**PROJEKT/ZAKÁZKA**

- ▶ Aula JAMU
- ▶ Úpravy prostorové akustiky

**ČÍSLO ZAKÁZKY****2000240****INVESTOR/ZÁKAZNÍK**

- ▶ JAMU Brno
- ▶ Beethovenova 650/2
- ▶ 662 15 Brno

**PROJEKTANT**

AVT Group a.s.  
V Lomech 2376/10a  
Praha 4  
cz 149 00

**STUPEŇ PROJEKTU**

- ▶ Dokumentace pro provedení stavby

**ZKRATKA****DPS****PROFESE**

- ▶ Prostorová akustika

**KÓD PROFESE****AKU****ZODPOVĚDNÝ  
PROJEKTANT**

Ing. Martin Vondrášek

**VYPRACOVAL**

Ing. Karel Motl

**KONTROLOVAL**

Ing. Martin Vondrášek

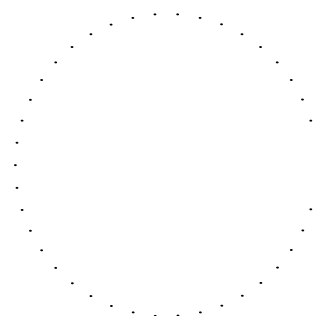
**DATUM****03/2021****FORMÁT****REVIZE****01****NÁZEV PROJEKTU**

- ▶ **ÚPRAVY PROSTOROVÉ AKUSTIKY  
AULA JAMU**

**ČÍSLO PARE**

PŘÍLOHA	KÓD PŘÍLOHY	# FORMÁT	POZNÁMKA
Obsah dokumentace	OD	1x A4	tabelární část
Technická zpráva	TZ	8x A4	textová část
Výkaz výměr	VV	1x A4	tabelární část
Půdorys - schema rozložení AKU prvků	V01	2x A4	M 1:100
		celkem	13x A4
			včetně desek

<b>PROJEKT/ZAKÁZKA</b> ▶ Aula JAMU ▶ Úpravy prostorové akustiky		▶ <b>ČÍSLO ZAKÁZKY</b> <b>2000240</b>
<b>INVESTOR/ZÁKAZNÍK</b> ▶ JAMU Brno ▶ Beethovenova 650/2 ▶ 662 15 Brno		<b>PROJEKTANT</b> AVT Group a.s. V Lomech 2376/10a Praha 4 cz 149 00
<b>STUPEŇ PROJEKTU</b> ▶ Dokumentace pro provedení stavby		<b>ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT</b> Ing. Martin Vondrášek
<b>PROFESE</b> ▶ Prostorová akustika		<b>VYPRACOVAL</b> Ing. Karel Motl
<b>PŘÍLOHA /VÝKRES</b> ▶ Obsah dokumentace		<b>KONTROLOVAL</b> Ing. Martin Vondrášek
		<b>DATUM</b> 03/2021
		<b>FORMÁT</b> 1xA4
		<b>ČÍSLO PŘÍLOHY</b> OD
		<b>REVIZE</b> 01
		<b>ČÍSLO PARE</b>

**PROJEKT/ZAKÁZKA**

- ▶ Aula JAMU
- ▶ Úpravy prostorové akustiky

**ČÍSLO ZAKÁZKY****2000240****INVESTOR/ZÁKAZNÍK**

- ▶ JAMU Brno
- ▶ Beethovenova 650/2
- ▶ 662 15 Brno

**PROJEKTANT**

AVT Group a.s.  
V Lomech 2376/10a  
Praha 4  
cz 149 00

**STUPEŇ PROJEKTU**

- ▶ Dokumentace pro provedení stavby

**ZKRATKA****DPS****ZODPOVĚDNÝ  
PROJEKTANT**

Ing. Martin Vondrášek

**VYPRACOVAL**

Ing. Karel Motl

**PROFESE**

- ▶ Prostorová akustika

**KÓD PROFESE****AKU****DATUM**  
**03/2021****KONTROLOVAL**

Ing. Martin Vondrášek

**PŘÍLOHA /VÝKRES**

- ▶ Technická zpráva

**FORMÁT****8xA4****REVIZE****01****ČÍSLO PŘÍLOHY**  
**TZ****ČÍSLO PARE**

## Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod .....	2
2 Vstupní požadavky.....	2
3 Akustický návrh.....	3
3.1. Výpočet doby dozvuku .....	3
3.2. Analýza stávajícího stavu .....	3
4 Typy a specifikace akustických prvků.....	4
4.1. Akustické nízkofrekvenční prvky na strop .....	4
4.2. Stěnové difúzní obklady .....	4
4.3. Závěsy.....	4
5 Akustický 3D model .....	5
6 Závěr.....	8

## 1 Úvod

Tato zpráva je součástí projektové dokumentace prostorové akustiky Auly JAMU, Komenského náměstí 609/6, Brno. Úpravy vycházejí z požadavků uživatelů a jejich zkušeností z reálného provozu.

Před vypracováním projektu proběhla dvě jednání upřesňující rozsah projekčních prací a byly sděleny hlavní problémy, které je třeba řešit.

## 2 Vstupní požadavky

Projekt řeší následující části:

- Zákryt nástupu pro účinkující – místo stávajících odrazivých paravánů zakrývajících dveře z šatny bude na zeď instalována konzole se závěsem
- Pro zadní stěnu budou navrženy difuzory pro redukci odrazů zvuku zpět na pódium.
- Zatemnění oken s minimalizací dopadu do prostorové akustiky
- Proměnná akustika – variabilní ztlumení zadní stěny – segmenty těžké textile, nosné konzole.

Poznámka:

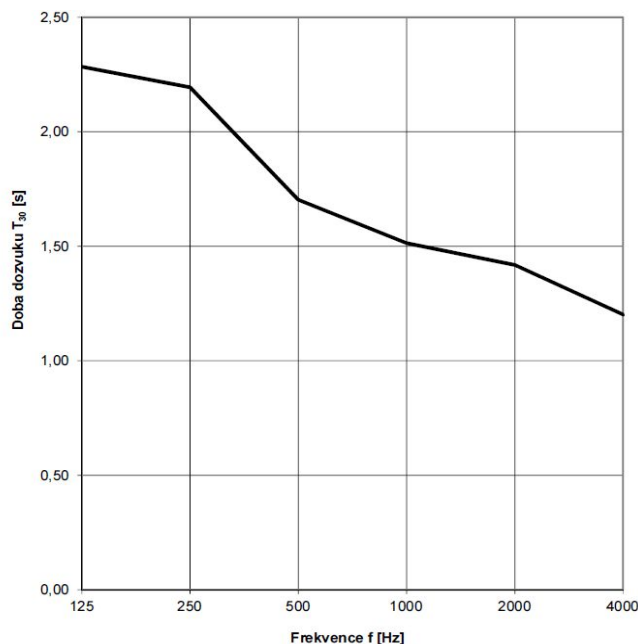
V samostatném projektu bude řešena nová kabeláž pro mikrofony a přípojná místa. Jejich instalace by měla probíhat souběžně s realizací výše uvedených bodů.

Akustické požadavky řešeného prostoru plynou z normy ČSN 73 0525 a ČSN 73 0527, která specifikuje akustické parametry prostor pro výukové, sportovní a veřejné účely.

Stávající stav byl změřen 10. 4. 2017 (Ing. Martin Vondrášek) a veškeré navazující úpravy z tohoto měření vycházejí, resp. výpočty navazují na něj.

RT - okt. pásma	
f [Hz]	T <sub>30</sub> [dB]
125	2,28
250	2,19
500	1,70
1000	1,51
2000	1,42
4000	1,20

Pozn.: měřeno v neobsazeném stavu



Obr. 1: Naměřený kmitočtový průběh doby dozvuku

Cílová doba dozvuku tohoto prostoru je 1,24 sekundy, toleranční pásmo pro hudební produkci, v souladu s výše uvedenou normou.

### 3 Akustický návrh

Tato studie prostorové akustiky se zabývá výhradně optimalizací šíření zvuku v rámci řešených prostor, nikoliv navazujícími akustickými obory (stavební nebo hluková akustika).

#### 3.1. Výpočet doby dozvuku

Pro výpočet doby dozvuku byl použit vztah podle N. Eyringa

$$T_{60} = \frac{4 \cdot \log_e 10^{-6} \cdot V}{-S \cdot c_0 \cdot \log_e (1 - \bar{\alpha})} \approx 0,164 \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad [\text{s}]$$

kde  $S$  je celková plocha místnosti [ $\text{m}^2$ ].

$V$  je objem místnosti [ $\text{m}^3$ ].

Průměrná hodnota  $\alpha$  se určí podle následujícího vztahu

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 \dots \alpha_n S_n}{S} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot \alpha_i}{S} \quad [-]$$

kde  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  jsou činitelé pohltivosti [-] omezujících ploch  $S_1 \dots S_n$  [ $\text{m}^2$ ],

$S$  je celková plocha místnosti [ $\text{m}^2$ ].

Tento vztah v sobě nezahrnuje vliv útlumu zvuku ve vzduchu a proto

$$T_{60} = 0,164 \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4m \cdot V} \quad [\text{s}]$$

kde  $m$  je činitel útlumu zvuku ve vzduchu [-].

#### 3.2. Analýza stávajícího stavu

Z naměřených hodnot (viz kapitola 2) vyplývá, že doba dozvuku prázdného prostoru je vyšší, než odpovídá normativním požadavkům. To je však žádoucí stav s ohledem na to, že po obsazení prostoru posluchači dojde k redukci dozvuku na středních a vysokých kmitočtech tak, že výsledné hodnoty jsou v tomto kmitočtovém pásmu optimální.

Úpravy prostorové akustiky tak musí být z hlediska dozvuku soustředěny na nízké kmitočty a dále na redukci odrazů od zadní stěny (jejich vliv na akustické podmínky na jevišti nelze standardním měřením analyzovat – jsou však identifikovány účinkujícími a zřejmé ze stávající konfigurace prostoru).

## 4 Typy a specifikace akustických prvků

V této kapitole jsou popsány typy akustických prvků, jejichž instalace povede ke zlepšení akustických podmínek v aule.

Orientační schéma rozmístění je ve výkresové části dokumentace a podléhá upřesnění architektonického ztvárnění interiéru (zejména barevné provedení).

### 4.1. Akustické nízkofrekvenční prvky na strop

V plochách stropu, který je řešený jako pevný podhled, je větší množství pravoúhlých segmentů, které lze nahradit akustickými prvky pracujícími na bázi kmitacích panelů (to se netýká segmentů, kde jsou instalována světla). Akustické parametry jsou následující:

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Koef. akustické absorpce	0,65	0,45	0,2	0,05	0,1	0,1

Množství takto upravených stropních segmentů je uvedeno ve výkazu výměr. Z důvodu kolizí s osvětlením a požadavkem provozovatele ohledně preferencí menší míry zatlumení těchto kmitočtů je rozsah úprav redukovaný.

### 4.2. Stěnové difúzní obklady

Difúzní akustické prvky zabraňují ostrým odrazům a přispívají tak k rovnoměrnější distribuci akustické energie v prostoru. Stávající difuzory jsou umístěny pouze na bočních stěnách, a proto jsou méně akusticky exponovány. Jejich tvar a parametry vychází z toho, že jsou částečně zapuštěny ve stěně, což v případě nově instalovaných není možné. Aby byla udržena přijatelná celková tloušťka nových prvků na zadní (popř. i čelní) stěně, je jejich funkce je omezena rozsahem 940 Hz až 6,8 kHz. Tomu odpovídá tloušťka 150 mm a celkem 33 šachet v šířce pole 1800 mm. Detailní provedení je předmětem dílenské dokumentace.

Zadní stěna sálu je členěna do tří polí, kde ve dvou krajních budou difuzory instalovány celoplošně, v prostředním poli pak bude plocha tohoto prvku redukována o výdech vzduchotechniky, který musí zůstat s ohledem na údržbu a čištění přístupný a rozebíratelný. Kromě toho bude difuzor obsahovat ve spodní části průzor pro kameru (instalována za zdí) a přípravu pro instalaci evakuačního svítidla.

### 4.3. Závěsy

Obecně platí, že textilie s požadavkem na akustickou funkci musí mít plošnou hmotnost alespoň 350 g/m<sup>2</sup>. Zároveň je v tomto případě nutné uvažovat pouze nehořlavý materiál.

Pro zakrytí vstupu na pódium (místo paravánu) a proměnné zatlumení zadní stěny je uvažován stejný typ materiálu se shodnou akustickou absorpcí a který vykazuje potřebné požární parametry. Barva bude určena dle vzorníku v rámci odsouhlasení dílenské dokumentace.

Okna na boční stěně, která je nutno v některých případech zatemnit, by naopak neměly vykazovat větší akustickou absorpci (znamenalo by to výraznou akustickou nesymetrii prostoru). Proto je navržen textil s povrchovou úpravou rubové strany, který vykazuje naopak akustickou odrazivost na středních a vysokých kmitočtech. Akustické parametry (nikoliv pohltivost, ale odrazivost):

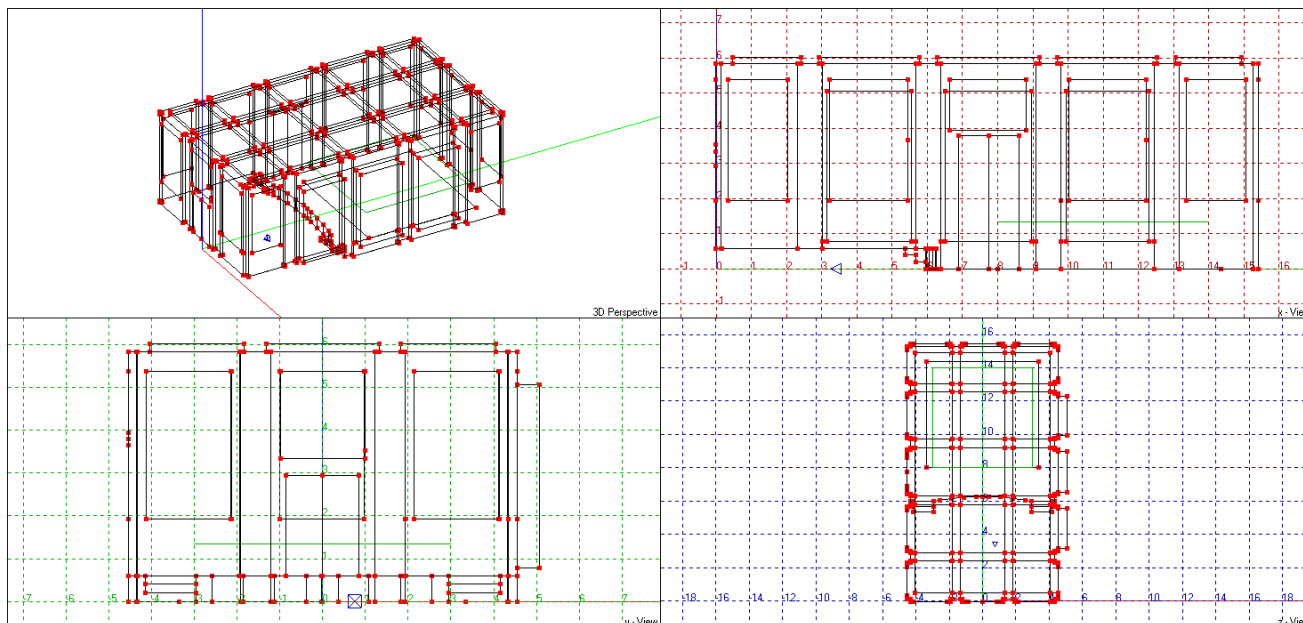
Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Koef. akustické <i>reflexe</i>	0,15	0,3	0,55	0,8	0,8	0,7

Závěsy na zadní stěně nezakrývají střední segment, kde se nachází vyústka vzduchotechniky a kamera.

Poznámka: Tyto závěsy mohou být řešeny v rámci další realizační etapy, v první fázi budou instalovány pouze nosné konzole.

## 5 Akustický 3D model

V programu EASE 4.4 byl celý prostor simulován z hlediska doby dozvuku a dalších akustických parametrů.

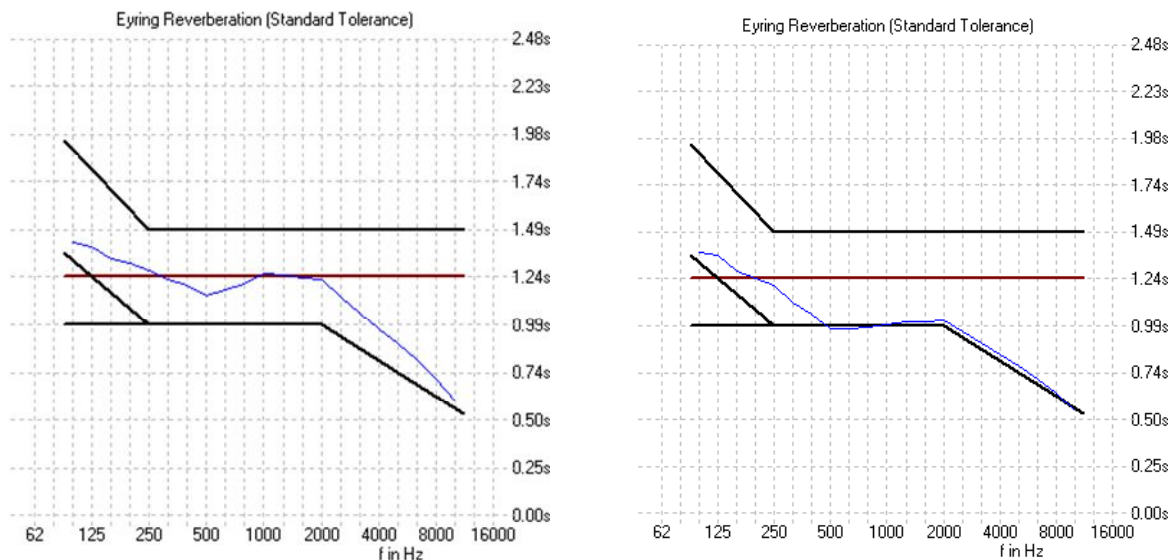


Obr. 2: Akustický 3D model Auly

Tento model byl z hlediska doby dozvuku a vnitřních materiálů kalibrován na základě výše uvedeného měření a na základě obdržných pasportizovaných stavebních výkresů.

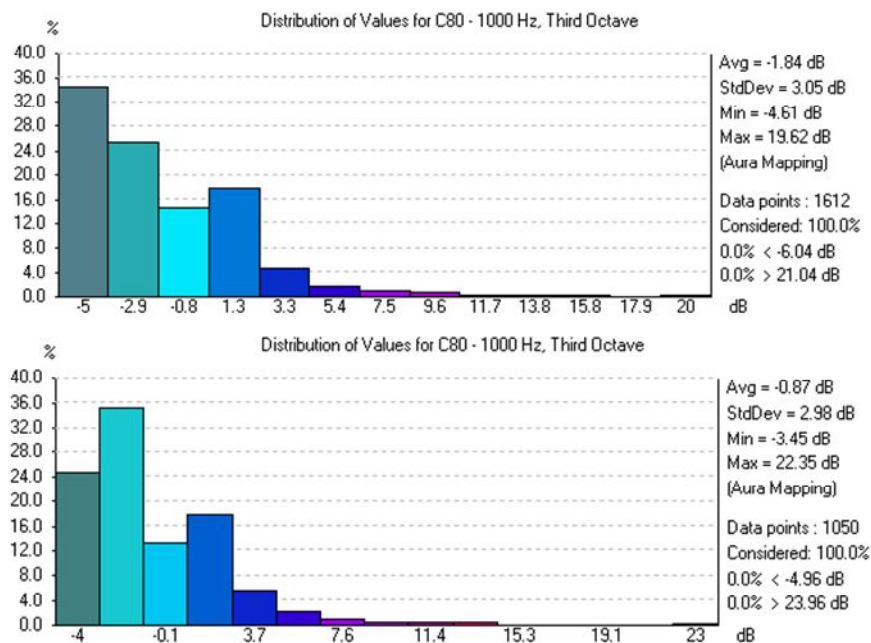


Analyzovány byly zejména parametry RT (doba dozvuku),  $C_{80}$  (míra jasnosti) a STI (srozumitelnost mluveného slova). Na základě analýz a výpočtů z modelu byly získány následující výstupy.



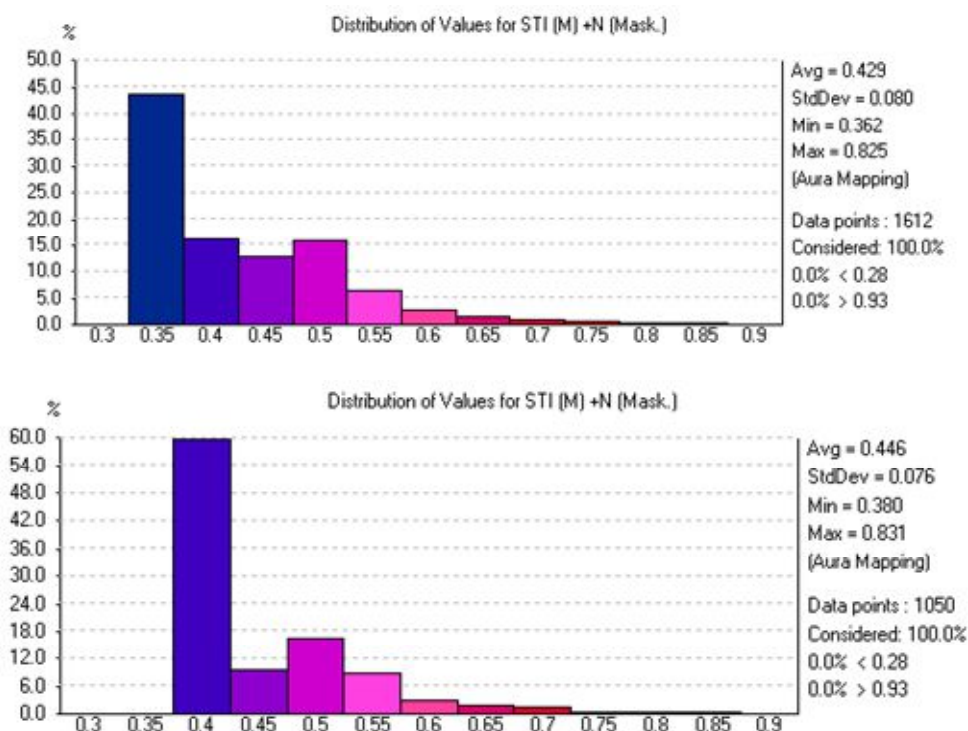
Obr. 3: Vypočtené doby dozvuku po doplnění akustických difuzorů a závěsů. Vlevo situace při zatažení závěsů na zadní stěně (do rohů místnosti), vpravo při roztahení závěsů do plochy.

Z porovnání průběhů je zřejmé, že s roztahenými závěsy leží doba dozvuku na středních kmitočtech ve středu tolerančního pásma, se zatlumenou zadní stěnou se pak snižuje na spodní hranici.

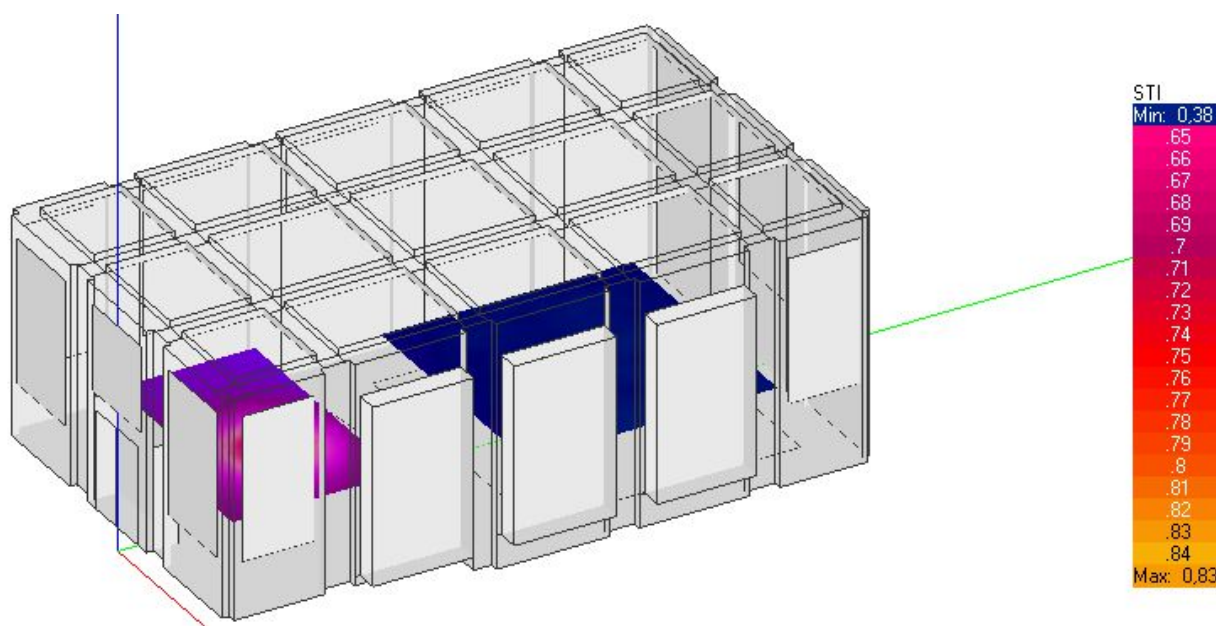


Obr. 4: Distribuční rozložení parametru  $C_{80}$  (nahore roztahené závěsy, dole zatažené).

Optimální hodnoty  $C_{80}$  silně záleží na hudebním žánru, obecně lze považovat za optimální hodnoty v rozmezí  $1 \pm 2$  dB. To sál po úpravách částečně splňuje, nižší hodnoty při roztažených závěsech odpovídají více hudbě s pomalejším tempem. Proměnná akustika umožňuje adaptovat prostor v mezích, které s ohledem na provozní požadavky svým rozsahem vyhovují.



Obr. 5: Distribuční rozložení parametru STI (nahore roztažené závěsy, dole zatažené).



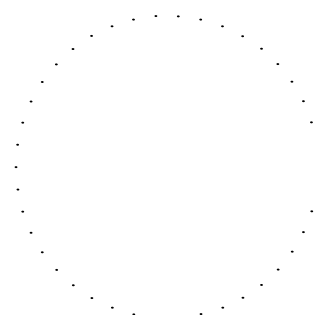
Obr. 6: Rozložení parametru STI v poslechových rovinách (zatažené závěsy).

Bez ohledu na zatlumení prostoru závěsy nelze předpokládat dobrou srozumitelnost mluveného slova (to by odpovídalo hodnotám STI 0,5 a vyšší), prostor je z hlediska doby dozvuku optimalizován pro hudební produkci, nikoliv konference – což je v souladu s provozním využitím.

## 6 Závěr

Tento projekt popisuje řešení úprav prostorové akustiky Auly v budově JAMU, Komenského náměstí. Navržené úpravy povedou ke snížení a linearizaci doby dozvuku, rovnoměrnější distribuci zvuku v rámci prostoru a také k redukci přímých odrazů od zadní stěny zpět na pódium.

Konkrétní podoba difuzorů a kmitacích panelů podléhá dílenské dokumentaci, kterou musí před zahájením prací schválit investor a autorský dozor.

**PROJEKT/ZAKÁZKA**

- ▶ Aula JAMU
- ▶ Úpravy prostorové akustiky

**ČÍSLO ZAKÁZKY****2000240****INVESTOR/ZÁKAZNÍK**

- ▶ JAMU Brno
- ▶ Beethovenova 650/2
- ▶ 662 15 Brno

**PROJEKTANT**

AVT Group a.s.  
V Lomech 2376/10a  
Praha 4  
cz 149 00

**STUPEŇ PROJEKTU**

- ▶ Dokumentace pro provedení stavby

**ZKRATKA****DPS****ZODPOVĚDNÝ  
PROJEKTANT**

Ing. Martin Vondrášek

**VYPRACOVAL**

Ing. Karel Motl

**PROFESE**

- ▶ Prostorová akustika

**KÓD PROFESE****AKU****DATUM**  
**03/2021****KONTROLOVAL**

Ing. Martin Vondrášek

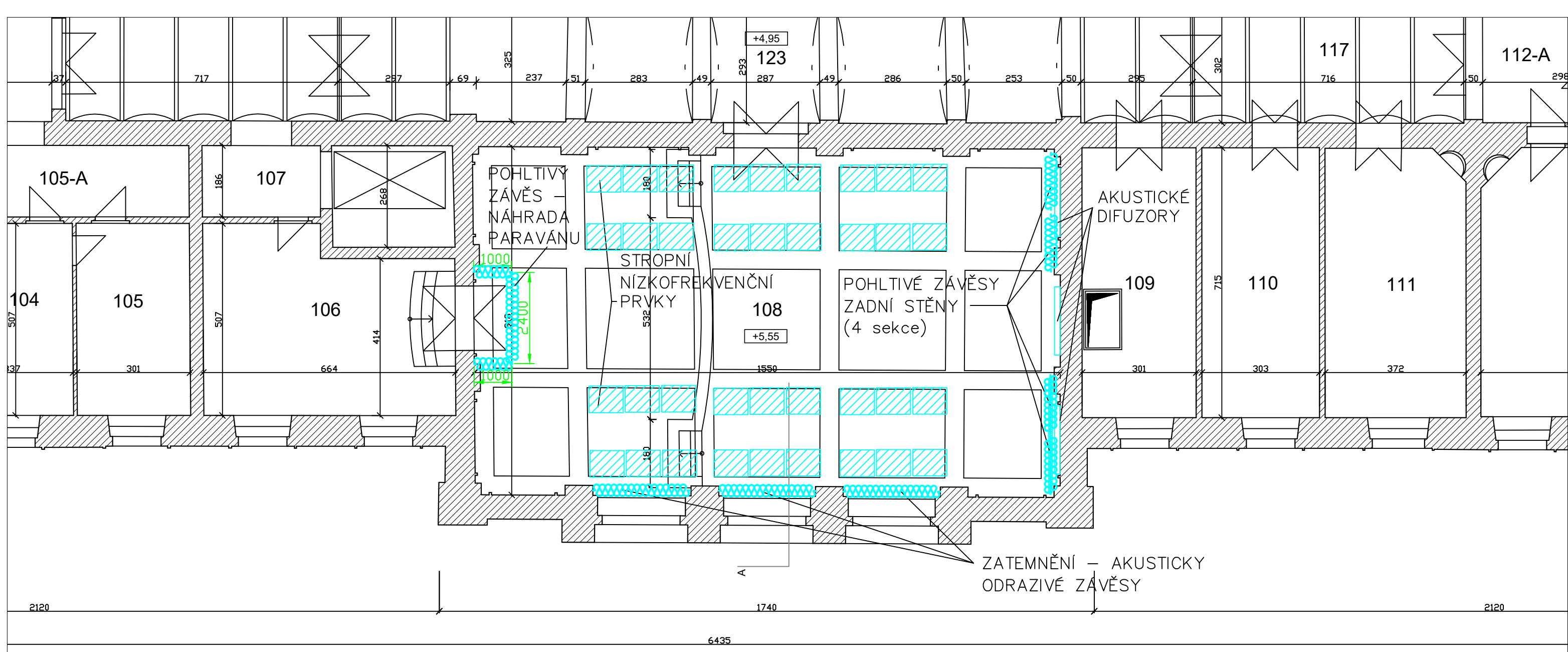
**PŘÍLOHA /VÝKRES**

- ▶ Výkaz výměr

**FORMÁT****1xA4****REVIZE****01****ČÍSLO PŘÍLOHY**  
**VV****ČÍSLO PARE**

Název objektu:	Aula JAMU		
Název dílu:	Akustické prvky - projektantský odhad cen		

č	Popis položky	Počet měrných jednotek	Měrná jednotka	Jednotková cena [Kč]	Celková cena [Kč]	Technické specifikace, uživatelské standardy
1	Textilní závěs / zákryt nástupu na pódium	25	m2		0,-	Textilní závěs s plošnou hmotností alespoň 350 g/m <sup>2</sup> , včetně šití. Samozhášivé provedení. Nařasení 100%, barevné provedení dle vzorníku a návrhu interiéru.
2	Nosná konzole pro závěs	1	kpl		0,-	Závěsná konzole v prostoru nad dveřmi ze šatny, fixační prvky s adekvátní nosností. Konzole vystupuje do prostoru nad pódium (1 m) a je nutné staticky posoudit kotvení resp. přídatné jištění sestavou lanek.
3	Akustické difuzory, krajní pole	2	kpl		0,-	QRD difuzor 11. řádu, rozsah 940 Hz až 6,8 kHz, instalace do krajních polí vymezených štukovými ornamenty. Plošné rozměry 1850 x 3400 mm.
4	Akustický difuzor, středové pole	1	kpl		0,-	QRD difuzor 11. řádu, rozsah 940 Hz až 6,8 kHz, instalace do středového pole zadní stěny, včetně integrace vyústění VZT, evakuačního osvětlení a průzoru pro kameru.
5	Nízkofrekvenční panely	23	m2		0,-	Nízkofrekvenční prvky (rezonanční panely) pro instalaci do stropu/nad podhled, koeficient akustické absorpce min. 0,65 na kmitočtu 125 Hz a 0,45 na kmitočtu 250 Hz. Samostatný uzavřený prvek, předpoklad rozměrů 1000x800x200 mm, barevné provedení shodné se stávajícími podhledovými segmenty.
6	Zatměnění	43	m2		0,-	Neprůsvitné závěsy s redukovanou akustickou absorpcí. Koeficient reflexe min. 0,8 na středních kmitočtech.
7	Nosná konzole pro zatměnění	3	kpl		0,-	Závěsná konzole nad okny, fixační prvky s adekvátní nosností.
8	Těžké textilní závěsy pro zadní stěnu	25	m2		0,-	Textilní závěsy s plošnou hmotností alespoň 350 g/m <sup>2</sup> , jedná se o dvě sekce zadní stěny (mimo středovou zónu s vyústkou VZT a kamerou), každá sekce se středovým dělením pro lepší variabilitu zatlumení. Výška závěsů 4m (vychází z rozměrů štukových ornamentů a difuzorů), Řasení min. 50%, včetně šití. Samozhášivé provedení.
9	Nosné konzole pro proměnnou akustiku	2	kpl		0,-	Závěsné konzole a fixační prvky s adekvátní nosností.
10	Doprava	1	kpl		0,-	
11	Díleňská dokumentace a dokumentace skutečného provedení.	1	kpl		0,-	Realizační dokumentace - konstrukční řešení akustických prvků včetně kotvení, upřesnění stropních prvků s ohledem na mechanické povedení podhledu, dokumentace skutečného provedení.
11	Instalační práce	1	kpl		0,-	Montáž akustických prvků, VRN, lešení. Včetně ochrany podlahy a interiéru.
	<b>Celkem</b>				<b>0,-</b>	



#### PROJEKT/ZAKÁZKA

- Aula JAMU
- Úpravy prostorové akustiky

#### ► ČÍSLO ZAKÁZKY

2000240

#### INVESTOR/ZÁKAZNÍK

- JAMU Brno
- Beethovenova 650/2
- 662 15 Brno

PROJEKTANT  
AVT Group a.s.  
V Lomech 2376/10a  
Praha 4  
cz 149 00



#### STUPEŇ PROJEKTU

- Dokumentace pro provedení stavby

#### ZKRATKA

DPS

#### PROFESE

- Prostorová akustika

#### KÓD PROFESE

AKU

#### PŘÍLOHA /VÝKRES

- Schematické rozložení prvků
- prostorové akustiky

#### ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT

Ing. Martin Vondrášek

#### VYPRACOVAL

Ing. Karel Motl

#### KONTROLOVAL

Ing. Martin Vondrášek

DATUM  
03/2021

FORMÁT  
2xA4 (A3)

MĚŘÍTKO  
M 1:100

ČÍSLO PŘÍLOHY  
V01

REVIZE  
01

ČÍSLO PARE