

Název záměru: **MORAVIAN SCIENCE CENTER**

Adresa záměru: Výstaviště 1, pavilon D
647 00 Brno

Stupeň dokumentace: DOKUMENTACE PRO PROVEDENÍ STAVBY

Část dokumentace: **AKUSTICKÁ STUDIE**

Objednatel:

	K4 a.s. Kociánka 8/10 612 00 Brno	Zástupce firmy: Ing. Bc. Jiří Heisl tel.: 541 126 622 GSM: 603 581 577 fax: 541 126 610 e-mail: projekt_0837@k4.cz
---	--	---

Zpracovatel části:

	Radek Sikora Palkovice 171 739 41 Palkovice	GSM: 777 626 915 e-mail: sikec@elektroakustika.cz web: www.elektroakustika.cz
---	---	---

Zpracoval:		Datum:	Výtisk č.:
Radek Sikora		leden 2011	

OBSAH

1. ZADÁNÍ	3
2. POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA.....	3
3. SPECIFIKACE SÁLŮ	4
3.1 DIVADLO VĚDY	4
3.2 MULTIFUNKČNÍ SÁL.....	5
4. POŽADOVANÉ HODNOTY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ	6
4.1 DOBA DOZVUKU.....	6
4.2 ROZLOŽENÍ HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU.....	6
4.3 SROZUMITELNOST	6
5. AKUSTICKÉ ÚPRAVY	7
5.1 STĚNY	7
5.2 STROPY.....	9
5.3 VÝMĚRY AKUSTICKÝCH MATERIÁLŮ.....	9
6. VÝSLEDNÉ HODNOTY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ	11
6.1 DOBA DOZVUKU.....	11
6.2 HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU	13
6.3 SROZUMITELNOST ŘEČI	15
7. ZÁVĚR.....	17

1. ZADÁNÍ

Dokumentace byla vypracována na základě objednávky firmy K4 a.s. Obsahuje návrh řešení prostorové akustiky dvou sálů v modernizovaném objektu Moravian Science Center Brno na brněnském výstavišti. Jde o tyto sály: Science Theater (m. č. 1.35) a multifunkční sál (m. č. 3.10). Dokumentace slouží jako podklad pro projektanta interiéru.

2. POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA

- [1] Rozpracovaná projektová dokumentace pro provedení stavby z ledna 2011 zpracovaná Ing. Markem Svobodou.
- [2] Databáze zvukoabsorpčních parametrů stavebních materiálů a konstrukcí pro software EASE 4.1.
- [3] ČSN 73 0525 – Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Všeobecné zásady.
- [4] ČSN 73 0527 – Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely. (Březen 2005)
- [5] Vaverka, J. a kolektiv; Stavební fyzika 1 - Urbanistická, stavební a prostorová akustika.
- [6] Halahyja, M.; Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie.
- [7] Kolmer, F.; Prostorová akustika.
- [8] Vlachý, V.; Praxe zvukové techniky.
- [9] Merhaut, J. a kolektiv; Příručka elektroakustiky.

3. SPECIFIKACE SÁLŮ

3.1 DIVADLO VĚDY

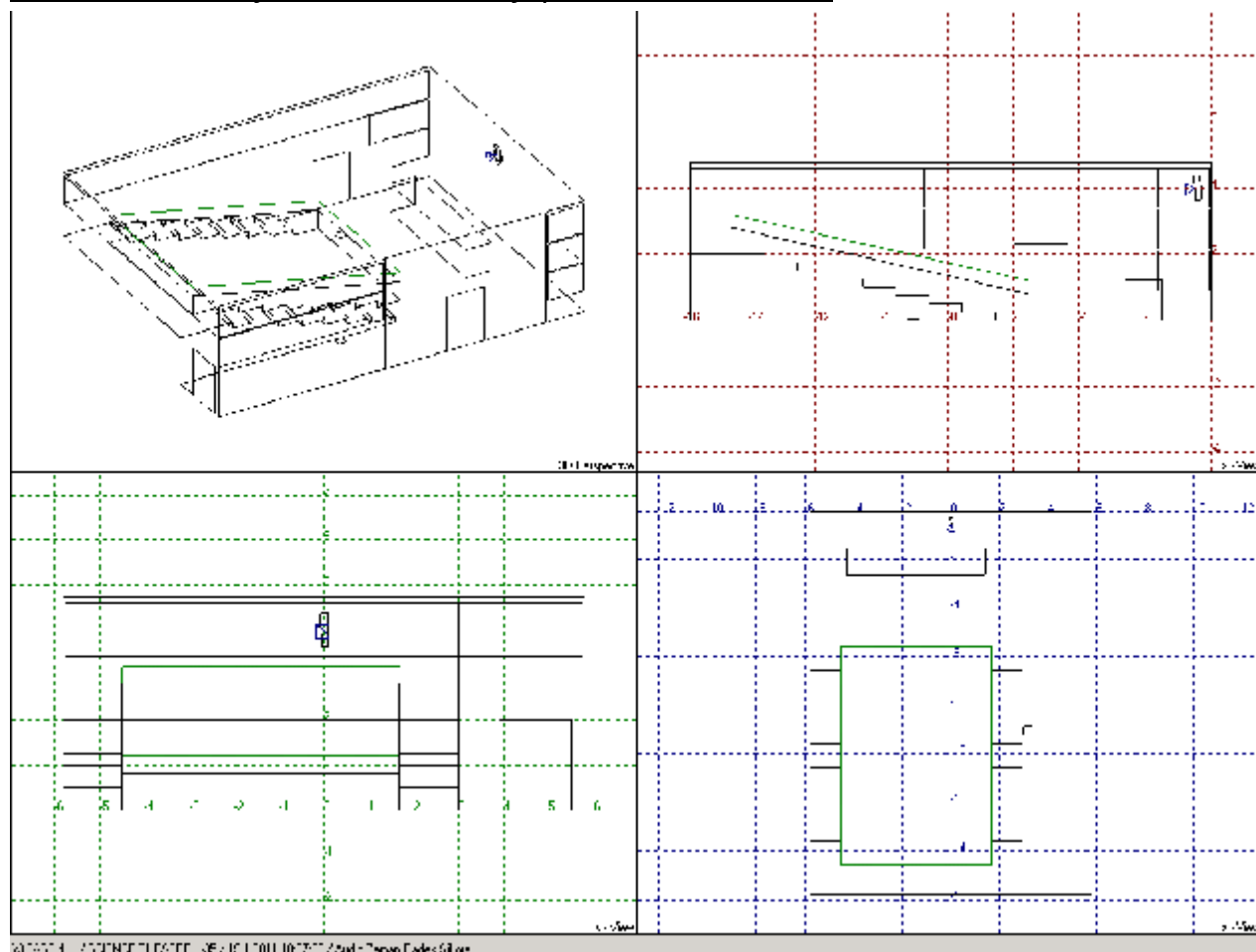
Science Theater, divadlo vědy (m. č. 1.35) je uzavřeným prostorem tvaru kváдру. Základní rozměry sálu jsou $15\,800 \times 11\,580 \times 4\,750$ mm (D $\times$ Š $\times$ V). Objem sálu je 750 m^3 .

Sál bude sloužit k přednáškám, prezentacím chemických a fyzikálních pokusů a filmovým projekcím. Pult přednášejícího je před čelní stěnou sálu (na které bude také umístěno promítací plátno). Přednášející bude elektroakusticky přizvučován.

Hlediště má elevaci.

Podlaha sálu bude litá, stěny jsou zčásti zděné, zčásti sádkartonové. Část stěny kolem vstupních dveří v pravé boční stěně je prosklená. Stropní podhled je uvažován rastrový s minerálními deskami.

Obr. 1: Matematický model divadla vědy, průhledové zobrazení.



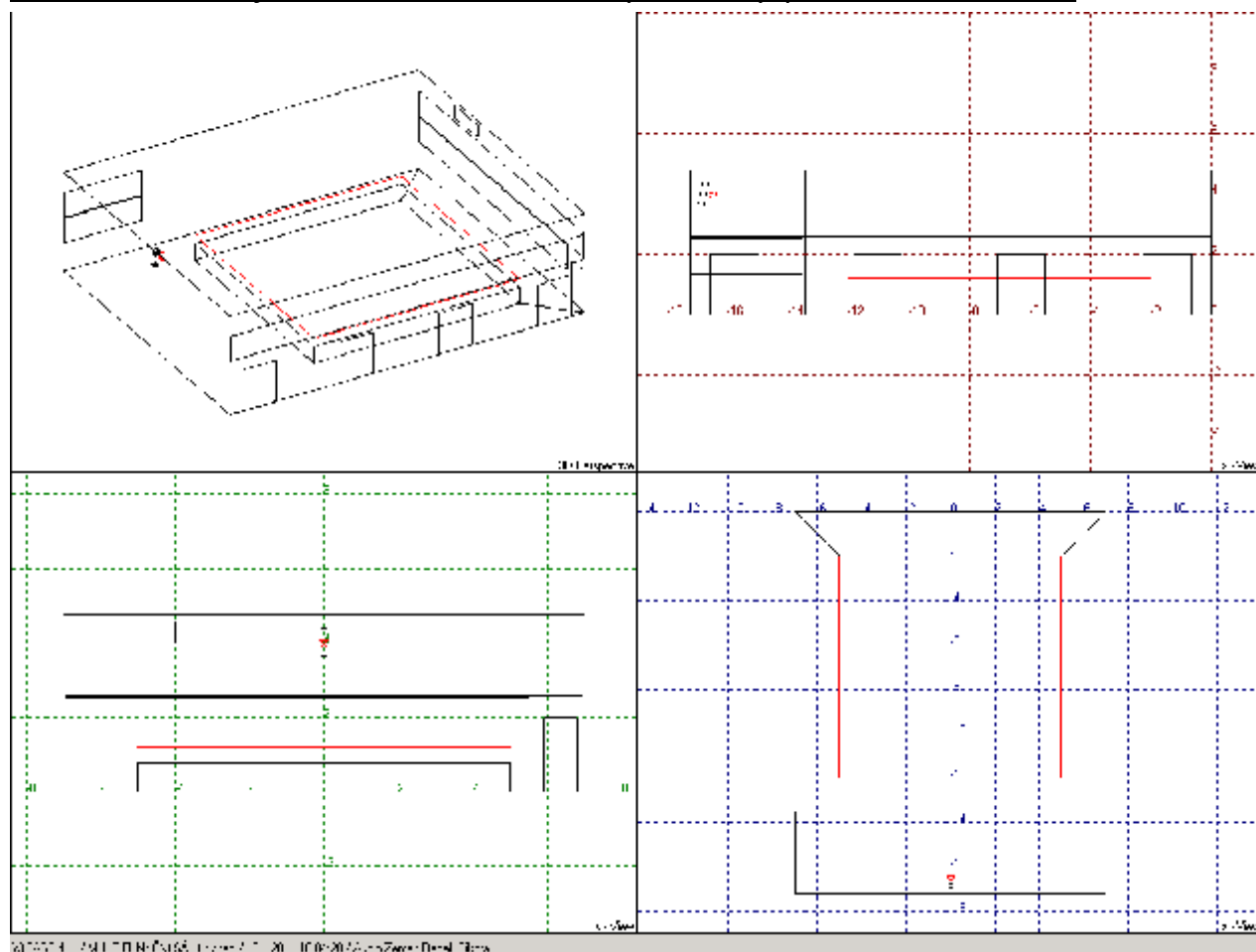
3.2 MULTIFUNKČNÍ SÁL

Multifunkční sál (m. č. 3.10) je má základní rozměry 17 250 × 14 000 × 4 800 (objem 1100 m³).

Podlaha sálu je vodorovná, není zde elevace a rozmístění míst v sále není jednoznačné. Sál bude sloužit opět zejména k přednáškám a video prezentacím. Použité materiály v interiéru jsou obdobné jako u divadla vědy (omítky, SDK, prosklení, podhled).

Sál bude možné přibližně v polovině délky přepažit pohyblivou příčkou.

Obr. 2: Matematický model multifunkčního sálu (m. č. 3.10), průhledové zobrazení.



Poznámka: V obrázcích jsou patrné zeleně, resp. červeně ohraničené poslechové plochy, které budou použity ve výpočtech. Leží ve výšce 120 cm nad podlahou auditoria, tedy přibližně ve výšce uší sedících posluchačů.

Akustické parametry jsou zjišťovány pomocí zkušební reproduktorové soustavy, která je umístěna na čelní stěně v modelech obou sálů. Použita byla sloupová reprosoustava Dynacord CPS 320, nastavená na hladinu akustického tlaku 100 dB/1m.

4. POŽADOVANÉ HODNOTY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ

4.1 DOBA DOZVUKU

Doba dozvuku T_d [s]¹ je hlavním parametrem prostorové akustiky. Je to čas, po který zvuk v prostoru doznívá poté, co byl vypnut zdroj zvuku.

Ve stadiu projektování je pro každý uzavřený prostor určena optimální doba dozvuku. Ta je závislá nejen na vnitřním objemu prostoru, ale i na způsobu využití daného prostoru. Například kinosál vyžaduje dozvuk velmi krátký, sál stejného objemu, ve kterém převažují koncerty komorní hudby vyžaduje dozvuk delší. Proto nemůže principiálně existovat jakýsi „akusticky univerzální sál“, který by vyhověl všem typům pořadů.

Optimální doba dozvuku pro divadlo vědy, kde budou probíhat filmové projekce a řečník bude elektroakusticky přizvučován, je $T_d = 0,65$ s.

Multifunkční sál by měl akusticky vyhovět zejména jako přednáškový sál, posluchárna. Optimální hodnota, předepsaná ČSN 73 0527 pro tento typ místnosti je $T_d = 0,85$ s.

4.2 ROZLOŽENÍ HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU

Kvalitní poslech vyžaduje přiměřeně hlasité a vyrovnané pokrytí poslechových ploch zvukem šířeným z prostoru jeviště. Nadměrné hladiny zvuku hrozí zejména při umístění reprosoustav do blízkosti posluchačů (první řady diváků), nedostatečné mohou být hladiny akustického tlaku v zadních částech velkých přetlumených, nebo členitých sálů. **Pokud se týká vyrovnanosti akustických hladin, nemají rozdíly v poslechové ploše vybočovat z tolerance $\Delta L = \pm 6$ dB pro žádný z uvažovaných kmitočtů.**

4.3 SROZUMITELNOST

Pro výpočty srozumitelnosti bude použita metoda „ztráty srozumitelnosti souhlásek“ - AL_{Cons} ². Výsledné hodnoty jsou udávány v procentech chybně přijatých souhlásek ze všech souhlásek vyřčených. Vztah mezi číselnými hodnotami AL_{Cons} a slovním vyjádřením kvality srozumitelnosti je uveden v následující tabulce. **Cílem je dosáhnout v poslechových plochách hodnot nižších než $AL_{Cons} = 10$ %.**

Tab. 1: Stupnice srozumitelnosti AL_{Cons} .

< 3 %	výborná
3 – 7 %	velmi dobrá
7 – 10 %	dobrá
10 – 15 %	dostatečná (zhoršená)
> 15 %	špatná

¹ V angličtině značena „RT“ (Reverberation Time)

² Articulation Loss of Consonants

5. AKUSTICKÉ ÚPRAVY

Akustické kvality uzavřeného prostoru jsou určovány vnitřními dispozicemi (objem, tvar) a akustickou pohltivostí použitých materiálů. Dispozice obou posuzovaných sálů jsou dány a nebudou měněny. Co se týká akustických materiálů, uvažoval rozpracovaný projekt stavby s osazením zvukoabsorpčního minerálního podhledu.

Tvar obou sálů je poměrně jednoduchý, strohý. Akusticky pohltivé materiály bude nutné osadit zejména na stěny sálů, aby se omezila stojatá vlnění zvuku mezi velkými rovnoběžnými plochami stěn. Navržený materiál podhledu pak bude stěnové obklady doplňovat a akustiku sálů optimalizovat.

V obou sálech je styl akustických úprav obdobný. Část plochy stěn bude obložena účinným zvukoabsorpčním obkladem a do závěsného rastru podhledu budou vkládány sádrokartonové desky.

5.1 STĚNY

Na stěny sálu bude instalován akustický obklad Ecophon Wall Panel. Jde o měkké desky na bázi lisované minerální vlny s textilní pohledovou vrstvou. Do interiéru jsou vhodné panely s povrchem, který má obchodní označení Texona. Panely s tímto potahem jsou nabízeny v několika barevných odstínech.

Co se týče způsobu montáže a rozměrů, jsou panely dodávány ve dvou variantách:

1. s viditelným rozebíratelným montážním rastrem. Rozměr panelu je 2 700×1 200×40 mm;
2. se skrytým a nerozebíratelným montážním rastrem. Panely mají poloviční šířku - rozměr jednoho panelu je 2 700×600×40 mm.

Akusticky jsou oba typy rovnocenné a výběr je na uvážení projektanta interiéru.

Panely jsou montovány pomocí profilů přímo na zeď – bez vzduchové mezery. Celková montážní tloušťka obkladu je tedy stejná jako tloušťka samotného panelu (tl. = 40 mm).

Návrh umístění je patrný z následujících obrázků (viz zelené vodorovné pruhy na stěnách). Panely nejsou v místě předpokládaného umístění promítacího plátna.

5.2 STROPY

Na strop bude instalován podhledový rastr 600 × 600 mm a do něj budou vkládány sádkartonové desky. Na části plochy podhledu budou instalovány SDK desky plné a na zbývající části plochy podhledu desky děrované, s nízkým činitelem děrování. Vhodným typem děrovaných desek je např. typ Gyptone Point 12 firmy Rigips (katalogový list Gyptone Point 12 je na následující straně).

Poznámka: Výrobce nabízí také děrované SDK desky kaširované z rubové strany textilií. Z akustického hlediska není nutné použít tento typ desek.

Děrované desky je vhodné umístit přibližně rovnoměrně v celé ploše podhledu (pravidelné, symetrické rozmístění není nutné). V divadle vědy (m. č. 1.35) doporučuji zvýšený počet děrovaných desek rozmístit při čelní stěně sálu, nad pultem přednášejícího.

Otvory v podhledu musí zůstat volně průchozí pro proudění vzduchu (a to i po finálním nátěru/nástřiku). V opačném případě se vytrácí akustická funkce podhledu.

Aby bylo co nejlépe využito akustického potenciálu SDK podhledu, je nutné do vzduchové mezery mezi podhledem a pevnou stropní konstrukcí vložit měkké zvukoabsorpční rohože z minerální, nebo skelné vlny tloušťky alespoň 40 mm (Rockfon, Nobasil, Rotaflex, Isover-Orsil, aj). Vhodné jsou materiály řidké – s nízkou objemovou hmotností.

Obr. 5: Příklad vhodného zvukoabsorpčního materiálu (Isover-Orsil, typ Orset).



Zvukoabsorpční rohože se při montáži podhledu volně pokládají shora na podhled (lépe na montážní konstrukci, nikoli přímo na SDK desky), a to jak nad plochu desek s děrováním, tak nad plochu z plných SDK desek. Zvukoabsorpční rohože není nutné instalovat celoplošně - doporučená celková výměra minerálních rohoží činí cca 50 % z celkové plochy podhledu.

5.3 VÝMĚRY AKUSTICKÝCH MATERIÁLŮ

Tab. 2: Výměry akustických materiálů.

UMÍSTĚNÍ	TYP	VÝMĚRA
Divadlo vědy (m. č. 1.35), stěny	Ecophon Wall Panel	40 - 50 m ²
Divadlo vědy (m. č. 1.35), strop (celková plocha podhledu cca 183 m ²)	SDK deska plná	cca 110 m ²
	SDK deska děrovaná	75 - 80 m ²
	rohože minerální vaty, tl. 40 mm	cca 90 m ²
Multifunkční sál (m. č. 3.10), stěny	Ecophon Wall Panel	60 - 70 m ²
Multifunkční sál (m. č. 3.10), strop (celková plocha podhledu cca 242 m ²)	SDK deska plná	cca 200 m ²
	SDK deska děrovaná	45 - 55 m ²
	rohože minerální vaty, tl. 40 mm	cca 120 m ²



Gyptone Point 12

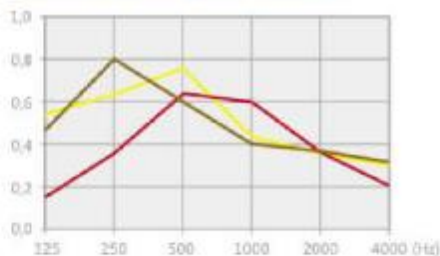
Základní vlastnosti kazet Gyptone Point 12

Rozměry kazety (š x d x tl.)	600 x 600 x 12,5 mm
Hrany kazet	A E15 D1
Děrování	pravidelné
Velikost otvorů	kruh o průměru 6,5 mm
Podíl děrované plochy	5 %
Hmotnost	cca 8 kg/m ²
Třída reakce na oheň	A2-s1,d0
Odolnost proti relativní vzdušné vlhkosti	70 %
Odrazivost světla	75 %

Umístění a velikost perforací [mm]



Číselník zvukové pohltivosti α_p



Výška světlé izolace	Minerální izolace [mm]	Číselník zvukové pohltivosti α_p /Hz						α_w	NRC	Třída zvukové pohltivosti
		250	500	1000	2000	4000				
 50	–	0,35	0,65	0,60	0,35	0,20	0,35 (M)	0,50	D	
 100	75*	0,80	0,60	0,40	0,35	0,30	0,40 (L)	0,55	D	
 200	–	0,65	0,75	0,45	0,35	0,30	0,40 (LM)	0,55	D	

Zvuková izolace mezi dvěma místnostmi se společným podhledem



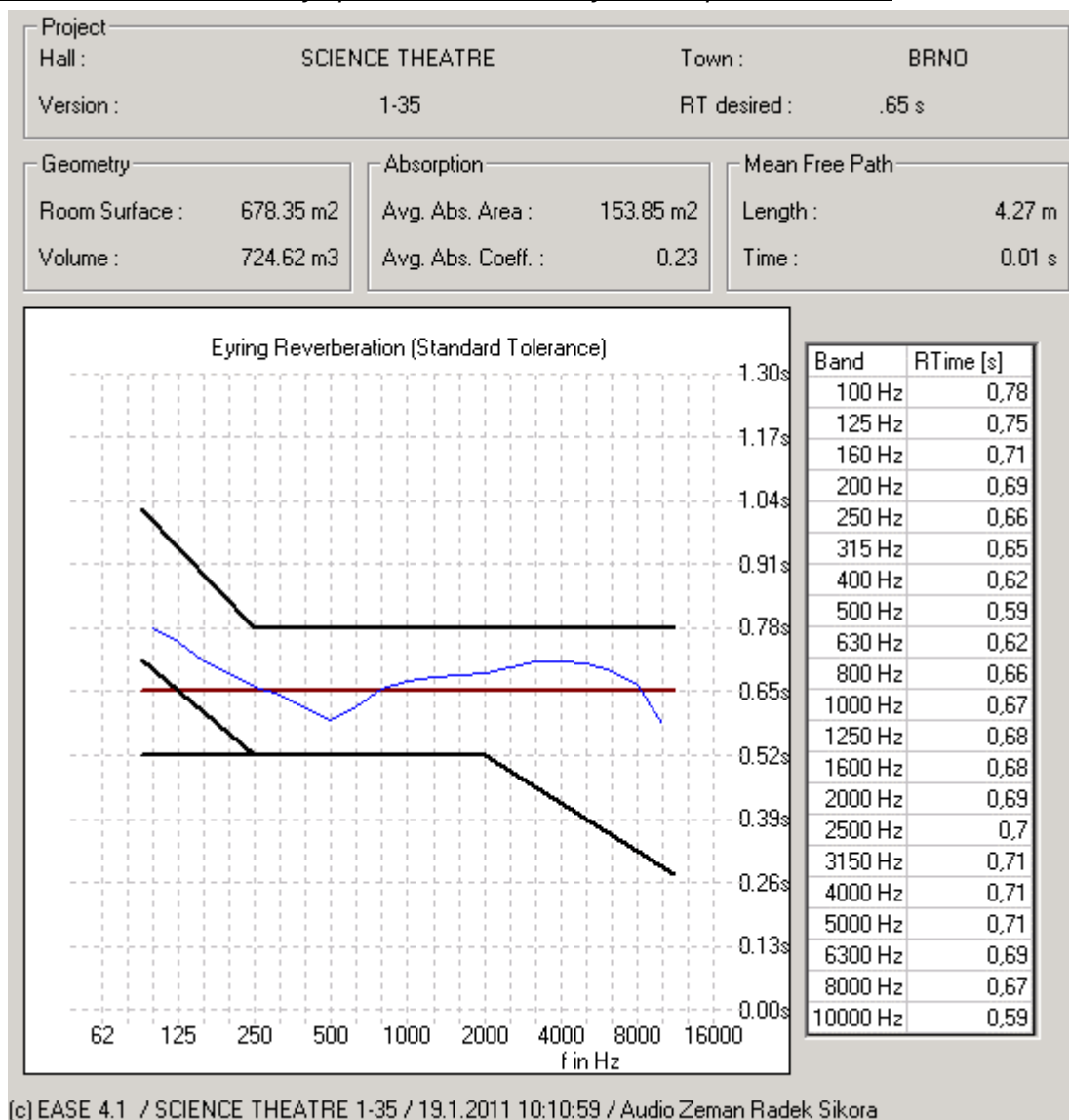
Minerální izolace [mm]	Stupeň zvukové izolace $D_{w,0}$ /Hz						$D_{w,0} (C_0, C_1)$
	125	250	500	1000	2000	4000	
100	16,60	31,00	35,90	41,50	44,90	47,00	39 (-2,-8)

6. VÝSLEDNÉ HODNOTY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ

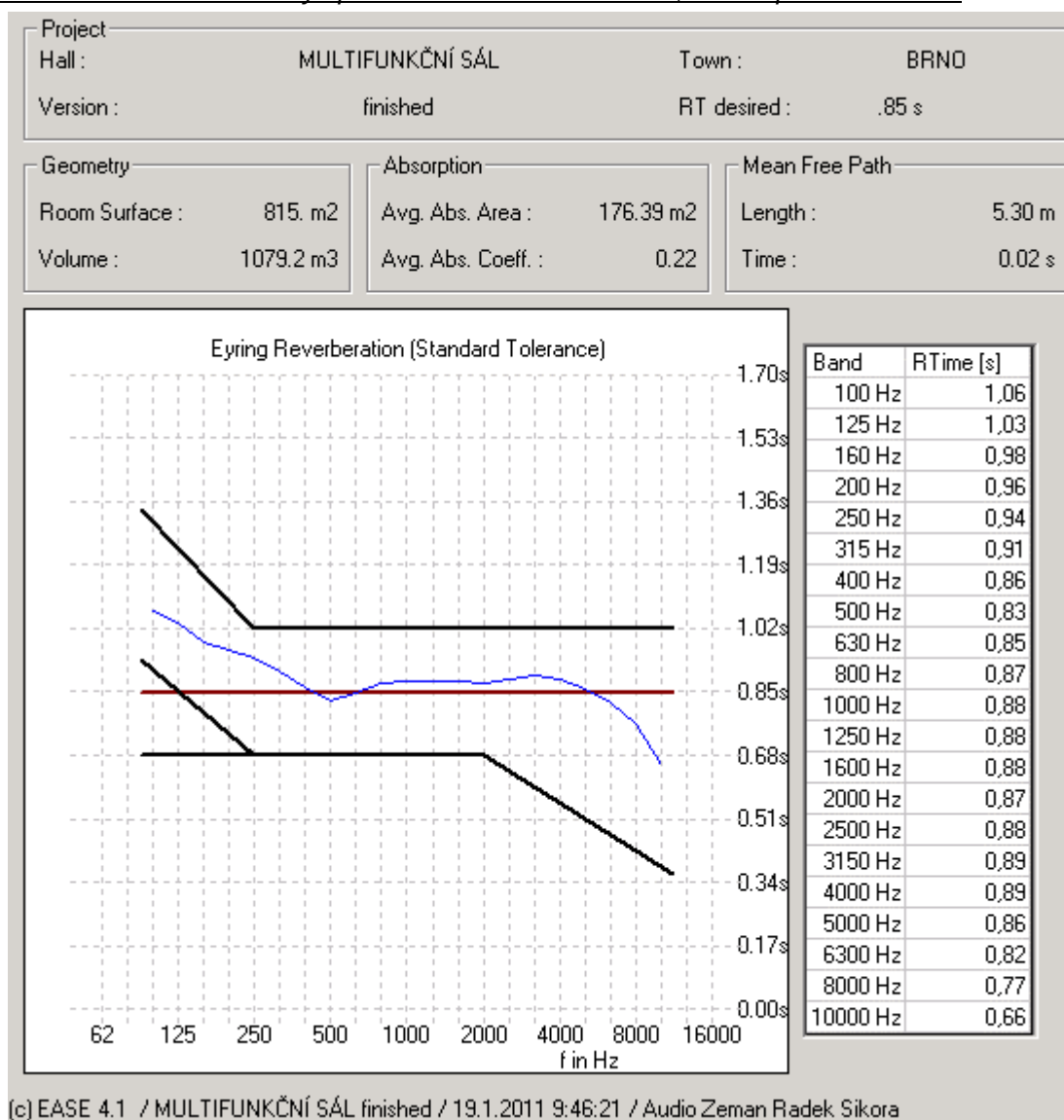
6.1 DOBA DOZVUKU

Akustické materiály v obou sálech byly navrženy tak, aby se doba dozvuku pohybovala v tolerančním poli předepsaném státní normou. Při zaplnění 80 % auditoria posluchači budou hodnoty doby dozvuku v posuzovaných sálech takové, jaké jsou v následujících dvou grafech.

Obr. 6: Doba dozvuku v akusticky upraveném divadle vědy, 80% zaplnění auditoria.



Obr. 7: Doba dozvuku v akusticky upraveném multifunkčním sále, 80% zaplnění auditoria.



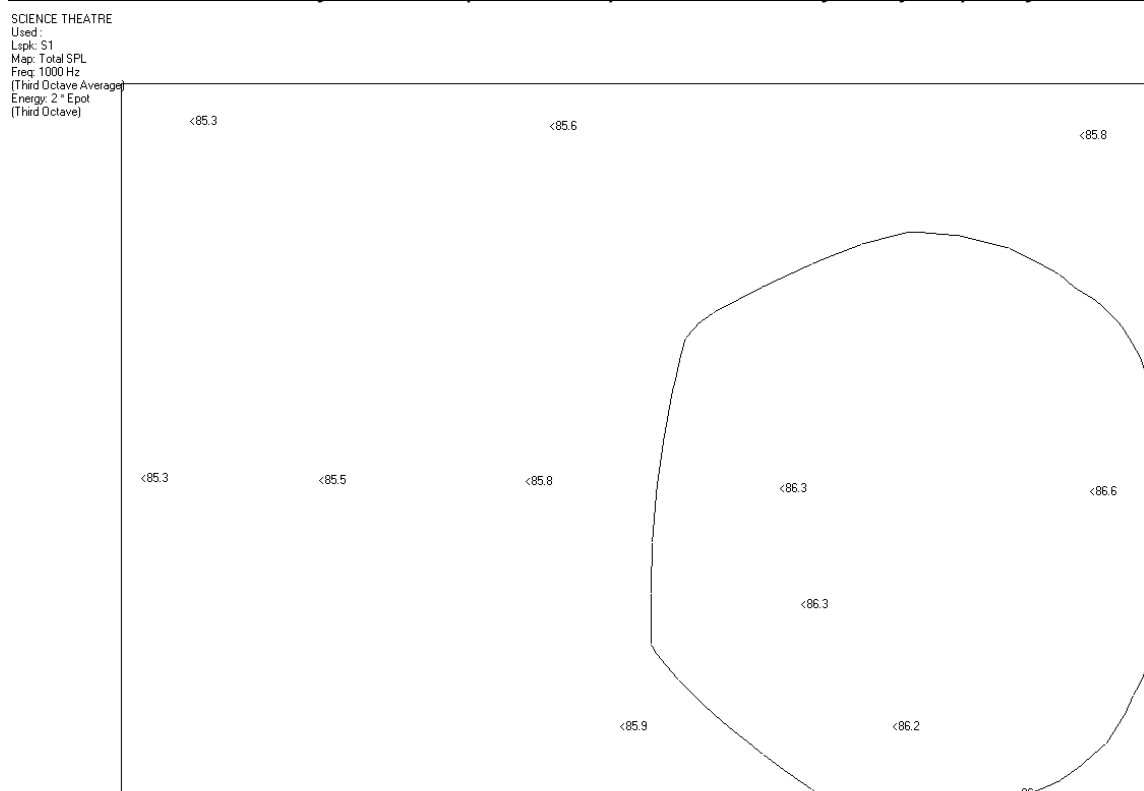
6.2 HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU

V následujícím výpočtu jsou v poslechových plochách zaznamenány efektivní hodnoty akustického tlaku (pro kmitočet 1 kHz) generovaného zkušební reprosoustavou s hlasitostí nastavenou na hodnotu 100 dB (ve vzdálenosti 1 m od reprosoustavy).

Rozdíly akustických hladin jsou v rozsahu $\Delta L=1,3 \text{ dB}$ v divadle vědy a $\Delta L=1,9 \text{ dB}$ v multifunkčním sále. Jde o rozdíly, které jsou lidským uchem prakticky nezaznamatelné. Při použití vhodných reprosoustav je úbytek zvukové energie se vzrůstající vzdáleností od zdroje velmi malý.

Poznámka: Vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v poslechových plochách sálů zmíněných v bodě 3.2. Zkušební reproduktor je (v následujících zobrazeních) v divadle vědy umístěn vpravo od poslechové plochy, v multifunkčním sále dole od poslechové plochy.

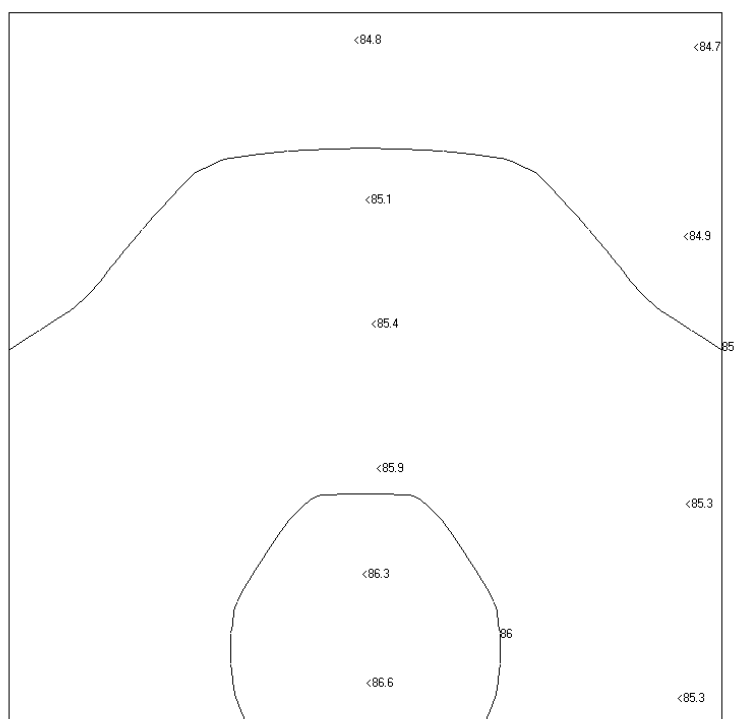
Obr. 8: Rozložení akustických hladin v poslechové ploše, divadlo vědy, zdroj – repro Dynacord CPS 320.



(c) EASE 4.1 / SCIENCE THEATRE 1-35 / 19.1.2011 10:13:47 / Audio Zeman Radek Sikora

Obr. 9: Rozložení akust. hladin v poslechové ploše, multifunkční sál, zdroj – repro Dynacord CPS 320.

MULTIFUNKČNÍ SÁL
 Used:
 Lspk: S1
 Map: Total SPL
 Freq: 1000 Hz
 (Third Octave Average)
 Energy: 2 * Epot
 (Third Octave)



(c) EASE 4.1 / MULTIFUNKČNÍ SÁL finished / 19.1.2011 9:53:51 / Audio Zeman Radek Sílora

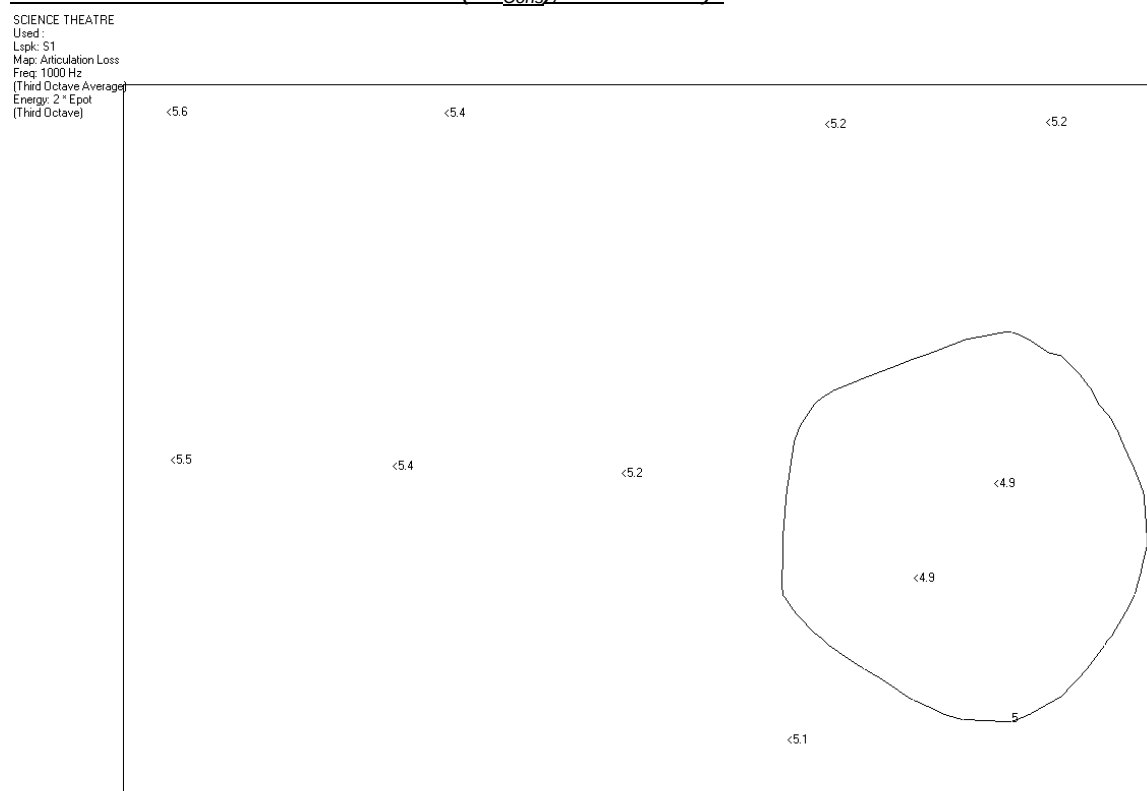
6.3 SROZUMITELNOST ŘEČI

Dosažení nízkých hodnot doby dozvuku v obou sálech (*Obr. 6* a *Obr. 7*) má přímý dopad na dobrou hláskovou srozumitelnost řeči. Výsledné hodnoty leží v pásmu „velmi dobrá“ (dle stupnice uvedené v *Tab. 1*). Platí to pochopitelně v případě kvalitní artikulace řečníkem.

Hladina hluku v hledišti (tzv. hluk pozadí) byla při výpočtu nastavena na hodnotu $L_p = 40 \text{ dB}$, která odpovídá šumu v tichém hledišti.

Poznámka: Ke zjišťování akustických parametrů v poslechové ploše je použita jediná reprosoustava. Monofoonní signál (jakým je i proslov přednášejícího) je ideální reprodukovat z jediného zdroje zvuku. Pro výslednou srozumitelnost je to optimální stav a lze tak dosáhnout nejlepších hodnot.

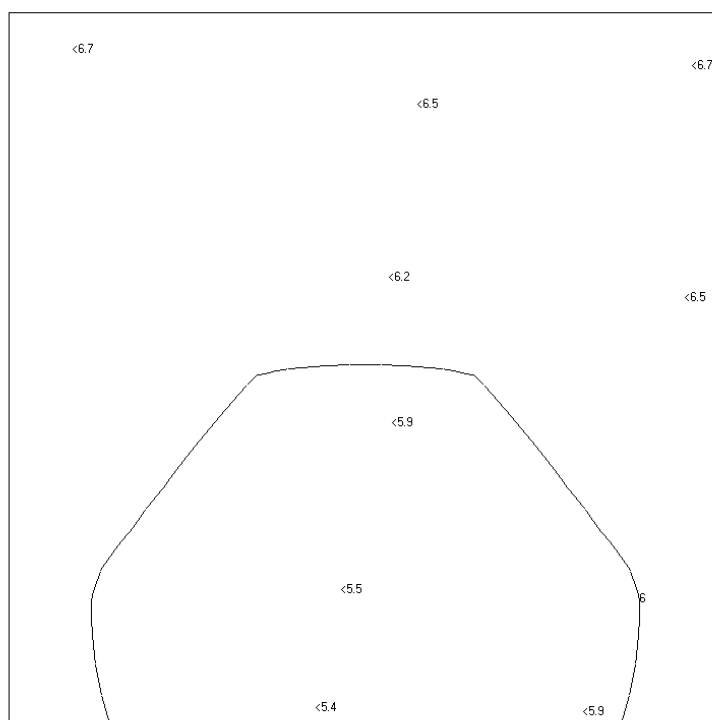
Obr. 10: Hlásková srozumitelnost řeči (AL_{Cons}), divadlo vědy.



(c) EASE 4.1 / SCIENCE THEATRE 1-35 / 13.1.2011 10:13:46 / Audio Zeman Radek Sikora

Obr. 11: Hlásková srozumitelnost řeči (ALCons), multifunkční sál.

MULTIFUNKČNÍ SÁL
Used :
Lipk: S1
Map: Articulation Loss
Freq: 1000 Hz
(Third Octave Average)
Energy: 2 * Epot
(Third Octave)



(c) EASE 4.1 / MULTIFUNKČNÍ SÁL finished / 19.1.2011 9:56:22 / Audio Zeman Radek Sikora

7. ZÁVĚR

Oba sály MSCB - divadlo vědy i multifunkční sál musí po akustické stránce vyhovět zejména pořadům přednáškového typu a filmovým projekcím. V takových sálech je zpravidla nutné značné tlumení, pohlcování zvuku v prostoru, aby slova nebyla "rozmazávána" intenzivními odrazy zvuku. Z akustického hlediska je, v našem případě, nutné zamezit odrazům od velkých rovnoběžných ploch, kterými jsou zejména svislé stěny, mezi kterými vznikají stojatá vlnění a interference značně poškozující výslednou kvalitu zvuku. Proto byly navrženy účinné akustické obklady zejména na stěny sálů.

Multifunkční sál nemá jednoznačně určeno umístění přednášejícího a orientaci auditoria, a může být mobilní příčkou rozdělen na dva menší sály. Multifunkční sál bude značně variabilní. Obklady v multifunkčním sále je nutné rozmístit rovnoměrně, aby po rozdělení mobilní příčkou v každém sále zůstala přibližně polovina akustických obkladů.

Po správné realizaci doporučených úprav budou akustické podmínky, pro dané typy pořadů, velmi kvalitní, a to v obou sálech. Upozorňuji, že výsledná kvalita zvuku a srozumitelnost řeči bude do značné míry závislá na vhodném výběru a nastavení elektroakustického ozvučovacího systému.

23. 1. 2011

Radek Sikora