



Studio D - akustika s.r.o.

www.akustikad.com

Zkušební laboratoř Studio D – akustika
Zkušební laboratoř č. 1145 akreditovaná ČIA podle
normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018
U Sirkárny 467/2a
370 04 České Budějovice



Protokol o zkoušce č. L176/20014873

„Divadlo F.X. Šaldy Liberec“ měření prostorové akustiky

Zákazník Divadlo F.X.Šaldy Liberec, p.o.
Adresa zákazníka Zhořelecká 344/5
460 01 Liberec

Číslo zakázky 20014873
Datum přijetí zakázky 2020-06-18
Datum provedení zkoušky 2020-08-12
Měření provedl Ing. František Dolejší
Měření přítomen Ing. Jana Dolejší
Protokol vypracoval Ing. František Dolejší
Shodu se specifikací vyhodnotil Ing. Jan Dolejší
Interpretaci vypracoval Ing. Jan Dolejší
Počet tištěných výtisků 3
Výtisk číslo 1 2 3

Vedoucí AZL Ing. František Dolejší

© Všechna práva vyhrazena

Obsah tohoto Protokolu o zkoušce je chráněn Autorským zákonem. Bez písemného svolení zpracovatele Studio D – akustika s.r.o. se nesmí Protokol o zkoušce reprodukovat jinak než celý.

Obsah

1	Všeobecná část	3
1.1	Předmět zkoušky	3
1.2	Metodický předpis	3
1.2.1	Zkušební standardy	3
1.2.2	Pomocné standardy	3
1.2.3	Použité softwary	3
1.3	Strategie zkoušky	4
1.4	Podmínky v době měření	4
1.5	Použitá měřicí zařízení a software	5
2	Výsledková část	6
2.1	Divadlo F.X.Saldy - sál	6
2.1.1	Sál	6
2.1.2	Schéma měření	9
2.1.3	Fotodokumentace	12
2.1.4	Nejistota měření	15
3	Hodnocení shody se specifikacemi	16
3.1	Požadavky na výsledky zkoušky	16
3.2	Rozhodovací pravidlo	17
3.3	Výrok o shodě	17
4	Symboly a použité zkratky	18
5	Prohlášení laboratoře	19
6	Stanovisko laboratoře	19

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma rozmístění mikrofónů v 1NP	9
Obrázek 2: Schéma rozmístění mikrofónů v 2NP	10
Obrázek 3: Schéma rozmístění mikrofónu 3NP	11
Obrázek 4 : Fotodokumentace měření prostorové akustiky	12
Obrázek 5: Fotodokumentace měření prostorové akustiky	13
Obrázek 6: Fotodokumentace měření prostorové akustiky	14

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podmínky v době měření parametrů prostorové akustiky	4
Tabulka 2: Seznam měřicích zařízení	5
Tabulka 3: Naměřené akustické parametry v sále divadla	7
Tabulka 4: Přepočtené naměřené zprůměrované hodnoty doby dozvuku T_{30} a T_{20} v sále – vyjádřeno v celých oktávách	7
Tabulka 5: Směrodatné odchylky měření parametrů prostorové akustiky	15
Tabulka 6: Požadavky na výsledek zkoušky (ČSN 73 0527, Tabulka 1)	16
Tabulka 7: Optimální doba dozvuku	16
Tabulka 8: Průměrné hodnoty doby dozvuku T_{30} a meze tolerančního pásma v měřeném prostoru	17

Seznam grafů

Graf 1: Naměřené zprůměrované hodnoty dob dozvuku T_{20} , T_{30} v místnosti (průměrná hodnota pro polohu)	8
Graf 2: Naměřené hodnoty průměrných dob dozvuku T_{20} a T_{30} v posuzované místnosti vyjádřené v celých oktávách	8
Graf 3: Kmitočtová závislost doby dozvuku a její doporučené meze	17

1 VŠEOBECNÁ ČÁST

1.1 Předmět zkoušky

Na základě Vaší objednávky byla změřena doba dozvuku a další parametry prostorové akustiky v nově rekonstruovaném sálu divadla F.X.Šaldy, nám. Dr. E. Beneše 462/27, Liberec. Měření slouží pro vyhodnocení dle požadavků normy ČSN 73 0527 a jako podklad pro návrh akustických opatření pro zlepšení poslechových podmínek posluchačů při přednesu koncertů vážné hudby.

1.2 Metodický předpis

1.2.1 Zkušební standardy

- ČSN EN ISO 3382-1 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči
- ČSN EN ISO 354 Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti
- ČSN EN ISO 3382-2 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech

1.2.2 Pomocné standardy

- Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, ve znění pozdějších předpisů
- ČSN 73 0527 Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely

1.2.3 Použité softwary

- Cinema 4D V11.027
- Odeon Auditorium v. 16.00
- MS Excel
- Dirac v. 5.5

1.2.3.1 Použité podklady¹

- vybrané výkresy PD ve formátu pdf (poskytnuté zadavatelem)
- letecké mapy a panoramatické fotografie dostupné na <https://mapy.cz>

¹ Laboratoř neodpovídá za údaje dodané zákazníkem

1.3 Strategie zkoušky

Měření dob dozvuku a vlastností prostorové akustiky ve zvoleném prostoru proběhlo v souladu s ISO 3382-2. Pro účely měření byl použit jednokanálový systém, který se skládá ze sestavy PC se softwarem Dirac v. 5.5 (nastavený generovaný signál lin-sweep, $t = 21,8$ s, dva poklesy), mikrofону s přesným modulovým analyzátořem Bruel & Kjaer 2250 a všesměrového zdroje hluku. Rozsah měření byl nastaven na frekvenční pásmo 100 Hz až 10 000 Hz (v třetinooktávových pásmech). Naměřené hodnoty byly následně zpracovány na počítači (dle ISO 3382-2).

V prostoru jeviště - byly zvoleny 2 polohy všesměrového zdroje hluku a celkem 11 různých poloh mikrofónů rovnoměrně rozmístěných po celém objemu hlediště.

Výška všesměrového zdroje hluku $1,50 (\pm 0,1)$ m nad podlahou (měřeno od středu zdroje hluku), mikrofón ve sedícího diváka $1,25 (\pm 0,1)$ m nad podlahou. Mikrofón vždy směřován vzhůru.

Byl vytvořen zjednodušený matematický model řešeného prostoru, který byl kalibrován dle naměřených hodnot doby dozvuku T_{30} . Následně proběhla v matematickém modelu akustická simulace prostorové akustiky v obsazeném stavu – pro vyhodnocení v souladu s ČSN 730527.

1.4 Podmínky v době měření

Měření bylo uskutečněno v odpoledních hodinách. V objektu neprobíhaly v době měření žádné stavební práce. Všechny dveře a okna uzavřeny. Během měření byly v měřeném prostoru přítomny 4 osoby.

Datum	Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
12.08.2020	24 °C	78 %	1014 hPa	-	-	-

Tabulka 1: Podmínky v době měření parametrů prostorové akustiky

1.5 Použitá měřicí zařízení a software

Metrologická správnost a návaznost je doložena příslušnou dokumentací v archívu laboratoře a může být na žádost předložena. Provozní kalibrace zvukoměrné techniky byla provedena před a po měření.

Výsledky měření platí pouze pro dané místo, podmínky a čas měření, které jsou uvedeny v tomto protokolu o měření. Hodnoty byly naměřeny hlukovým analyzátozem Brüel & Kjaer 2250. Měřicí přístroj byl nastaven do režimu „Záznam“. Naměřené hodnoty byly uloženy do paměti měřicího přístroje. Jednotlivé hlukové události byly označovány a nesouvisející hluk s měřenými parametry (hovor lidí, průjezdy aut atd.) byl vyloučen.

Název a typ (včetně softwarového vybavení)	Výrobní číslo	Platnost ověření	Číslo ověřovacího listu
Modulový analyzátor Brüel & Kjaer typ 2250	3028857	11.2021	8012-OL-10610-19
Měřicí mikrofon Brüel & Kjaer typ 4189	3232166	11.2021	8012-OL-10611-19
Akustický kalibrátor Brüel & Kjaer typ 4231	1934322	10.2021	8012-KL-10510-19
Laserový dálkoměr Fluke	39890036	2.2025	1380-18
Metrologická stanice EUROPE SUPPLIES WS-3600	5N5 V33	1.2023	ANM-07135
Laptop Asus G53J; software Dirac v.5.5	ACN0AS29547651 G	ZZ ¹	VLM 130031
Stereofonní zesilovač typ XLS 1500	850860418	ZZ ¹	-
Všesměrný zdroj hluku Kříž	-	ZZ ¹	-

Tabulka 2: Seznam měřicích zařízení

¹ ZZ – Zkušební zařízení, jehož funkce je ověřena před zkouškou a nepodléhající ověření u ČMI

2 VÝSLEDKOVÁ ČÁST

2.1 Divadlo F.X.Saldy - sál

Popis místa měření

- objekt: Divadlo F.X.Saldy, nám. E. Beneše 462/27, Liberec
- umístění mikrofону: 16 různých poloh rovnoměrně rozložených po místec pro sezení
- sedící divák 1,25 ($\pm 0,1$) m nad úrovní podlahy
- umístění zdroje: Z: 2 polohy zdroje hluku v prostoru jeviště
1,5 ($\pm 0,1$) m nad úrovní podlahy (měřeno od středu zdroje)

Základní charakteristiky měřeného prostoru:

- vybavení: členitý prostor viz kapitola 2.1.3 Fotodokumentace.
- počet osob přítomných v místnosti během měření: 4 osoby

2.1.1 Sál

Objem místnosti:

$V = 5\,194\text{ m}^3$ (odečteno z akustického modelu)

Celková plocha vnitřních povrchů:

$S = 3\,234\text{ m}^2$ (odečteno z akustického modelu)

Datum a doba měření:

2020-08-12 od 13:30 hodin

Výsledek měření:

Tabulková část:

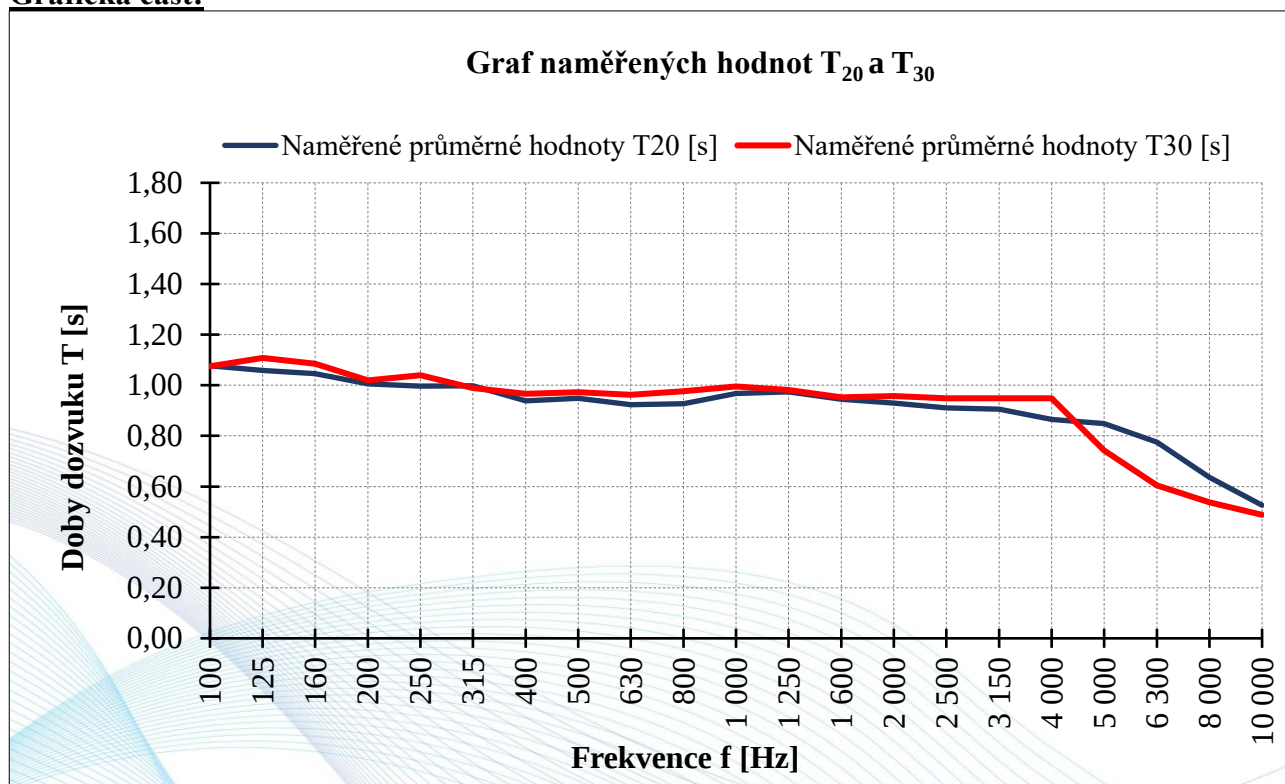
Tabulka zprůměrovaných měřených akustických parametrů		
f [Hz]	Ø T ₂₀ [s]	Ø T ₃₀ [s]
100	1,07	1,07
125	1,05	1,1
160	1,04	1,08
200	1	1,02
250	0,99	1,04
315	0,99	0,98
400	0,93	0,96
500	0,94	0,97
630	0,92	0,96
800	0,92	0,97
1 000	0,96	0,99
1 250	0,97	0,98
1 600	0,94	0,95
2 000	0,93	0,95
2 500	0,91	0,94
3 150	0,9	0,94
4 000	0,86	0,94
5 000	0,84	0,74
6 300	0,77	0,6
8 000	0,63	0,53
10 000	0,52	0,48

Tabulka 3: Naměřené akustické parametry v sále divadla

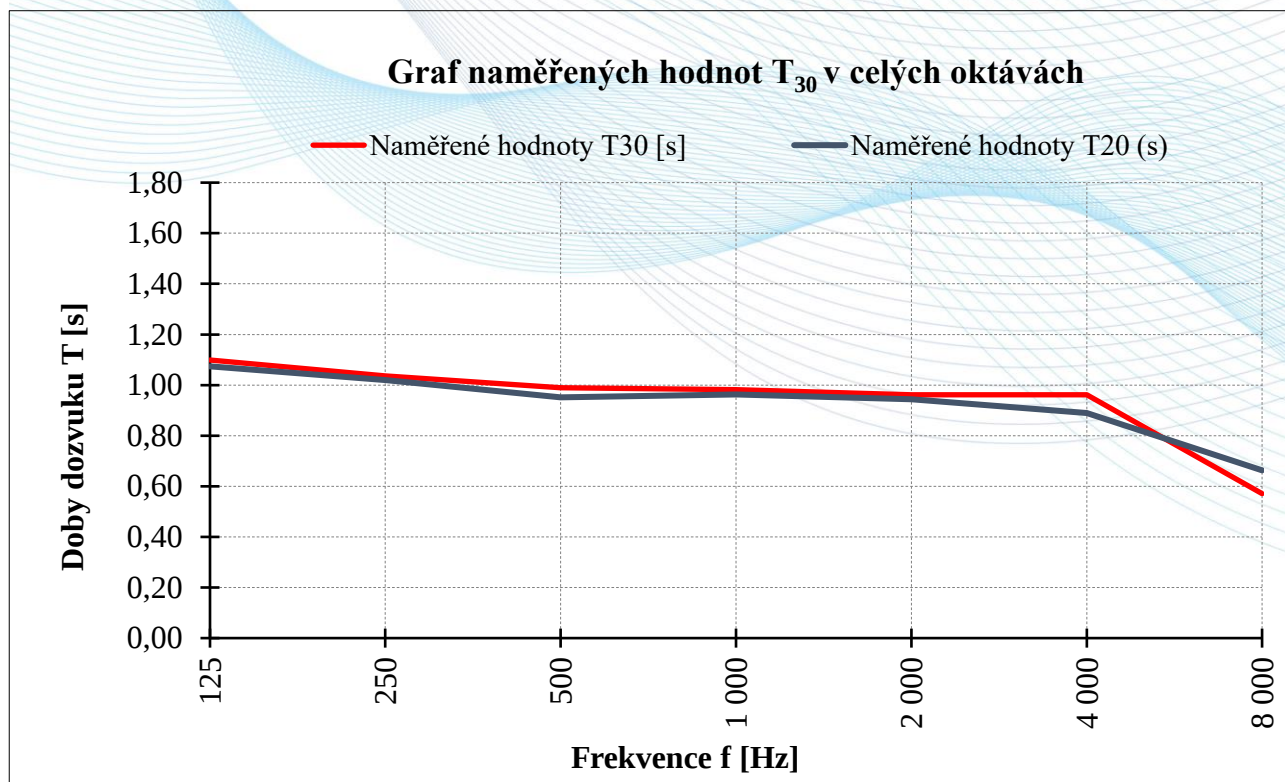
Frekvence [Hz]		Naměřené hodnoty T ₂₀ [s]		Naměřené hodnoty T ₃₀ [s]	
100	125	1,07	1,07	1,07	1,09
125		1,05		1,1	
160		1,04		1,08	
200	250	1	1,02	1,02	1,03
250		0,99		1,04	
315		0,99		0,98	
400	500	0,93	0,95	0,96	0,98
500		0,94		0,97	
630		0,92		0,96	
800	1 000	0,92	0,96	0,97	0,98
1 000		0,96		0,99	
1 250		0,97		0,98	
1 600	2 000	0,94	0,94	0,95	0,96
2 000		0,93		0,95	
2 500		0,91		0,94	
3 150	4 000	0,9	0,88	0,94	0,96
4 000		0,86		0,94	
5 000		0,84		0,74	
6 300	8 000	0,77	0,66	0,6	0,57
8 000		0,63		0,53	
10 000		0,52		0,48	

Tabulka 4: Přepočtené naměřené zprůměrované hodnoty doby dozvuku T₃₀ a T₂₀ v sále – vyjádřeno v celých oktávách

Grafická část:

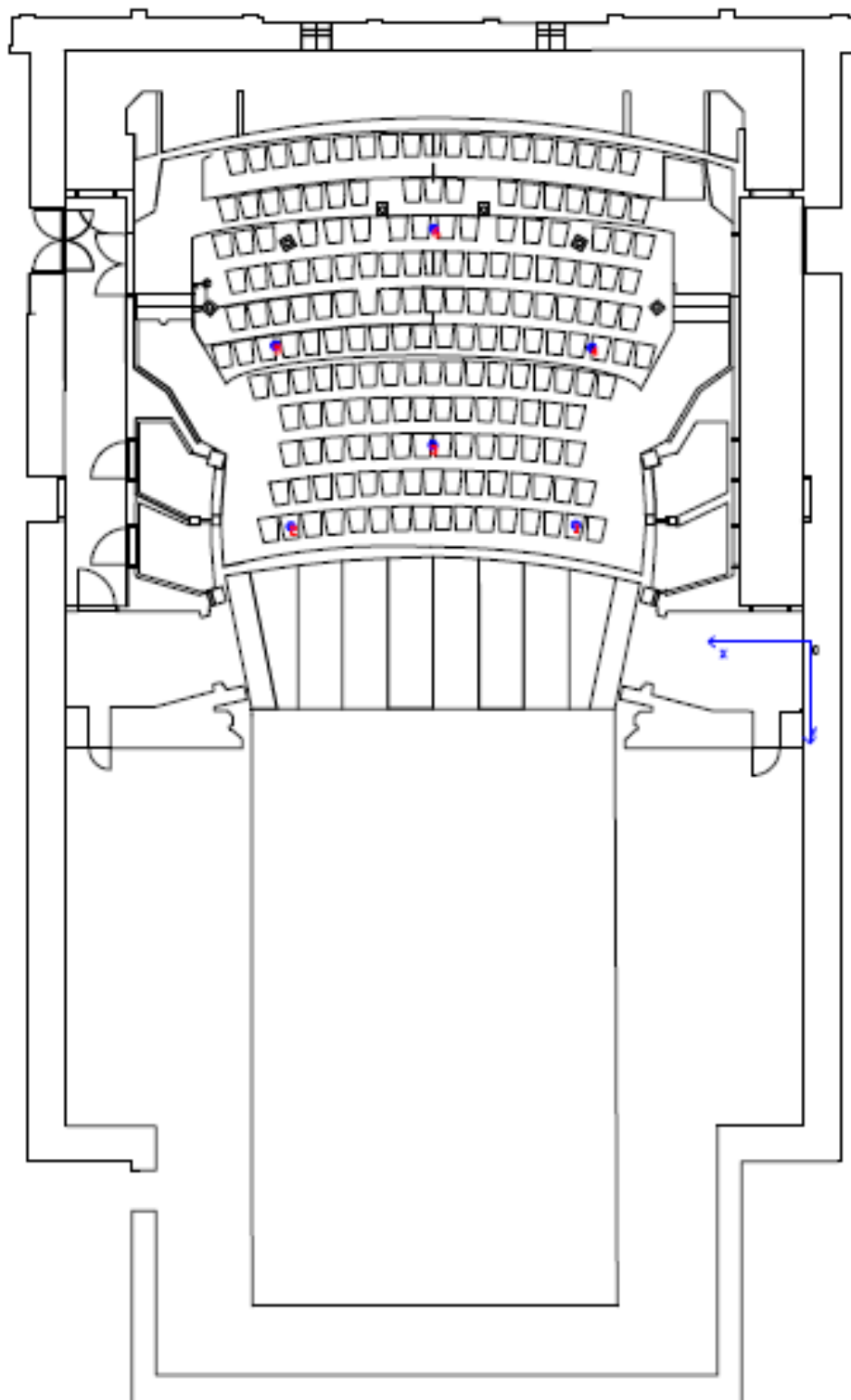


Graf 1: Naměřené zprůměrované hodnoty dob dozvuku T_{20} , T_{30} v místnosti (průměrná hodnota pro polohu)

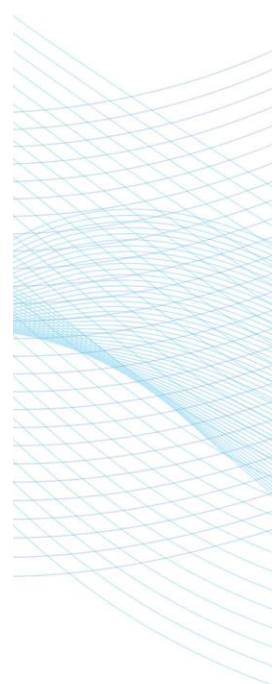
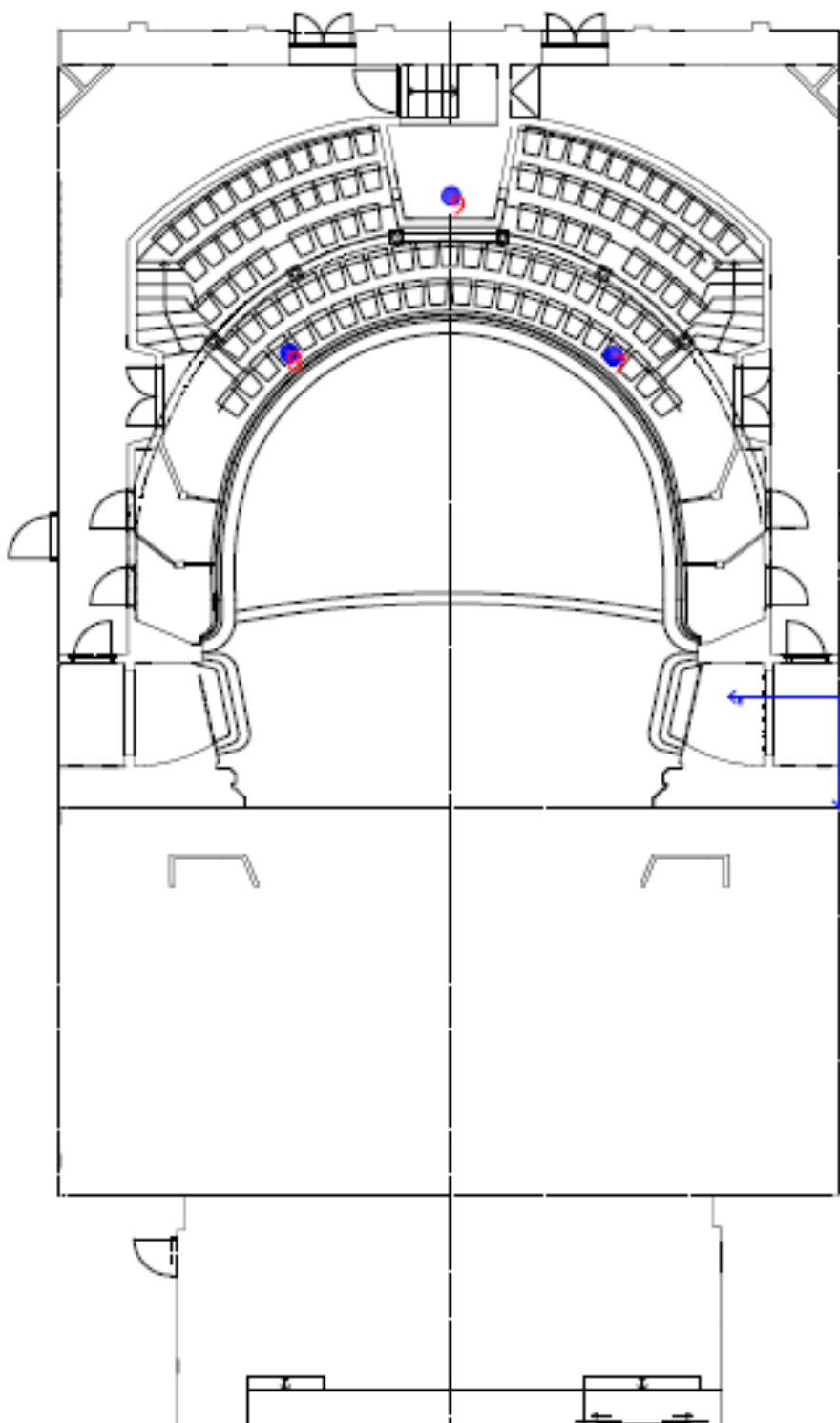


Graf 2: Naměřené hodnoty průměrných dob dozvuku T_{20} a T_{30} v posuzované místnosti vyjádřené v celých oktávách

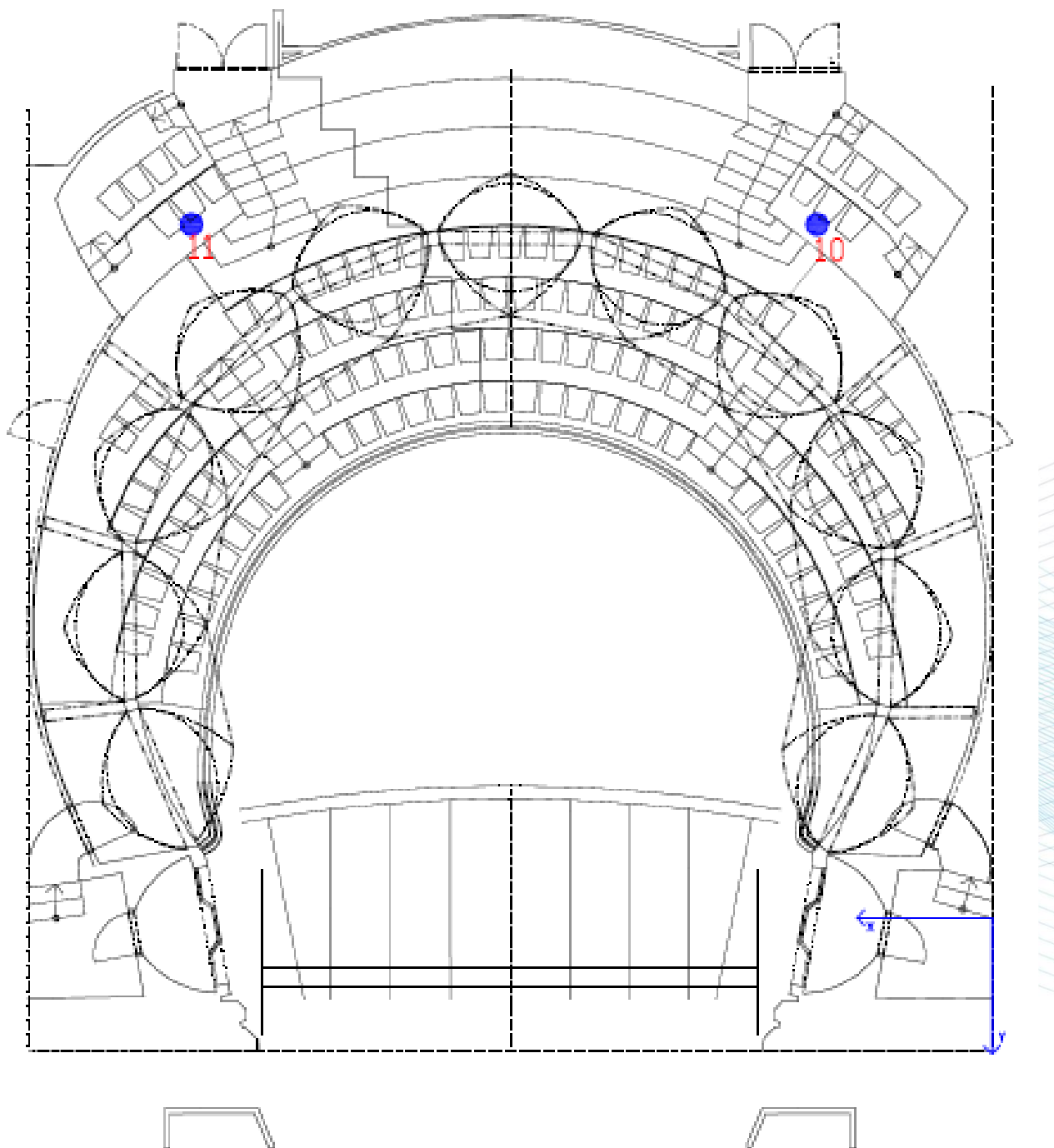
2.1.2 Schéma měření



Obrázek 1: Schéma rozmístění mikrofónů v 1NP



Obrázek 2: Schéma rozmístění mikrofonů v 2NP



Obrázek 3: Schéma rozmístění mikrofону 3NP

2.1.3 Fotodokumentace



Obrázek 4 : Fotodokumentace měření prostorové akustiky



Obrázek 5: Fotodokumentace měření prostorové akustiky



Obrázek 6: Fotodokumentace měření prostorové akustiky

2.1.4 Nejistota měření

Celková nejistota měření doby dozvuku je parametr, který rozšiřuje naměřenou hodnotu na oblast, v níž se nachází s 95 % pravděpodobností správná hodnota. V našem případě lze použít směrodatné odchylky naměřených hodnot parametrů prostorové akustiky v jednotlivých náměrech σ_{T20} ; σ_{T30} ; σ_{RASTI} (stejně přístroje, měřící řetězce, podmínky i obsluha mění se jen poloha mikrofону, laboratoř se pravidelně zúčastňuje PT), které byly stanoveny pomocí softwaru Dirac v. 5.5.

Byly vyloučeny náměry výrazně ovlivněné hlukem nesouvisejícím s proběhlým měřením (průjezd automobilů apod.).

f [Hz]	σ_{T20} [s]	σ_{T30} [s]	σ_{RASTI} [-]
	Hlavní sál		
100	± 0,262	± 0,204	± 0,020
125	± 0,209	± 0,233	
160	± 0,159	± 0,160	
200	± 0,167	± 0,162	
250	± 0,148	± 0,086	
315	± 0,125	± 0,093	
400	± 0,108	± 0,088	
500	± 0,095	± 0,067	
630	± 0,120	± 0,105	
800	± 0,115	± 0,072	
1 000	± 0,062	± 0,027	
1 250	± 0,048	± 0,030	
1 600	± 0,070	± 0,054	
2 000	± 0,049	± 0,046	
2 500	± 0,049	± 0,036	
3 150	± 0,050	± 0,033	
4 000	± 0,062	± 0,056	
5 000	± 0,069	± 0,094	
6 300	± 0,072	± 0,082	
8 000	± 0,090	± 0,055	
10 000	± 0,083	± 0,111	

Tabulka 5: Směrodatné odchylky měření parametrů prostorové akustiky

3 HODNOCENÍ SHODY SE SPECIFIKACEMI

3.1 Požadavky na výsledky zkoušky

Optimální doba dozvuku je odvozena na základě doporučených hodnot normy ČSN 73 0527. A to na základě účelu posuzované místnosti a na jejím objemu. Z optimální doby dozvuku jsou stanoveny hranice tolerančního pásma.

Prostor	Počet osob	Objem na 1 osobu (m ³)	Číslo závistosti T ₀ na objemu V – obrázek	Obrázek s rozmezím hodnot T/T ₀	Poznámka
Koncertní sál: Varhanní hudba Symfonický orchestr Komorní hudba	- do 2 000 do 500	10 až 12 8 až 10 6 až 8	viz poznámka 2 - - -	A.2 A.2 A.2	V ≤ 4000 m ³
Opera	do 1500	6 až 8	1 - A.1	A.2	V ≤ 12 000 m ³
Hudební divadlo	-	6 až 8	1 - A.1	A.2	
Zkušebna orchestru Nebo pěveckého sboru	do 250	8	2 - A.1	A.2	V ≥ 2 000 m ³
Víceúčelový sál	-	5 až 7	2 - A.1	A.3	
Činoherní divadlo	do 1200	4 až 6	3 - A.1	A.4	V ≤ 6 000 m ³
Zkušebna činohry	do 50	4 až 6	3 - A.1	A.4	
Přednáškový sál	do 400	4 až 5	3 - A.1	A.4	V ≤ 2000 m ³
Kino s jednokanálovým zvukovým zařízením	do 400 nad 400	4 až 5 5 až 6	4 - A.1 4 - A.1	A.5 A.5	
Kino s vícekanálovým zvukovým zařízením analogovým	do 400 nad 400	4 až 5 5 až 6	A.6 A.6	A.7 A.7	
Kino s vícekanálovým zvukovým zařízením digitálním	do 400 nad 400	4 až 5 5 až 6	A.6 A.6	A.7 A.7	Doporučuje se Hladina NC -25

Tabulka 6: Požadavky na výsledek zkoušky (ČSN 73 0527, Tabulka 1)

MÍSTNOST	objem prostoru [m ³]	optimální doba dozvuku T ₀ [s]
Hlavní sál	5 194	1,45

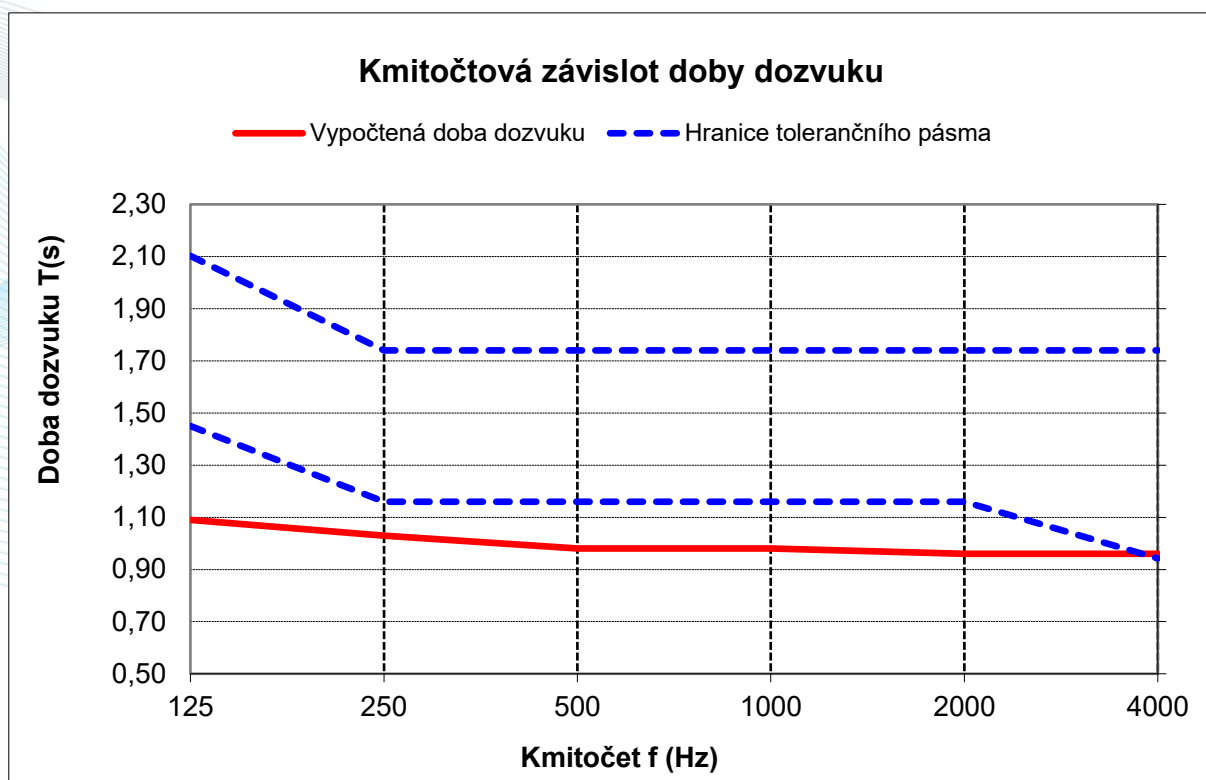
Tabulka 7: Optimální doba dozvuku

3.2 Rozhodovací pravidlo

Pro úlohu měření kmitočtové závislosti doby dozvuku ve vnitřním prostředí se nejistota měření neuvažuje.

3.3 Výrok o shodě

Naměřená hodnota doby dozvuku nedosahuje doporučených hodnot mezí obsazeného v prostoru určeného k přednesu koncertních představení v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma (zdroj: ČSN 73 0527)



Frekvence (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Simulace T_{30} (s) (Obsazený stav)	1,09	1,03	0,98	0,98	0,96	0,96
Horní mez (s)	2,1025	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
Dolní mez (s)	1,45	1,16	1,16	1,16	1,16	0,9425

Tabulka 8: Průměrné hodnoty doby dozvuku T_{30} a meze tolerančního pásma v měřeném prostoru

4 SYMBOLY A POUŽITÉ ZKRATKY

Při měření a vyhodnocení byly použity tyto parametry:

$\bar{\Theta} T_{20}$; $\bar{\Theta} T_{20}$; $\bar{\Theta} T_{20}$průměrné hodnoty měřených parametrů prostorové akustiky získané aritmetickým průměrem pro jednotlivé polohy mikrofónů a polohy všesměrového zdroje hluku. Náměry, které vykazovaly nereálné hodnoty v porovnání s ostatními naměřenými hodnotami, byly vyloučeny

σT_{20} ; σT_{30} ; σ_{RASTI}směrodatné odchylky měřených parametrů prostorové akustiky v jednotlivých náměrech, tj. pro zvolené polohy mikrofónů a polohy všesměrového zdroje hluku. Náměry, které vykazovaly nereálné hodnoty v porovnání s ostatními naměřenými hodnotami, byly vyloučeny

Při následné simulaci (dopočet obsazeného prostoru) byly použity tyto parametry:

Doby dozvuku T_{30} , T_{20} , EDT (ČSN 73 0525, 73 0526 a 73 0527). Hodnoty a jejich toleranční rozsah jsou dány normami. Křivka doby dozvuku v závislosti na frekvenci by měla být vyrovnaná.

Hladina akustického tlaku SPL, pomocí něhož byla posouzena kvalita distribuce zvuku ve všech místech prostoru. Posuzuje se rozdíl mezi hodnotami SPL v jednotlivých bodech.

Jasnost C_{80} : Ukazatel „kvality“ prostoru pro daný účel, zejména pak pro hudební představení. Různé styly hudby vyžadují různou hodnotu jasnosti. Např. pro komorní hudbu se ideální hodnoty pohybují mezi -4 a +4 dB atp.

Zřetelnost D_{50} : Parametr spjatý se srozumitelností řeči. Určuje kvalitu poslechu řeči v závislosti na daném prostoru. Používá se spíše v zahraničí (zejména v německy mluvících zemích).

Lateral fraction LF_{80} : hodnota závislá především na tvaru sálu a odrazivosti ploch. Spolu s hodnotami LF_{50} , LFC_{50} a LFC_{80} spoluurčuje kvalitu distribuce zvuku v závislosti na tvaru a objemu prostoru.

Echo: Díky ní lze přesně určit, zda někde v prostoru nevzniká nepříjemná ozvěna, popř. ono místo s ozvěnou určit. Tento případný jev se pomocí pouhého výpočtu průměrné doby dozvuku nedá odhalit.

Obecná srozumitelnost řeči STI: zkoumá srozumitelnost jednotlivých slabik, slov, i celých vět v mluveném projevu. Tato hodnota je velice důležitá pro poslech mluveného slova a její posouzení by mělo být součástí každého posudku řešícího prostory primárně určené jako činoherní sály, posluchárny, učebny apod.

Srozumitelnosti řeči STI/Muž/ a STI/Žena/ jsou spíše doplňující hodnoty. Jsou řešené kvůli rozdílné průměrné hloubce/výšce hlasu muže/ženy.

Srozumitelnost řeči RASTI: STI, kde jsou započteny rušivé vlivy elektroniky a měřicích přístrojů bez možnosti kalibrace měřícího systému (např. šum, malý rozsah spektra apod.).

Alcons: Obdoba srozumitelnosti řeči STI. Na rozdíl od srozumitelnosti řeči Alcons posuzuje také hluk pozadí, a pokud je, i jeho tónovou složku. V simulaci není s výraznějším hlukem pozadí počítáno.



Studio D - akustika s.r.o.
www.akustikad.com

Zkušební laboratoř Studio D – akustika
Zkušební laboratoř č. 1145 akreditovaná ČIA podle
normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018
U Sirkárny 467/2a
370 04 České Budějovice



5 PROHLÁŠENÍ LABORATOŘE

Proti obsahu protokolu lze podat stížnost do šesti měsíců od jeho převzetí zákazníkem. Námitky a stížnosti se podávají písemně. Přesný popis postupu podání stížnosti uveden na cenové nabídce.

Zkušebna je oprávněna užívat odkaz na dohodu o vzájemném uznávání zkoušek a logo ILAC MRA (International Laboratory Accreditation Cooperation- Mutual Recognition Arrangement - Dohoda o vzájemném uznávání - Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří)

6 STANOVISKO LABORATOŘE

Bylo provedeno měření doby dozvuku a dalších parametrů prostorové akustiky v prostoru „Divadla F.X. Šaldy“ v Liberci. Tento protokol bude sloužit jako podklad k dalším návrhům akustických opatření.

Je nutné konzultovat jakékoliv změny, aby nedošlo k narušení prostorové akustiky posuzovaného místnosti.

Razítko



Ing. František Dolejší
vedoucí AZL

Datum vydání 2020-09-03

*Výsledky zkoušek se týkají jen předmětu těchto zkoušek.
Výsledky zkoušek se vztahují na vzorky tak jak byly přijaty
Bez písemného svolení laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.*

-----Konec protokolu o zkoušce-----