



REVÍZIA AKUSTICKEJ SPRÁVY časť Priestorová akustika

Rekonštrukcia budovy Bratislavského bábkového divadla



Číslo zákazky: 13119

Objednávateľ: NIVEAU architekti s.r.o., Záborského 42, 831 03 Bratislava

Objekt: Bratislavské bábkové divadlo
Dunajská 36
811 08 Bratislava

Vypracoval: Mgr. Izabela Riečanová, PhD., MSc. Matej Žák

Kontroloval: Ing. Martin Jedovnický, PhD.

Dátum: júl 2019

Listov: -9-

Prílohy: -8-

Obsah

1.	Úvod	3
2.	Vstupné údaje a podklady	3
3.	Všeobecný popis priestorov	3
4.	Požadované akustické parametre	4
5.	Popis merania času dozvuku	6
6.	Akustické riešenia priestorov	6
6.1.	Simulačný software Odeon	6
6.2.	Akustické simulácie posudzovaných priestorov	6
6.3.	Modernizácia kultúrneho strediska	7
7.	Výsledky akustických simulácií	7
7.1.	Hlavná sála	7
7.2.	Zvuková réžia	8
8.	Záver	9

Tabuľkové prílohy

Tabuľka č. 1 Špecifikovaný výkaz výmer – hlavná sála

Tabuľka č. 2 Špecifikovaný výkaz výmer – zvuková réžia

Výkresové prílohy

01 – Pôdorys 1.NP

02 – Pôdorys stropných akustických prvkov

03 – Rez A-A'

04 – Rez B-B'

05 – Rez C-C'

06 – Zvuková réžia

1. Úvod

Predmetom revízie akustickej štúdie je sála Bratislavského bábkového divadla, ktorá je v súčasnosti podrobená modernizácii. Investorom modernizácie je Bratislavský samosprávny kraj, Sabinovská 16, P.O.Box 106, 820 05 Bratislava. V revízii je popísaný návrh akustických úprav, ktoré je potrebné vykonať pre dosiahnutie optimálnej akustiky v sále bábkového divadla po dokončení jej modernizácie. Revízia obsahuje tabuľkový popis navrhnutého riešenia priestorovej akustiky a vybrané ukážky z akustických simulácií.

Vstupným údajom pre posúdenie priestorovej akustiky sály je akustická štúdia č. 13Zak09056 vypracovaná v septembri 2012 spoločnosťou SONING Praha – centrum akustických služieb a.s.. V rámci uvedenej štúdie bolo taktiež vykonané meranie času dozvuku.

Predkladaná revízia akustickej štúdie je spracovaná na základe cenovej ponuky č. Q56/2019 zo dňa 11.6.2019 a mailovej objednávky zo dňa 12.6.2019 objednávateľa NIVEAU architekti s.r.o..

2. Vstupné údaje a podklady

- Výkresová dokumentácia objektu poskytnutá Ing. Stanislavou Tordovou z NIVEAU architekti s.r.o..
- Akustická štúdia č. 13Zak09056 vypracovaná v septembri 2019 spoločnosťou SONING Praha – centrum akustických služieb a.s. a obsahujúca výsledky merania času dozvuku.
- STN 73 0525. Projektovanie v odbore priestorovej akustiky. Všeobecné zásady. ÚNM Praha, 1964.
- STN 73 0527. Projektovanie v odbore priestorovej akustiky. Priestory pre kultúrne a školské účely. Priestory pre verejné účely. ÚNM Praha, 1972, 15 s.
- ČSN 73 0527. Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely. ČNI Praha, 2005, 16 s.
- STN EN ISO 3382-1. Akustika. Meranie akustických vlastností miestnosti. Časť 1: Sálové priestory. SÚTN, Bratislava, 2010, 26 s.
- STN EN ISO 3382-2. Akustika - Meranie akustických vlastností miestnosti. Časť 2: Čas dozvuku v typických miestnostiach. SÚTN, Bratislava, 2009, 20 s.
- BALLOU, G. M. 2002. Handbook for Sound Engineers. USA: Focal Pres, 2002.
- VIGRAN, T. E. 2008. Building Acoustics. Taylor & Francis Group, 2008. 362 pp. ISBN 0-20393131-9.
- Tomašovič, P. – Dlhý, D. – Rychtáriková, M. – Gašparovičová, V.: Akustika budov. Priestorová akustika. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2010. 287 s., ISBN 978-80-227-3235-2.

3. Všeobecný popis priestorov

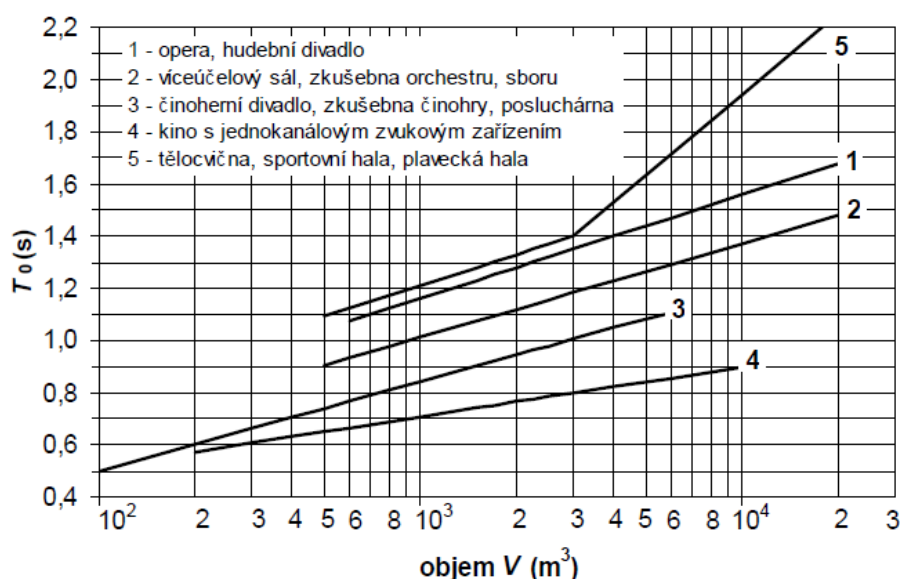
Posudzované priestory Bratislavského bábkového divadla sa nachádzajú na adrese Dunajská 36, 811 08 Bratislava. Hlavná sála divadla má pôdorysné rozmery 8,8m x 13,6m. Podlaha je tvorená schodmi, na ktorých sa bude po modernizácii nachádzať 13 radov sedadiel. Výška sály je 6,3m – 8,2m (rôzna kvôli schodom). V prednej časti sa nachádza javisko, ktoré je oproti hľadiskovej časti vyvýšené o 0,9m. Pôdorysné rozmery javiska sú 11,3m x 8,8m a jeho výška je 7,2m. Objem celého priestoru (hľadisko spolu s javiskom) je cca 1 330 m³. Pri návrhu akustiky sály sa uvažovalo s jej účelom ako činoherného divadla.

Za zadnou časťou hlavnej sály sa nachádza miestnosť zvukovej réžie (viď výkresová dokumentácia), ktorej pôdorysné rozmery sú 3,8m x 3,9m a výška je 4,3m. Jej celkový objem je cca 64 m³, avšak tak ako aj pri predošlej štúdii je v miestnosti vo výške 3,0m od podlahy uvažovaný podhľad, čím sa jej objem zníži na cca 45m³. Pri návrhu akustických úprav zvukovej réžie sa uvažovalo s jej účelom ako priestoru určeného na prednes hudby a reči.

4. Požadované akustické parametre

Pre špecifické priestory ako hlavná sála a zvuková réžia Bratislavského bábkového divadla vyžaduje norma STN 73 0527 praktické skúsenosti ako pri projektovaní, tak pri samotnej realizácii. Pre dosiahnutie vhodných akustických podmienok si takýto typ priestoru vyžaduje špeciálnu akustickú úpravu. Hlavným cieľom akustických úprav je dosiahnutie vhodného času dozvuku, ako aj zabrániť nežiaducim odrazom zvuku a podporiť odrazy žiaduce. Nakoľko na Slovensku platná norma STN 73 0527 je z roku 1972, v štúdiu ako aj v tejto revízii sa ďalej postupuje podľa českej normy ČSN 73 0527, ktorá bola v roku 2005 aktualizovaná.

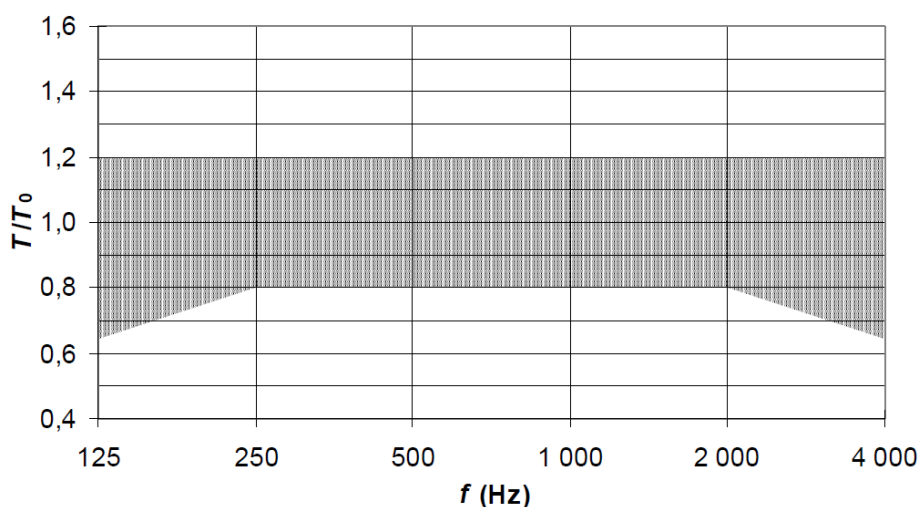
Optimálna hodnota času dozvuku hlavnej sály bola podľa normy ČSN 73 0527 zvolená pre kategóriu činoherné divadlo. Podľa obrázku 1 je optimálny čas dozvuku pre objem cca 1 330m³ pri takomto type priestoru **$T_{opt}=0,9s$** . Tento čas dozvuku je teda cieľovým pre hlavnú sálu divadla.



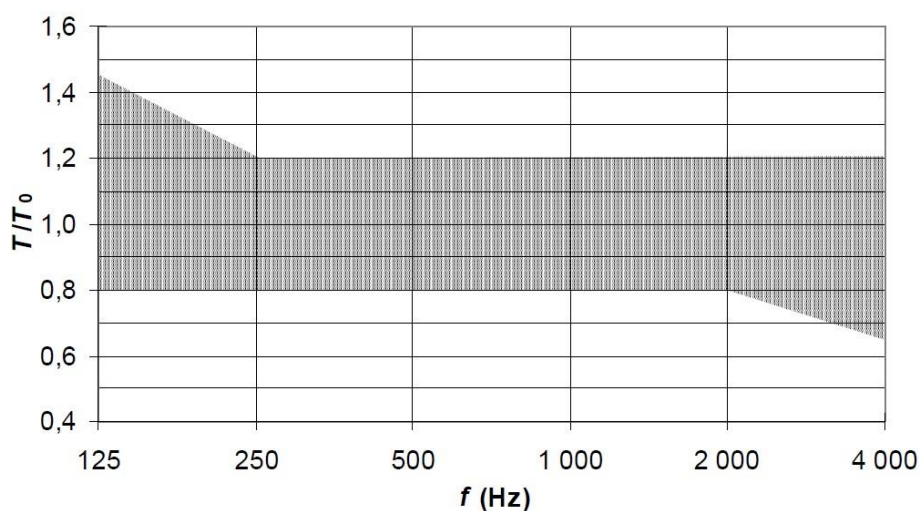
Obrázok 1 Závislosť optimálneho času dozvuku $T_0(s)$ pre frekvenciu 1000 Hz na objeme $V(m^3)$ uzatvoreného priestoru v obsadenom stave s výnimkou závislosti 5, ktorá sa týka neobsadeného stavu

Optimálna hodnota času dozvuku miestnosti zvukovej réžie bola podľa normy ČSN 73 0527 zvolená pre kategóriu skúšobňa činohry. Podľa obrázku 1 je optimálny čas dozvuku pre objem cca 45m³ pri takomto type priestoru **$T_{opt}=0,3s$** . Tento čas dozvuku je teda cieľovým pre zvukovú réžiu divadla.

Obrázky 2 a 3 stanovujú príпустné rozmedzie pomeru času dozvuku T/T_{opt} priestoru určeného na prednes reči (hlavná sála) a priestoru určeného na prednes hudby a reči v závislosti na frekvencii 1000 Hz oktávového pásma (T je dosiahnutý čas dozvuku).



Obrázok 2 Prípustné rozmedzie pomeru časov dozvuku T/T_0 obsadeného priestoru určeného k prednesu reči v závislosti na strednej frekvencii oktávového pásma



Obrázok 3 Prípustné rozmedzie pomeru časov dozvuku T/T_0 určeného k prednesu hudby a reči v závislosti na strednej frekvencii oktávového pásma

V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty dolnej a hornej medze optimálneho času dozvuku pre oba priestory, ktoré boli vypočítané podľa prípustných rozmedzí pomeru T/T_{opt} (obrázky 2 a 3).

Tabuľka 1 Rozmedzie optimálneho času dozvuku [s] pre posudzované priestory

Účel	Hranica	Strední kmitočet f (Hz) oktávového pásma					
		125	250	500	1000	2000	4000
Reč	Horná	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
	Dolná	0,585	0,72	0,72	0,72	0,72	0,585
Hudba a reč	Horná	0,435	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	Dolná	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,195

5. Popis merania času dozvuku

V rámci pôvodnej akustickej štúdie č. 13Zak09056 vypracovanej v roku 2012 bolo vykonané meranie času dozvuku v oboch posudzovaných priestoroch. V uvedenej štúdii je podrobne opísané meranie vrátane metodiky, pozícií meracích bodov, a výsledkov merania.

Z výsledkov merania je zrejmé, že vtedajší stav oboch miestností bol z hľadiska času dozvuku vyhovujúci. Avšak analýzou impulzových odoziev hlavnej sály sa preukázala potreba zlepšenia jej difúznosti pomocou úpravy jej geometrie (správnou orientáciou žiaducich odrazov a elimináciou nežiaducich odrazov). Pri návrhu akustiky zvukovej réžie sa zameriavalo predovšetkým na nízke frekvencie.

6. Akustické riešenia priestorov

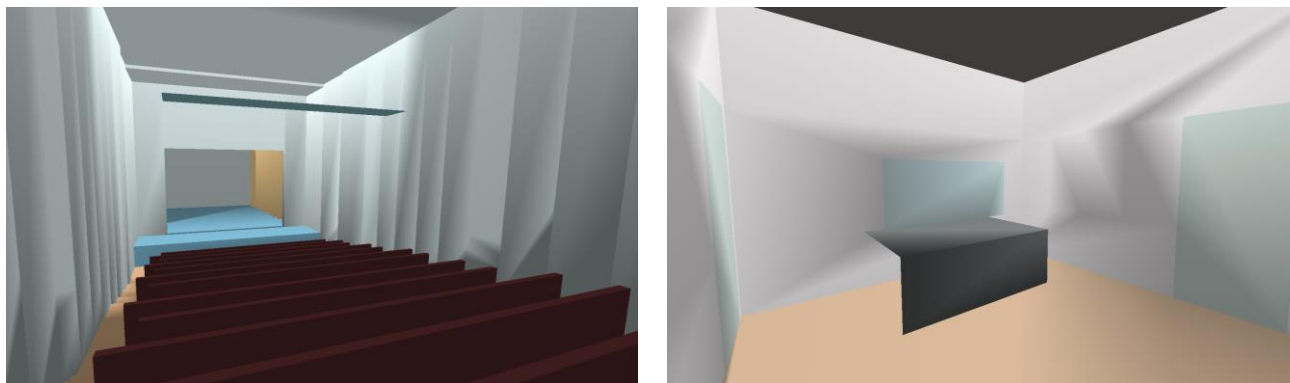
6.1. Simulačný software Odeon

Odeon je simulačný software, ktorý sa zaoberá vyhodnocovaním akustického priestoru. Odeon môže simulovať, hodnotiť a odporučiť akustické zlepšenia v existujúcich, ako aj v nových, resp. len rozostavaných stavbách. Je vhodný pre modelovanie menších priestorov, ako sú napríklad školské telocvične, posluchárne, kancelárie, átriá, veľkoplošné kancelárie. Taktiež je vhodný pre modelovanie väčších priestorov, ako sú napríklad koncertné sály, letiskové terminály, športové haly, priemyselné haly.

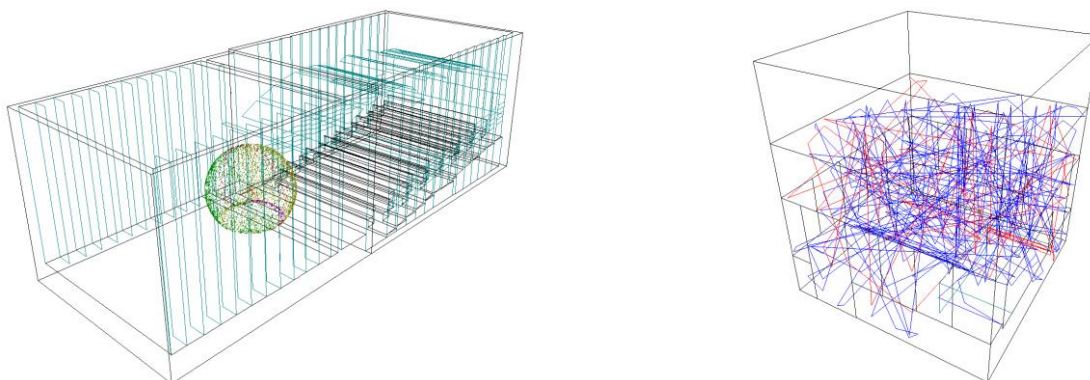
Pre výpočet impulzovej odozvy, používa program kombináciu metódy zrkadlového zdroja a ray-tracing tak, že prvé odrazy zvuku sú simulované kombináciou metódy zrkadlového zdroja a ray-tracingu a neskoršie odrazy sú vypočítané pomocou špeciálnej ray-tracing metódy, ktorá generuje zdroje vyžarujúce zvukovú energiu lokálne z povrchu stien modelu. Rozhranie týchto častí je definované číslom TO (Transition order). V pamäti počítača sa zaznamenáva každý odraz zvukového lúča a postupne sa vytvára reflektograf, z ktorého sa následne odvodí integrovaná impulzová odozva v mieste pozorovania.

6.2. Akustické simulácie posudzovaných priestorov

Podľa poskytnutej výkresovej dokumentácie bol vytvorený 3D model hlavnej sály a zvukovej réžie Bratislavského bábkového divadla, ktorý je znázornený na obrázku 4. Na obrázku 5 je zobrazený priebeh šírenia zvukových lúčov v priestoroch.



Obrázok 5 Zobrazenie modelu hlavnej sály (vľavo) a zvukovej réžie (vpravo)



Obrázok 6 Pribeh šírenia zvukových lúčov

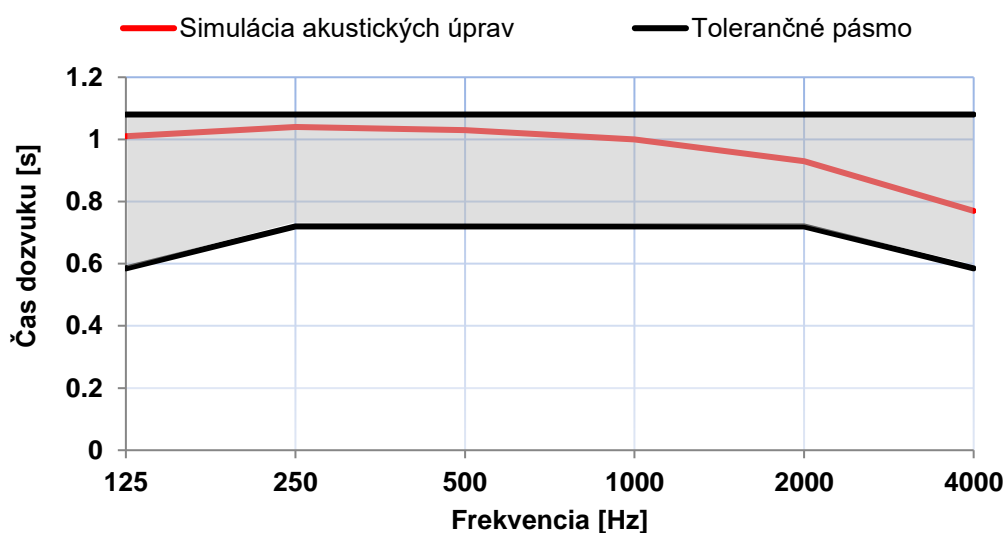
6.3. Modernizácia kultúrneho strediska

Z hľadiska priestorovej akustiky sa modernizácia hlavnej sály a zvukovej réžie Bratislavského bábkového divadla týka prvkov uvedených v tabuľkových prílohách tejto revízie – špecifikovaný výkaz výmer – hlavná sála; špecifikovaný výkaz výmer – zvuková réžia. Presné pozície jednotlivých akustických prvkov sa nachádzajú vo výkresovej dokumentácii revízie.

7. Výsledky akustických simulácií

7.1. Hlavná sála

V grafe 1 a tabuľke 2 sú zobrazené výsledné hodnoty času dozvuku zo softvéru Odeon v jednotlivých oktávových pásmach spolu s tolerančnými medzami pre hlavnú sálu Bratislavského bábkového divadla, neobsadený stav.



Graf 1 Výsledky simulácie času dozvuku po inštalácii všetkých akustických úprav, neobsadený stav

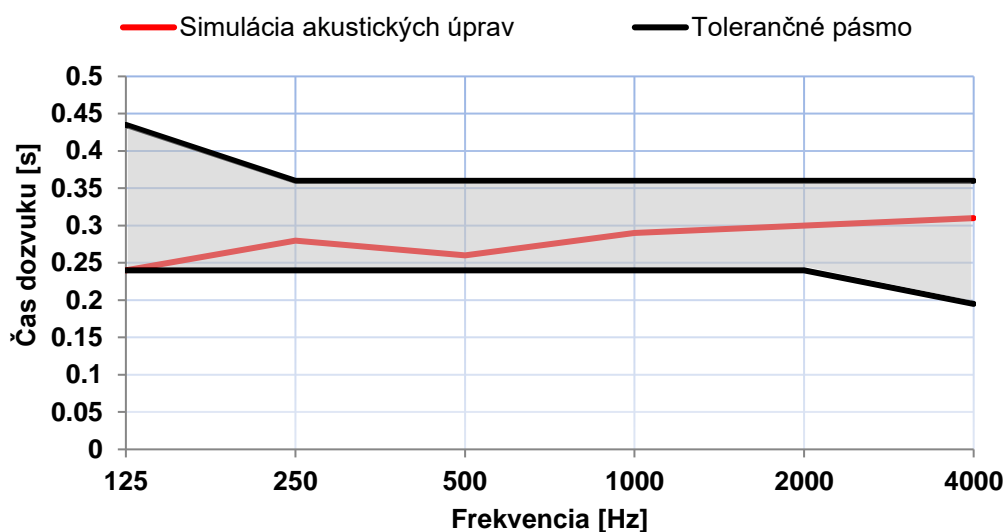
Tabuľka 2 Výsledky simulácie času dozvuku po inštalácii všetkých akustických úprav, neobsadený stav

	Frekvencia [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Simulácia T_{30} [s]	1,01	1,04	1,03	1,00	0,93	0,77

Pri modernizácii hlavnej sály boli navrhnuté akustické materiály, ktoré sú bližšie opísané v špecifikovanom výkaze výmer tvoriacom prílohu tejto akustickej štúdie. Z výsledkov simulácie je zrejmé, že vďaka inštalácii akustických materiálov v hlavnej sále Bratislavského bábkového divadla budú dosiahnuté hodnoty času dozvuku v rámci celého frekvenčného spektra v rámci prípustného rozmedzia. Vďaka difúznym prvkom a šikmým stenám sa taktiež upraví parameter difúznosti sály. Je dôležité poznamenať, že pri obsadení sály divákmi sa zvýši celková zvuková pohltivosť priestoru vedúca k ďalšiemu zníženiu času dozvuku, a teda aj k jeho priblíženiu k optimálnej hodnote.

7.2. Zvuková réžia

V grafe 2 a tabuľke 3 sú zobrazené výsledné hodnoty času dozvuku zo softvéru Odeon v jednotlivých oktávových pásmach spolu s tolerančnými medzami pre zvukovú réžiu Bratislavského bábkového divadla, neobsadený stav.



Graf 2 Výsledky simulácie času dozvuku po inštalácii všetkých akustických úprav, neobsadený stav

Tabuľka 3 Výsledky simulácie času dozvuku po inštalácii všetkých akustických úprav, neobsadený stav

	Frekvencia [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Simulácia T_{30} [s]	0,24	0,28	0,26	0,29	0,30	0,31

Pri modernizácii miestnosti zvukovej réžie boli navrhnuté akustické materiály, ktoré sú opäť bližšie opísané v špecifikovanom výkaze výmer tvoriacom prílohu tejto akustickej štúdie. Z výsledkov simulácie je zrejmé, že vďaka inštalácii akustických materiálov v miestnosti zvukovej réžie Bratislavského bábkového divadla budú dosiahnuté hodnoty času dozvuku v rámci celého frekvenčného spektra v rámci prípustného rozmedzia.

8. Záver

Revízia štúdie priestorovej akustiky priestorov Bratislavského bábkového divadla sa zaoberá návrhom akustických úprav hlavnej sály a miestnosti zvukovej réžie. V tabuľkových a výkresových prílohách revízie sú podrobne uvedené vlastnosti a umiestnenie všetkých akustických prvkov, ktorých inštalácia je potrebná pre dosiahnutie optimálnych akustických vlastností. Návrh akustických úprav, validovaný pomocou akustických simulácií, spočíva predovšetkým v dosiahnutí optimálneho času dozvuku a difúznosti priestorov.

Revíziu vypracoval:
júl 2019

Mgr. Izabela Riečanová - akustik

Revíziu vypracoval:
júl 2019

MSc. Matej Žák - akustik

Revíziu kontroloval:
júl 2019

Ing. Martin Jedovnický, PhD. – akustik