

Návrh řešení akustiky interiéru

Název zakázky: Dostavba kampusu LF a FZV UP v Olomouci, ul. Hněvotínská

Objednatel: Ateliér Velehradský, s.r.o.
Libušino údolí 76
623 00 Brno

Číslo objednávky:

Číslo zakázky: 200424

Vypracoval: Ing. Petr Škeřík

Datum vydání: 21. srpna

Celkový počet stran: 13

Dokument nesmí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukován jinak než celý.

1. Úvod

Tato zpráva obsahující návrh akustických opatření s cílem optimalizace doby dozvuku byla vypracována na základě objednávky společnosti Ateliér Velehradský, s.r.o. Zakázka je vedena pod číslem 200424.

Jedná se o novostavbu auly v kampusu LF a FZV UP, kde byl řešen návrh prostorové akustiky pro dosažení optimální doby dozvuku v souladu s ČSN 730527, ČSN 730525. Akustická studie je součástí projektové dokumentace vypracované společností Ateliér Velehradský, s.r.o.

Akustická studie slouží pro potřeby objednatele a investora. Bez odsouhlasení všemi dotčenými stranami nemůže být využita k jiným účelům nebo poskytnuta nezúčastněným osobám.

2. Použitá metodika a související předpisy, literatura

- 1 Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- 2 Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů
- 3 ČSN 73 0527: Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely, ČNI, březen 2005
- 4 ČSN 73 0525: Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady; únor 1998.
- 5 ČSN EN ISO 3382-1: Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči, ÚNMZ, Prosinec 2009
- 6 ČSN EN ISO 3382-2: Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech, ÚNMZ, Únor 2009
- 7 Výkresová dokumentace včetně vizualizace poskytnutá společností Ateliér Velehradský, s.r.o.
- 8 Výpočetní program pro výpočet doby dozvuku EASE Standard, verze 4.4 včetně modulu AURA 4.0.
- 9 Stavební fyzika1 - Urbanistická, stavební a prostorová akustika, Vaverka, Kozel, Ládyš, Liberko, Chybík, VUT v Brně, 1998.
- 10 Vyhláška č. 343/2009 ze dne 25. září 2009, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb.
- 11 Architectural Acoustics, Marshall Long, Elsevier Inc, 2006

3. Seznam použitých symbolů a zkratek

f [Hz]	kmitočet
T [s]	vypočtená doba dozvuku
T_o [s]	optimální doba dozvuku
V [m ³]	objem místnosti
NV	nařízení vlády

4. Návrh řešení prostorové akustiky

Výpočty doby dozvuku byly provedeny v programu EASE⁸ a to pro obsazený stav, kde je uvažováno s obsazením 80% celkového počtu poslechoových míst (385 osob).

Optimalizace doby dozvuku byla provedena v souladu s ČSN 730527 a ČSN 730525.

4.1. Požadavky uvedené v ČSN 730527

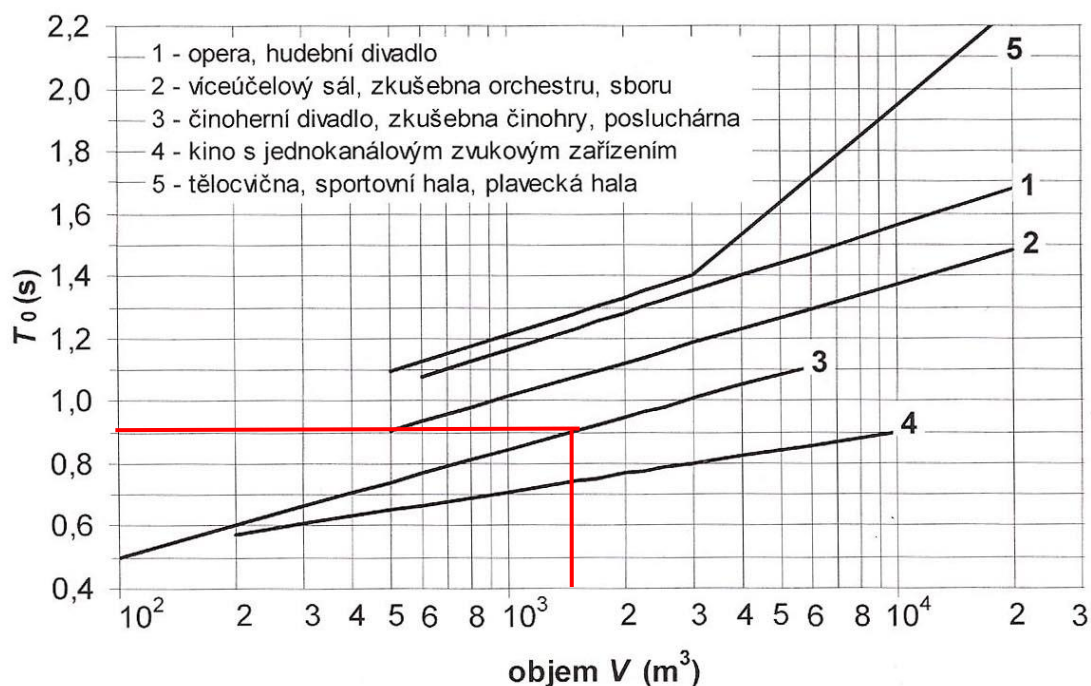
Norma ČSN 73 0527 uvádí zásady pro projektování a realizaci uzavřených prostorů pro kulturní účely, prostorů ve školách a prostorů pro veřejné účely. Platí pro nově zřizované, rekonstruované nebo adaptované prostory, v nichž kvalita poslechoových podmínek či akustická pohoda hraje významnou roli. Rozhodujícím krokem pro vytvoření příznivých akustických poměrů v uzavřeném prostoru je dosažení optimální doby dozvuku, resp. poměru T/T_0 odpovídající danému účelu prostoru.

Norma ČSN 73 0527 doporučuje pro posluchárnu o objemu cca 1540 m³ optimální dobu dozvuku (pro kmitočet 1 kHz a obsazený stav sálu) $T_0 = 0,9$ s, viz graf 4.1 (křivka 3).

Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma je u využití sálu pro řeč znázorněno v grafu 4.2.

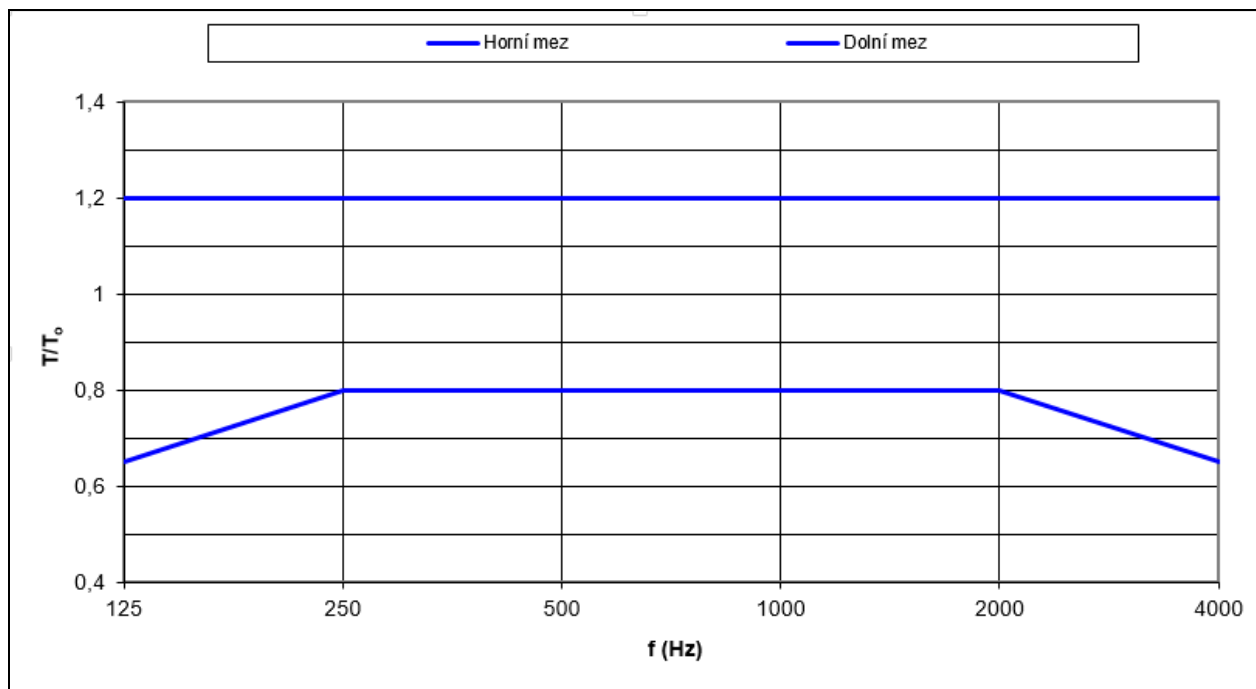
Graf 4.1 Optimální doba dozvuku T_0 v závislosti na objemu V (m³) a využití sálu

Grafy pro kontrolu doby dozvuku



Pozn.: pro křivku 3 platí závislost: $T_0 = 0,3424 \cdot \log V - 0,185$ pro rozsah $V = 100$ až 6000 m³.

Graf 4.2 Přípustné rozmezí T/T_0 obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma

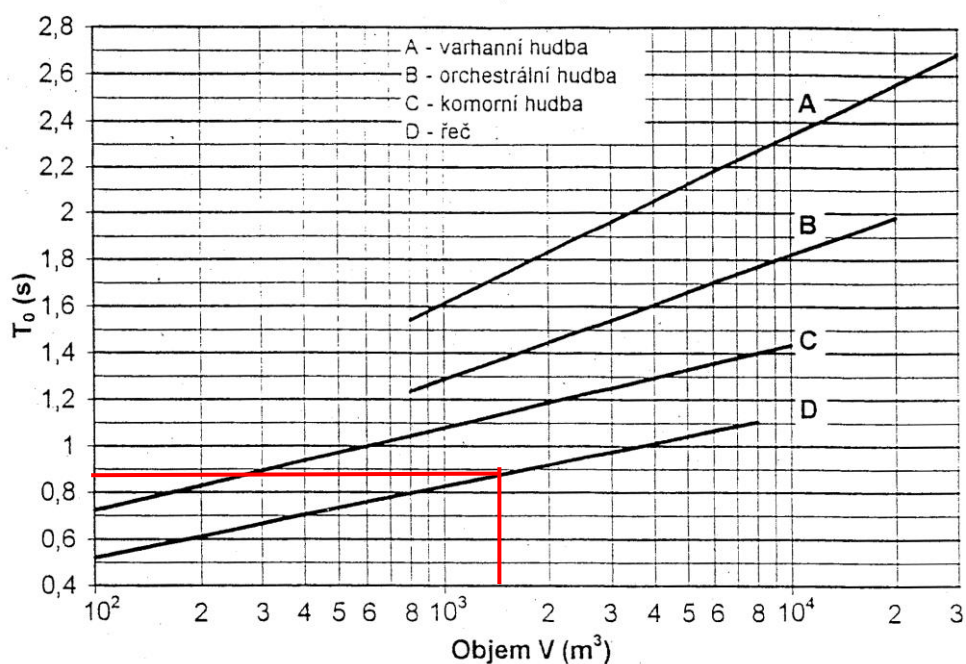


4.2. Požadavky uvedené v ČSN 730525

Norma ČSN 73 0525 uvádí obecné zásady pro projektování akustiky uzavřených prostorů, určených k poslechu hudby a řeči v nově budovaných nebo rekonstruovaných objektech.

Norma doporučuje optimální doby dozvuku pro různá využití sálu, viz na graf 4.3.

Graf 4.3 Optimální doba dozvuku T_0 v závislosti na objemu V [m³] a využití sálu



Norma ČSN 73 0525 doporučuje u prostoru o objemu 1540 m^3 , který je využíván především pro řeč, optimální dobu dozvuku (pro kmitočet 1 kHz a obsazený stav sálu) $T_0 = 0,88 \text{ s}$, viz graf 4.3.

Posuzovaná přednášková místnost o objemu 1540 m^3 bude využívána především pro mluvené slovo, optimální doba dozvuku je $0,9 \text{ s}$.

5. Výpočty doby dozvuku - návrh akustických úprav ploch sálu

K výpočtu doby dozvuku a návrhu obkladových akustických materiálů byl použit výpočetní program pro modelování v oboru prostorové akustiky EASE⁸. Podle dodané výkresové dokumentace byl na počítači vytvořen zjednodušený 3D model řešené učebny.

5.1. Podmínky výpočtu

Prostor je optimalizován, jak stanovují normy, pro obsazený stav. Ve výpočtu je uvažováno s 80-ti % obsazením poslechových míst, tj. 308 posluchačů z celkového počtu 385. Posluchači budou sedět na židlích s čalouněnou opěrkou, viz dále.

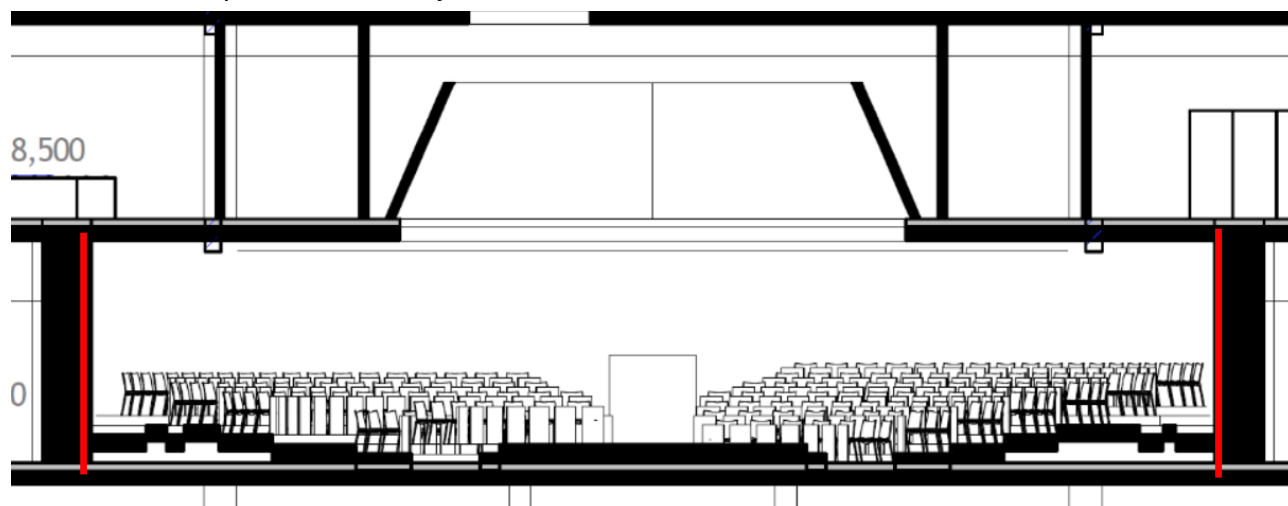
5.2. Návrh materiálů a konstrukcí pro dosažení optimální doby dozvuku

Pro dosažení optimální doby dozvuku **$T_0 = 0,9 \text{ s}$** byly navrženy úpravy ohraničujících ploch přednáškové místnosti popsané níže.

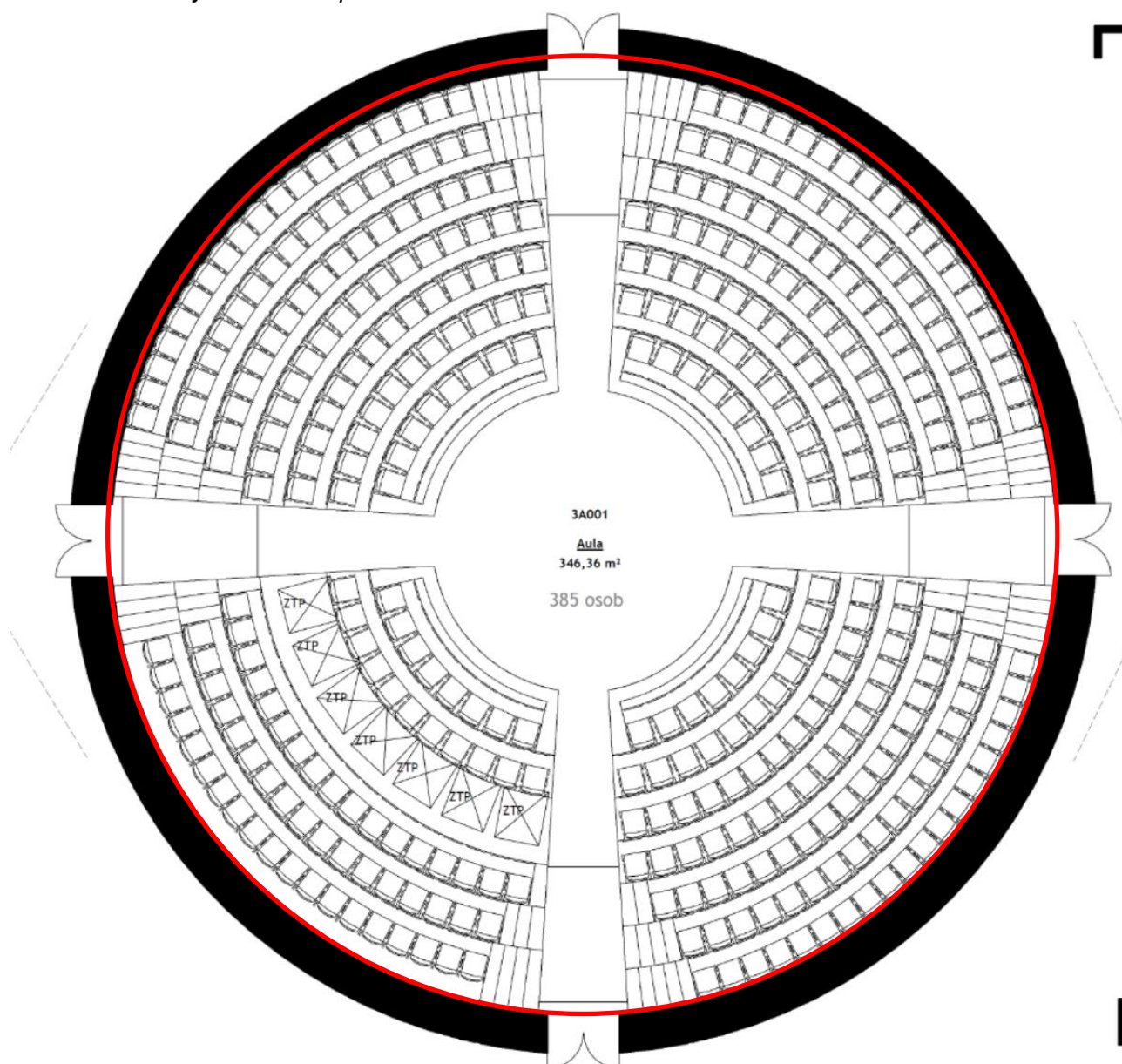
5.2.1. Stěny místnosti

Jedná se o rotačně symetrický válcový prostor, který má střed křivosti v místě přednášejícího (řečníka), viz obr. 5.1 a 5.2, což je z pohledu akustiky nejméně vhodné řešení (odraz zvuku od stěny zpět k přednášejícímu). Z tohoto důvodu byla na stěně navržena periodická struktura tvaru trojúhelníku (viz obr. 5.3 a 5.4), která odráží zvuk mimo prostor pobytu přednášejícího a současně částečně rozptyluje zvuk. Předstěny budou zhotoveny ze sádrovláknitých desek tl. 12,5 mm o objemové hmotnosti 1100 až 1200 kg/m^2 (minimální plošná hmotnost desek 10 kg/m^2). Za SDV deskami bude ve vzduchové mezeře umístěna minerální vata tl. 80 až 100 mm o objemové hmotnosti 60 až 90 kg/m^3 .

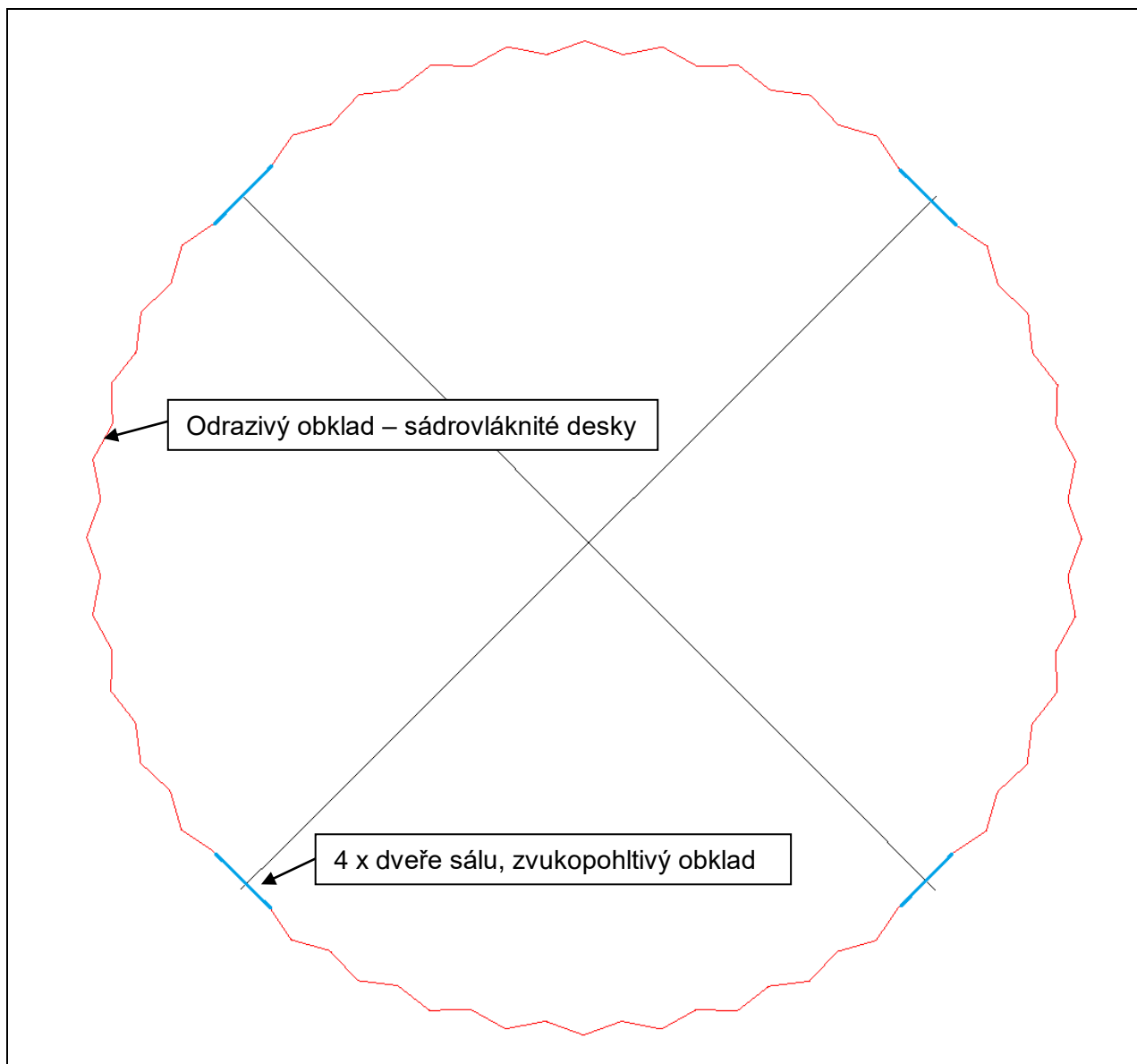
Obr. 5.1 Boční pohled na řešený sál, řez



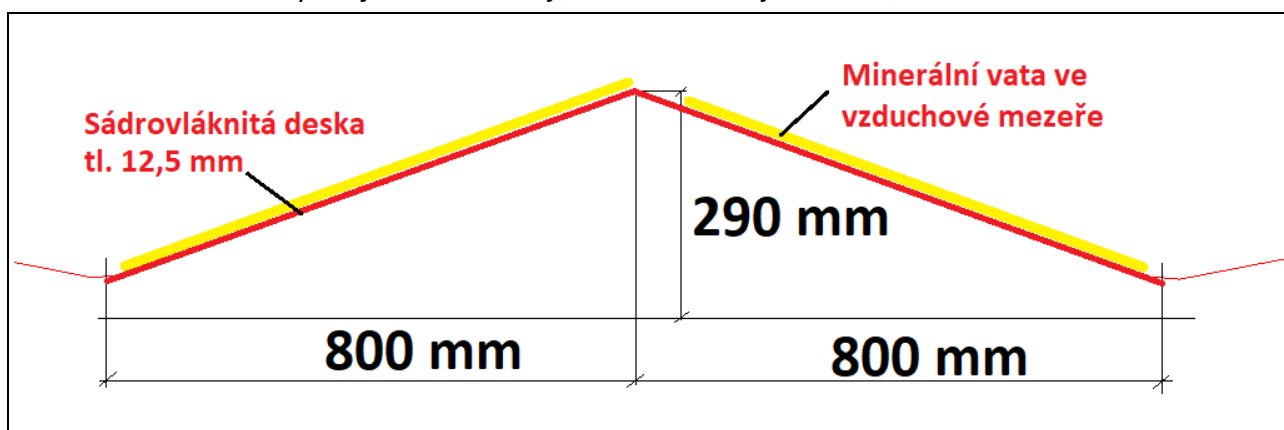
Obr. 5.2 Půdorys řešeného přednáškového sálu.



Obr. 5.3 Řešení reliéfu stěn.



Obr. 5.4 Geometrie opakující se struktury, hloubka šachty 290 mm, délka 1600 mm.



5.2.2. Strop místnosti

Strop místnosti je tvořen třemi částmi.

První snížená část stropu plynule navazuje na periodickou strukturu na stěně, která je tvořena sádrovláknitými deskami tl. 12,5 mm. Periodická struktura se směrem k promítacímu plátnu zmenšuje z důvodu navázání na menší poloměr. Přejít periodické struktury ze stěny na strop je řešen zaoblením - čtvrtkruhem o poloměru 1 m. Vzhledem k malé vzdálenosti středu křivosti přechodu a reliéfu struktury nebude tento oblouk negativně ovlivňovat akustiku místnosti. První snížená část stropu (odrazivý obklad, viz obr. 5.5) je tedy ze stejného materiálu jako stěna, tj. sádrovláknitá deska tl. 12,5 mm o objemové hmotnosti 1100 až 1200 kg/m³ (minimální plošná hmotnost desek 10 kg/m²). Za deskami SDV, ve stropní části, není umístěna minerální vata ve vzduchové mezeře podhledu.

Druhá část stropu je určena pro promítání obrazu (promítací plátno). Třetí nejvyšší část stropu je využita k instalaci dataprojektorů. Zvýšená druhá i třetí část stropu by měla být provedena ve zvukopohltivém provedení, viz obr. 5.5 (zeleně) a to z důvodu velkého zpoždění signálu při násobném odrazu, který v horním „promítacím“ prostoru nastává (rušivé echo). Materiál použitý na druhou a třetí část stropu musí splňovat minimálně* následující hodnoty činitele pohltivosti α (-):

Tab. 5.1 Zvuková pohltivost materiálu použitého na 2 a 3. části stropu.

f/Hz	125	250	500	1k	2k	4k
činitel pohltivosti α (-)	0,4	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8

* minimálně znamená hodnoty stejné nebo vyšší než jsou uvedeny v tabulce.

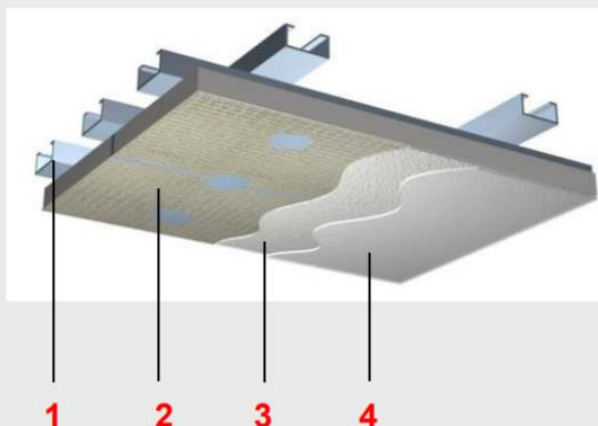
Pro dosažení zvukové pohltivosti uvedené v tab. 5.1 lze použít např. následující skladby:

- Bílý bezesparý podhled STOSilent distance, zhotovený z desek STOSilent Board 110, s minerální vatou tl. 30 mm, $\alpha_w = 0,8$, www.sto.cz

StoSilent Distance



1. nosná konstrukce
2. akustická deska
3. základní akustická omítka
4. vrchní akustická omítka

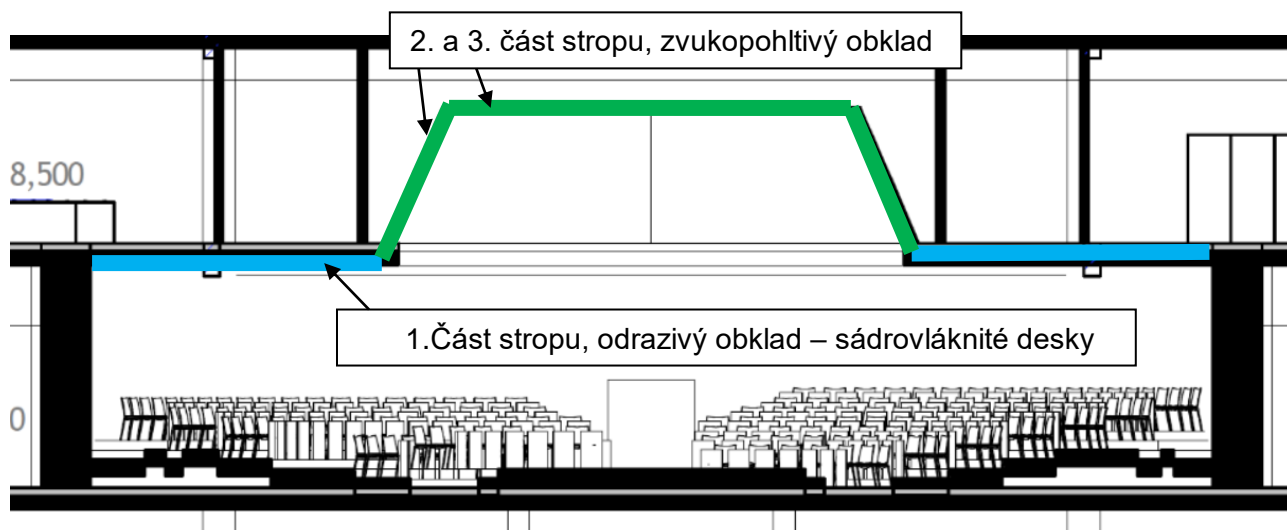


Přednosti:

- **bezespará** instalace do 200m²
- v závislosti na systémových variantách vhodný i do vlhkých prostor
- povrchové úpravy: StoSilent Top Basic, StoSilent Top Finish, StoSilent Decor M, StoSilent Decor MF

- Alternativní obklad zhotovený z krycí textilie, perforovaného plechu, minerální vaty a pomocných C profilů. Vyrovnávací C profily se připevní stejně jako v předchozím případě k betonové stěně. K profilům se připevní minerální vata tl. 50 mm (obj. hm. 60 až 80 kg/m³), která je překryta perforovaným plechem (perforace 30%) tl. 0,7 až 0,8 mm a dále krycí bílou průzvučnou textilií, která bude sloužit jako promítací plátno.
- Jakýkoliv minerální kazetový podhled v bezspárém provedení (se skrytou hranou), který splní požadavky uvedené v tab. 5.1.

Obr. 5.5 Znáznornění řešení stropu.



Obr. 5.6 Vizualizace⁷ prostoru.



5.2.3. Podlaha místnosti

Kruhové pódium uprostřed přednáškové místnosti, včetně čtyř příchozích uliček, bude dřevěné s nášlapnou vrstvou – ve výpočtu je uvažováno se zátěžovým kobercem (jekor). Ze stejného materiálu budou i průchozí uličky mezi řadami sedadel.

5.2.4. Vybavení místnosti

Sedadla

Vzhledem k tomu, že je řešená místnost kruhová, se středem křivosti v prostoru přednášejícího, je zapotřebí zamezit odrazům od opěradel sedadel. Tato podmínka bude splněna použitím čalouněných sedadel (uvažováno ve výpočtu), viz obr. 5.7.

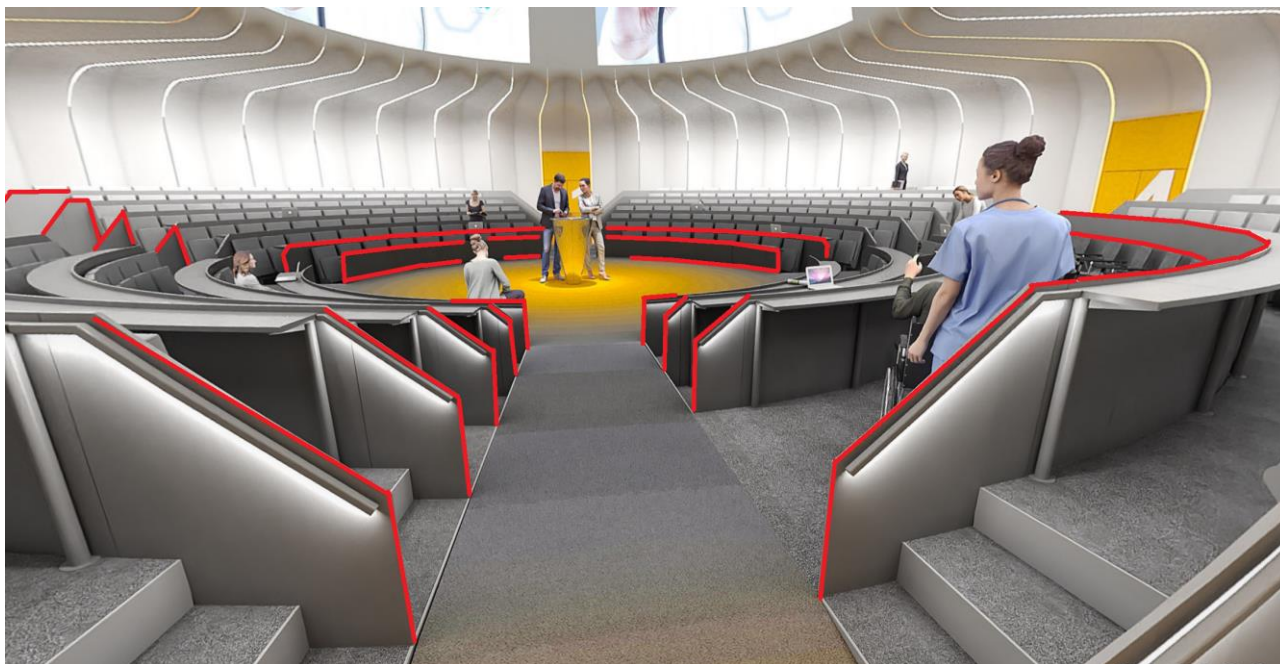
Obr. 5.7



Stoly

Přední část stolů (viz obr. 5.8) musí být stejně jako sedačky ve zvukopohltivém provedení a to z důvodu zamezení nežádoucích odrazů směrem k přednášejícímu. Toho lze dosáhnout čalouněním odrazných ploch (uvažováno ve výpočtu), případně osazením ploch rozptylovými prvky, viz obr. 5.9. Další možností je natočení těchto desek o 10° (a více) vzhledem k podlaze sálu.

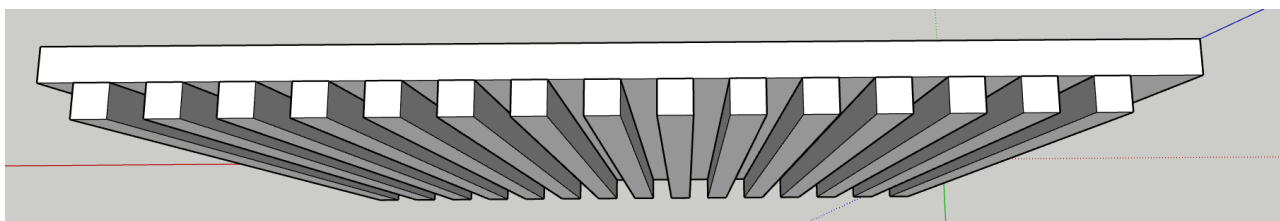
Obr. 5.8. Vyznačení předních odrazných ploch stolů určených k akustické úpravě (čalounění).



Dveře

Čtvery vstupní dveře by měly být ideálně v čalouněném provedení (uvažováno ve výpočtu), aby neodrážely zvuk směrem k přednášejícímu. Alternativně lze provést dveře ze zvukoodrazivého materiálu (např. dřevo) s tím, že křídla dveří musí být proti sobě natočena o stejný úhel jako v případě periodické struktury ze sádrovláknitých desek, viz obr. 5.4. Další možnost je připevnit na vnitřní stranu křídel dveří (směrem do řešeného sálu) strukturu rozptylující zvuk – např. vertikální hranoly 5x5 cm s mezerou 5 cm, viz obr. níže.

Obr. 5.9



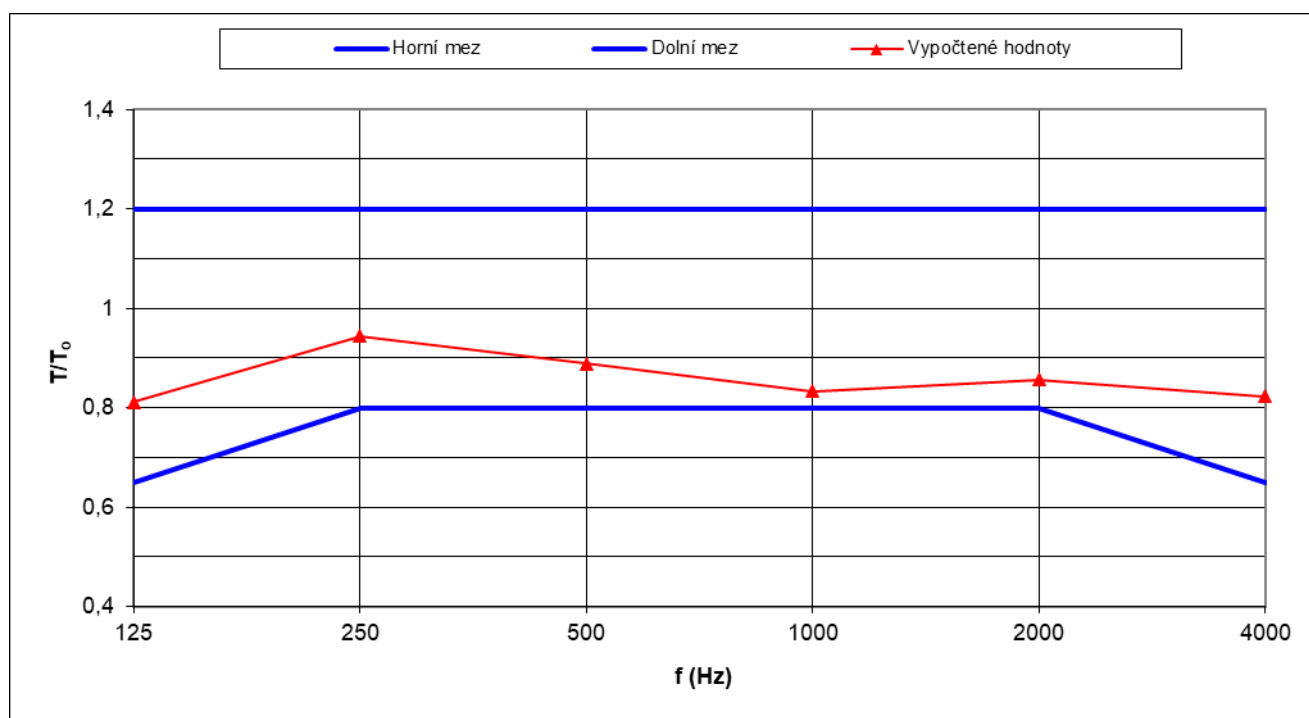
5.3. Výsledky výpočtů

Po realizaci akustických opatření popsaných v kap. 5 lze očekávat v předmětném prostoru průběh doby dozvuku, resp. poměru dob dozvuku T/T_0 , uvedený v tab. 5.2 a v grafu 5.1. Hodnoty byly vypočteny modulem AURA (hybridní metoda Cone tracing a Ray Tracing) v programu EASE[®].

Tab. 5.2 Tabulka vypočtených poměrů T/T_0 ($T_0 = 0,9 \text{ s}$), obsazený stav (80%), stav po navržených akustických úpravách

f/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Horní mez T/T_0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Dolní mez T/T_0	0,65	0,8	0,8	0,8	0,8	0,65
Vypočteno T/T_0	0,81	0,94	0,89	0,83	0,86	0,82

Graf 5.1 Předpokládaný průběh T/T_0 , obsazený stav, po navržených akustických úpravách včetně přípustného rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0



6. Závěr

Předkládaná akustická studie obsahuje návrhy řešení vyplývajících z podrobných výpočtů a požadavků uvedených v ČSN 730527 a ČSN 730525. Návrh akustických materiálů a prvků směřoval k primárnímu využití pro mluvené slovo s optimální dobou dozvuku $T_0 = 0,9 \text{ s}$. Akustické podmínky v prostoru, určené poměrem T/T_0 , jsou záměrně optimalizovány tak, aby se vypočtený poměr T/T_0 pohyboval u dolní meze přípustného rozmezí T/T_0 (viz graf 5.1).

To je výhodné ze dvou důvodů:

- 1) V případě menšího obsazení prostoru posluchači (uvažováno 80% kapacity sálu, viz normativní požadavky v kap. 5.1) lze očekávat, že se bude doba dozvuku, resp. poměr T/T_0 , stále pohybovat pod přípustnou horní hranicí (horní mez).
- 2) V prostoru je uvažováno s použitím ozvučení (mikrofon na stole uprostřed pódia + reproduktory v podhledu), protože akustiku sálu není možné navrhnout tak, aby byly zadní řady za přednášejícím (odvrácená strana) dobře zásobovány odrazem od obklopujících povrchů – odrazná deska nad přednášejícím, případně tvarování podhledu v přední části, by omezovaly

výhledu na plátno, kde je promítán obraz. Při použití ozvučení je vhodnější stav, kdy je prostor spíše mírně přetlumen než nedotlumen.

Po realizaci akustických úprav navržených v kapitole 5 lze očekávat, že podmínky pro poslech v aule budou odpovídat požadavkům stanoveným v ČSN 730527 a ČSN 730525.

Při použití jiných materiálů a akustických prvků, než se kterými je počítáno v této studii, doporučujeme situaci konzultovat s akustikem.

V Brně dne 21. srpna 2020

Ing. Petr Škeřík

 **AKSON, s.r.o.**
Třešťov 3, 569 33
IČO 27548082 DIČ CZ27548082

