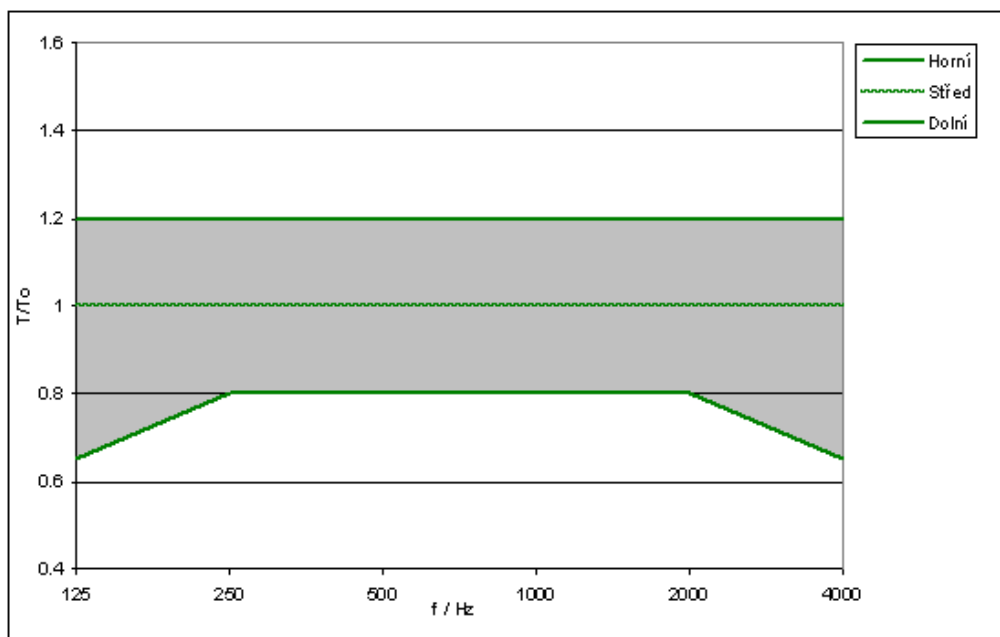
Normy **ČSN 73 0527** a **ČSN 73 0525** uvádí zásady pro projektování a realizaci uzavřených prostorů pro kulturní účely, prostorů ve školách a prostorů pro veřejné účely. Platí pro nově zřizované, rekonstruované nebo adaptované prostory, v nichž kvalita poslechových podmínek či akustická pohoda hraje významnou roli. Rozhodujícím krokem pro vytvoření příznivých akustických poměrů v uzavřeném prostoru je dosažení optimální doby dozvuku, odpovídající danému účelu prostoru.

**Pro uzavřené prostory** pro kulturní účely, prostory ve školách a prostory pro veřejné účely stanovují normy pro daný objem místnosti  $V$  ( $m^3$ ) a s ohledem na **využití místnosti** optimální dobu dozvuku  $T_0$  (s) a přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma. Důležité je, aby byla doba dozvuku ve frekvenčním spektru vyrovnaná.

V normě jsou uvedeny hodnoty optimální doby dozvuku pro místnosti o objemu nad  $100 m^3$ . Pro místnosti menší je možné hodnoty  $T_0$  odečíst z grafu dle příslušné křivky.

Přípustná toleranční pásma pro odchylky doby dozvuku od optimální hodnoty ( $T/T_0$ ) jsou uvedena v grafu 1. Odpovídající toleranční pásmo je určeno převažujícím typem signálu v posuzované místnosti.

**Graf 1: Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči v závislosti na středním kmitočtu okt. pásma**



## 4 Řešení prostorové akustiky v místnostech

Na následujících stránkách předkládáme formou katalogových listů dozvukové parametry jednotlivých místností ve třech stavech – stávající stav bez úprav, kompletní akustické úpravy a částečné akustické úpravy.

Stávající stav bez úprav – je stav zjištěný měřením převzatý z protokolu o měření doby dozvuku z bodu jedna v kapitole 1.2.

Kompletní akustické úpravy – návrh takového množství akustických prvků, aby doba dozvuku v celém akustickém spektru ležela v tolerančním pásmu

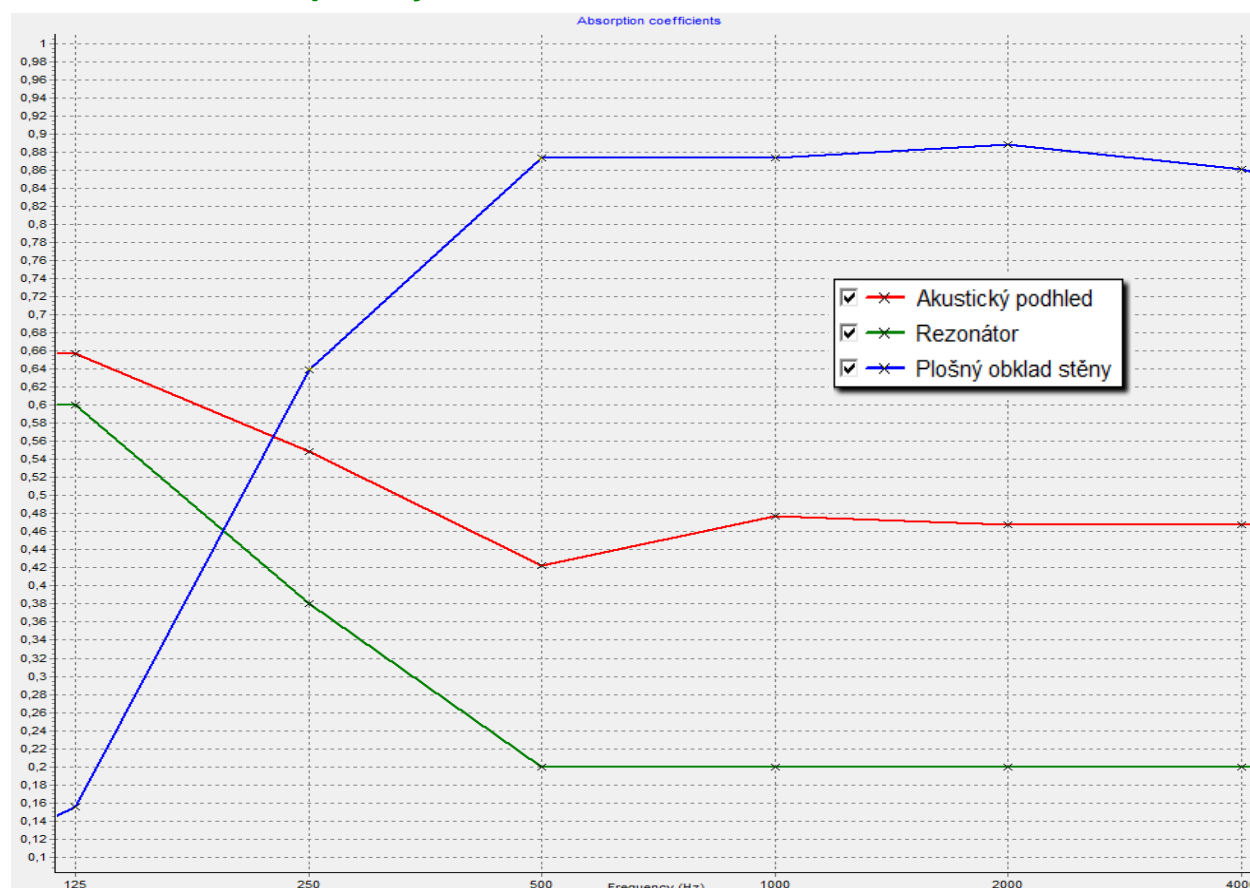
Částečné akustické úpravy – instalace pouze části akustických prvků z kompletního návrhu, množství a typ instalovaných prvků vychází z domluvy se zadavatelem a způsobu využití místností především pro mluvené slovo.

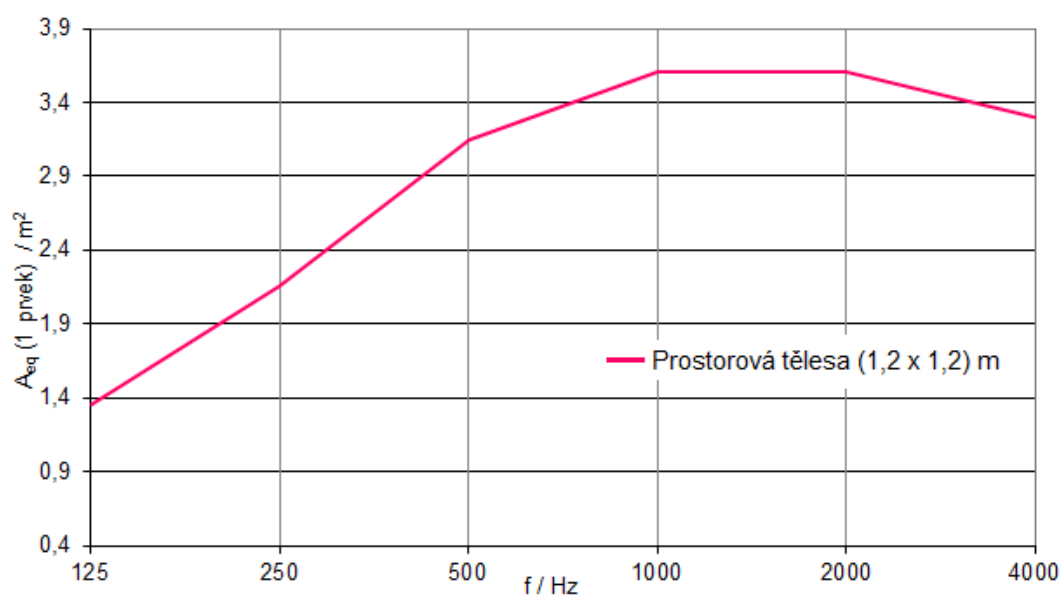
### 4.1 Použité materiály

Při návrhu byly použity čtyři druhy materiálů:

1. Akustický podhled složený z tvrdých kazet – na celé ploše stropu, svěšený pod úroveň klenby a s minerální vatou v dutině za podhledem
2. Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami – desky instalované přímo na stěnu
3. Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy – čtvercová tělesa instalovaná na stěnu, s rozměrem 1200 mm x 1200 mm
4. Rezonátory – akustické panely na bázi dřeva s podélnou šterbinou pro selektivní pohlcování nízkých kmitočtů.

#### 4.1.1 Pohltivosti použitých materiálů





Akustický pohled, pohltivý obklad kontaktními deskami a rezonátory jsou specifikovány pomocí činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$  v oktávových pásmech. Pohltivý obklad prostorovými tělesy je specifikován ekvivalentní absorpční plochou na jeden prvek.

## 4.2 Učebna S1

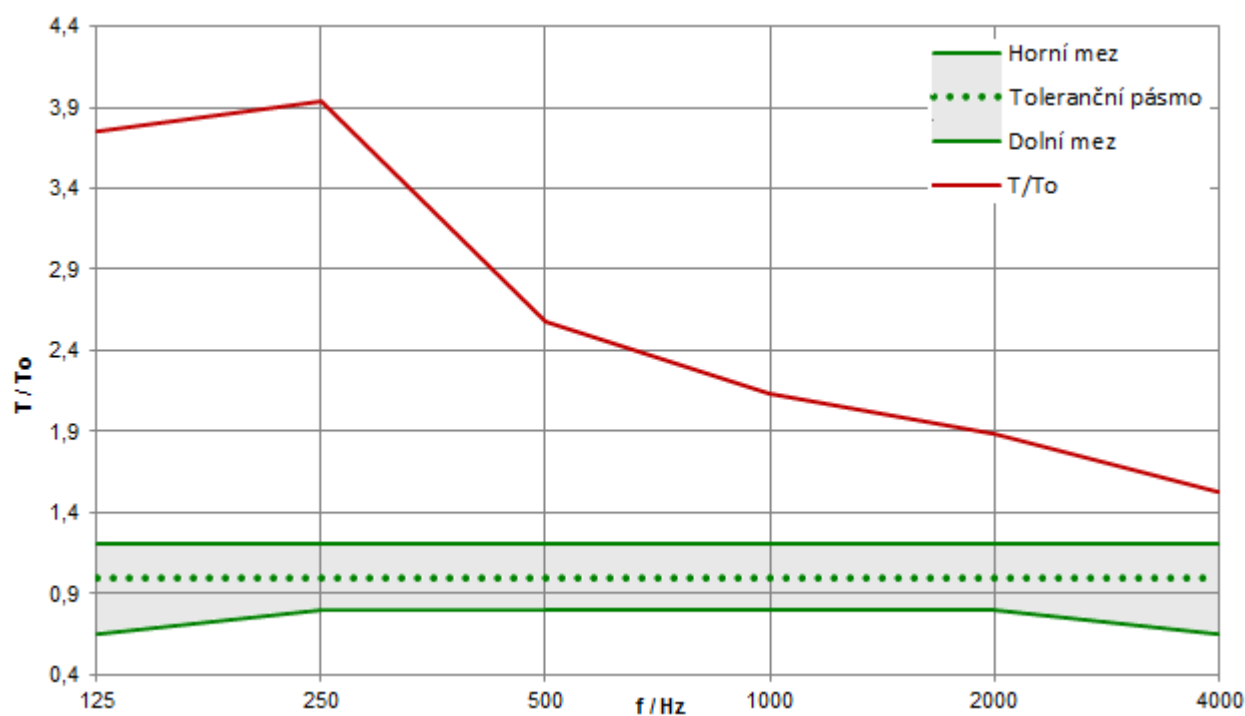
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 130 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

### 4.2.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 130 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	2,25	2,36	1,55	1,28	1,13	0,92
$T_{30} / T_o$	3,75	3,93	2,58	2,13	1,88	1,53



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

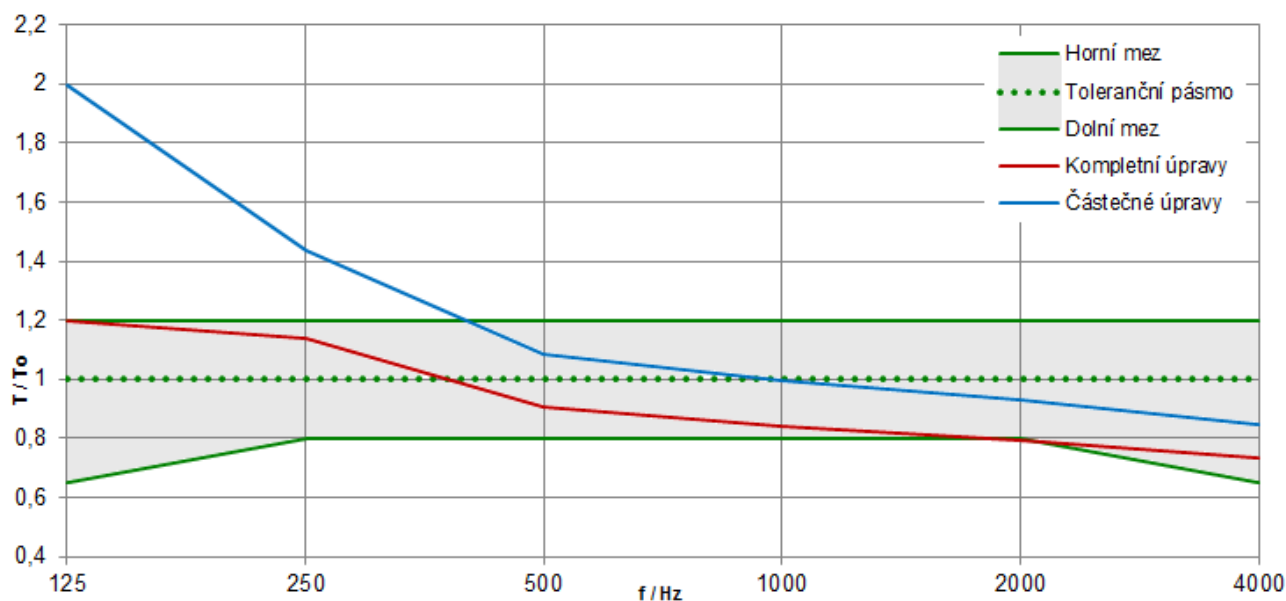
## 4.2.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	25	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	16	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	19,4	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	10	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 130 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,6 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,72	0,68	0,54	0,51	0,48	0,44
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,20	1,14	0,90	0,84	0,79	0,73
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,20	0,86	0,65	0,60	0,56	0,51
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,99	1,44	1,08	1,00	0,93	0,85



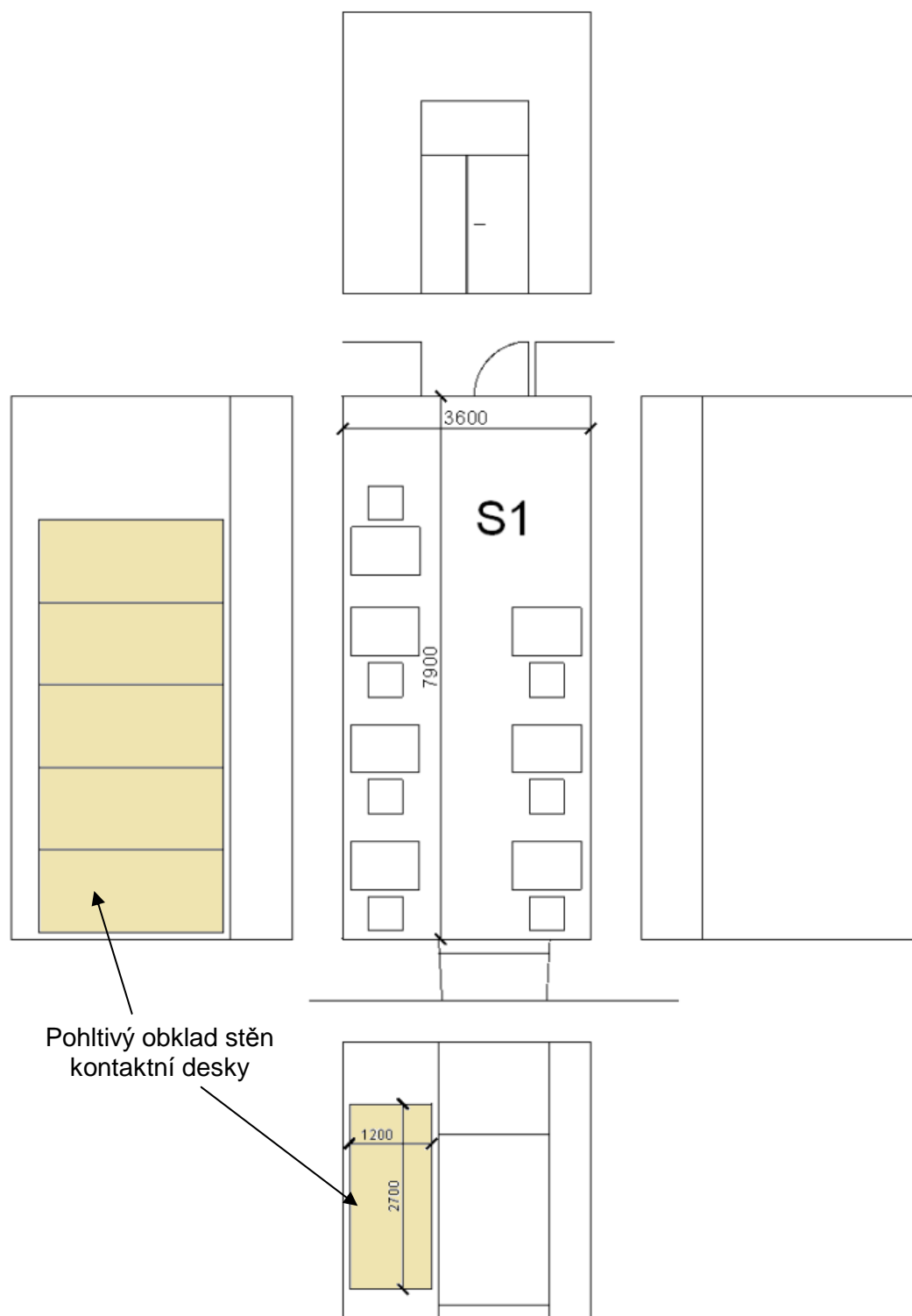


### 4.2.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles bude pět rezonátorů. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S1 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a plochy kolem jsou příliš malé pro umístění pohltivých panelů. Pohltivé panely budou tedy umístěny na bočních stěnách. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





### 4.3 Učebna S2

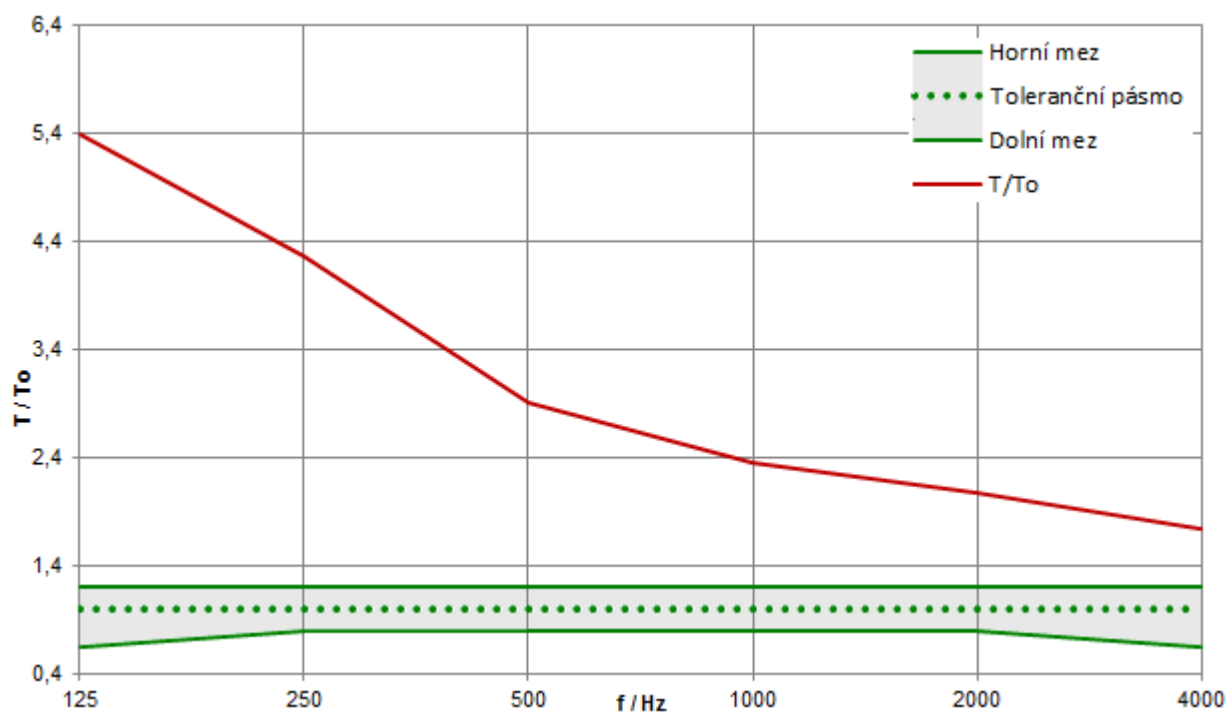
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 140 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

#### 4.3.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 140 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	3,24	2,56	1,74	1,41	1,24	1,04
$T_{30} / T_o$	5,40	4,27	2,90	2,35	2,07	1,73



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

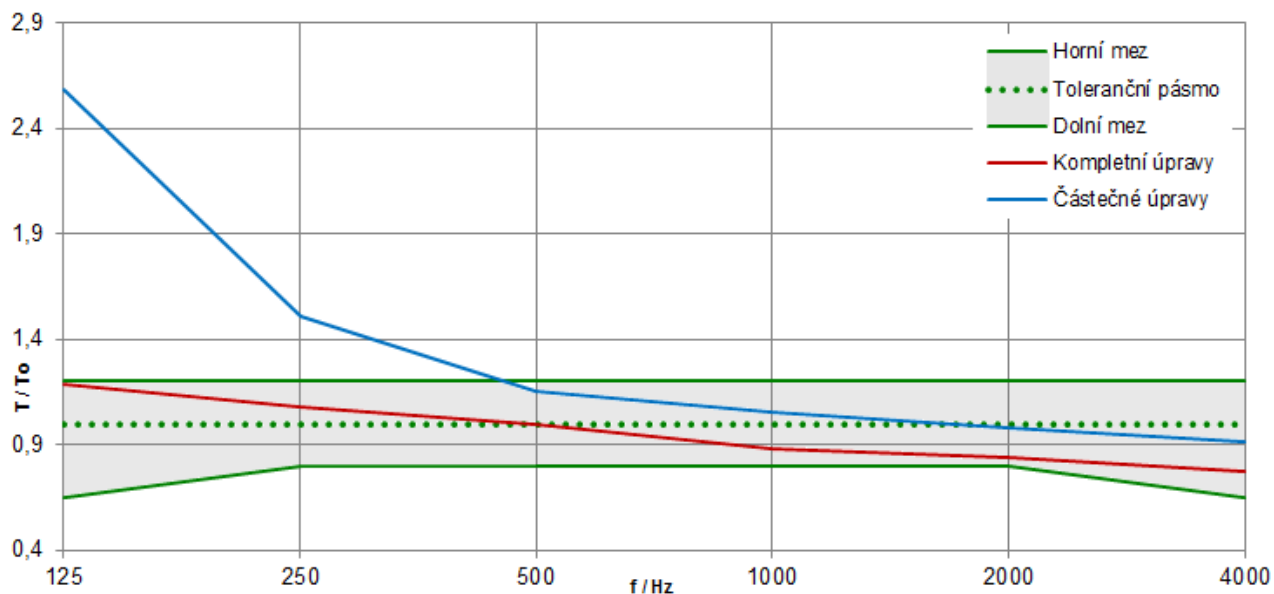
### 4.3.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Akustický podhled složený z tvrdých kazet	31	m <sup>2</sup>
	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	10	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	19,4	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	10	ks

#### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 140 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,6 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,71	0,70	0,65	0,57	0,54	0,50
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,18	1,08	1,00	0,88	0,84	0,78
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,55	0,90	0,69	0,63	0,59	0,55
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	2,59	1,51	1,15	1,05	0,98	0,91

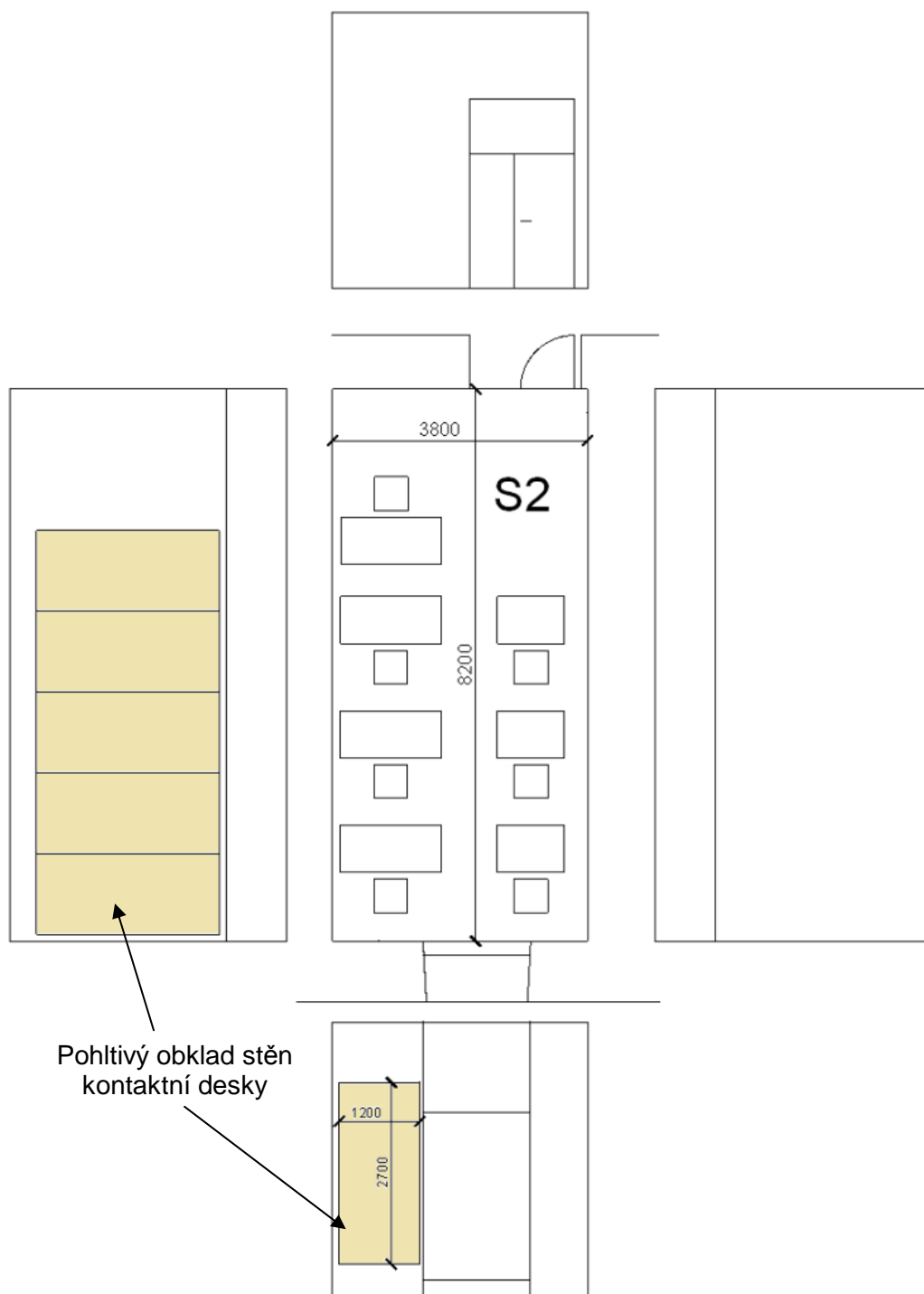


### 4.3.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles bude pět rezonátorů. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S2 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a plochy kolem jsou příliš malé pro umístění pohltivých panelů. Pohltivé panely budou tedy umístěny na bočních stěnách. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.4 Učebna S3

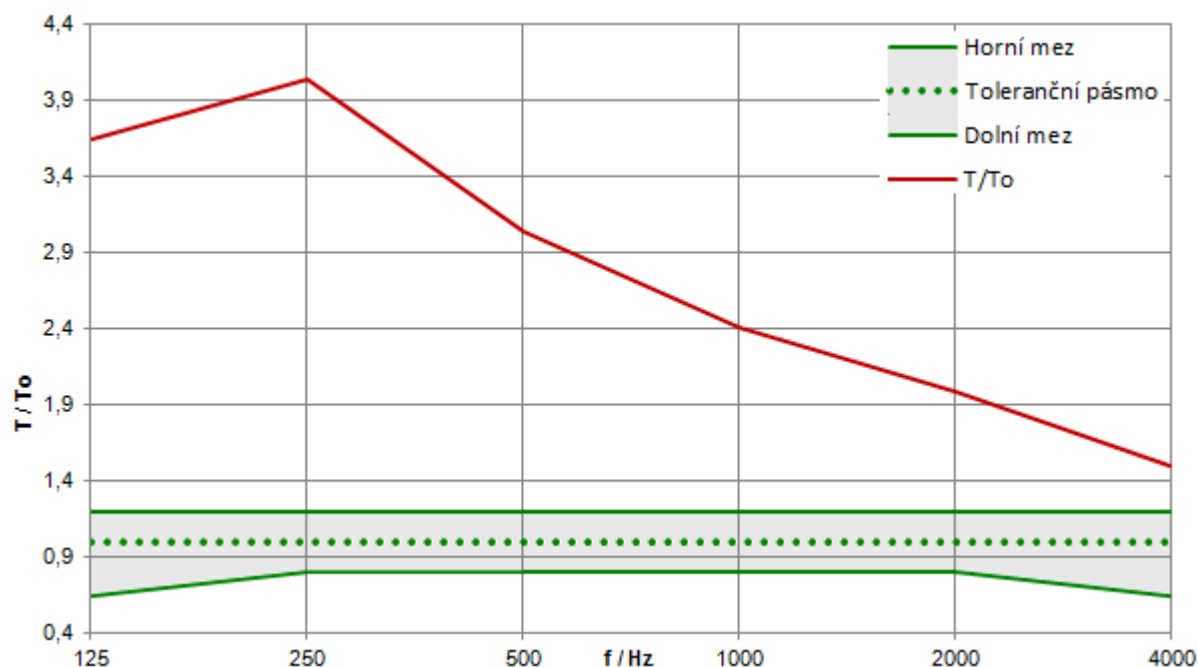
Prostor čtvercového půdorysu je vybaven stoly a židlemi a kromě výuky je často používán jako zasedací místnost. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 230 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,7 \text{ s}$

### 4.4.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 230 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,7 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	2,55	2,83	2,13	1,69	1,39	1,05
$T_{30} / T_o$	3,64	4,04	3,04	2,41	1,99	1,50



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

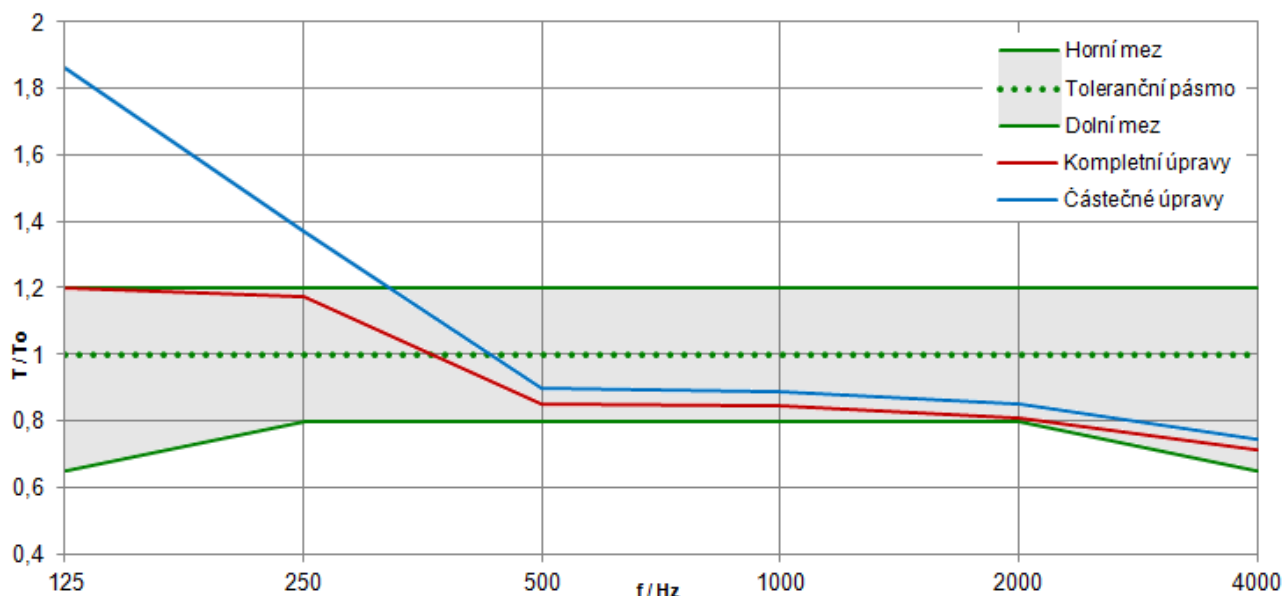
## 4.4.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Místnost je reprezentativním prostorem, proto jsou pro úpravu stěn volena prostorová tělesa. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy	20	ks
	Rezonátory	36	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy	20	ks
	Rezonátory	14	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

$V = 230 \text{ m}^3$		$f / \text{Hz}$					
$T_0 = 0,7 \text{ s}$		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	$T_{30}$	0,84	0,82	0,60	0,59	0,57	0,50
	$T_{30} / T_0$	1,20	1,17	0,85	0,84	0,81	0,72
Částečné úpravy	$T_{30}$	1,30	0,96	0,63	0,62	0,60	0,52
	$T_{30} / T_0$	1,86	1,37	0,90	0,89	0,85	0,75



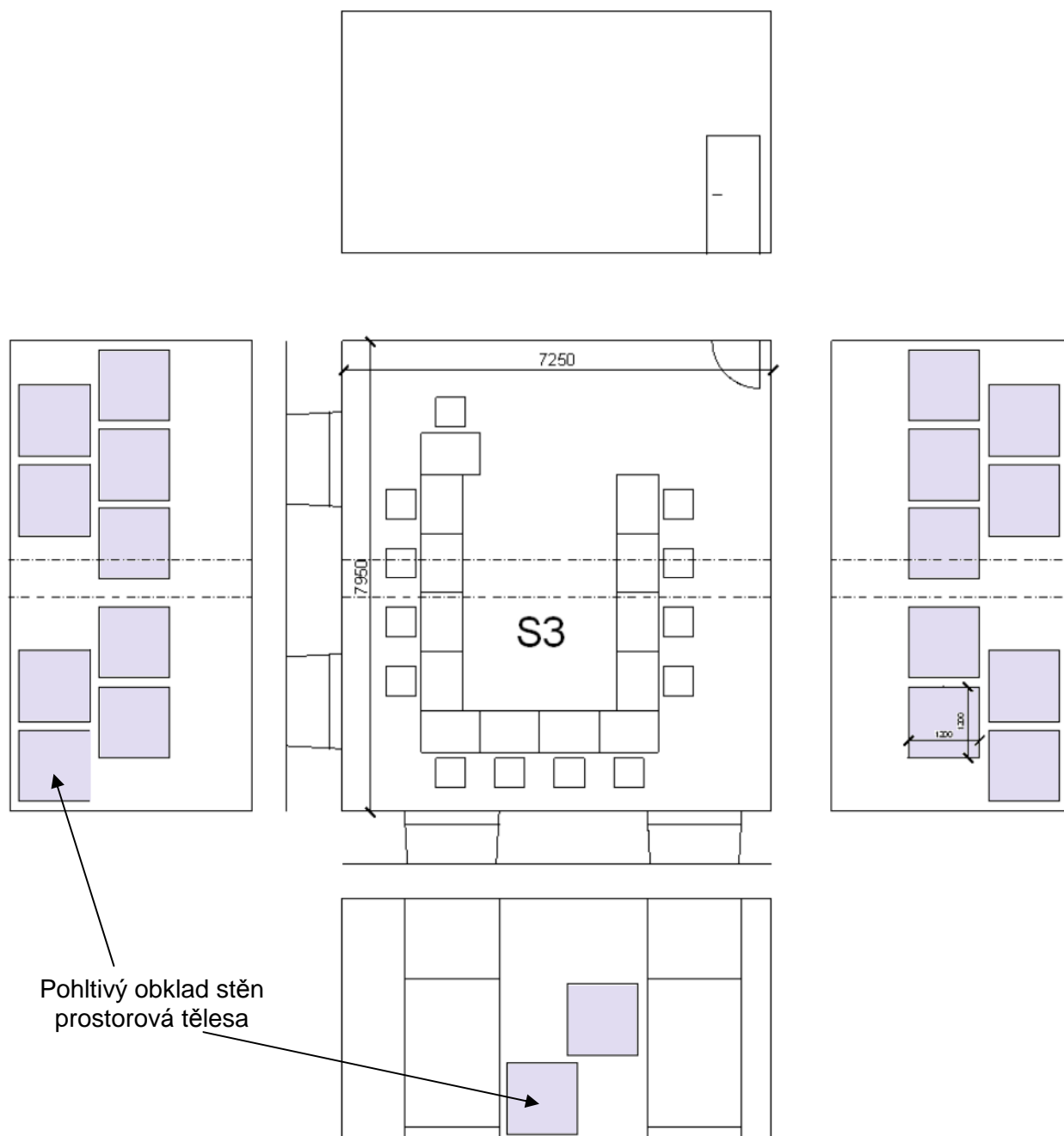


### 4.4.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Prostorové panely budou rozmístěny na stěny mezi okna a na jednu z bočních stěn. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěnách.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.5 Učebna S4

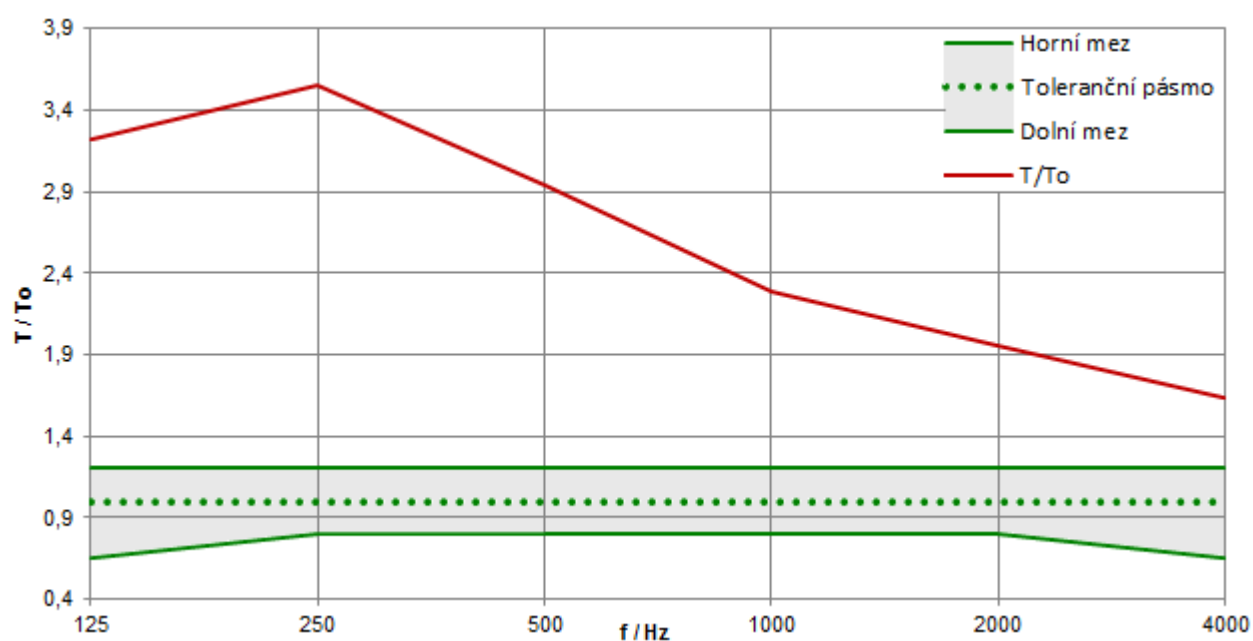
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 100 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

### 4.5.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 100 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	1,93	2,13	1,76	1,37	1,17	0,98
$T_{30} / T_o$	3,22	3,55	2,93	2,28	1,95	1,63



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

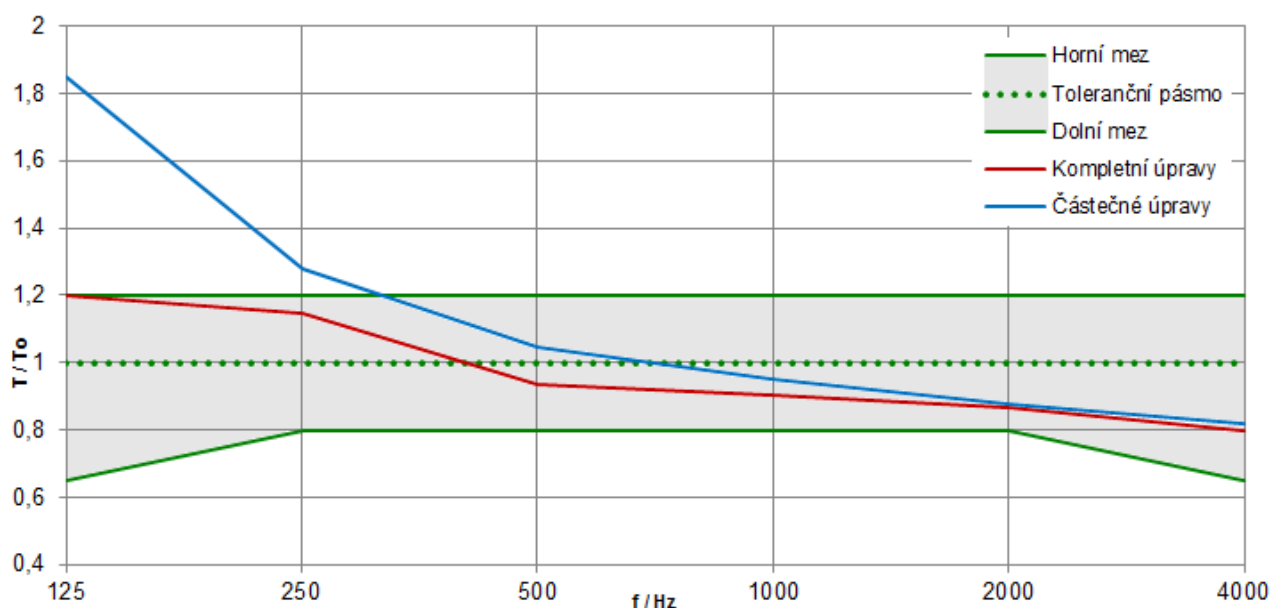
## 4.5.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy	10	ks
	Rezonátory	14	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	19,4	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	8	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 100 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,6 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,72	0,69	0,56	0,54	0,52	0,48
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,20	1,15	0,93	0,90	0,87	0,80
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,11	0,77	0,63	0,57	0,53	0,49
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,85	1,28	1,05	0,95	0,88	0,82

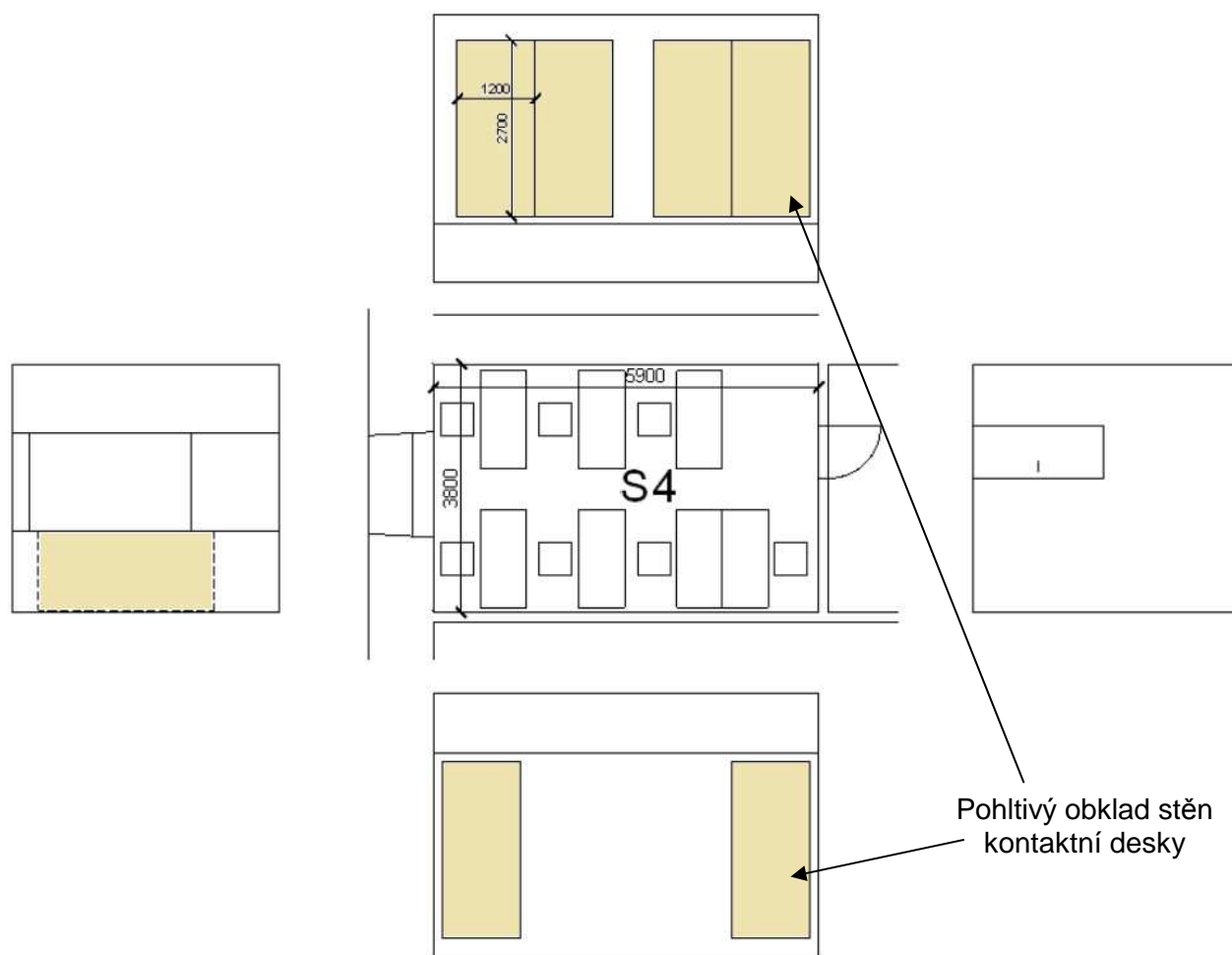


### 4.5.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles budou čtyři rezonátory. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S4 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a plochy kolem jsou příliš malé pro umístění pohltivých panelů. Pohltivé panely budou umístěny na bočních stěnách. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.6 Učebna S7

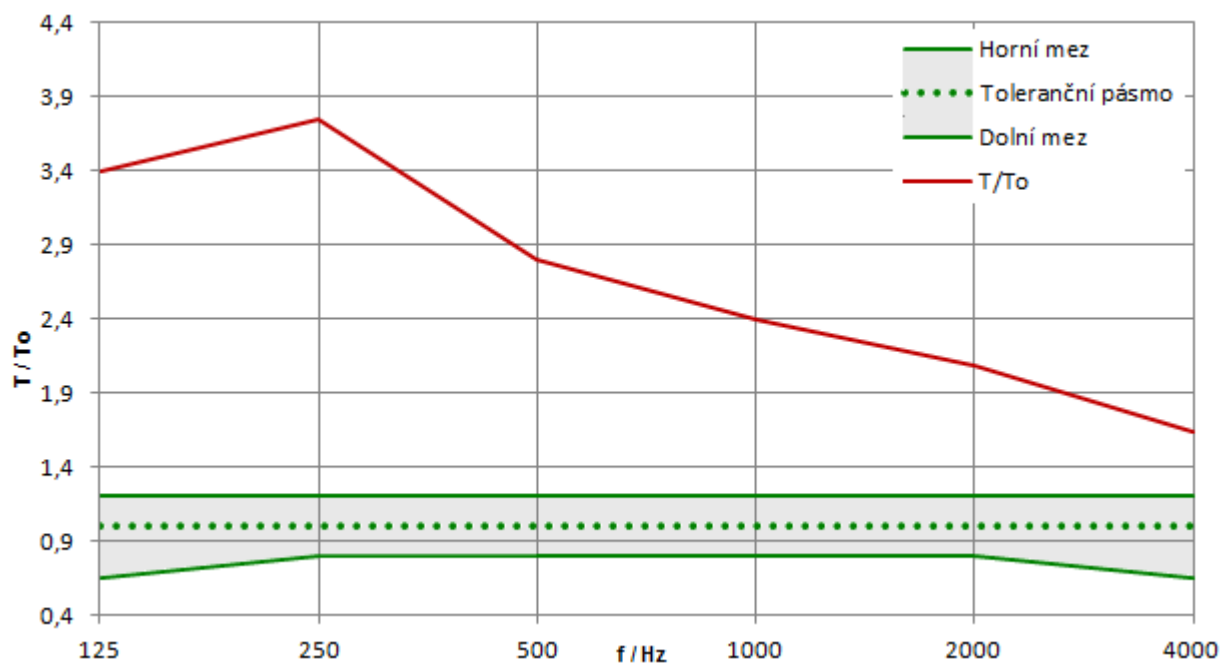
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 75 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,55 \text{ s}$

### 4.6.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 75 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,55 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	1,87	2,06	1,54	1,32	1,15	0,90
$T_{30} / T_o$	3,40	3,75	2,80	2,40	2,09	1,64



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

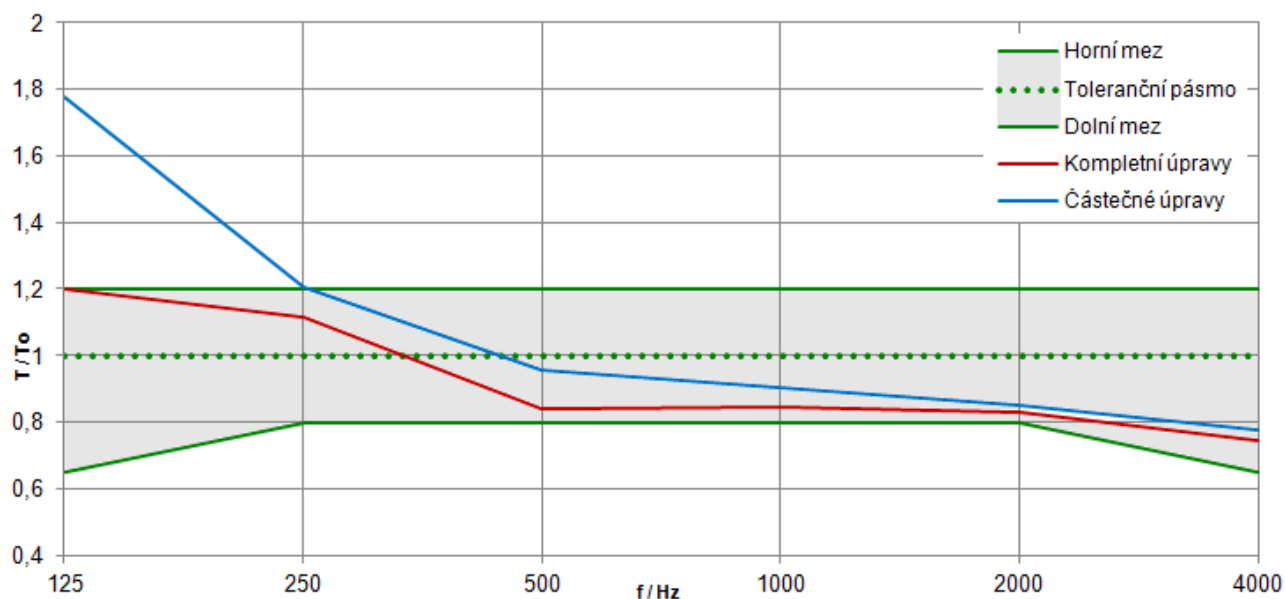
## 4.6.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy	8	ks
	Rezonátory	14	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	16,2	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	8	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 75 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,55 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,66	0,61	0,46	0,47	0,46	0,41
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,20	1,12	0,84	0,85	0,83	0,75
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	0,98	0,66	0,53	0,50	0,47	0,43
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,78	1,20	0,96	0,91	0,85	0,77



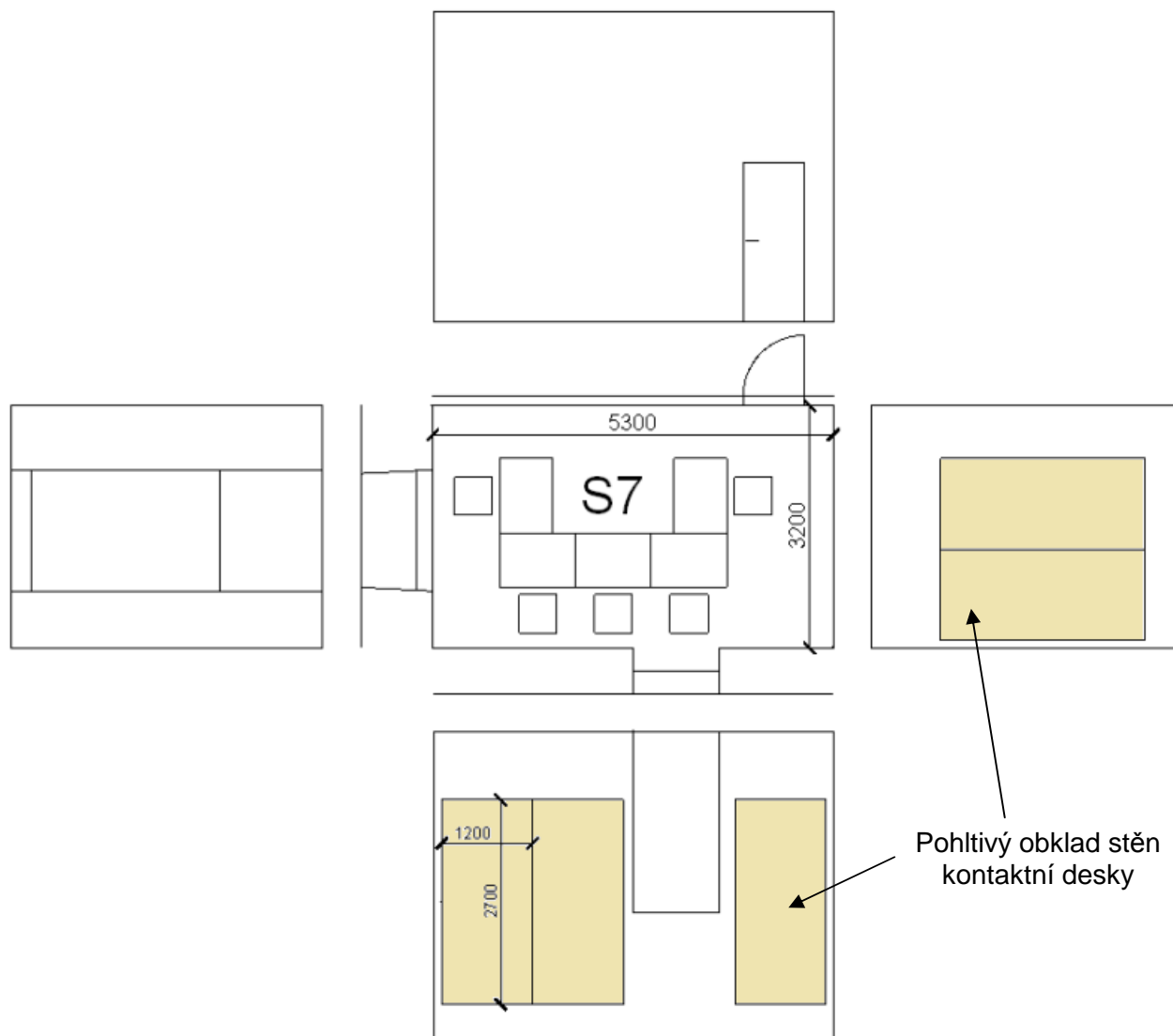


### 4.6.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles budou čtyři rezonátory. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S7 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a plochy kolem jsou příliš malé pro umístění pohltivých panelů. Pohltivé panely budou umístěny na bočních stěnách. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.7 Učebna S10

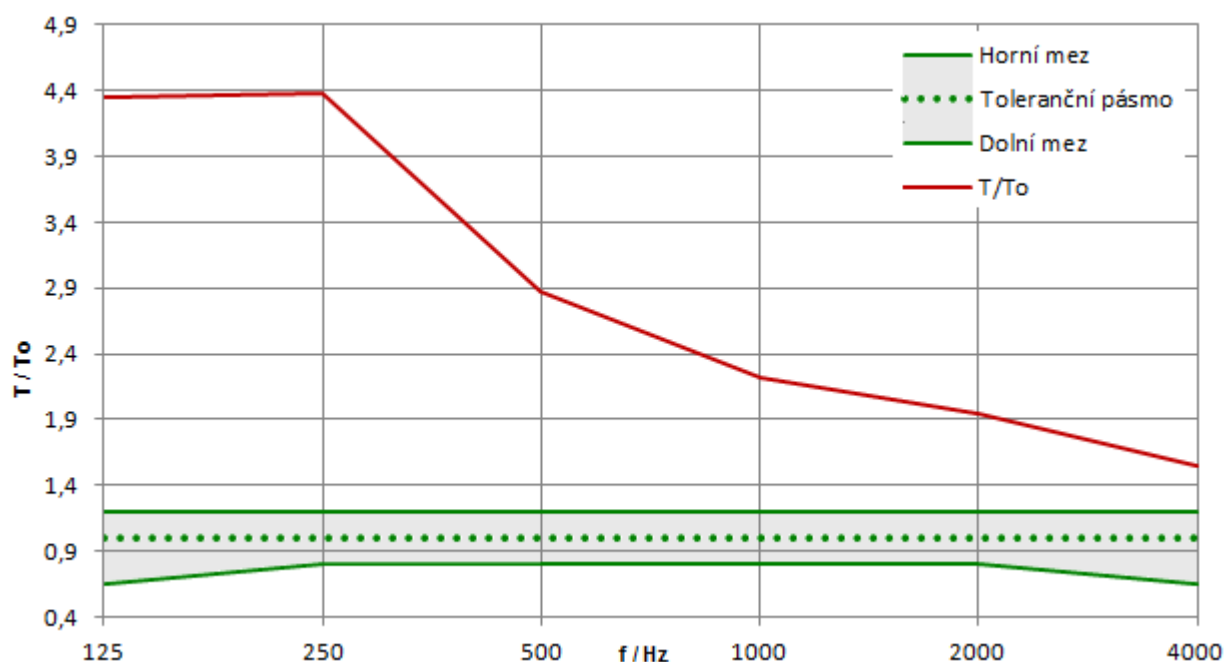
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 105 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

### 4.7.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 105 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	2,61	2,63	1,72	1,33	1,17	0,93
$T_{30} / T_o$	4,35	4,38	2,87	2,22	1,95	1,55



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

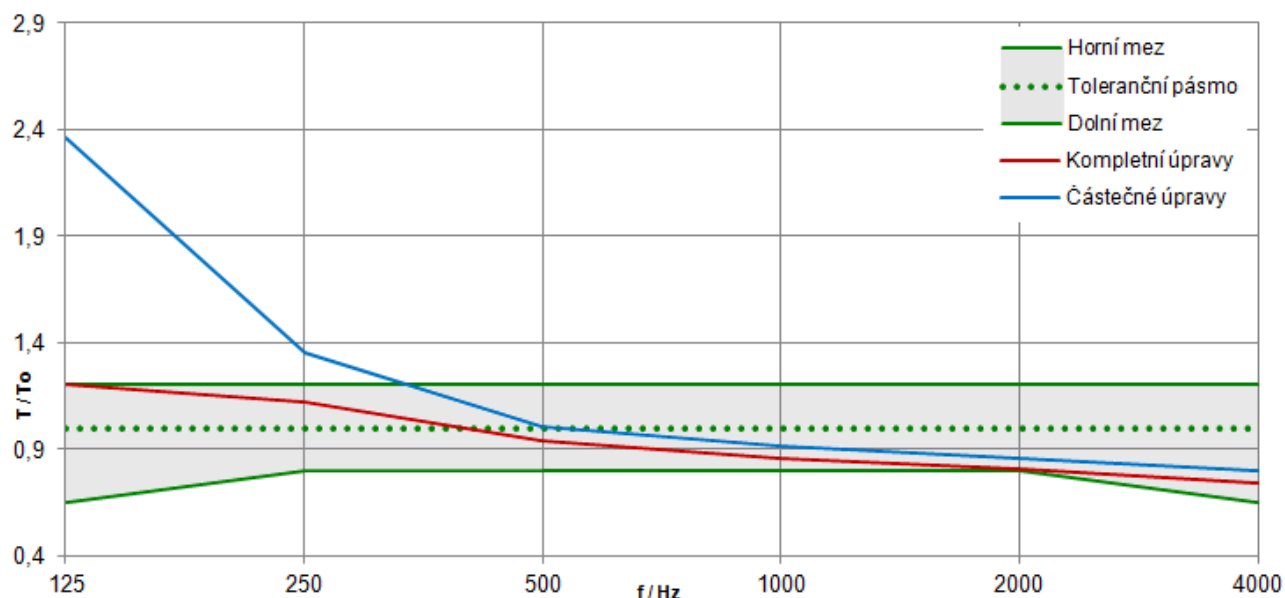
## 4.7.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	21,6	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	20	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	19,44	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	8	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 105 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,6 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,72	0,67	0,56	0,51	0,48	0,44
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,20	1,12	0,94	0,86	0,81	0,74
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,41	0,81	0,60	0,55	0,51	0,48
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	2,36	1,35	1,00	0,91	0,86	0,79

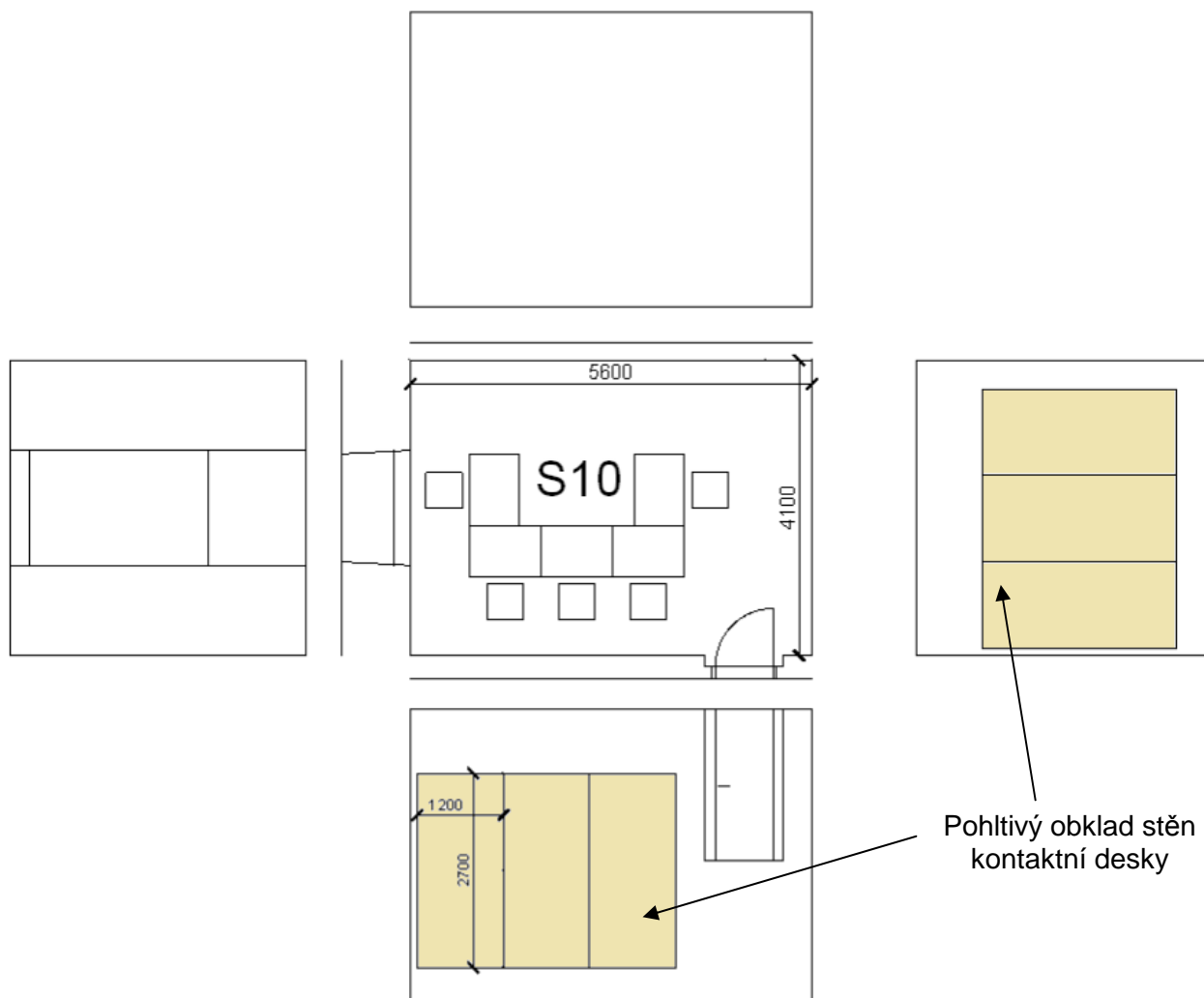


### 4.7.3 Rozmístění prvků

Část akustických rezonátorů bude zavěšena rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles budou čtyři rezonátory. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S10 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a plochy kolem jsou příliš malé pro umístění pohltivých panelů. Pohltivé panely budou umístěny na bočních stěnách. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.8 Učebna S11

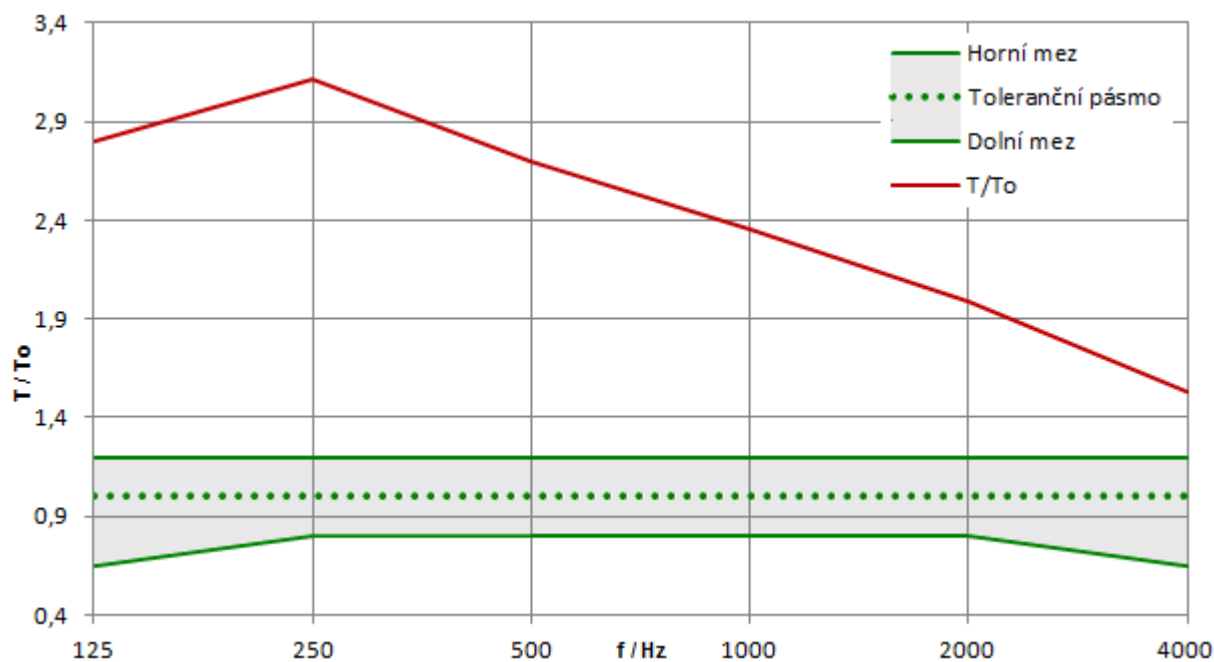
Učebna obdélníkového půdorysu je vybavena stoly, židlemi a běžnou počítačovou technikou. Podlaha je kryta kobercem. Ve dvou rozích je vedeno VZT potrubí kryté SDK deskami.

Objem místnosti:  $V = 95 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

### 4.8.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 95 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	1,68	1,87	1,62	1,41	1,19	0,92
$T_{30} / T_o$	2,80	3,12	2,70	2,35	1,98	1,53



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

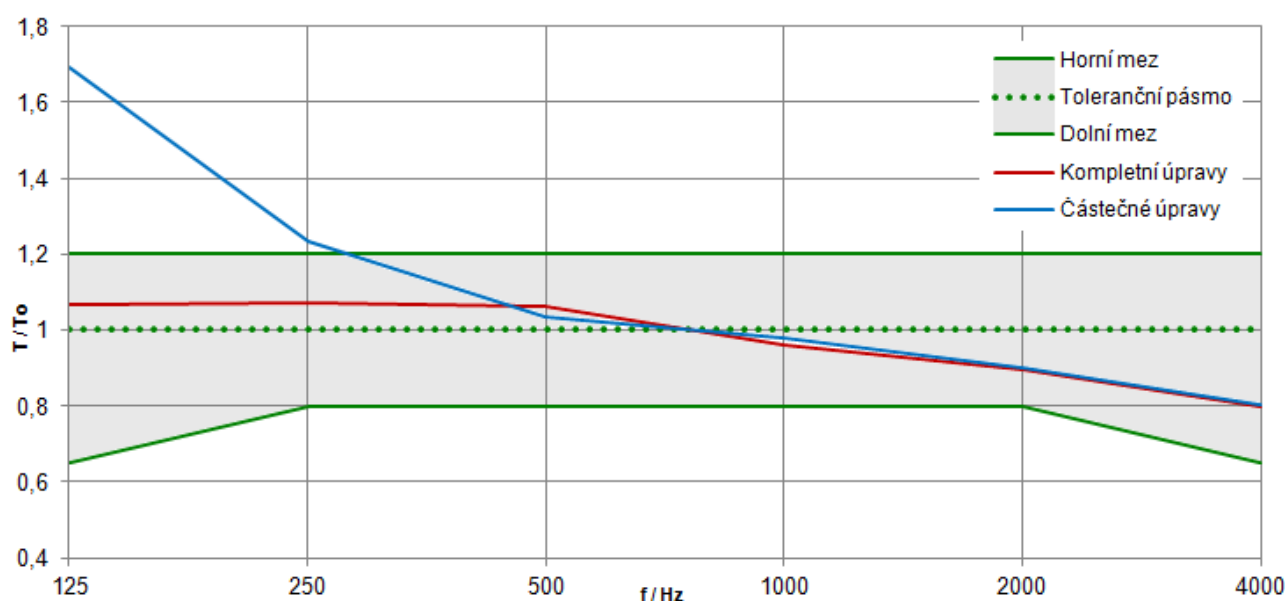
## 4.8.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Akustický podhled složený z tvrdých kazet	21,1	m <sup>2</sup>
	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	6,48	m <sup>2</sup>
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	16,2	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	8	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 95 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,6 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,64	0,64	0,64	0,58	0,54	0,48
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,07	1,07	1,06	0,96	0,90	0,80
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,02	0,74	0,62	0,59	0,54	0,48
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,69	1,23	1,03	0,98	0,90	0,81



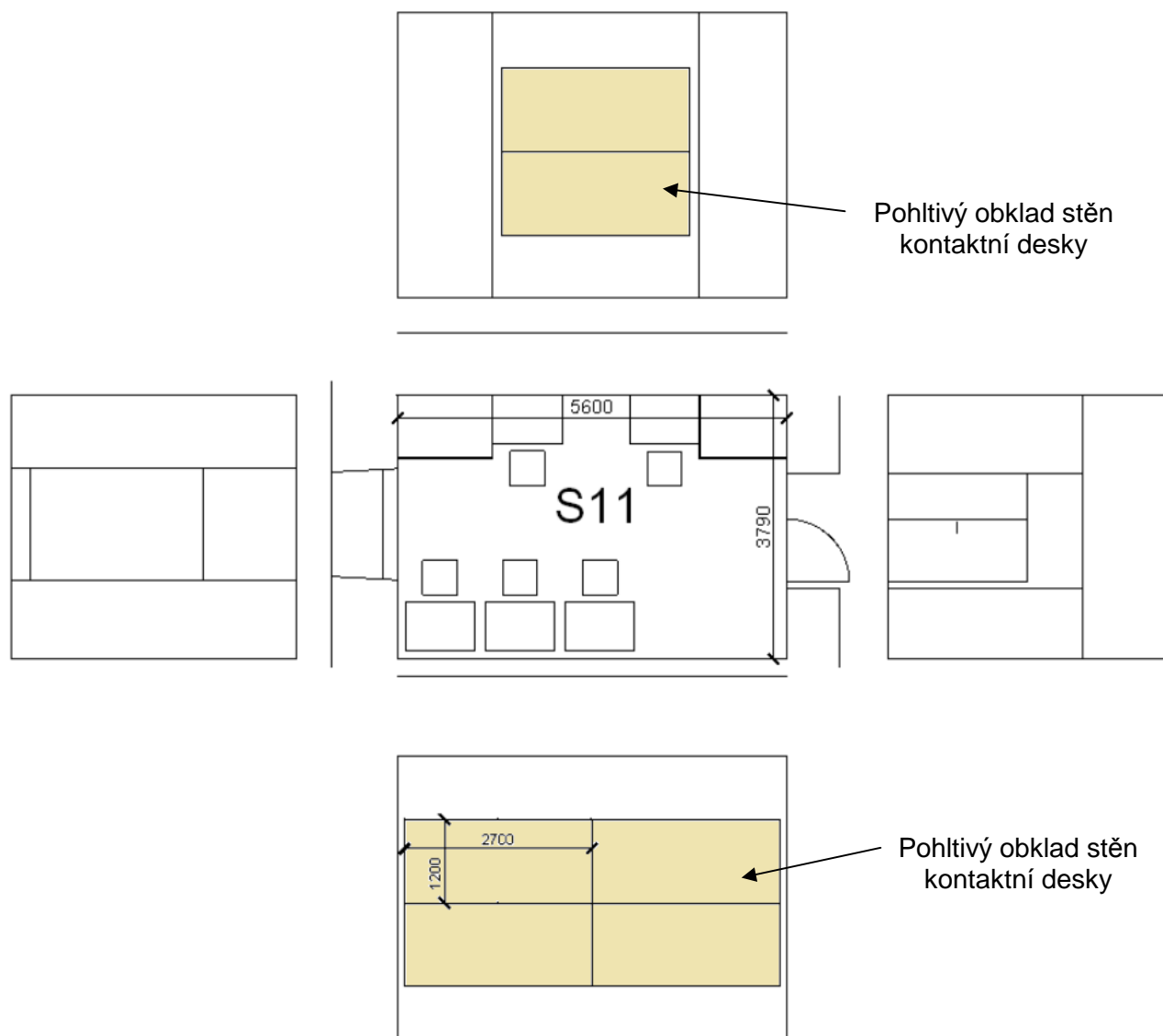


### 4.8.3 Rozmístění prvků

Rezonátory budou rozmístěny rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Po každé straně osvětlovacích těles budou čtyři rezonátory. Pohltivé panely by měly být primárně umístěny na zadní stěnu za posluchače. V učebně S11 by to bylo obtížné, protože zadní stěna má okno a část je kryta VZT rozvodem. Pohltivé panely budou umístěny na bočních stěnách. Při úpravách s použitím akustického podhledu budou pohltivé panely umístěny v úrovni posluchačů.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.9 Ředitelna

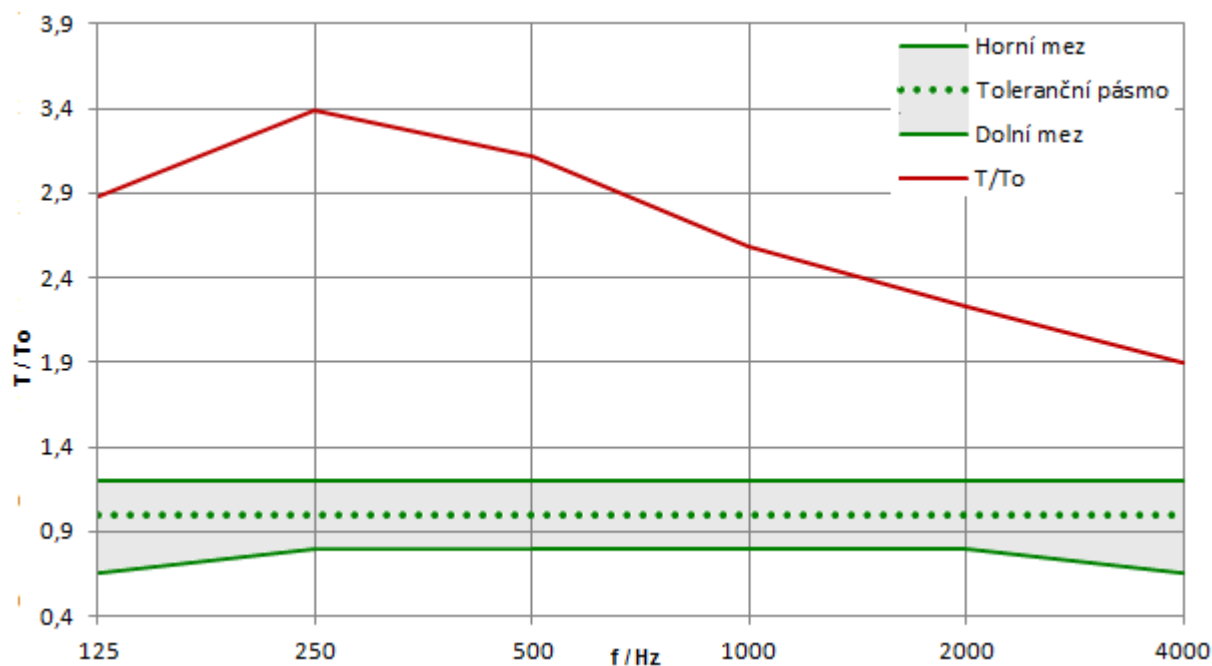
Místnost obdélníkového půdorysu je vybavena běžným kancelářským nábytkem, podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 125 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,6 \text{ s}$

### 4.9.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 125 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,6 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	1,73	2,03	1,87	1,55	1,34	1,14
$T_{30} / T_o$	2,88	3,38	3,12	2,58	2,23	1,90



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

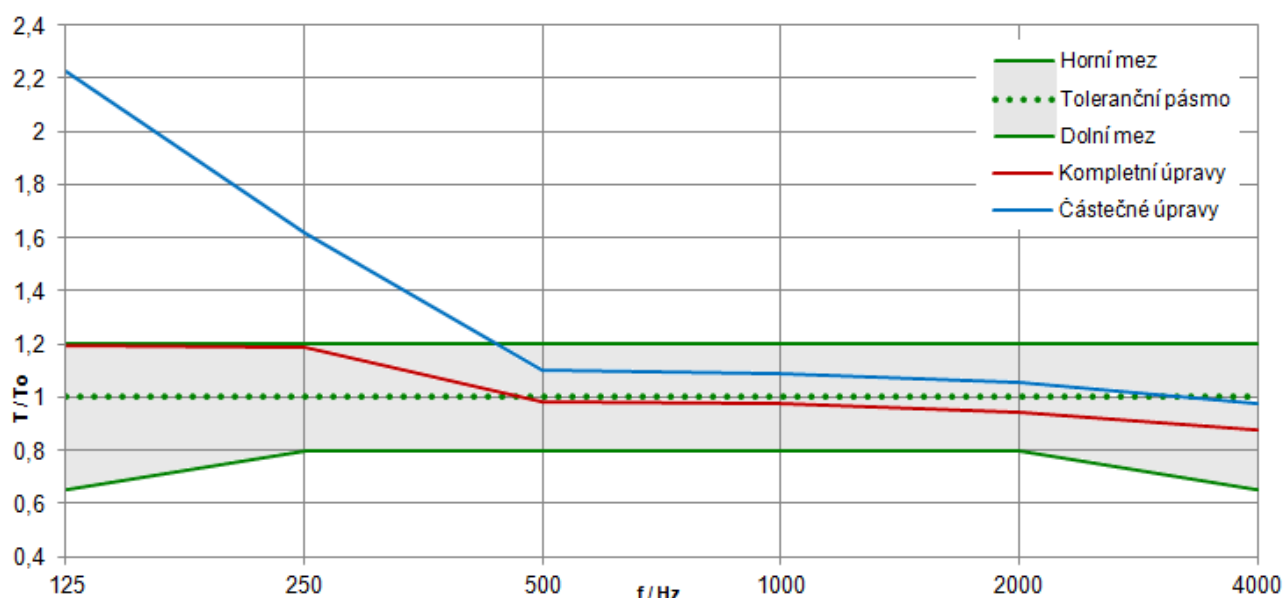
## 4.9.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Ředitelna je reprezentativní prostor, proto jsou pro úpravu stěn volena prostorová tělesa. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	10	ks
	Rezonátory	20	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy	10	ks

### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

$V = 105 \text{ m}^3$		$f / \text{Hz}$					
$T_0 = 0,6 \text{ s}$		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	$T_{30}$	0,72	0,71	0,59	0,58	0,57	0,53
	$T_{30} / T_0$	1,20	1,19	0,98	0,97	0,94	0,88
Částečné úpravy	$T_{30}$	1,33	0,97	0,66	0,65	0,63	0,58
	$T_{30} / T_0$	2,22	1,61	1,10	1,09	1,05	0,97

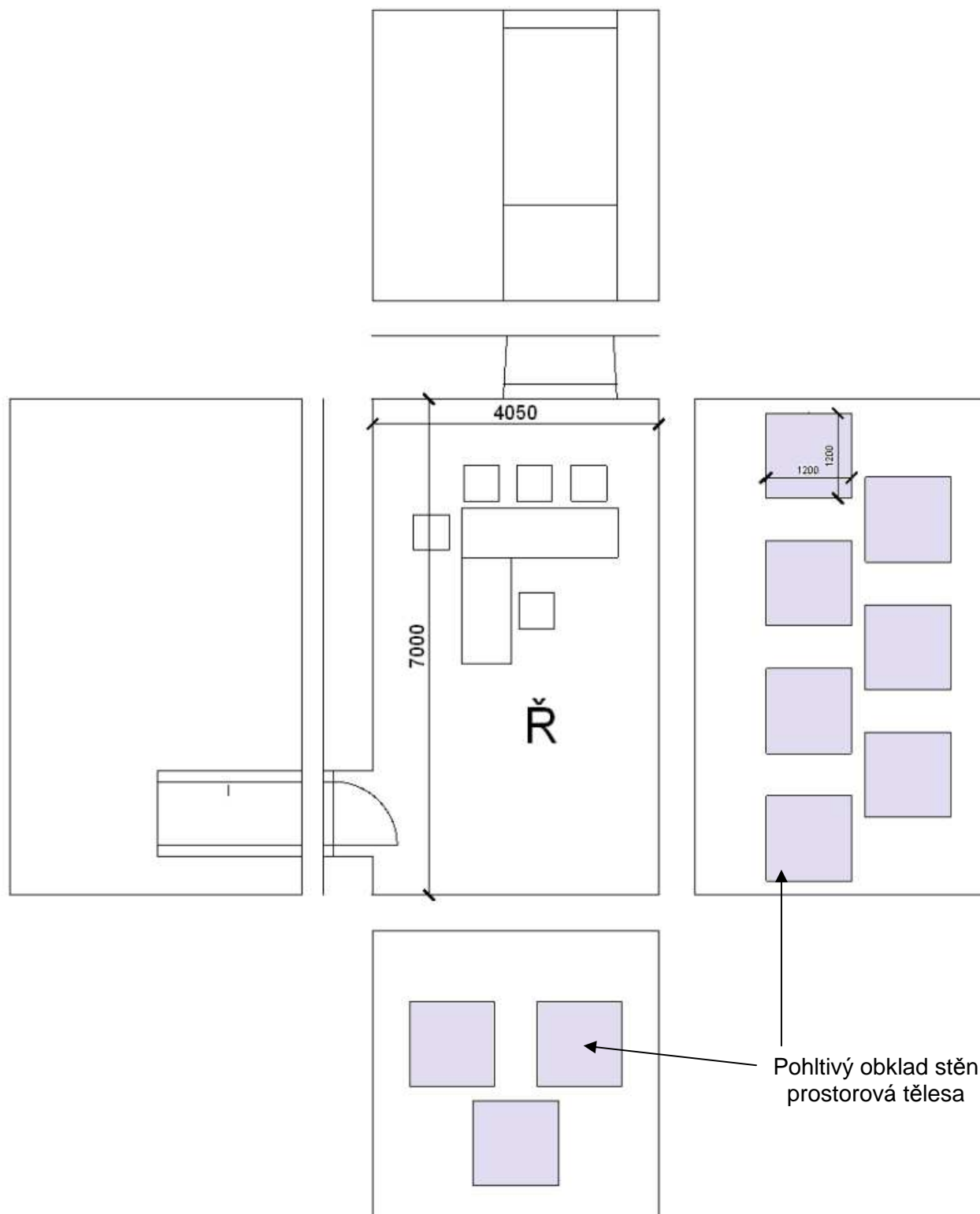


### 4.9.3 Rozmístění prvků

Akustická prostorová tělesa budou rozmístěna na stěnách. Akustické rezonátory budou zavěšeny rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 4.10 Hovorna

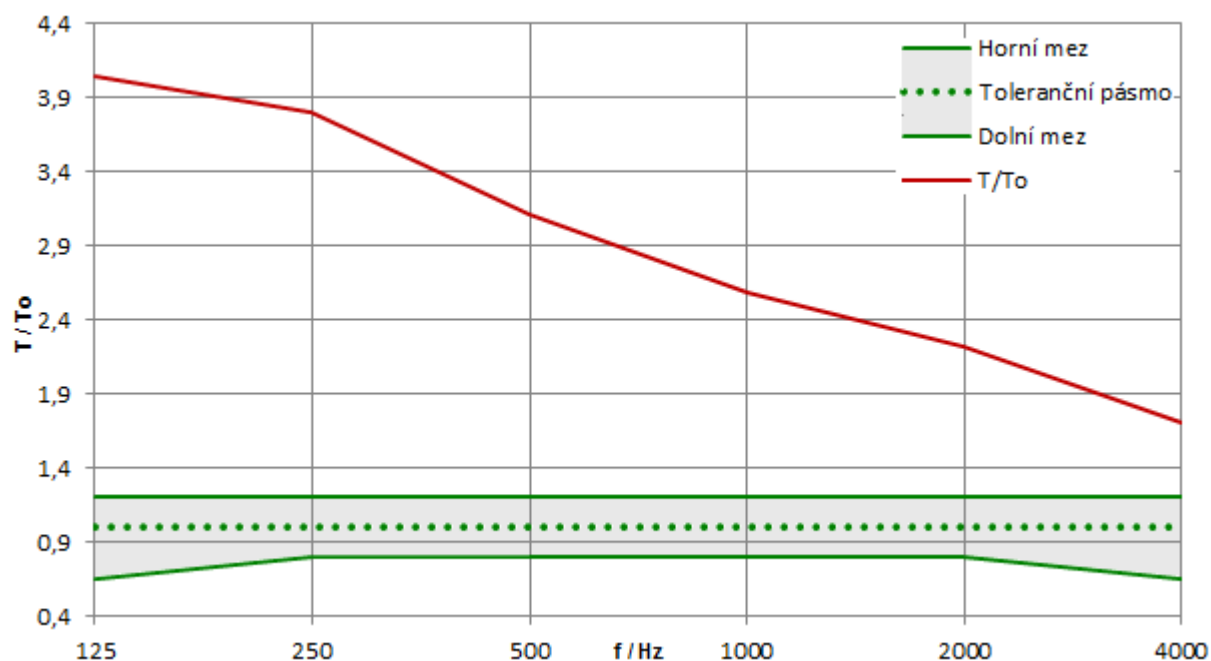
Místnost čtvercového půdorysu je vybavena běžným kancelářským nábytkem, podlaha je kryta kobercem.

Objem místnosti:  $V = 65 \text{ m}^3$

Optimální doba dozvuku:  $T_o = 0,5 \text{ s}$

### 4.10.1 Výsledky měření doby dozvuku – stávající stav bez úprav

$V = 65 \text{ m}^3$	$f / \text{Hz}$					
$T_o = 0,5 \text{ s}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{30}$	2,03	1,90	1,56	1,29	1,11	0,86
$T_{30} / T_o$	3,68	3,46	2,83	2,35	2,01	1,56



#### Hodnocení:

Z grafu je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém kmitočtovém spektru mimo toleranční pásmo.

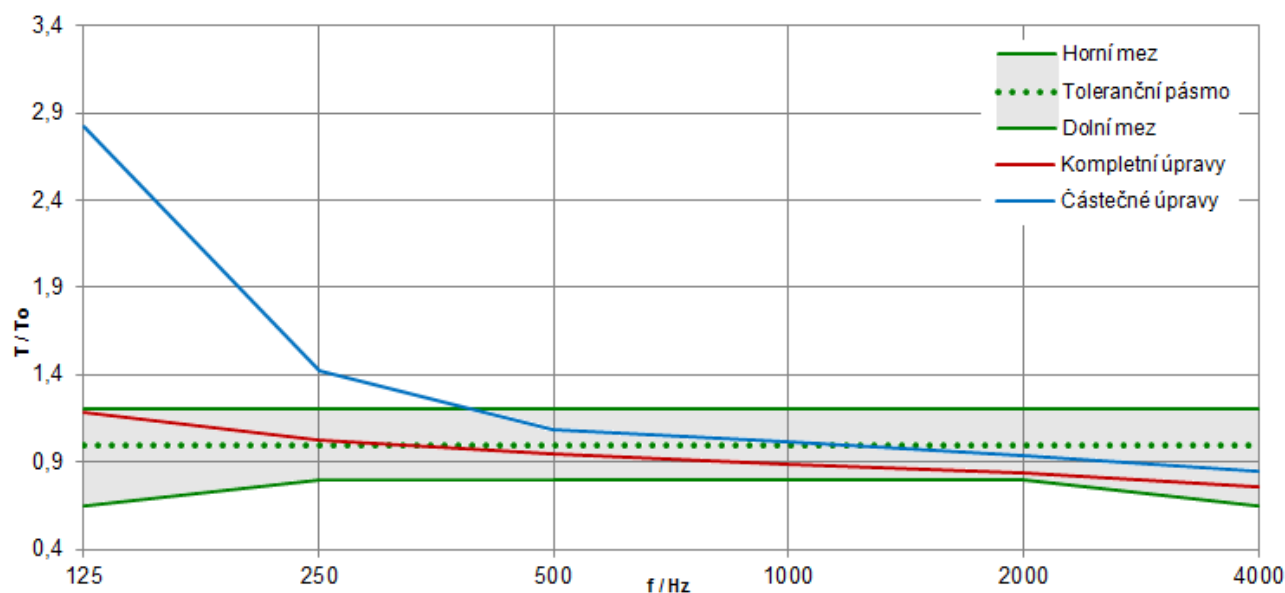
### 4.10.2 Návrh úprav

Pro zlepšení poslechových podmínek bude potřeba snížit dobu dozvuku v celém frekvenčním spektru. Navrhujeme instalovat do místnosti širokopásové obklady stěn doplněné o akustické rezonátory v následujícím množství:

Stav	Použité prvky	Množství	
Kompletní úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	15	m <sup>2</sup>
	Rezonátory	20	ks
Částečné úpravy	Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami	15	m <sup>2</sup>

#### Dozvukové parametry místnosti po úpravách:

V = 65 m <sup>3</sup>		f / Hz					
T <sub>0</sub> = 0,5 s		125	250	500	1000	2000	4000
Kompletní úpravy	T <sub>30</sub>	0,59	0,51	0,47	0,45	0,42	0,38
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	1,19	1,03	0,95	0,89	0,83	0,76
Částečné úpravy	T <sub>30</sub>	1,41	0,71	0,54	0,51	0,47	0,42
	T <sub>30</sub> / T <sub>0</sub>	2,82	1,42	1,08	1,01	0,94	0,85



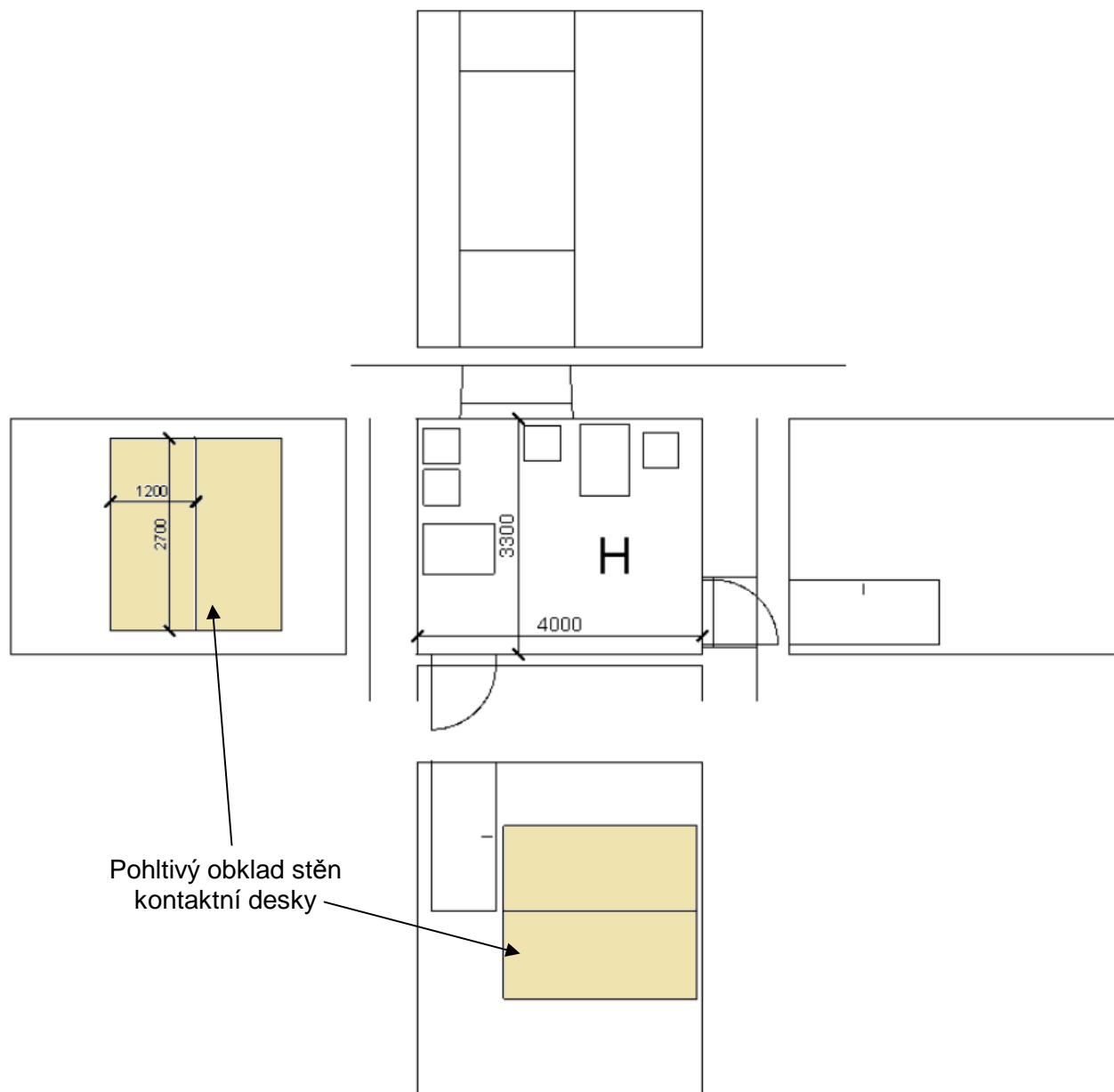


### 4.10.3 Rozmístění prvků

Akustická prostorová tělesa budou rozmístěna na stěnách tak, aby byla vždy akusticky upravena jedna ze dvou protilehlých stěn. Akustické rezonátory budou zavěšeny rovnoběžně s osvětlovacími tělesy. Další rezonátory budou umístěny dle prostorových možností na stěny.

Rozmístění prvků bude odsouhlaseno uživatelem po předložení návrhu.

**Schéma možného rozmístění pohltivých panelů na stěnách:**





## 5 Popis akustických systémů a prvků

### 5.1 Akustický podhled z tvrdých kazet

**Popis:** Akustický podhled s efektním vzhledem přírodního kamene. Vyznačuje se nehořlavostí, ekologickou čistotou (neobsahuje vlákna), širokou barevnou škálou, velmi dobrou mechanickou odolností a snadnou údržbou. Prvky jsou vyrobeny z velikostně tříděného barevného písku pojeného epoxidovou kompozicí.

**Tvar:** Deska s rovinnou lícovou stranou určená pro montáž do viditelných závěsných systémů.

**Rozměrové moduly:** (600 × 600) mm, (625 × 625) mm, (650 × 650) mm (tloušťka desky 6 mm)

Hmotnost: 9,5 kg.m<sup>-2</sup>.

**Akustické vlastnosti:** Absorpce zvuku v širokém kmitočtovém pásmu. Kmitočtový průběh činitele zvukové pohltivosti závisí na velikosti svěšení podhledu, doplňkovém absorberu nad ním a na případné úpravě rubové strany desek.

**Barevné řešení:** Zrnitost přírodního kamene, provedení jednobarevné i melírované v široké barevné škále dle vzorníku.



### 5.2 Pohltivý obklad stěn kontaktními deskami

**Popis:** Prvky jsou vyrobeny ze skelné vaty. Jejich povrch je opatřen kvalitním mikropórovým povrchem. Montují se v deskách do lišt. Dodávají se v různých provedeních s viditelným nebo skrytým roštem.

**Rozměrové moduly:** (1200 × 2700) mm (tloušťka desky 40 mm); lze řezat

**Akustické vlastnosti:** Akustické panely jsou vysoce zvukově pohltivé.

**Barevné řešení:** silná sklo-vláknenná tkanina ve standartní bílé barvě, dále šedá a zelená barva



### 5.3 Pohltivý obklad stěn prostorovými tělesy

**Popis:** Panely mají jádro vyrobené ze skelné vlny o vysoké hustotě, přední a zadní strana je opatřena speciálním povrchem. Hrany jsou rovné a natřené. Akustické vertikální a horizontální volně zavěšené prvky různých tvarů a barev. Prvky jsou akustickým řešením převážně v případech, kde nelze instalovat celoplošný podhled. Jsou vhodné do místností, kde je zapotřebí zachovat jejich objem a světlou výšku. Volně zavěšené prvky nabízí široké spektrum barevných provedení a závěsných systémů. Panely lze zavěsit i v odlišných výškových úrovních i pod různými úhly. Systémová řada obsahuje několik základních geometrických tvarů: obdélník, čtverec, trojúhelník, kruh, elipsa, pěti až osmiúhelník. Lze realizovat i vytvoření vlastního návrhu a tvaru.

**Rozměrové moduly:** dle tvaru prvků; čtvercové prostorové prvky rozměru 1200 x 1200 mm

**Akustické vlastnosti:** Akustické panely jsou vysoce zvukově pohltivé.



### 5.4 Akustický rezonátor

**Popis:** Určen pro interiér s vysokými nároky na prostorovou akustiku. Akustický prvek na principu Helmholtzova rezonátoru. Přední stěna prvku je rozdělena podélnou štěrbinou. Dutina uvnitř prvku vyplněna minerální vatou. Akustický prvek absorbuje zvuk na nízkých kmitočtech.

**Rozměry a tvar panelu:** (1200 x 600 x 192) mm, pravoúhlý hranol, na čelní straně s laděnou podélnou štěrbinou.

**Barevné řešení:** Standardně laminace dle vzorníku laminací, lze dodat i v dýhovaném provedení podle požadavku.

**Rezonátory instalované na stěně**

