

## Revize

Číslo	Datum	Popis změny	Jméno	Podpis
-	-		-	-

±0,000=207,800 m n.m. Bpv

## Objednatel

Statutární město Brno

Zastoupené: JUDr. Markétou  
Vaňkovou, primátorkou města Brna  
Se sídlem:  
Dominikánské náměstí 196/1  
Brno-město, 602 00 Brno

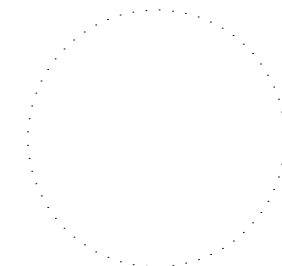
**B | R | N | O**

## Místo stavby

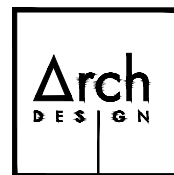
Česká republika  
Jihomoravský kraj  
Brno  
Brněnské výstaviště

## Generální projektant – Společnost Arch.Design a A PLUS

A PLUS		A PLUS a.s.
Hlavní architekt projektu (autor)	Prof. Ing. Karel Tuza, CSc.	Česká 12
Hlavní architekt projektu (autor)	Ing. arch. Petr Uhlíř	602 00 Brno
Architekt projektu (autor)	Ing. arch. Petra Soudková	IČ: 262 36 419
Architekt projektu	Ing. arch. Vít Moler	www.aplus.cz
Hlavní inženýr projektu	Ing. Jakub Holásek	
Zástupce hlavního inženýra projektu	Ing. Tomáš Holásek	
Projektant	Ing. Ondřej Vlach	
Arch.Design		Arch.Design, s.r.o.
Hlavní projektant	Ing. Václav Morava	Sochorova 23
Projektant	Ing. Jakub Kapsa	616 00 Brno
Manažer projektu	Ing. Miroslav Bílek	IČ: 257 64 314
Koordinátor projektu	Ing. Bořivoj Kňourek	www.archdesign.cz



**A PLUS**



název stavby

**MULTIFUNKČNÍ SPORTOVNÍ  
A KULTURNÍ PAVILON**

zakázkové číslo  
**B-13-103-100  
3174-30**

stupeň dokumentace

**DOKUMENTACE PRO PROVÁDĚNÍ STAVBY / DPS**

objekt

-

část

**SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA**

číslo části

**B**

**PROSTOROVÁ AKUSTIKA**

číslo výkresu

**001-Př.1**

Dokumentace  
pro provádění  
stavby

datum

**09/2021**

měřítko výkresu

číslo revize

**00**

## Obsah

Obsah.....	1
1 Podklady a základní informace.....	2
1.1. Vstupní požadavky.....	2
1.2. Technické normy.....	3
1.3. Odborná literatura.....	3
2 Základní parametry prostoru.....	4
2.1. Požadovaná doba dozvuku .....	4
2.2. 3D model arény .....	5
3 Použité materiály – aréna .....	6
3.1. Strop arény .....	6
3.1.1. Širokopásmový pohled .....	6
3.1.2. Nízkofrekvenční úprava pohledu.....	6
3.2. Sedadla.....	7
3.2.1. Sedadla – typ 1.....	7
3.2.2. Sedadla – typ 2.....	8
3.3. Akustický obklad – ochoz 6NP (OD.101) .....	9
3.4. Simulace doby dozvuku.....	10
3.5. Zhodnocení výsledků simulací.....	10
4 Lokální prostorová akustika přidružených prostor .....	11
4.1. Režie (6.T2.007) a komentátorské kabiny (6.T6.002-009).....	11
4.2. Press room 4NP .....	13
5 Závěr .....	14
6 Příloha – doplnění výsledků simulací.....	15

## 1 Podklady a základní informace

Tato studie popisuje návrh řešení prostorové akustiky pro sportovní a kulturní pavilon (dále MFH, MSKP, multifunkční hala,...) na úrovni projektu pro provedení stavby. Ve výpočtové části došlo k ověření finálního stavebního řešení, jehož výkresová dokumentace je součástí stavebně architektonického souboru objektu. V tomto dokumentu jsou tato řešení definována a ověřena výpočty v akustickém simulačním programu EASE 4.4.

Výpočty uvedené v této studii zároveň slouží jako vstupní data pro akustickou kalibraci 3D modelu sloužícího pro analýzu ozvučovacího systému a evakuačního rozhlasu uvnitř arény.

### 1.1. Vstupní požadavky

Při návrhu úprav doby dozvuku bylo použito akustických výpočtů a simulací pomocí akustických programů. Při návrhu bylo vycházeno z doporučení norem ČSN 73 0527 a dlouholetých zkušeností při návrhu prostor obdobného zaměření a účelu využití. Víceúčelová hala bude sloužit primárně pro sportovní využití a pořádání kulturních (hudebních a jiných) akcí. Z těchto důvodů se na prostor vztahují vysoké požadavky na výslednou kvalitu zvuku a tedy i samotné akustiky prostoru.

#### **Sportovní využití**

Lední hokej (sledge hokej), florbal, házená, basketbal, volejbal, tenis, malý fotbal, apod. Kapacita hlediště pro využití haly v konfiguraci je stanovena na základní úroveň pro cca 12 000 sedících diváků.

Box a ostatní úpolové sporty (bez využití nejvzdálenějších diváckých míst, ale s ringem a diváky na ploše cca 9 000 diváků).

#### **Kulturní využití**

Hala musí umožnit pořádání kulturních, společenských a veletržních akcí v nejvyšší akustické kvalitě se stavbou velkých a variabilních podíí dle individuálních potřeb účinkujících.

Kapacita diváků při pořádání koncertů pro standartní velikost pódia např. symfonický orchestr je požadována pro variantu: sezení na ploše cca 1 700 diváků či stání na ploše cca 5 300 diváků, sezení na tribunách v obou výše uvedených případech cca 8 000 diváků.

## 1.2. Technické normy

- [1] ČSN 73 0525, Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady, Český normalizační institut 1998.
- [2] ČSN 73 0526, Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky – Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku, Český normalizační institut 1998.
- [3] ČSN 73 0527, Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely, Český normalizační institut 2005.
- [4] ČSN EN ISO 3382-2, Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech, Český normalizační institut 2009, Oprava: Opr.1, Český normalizační institut 2009.
- [5] ČSN 73 0831, Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory, Český normalizační institut 2011, Změna: Z1, Český normalizační institut 2013. Změny Z1 - 2.13, Z2 - 2.20, Z3 - 10.20
- [6] ČSN 73 0532, Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky. Český normalizační institut 2020.

## 1.3. Odborná literatura

- [7] T. J. COX ; P. D'ANTONIO. Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, design and application. Taylor & Francis, second edition, 2009.
- [8] T. HIDAHA ; N. NISHIHARA. Relation of acoustical parameters with and without audiences in concert halls and a simple method for simulating the occupied state. J. Acoust. Soc. Am. 109 (3), Březen 2001.

## 2 Základní parametry prostoru

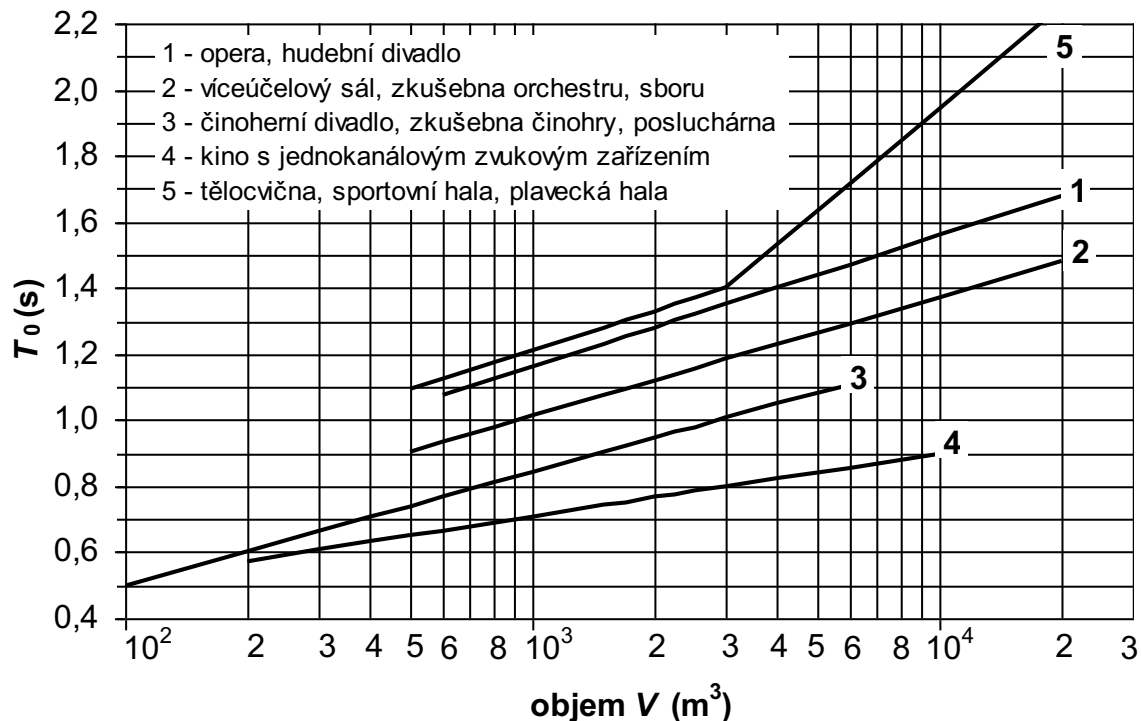
3D model má parametry uvedené v **Tab. 1**, které jsou vstupními informacemi pro výpočty akustických parametrů. Efektivní plochy jsou vyhodnoceny z geometrie místnosti v programu EASE 4.4. Plocha diváků je aktuálně počítaná jako celá plocha tribun. Tyto plochy jsou segmentovány na různé divácké sektory, které mají jiný typ sedáků.

**Tab. 1.** Základní parametry vycházející z geometrie 3D modelu.

<b>Objem [m<sup>3</sup>]</b>	195 412
<b>Efektivní plochy [m<sup>2</sup>]</b>	35 573
<b>Plocha diváků [m<sup>2</sup>]</b>	8 559
<b>Hrací plocha [m<sup>2</sup>]</b>	1 621

### 2.1. Požadovaná doba dozvuku

Doporučená hodnota doby dozvuku dle ČSN 73 0527 pro sportovní halu a víceúčelový sál je uvedena v následující tabulce. Uváděná hodnota pro sportovní halu je pouze orientační – v této technické zprávě bude výchozí hodnotou doporučená doba dozvuku pro víceúčelový sál  **$T_0 = 1,83$  s**, která je uváděna při obsazeném prostoru diváky.



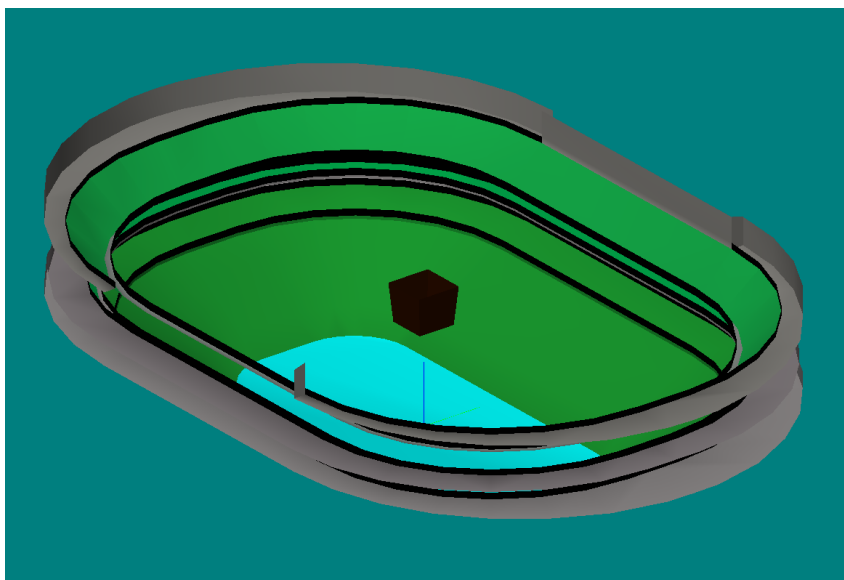
**Obr. 1.** Závislost hodnoty doby dozvuku na objemu pro různé účely prostoru. Graf z normy ČSN 73 0527 [3].

Tab. 2. Doba dozvuku dle normy ČSN 73 0527 [3].

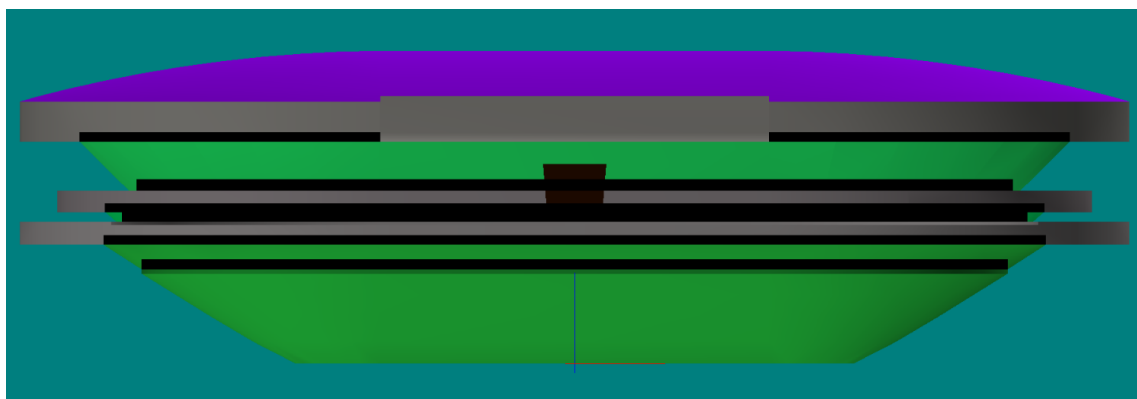
Typ prostoru	Doporučená doba dozvuku $T_0$ [s]
Sportovní hala (Obr. 1. - závislost 5)	3,28
Víceúčelový sál (Obr. 1. - závislost 2)	1,83

## 2.2. 3D model arény

Z dostupných výkresů byl vymodelován zjednodušený 3D model arény pro vytvoření akustických simulací. Významné akustické plochy jsou označeny zelenou(tribuny) a fialovou(střešní podhled) barvou.



Obr. 2. Definování ploch (iso).



Obr. 3. Definování ploch (bokorys).

### 3 Použité materiály – aréna

#### 3.1. Strop arény

Strop arény bude pokrytý podhledem z minerální nebo skelné vaty (90 % stropu arény). Střední část stropu je ze sádkartonu (10 % plochy stropu arény), který má funkci kmitacího panelu na nízkých frekvencích. Tyto materiály budou umístěny v rastru s odsazením pohledové plochy 280 mm od plochy střešní konstrukce. Kladecí plán rastru je součástí dokumentace architektonicko-stavebního souboru.

##### 3.1.1. Širokopásmový podhled

Absorpční materiál tloušťky 100 mm se vzduchovou mezerou 180 mm bude mít následující absorpční koeficienty. Materiál na bázi minerální nebo skelné vlny bude mít objemovou hustotu minimálně 50 kg/m<sup>3</sup>. Minimální absorpční koeficienty, které musí nutně materiál splnit, jsou uvedené v tabulce 3.

Tab. 3. Minimální absorpční koeficient širokopásmového podhledu.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,7	0,9	1	1	1	1

##### 3.1.2. Nízkofrekvenční úprava podhledu

Povrchová vrstva je sádkarton tloušťky 8 mm plošné hmotnosti 6,6 kg. V dutině je uložena minerální vata o objemové hustotě 15 kg/m<sup>3</sup> tloušťky 50 mm. Nejvyšší účinnost (koeficient 0,85) této úpravy bude na oktávovém pásmu 63 Hz, které není ve výpočtech posuzováno. Tato úprava je především z důvodu využití arény ke koncertům, kdy je nutná absorpce především na těchto kmitočtech. Minimální absorpční koeficienty, které musí nutně materiál splnit, jsou uvedené v tabulce 4.

Tab. 4. Minimální absorpční nízkofrekvenční úpravy útlum na 125 Hz.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,7	0,45	0,2	0,05	0,1	0,1

### 3.2. Sedadla

V projektu je uvažováno se 2 typy sedadel dle diváckého sektoru. V řadách Z.01 až Z.22 a v úrovni 5NP budou sedadla **lehce čalouněná**, opatřená tenkou vrstvou absorpčního materiálu v opěradle. Zbylé řady, budou sedadla s vysokým podílem očalounění.

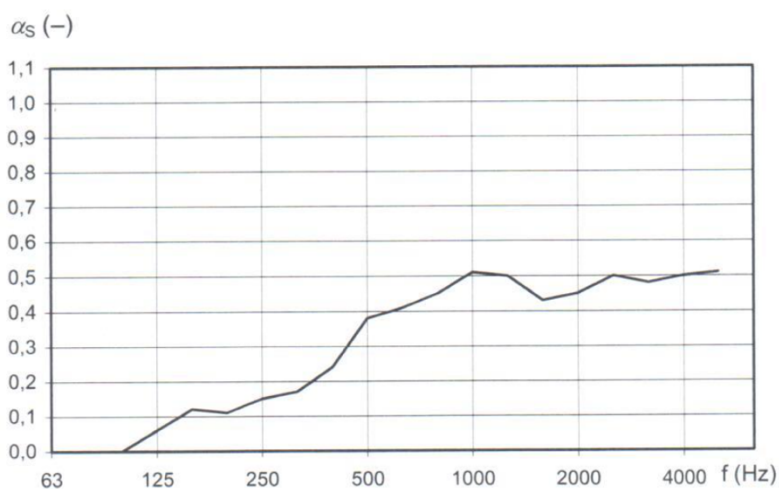
#### 3.2.1. Sedadla – typ 1

Řady Z.01 – Z.22 budou sedadla lehce čalouněná s akustických materiálem na bázi PUR pěny. Plocha sektoru činí **5250 m<sup>2</sup>** (cca 75% celkové plochy sedadel). Absorpční koeficient byl převzat z naměřených dat typově podobných sedadel. Minimální absorpční koeficienty, které musí nutně sedadlo splnit, jsou uvedené v tabulce 5.

**Tab. 5.** Absorpční koeficient sedadel.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,09	0,15	0,34	0,47	0,46	0,49

Frekv. (Hz)	$\alpha_s$ (-)
100	0,00
125	0,06
160	0,12
200	0,11
250	0,15
315	0,17
400	0,24
500	0,38
630	0,41
800	0,45
1000	0,51
1250	0,50
1600	0,43
2000	0,45
2500	0,50
3150	0,48
4000	0,50
5000	0,51
Střední činitel pohltivosti v pásmu 200 – 2500 Hz	
$\alpha_{str} = 0,36$	



**Obr. 4.** Absorpční koeficienty typového sedadla v 1/3 oktávových pásmech.



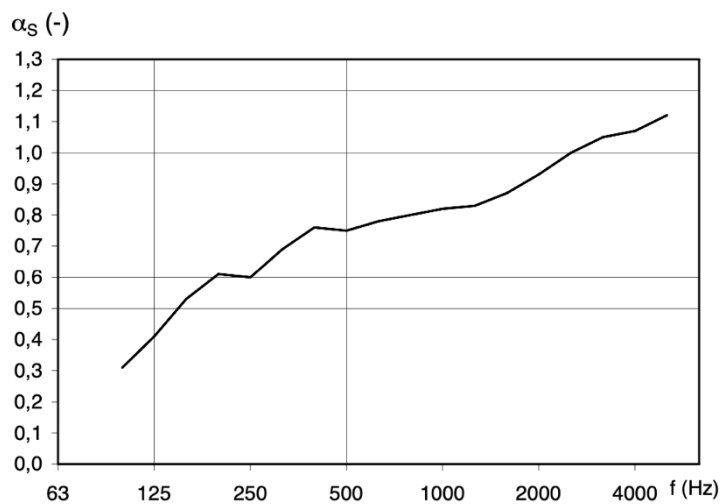
### 3.2.2. Sedadla – typ 2

Tento typ sedadel má polstrování na bázi PUR pěny tloušťky 60 mm. Celé sedadlo je potažené látkou. Minimální absorpční koeficienty, které musí nutně sedadlo splnit, jsou uvedené v tabulce 6.

**Tab. 6.** Absorpční koeficient sedadel ve sklopeném stavu. Absorpční koeficienty použity z [8] (středně čalouněné).

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,42	0,63	0,76	0,82	0,93	1,08

Frekv. (Hz)	$\alpha_s$ (-)
100	0,31
125	0,41
160	0,53
200	0,61
250	0,60
315	0,69
400	0,76
500	0,75
630	0,78
800	0,80
1000	0,82
1250	0,83
1600	0,87
2000	0,93
2500	1,00
3150	1,05
4000	1,07
5000	1,12



**Obr. 5.** Absorpční koeficienty typového sedadla v 1/3 oktávových pásmech.

### 3.3. Akustický obklad – ochoz 6NP (OD.101)

Na stěny ochozu bude instalován perforovaný obklad s dutinou hloubky 190 mm, která bude vyplněna 2 typy minerální vaty. Výplň celé dutiny vatou klesá účinnost na střeních kmitočtových pásmech (250, 500 Hz), zato se zvyšuje absorpční koeficient na nižších pásmech (63 Hz), což je cílem této úpravy. Úprava slouží k redukci doby dozvuku na nižších středech, které jsou stěžejní pro dostatečnou absorpci v hale na nízkých kmitočtech.

**Tab. 7.** Absorpční koeficient širokopásmového stěnového obkladu.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,58	0,86	0,82	0,59	0,41	0,31

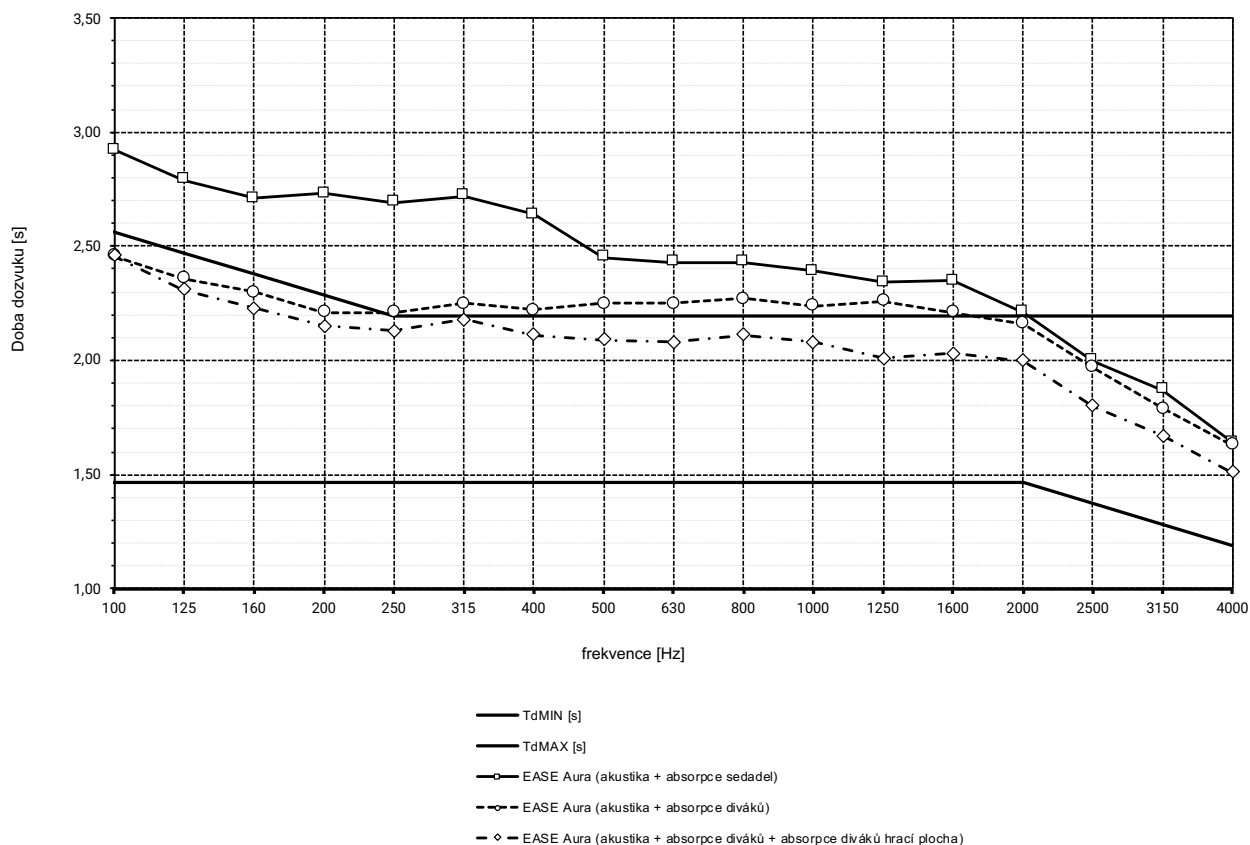
Složení takového obkladu je uvedeno v následující tabulce.

**Tab. 8.** Složení akustické perforované předstěny.

6NP akustický obklad stěn na technologickém ochozu			
OD.101	Vnitřní dělicí konstrukce (stěna 6 NP)	-	-
	Minerální izolace	izolační rolované pásy vyrobené ze skelné plsti, obj. hm. 15 kg/m <sup>3</sup> , tř. reakce na oheň A1	140
	Minerální vata (30 kg/m <sup>3</sup> )	izolační desky z minerální plsti, uložené v nosném roštu z profilů CW 50, obj. hm. 30 kg/m <sup>3</sup> , osová vzdálenost ≤ 625 mm, množství kotev dle technologického předpisu výrobce	50
	obklad z akustických perforovaných cementotřískových desek - max. 10 % perforovaného povrchu	formát desek 1250x625 mm, vyfrézované oválné otvory svisle orientované, povrchová úprava nástřikem v barvě RAL 7016 ze všech stran z výroby - nutno zachovat akustické parametry! Tř. reakce na oheň A2-s1,d0, index šíření plamene is = 0,00 mm/min, bez obsahu azbestu či formaldehydu	10
			200

### 3.4. Simulace doby dozvuku

Doba dozvuku byla simulována prostřednictvím EASE 4.4. s využitím modulu Aura – tedy jedná se o predikce založené na reálném šíření zvuku v prostoru, který zohledňuje i geometrii a lokální změny akustických parametrů v závislosti na poloze posluchače. V následujícím grafu je patrná simulace prázdné arény a dále přepočet na obsazenost arény při obsazení tribun, případně i hrací plochy(koncert). Norma pracuje s doporučením doby dozvuku přepočteného na obsazený stav, proto hodnotíme křivky zobrazující situaci při různém zaplnění arény.



Obr. 6. Závislost hodnoty doby dozvuku na stupni obsazenosti arény.

### 3.5. Zhodnocení výsledků simulací

Z výsledků je patrné, že hodnoty doby dozvuku v prostoru při zaplnění publikem se **nachází na mezní hranici doporučeného rozmezí hodnot normou pro víceúčelový sál**. Tyto hodnoty však **splňují nutné předpoklady norem pro sportovní haly**, které je nutné dodržet – tedy doporučenou střední hodnotu 3,28 s. V prostorech tohoto objemu je obtížné dobu dozvuku redukovat pod 2 s. V případě zaplnění arény diváky při koncertu je očekávána doba dozvuku kolem 2 s.

## 4 Lokální prostorová akustika přidružených prostor

Kromě prostorové akustiky samotné arény je nutné akusticky ošetřit i okolní prostory, které mají významný vliv na návštěvníky (veřejné prostory) a zaměstnance (pracoviště apod.) Je nutné zajistit akustické standardy některých pracovišť (režie, komentátorské kabiny).

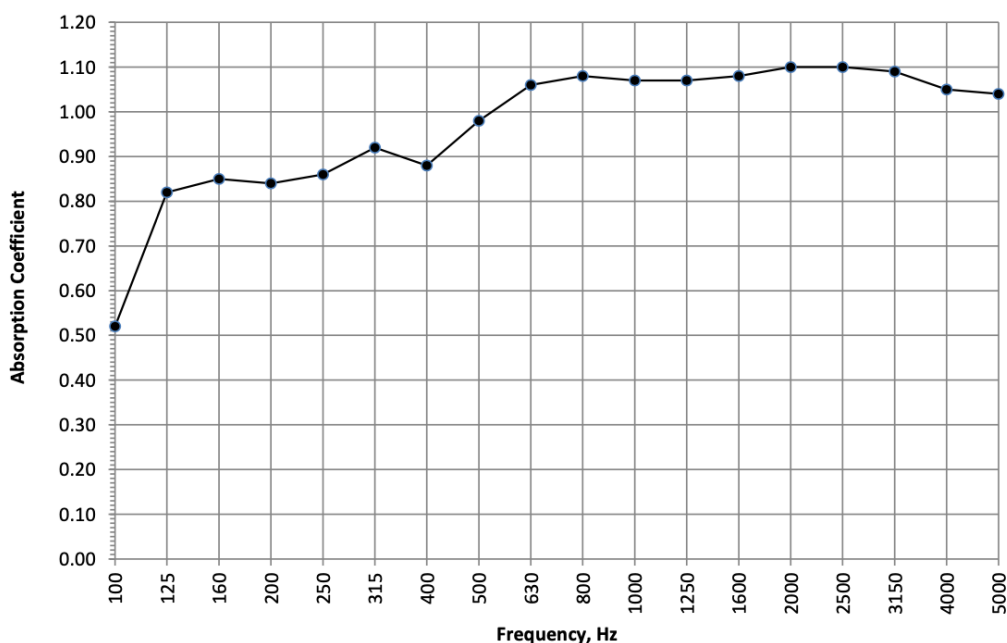
### 4.1. Režie (6.T2.007), komentátorské kabiny (6.T6.002-009) a VIP boxy (002 – 004)

Akustika režie a komentátorských kabin by měla splňovat broadcastové požadavky na dobu dozvuku definované v normě ČSN 73 0526. Střední doba dozvuku tohoto typu místností by měla dosahovat hodnot  $T_0 = 0,3$  s. Dle ITU-R BS.1116-1 by měla střední doba dozvuku být  $T_0 = 0,33$  s.

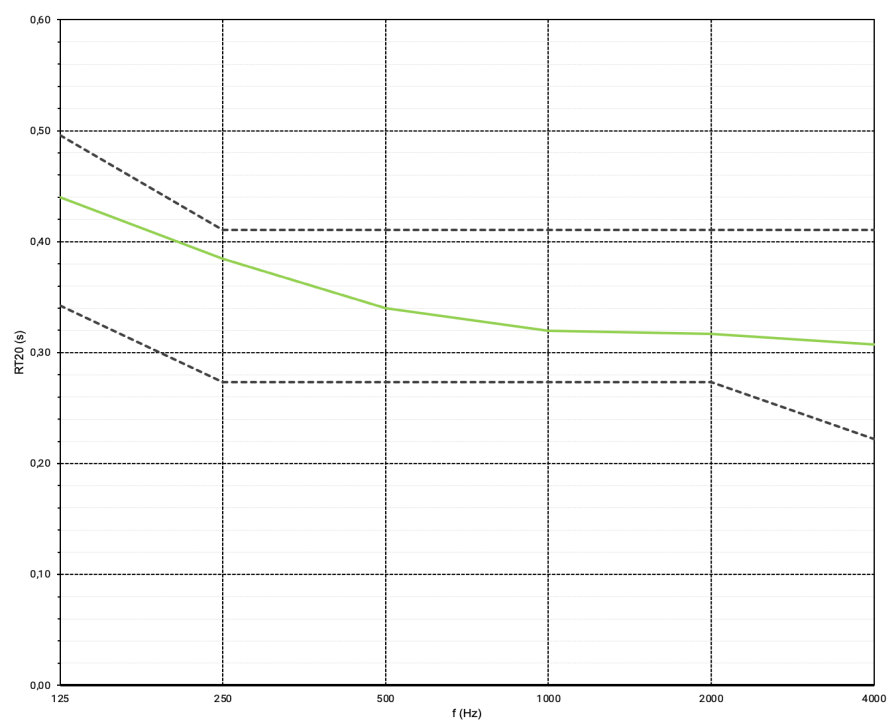
V těchto místnostech je navržen celoplošný podhled se svěšením 400 mm. Pohledová vrstva je 20 mm absorpčního materiálu s 50 mm přidavného materiálu pro lepší nízkofrekvenční absorpci. Zbylých 400 mm tvoří vzduchová dutina. Celkové svěšení je 470 mm. Materiál se pokládá do systémového roštu.

Tab. 8. Absorpční koeficient širokopásmového stropního podhledu.

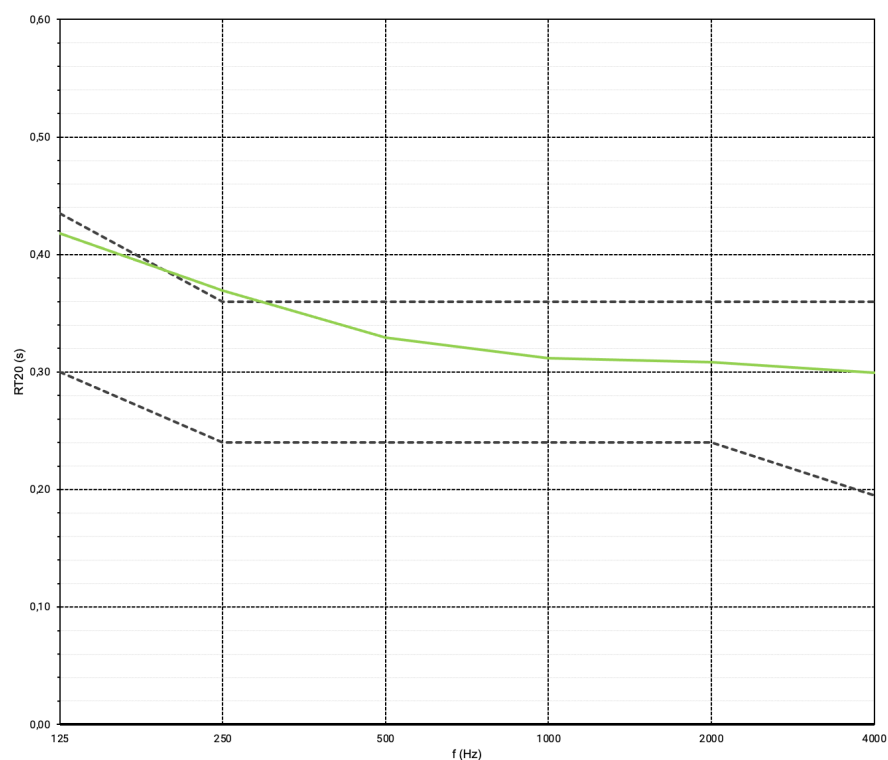
Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,75	0,85	0,95	1	1	1



Obr. 7. Absorpční koeficient podhledu v režii v 1/3 oktávových pásmech.



**Obr. 8.** Frekvenční závislost doby dozvuku v režii. Naznačené meze dle doporučení ITU-R BS.1116-1. Výpočet včetně přítomnosti 2 pracovníků technické obsluhy.



**Obr. 9.** Frekvenční závislost doby dozvuku v režii. Naznačené meze dle doporučení ČSN 73 0526. Výpočet včetně přítomnosti 2 pracovníků technické obsluhy.

## 4.2. Press room 4NP

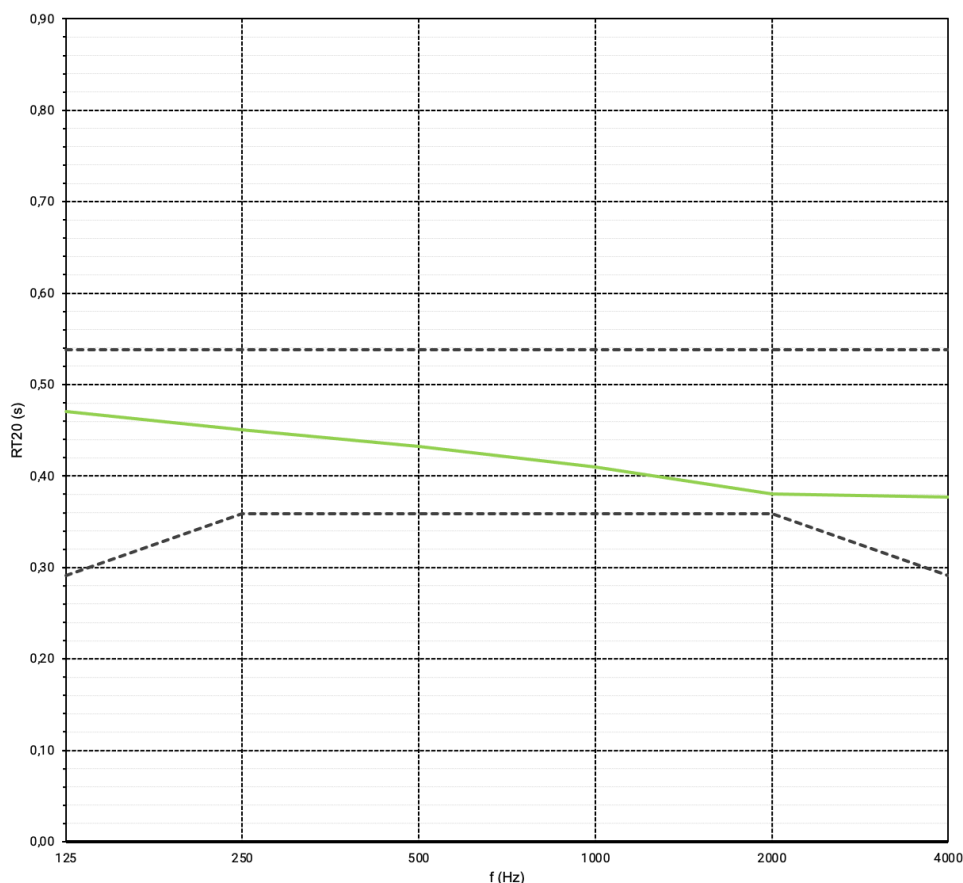
Pro tiskové konference je navržen v celé místnosti absorpční podhled. Je navržen v poměr 60 % plochy celospektrální absorpční materiál a 40 % plochy nízkofrekvenční absorpční podhled. Distribuce těchto prvků bude v páslech jednotlivých typů materiálu. Specifický kladečský plán je součástí architektonicko-stavebního souboru. Výsledná doba dozvuku splňuje doporučení ITU-R BS.1116-1.

Tab. 9. Absorpční koeficient širokopásmového stropního podhledu.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,75	0,85	0,95	1	1	1

Tab. 10. Absorpční koeficient přidáním další vrstvy – nízkofrekvenční útlum na 125 Hz.

Kmitočet [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Absorpční koeficient	0,7	0,45	0,2	0,05	0,1	0,1



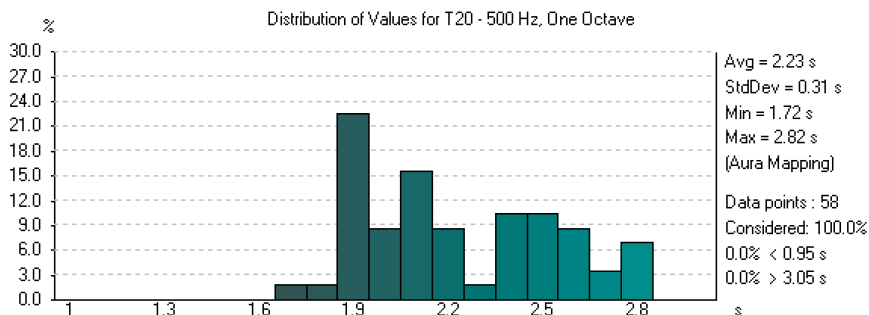
Obr. 10. Frekvenční závislost doby dozvuku v press room. Naznačené meze dle doporučení ITU-R BS.1116-1. Výpočet včetně přítomnosti 20 osob.

## 5 Závěr

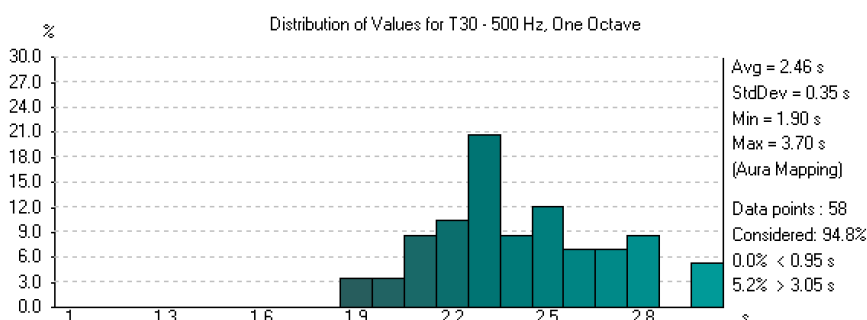
Tento dokument popisuje řešení prostorové akustiky arény a přidružených prostorů arény, které mají zvýšené nároky na prostorovou akustiku. Dokument specifikuje absorpční koeficienty použitých materiálů a jejich umístění a skladbu.

Akustický návrh prostoru multifunkční haly je proveden v souladu s příslušnými normami, výsledná doba dozvuku se dle navržených akustických úprav pohybuje v oktávovém pásmu 125 Hz až 4 kHz na horní hranici tolerančního pásma dle ČSN 73 0527 pro prostory s víceúčelovou funkcí v zaplněném stavu. Tyto simulace byly provedeny pomocí metody raytracing, která více odpovídá reálnému stavu. Dle statistických výpočtů dle Eyringa vychází doba dozvuku prázdné haly  $RT_{20(500-2000\text{Hz})} = 1,85$  s, zatímco u metody raytracing je tomu u prázdné haly  $RT_{20(500-2000\text{Hz})} = 2,45$  s.

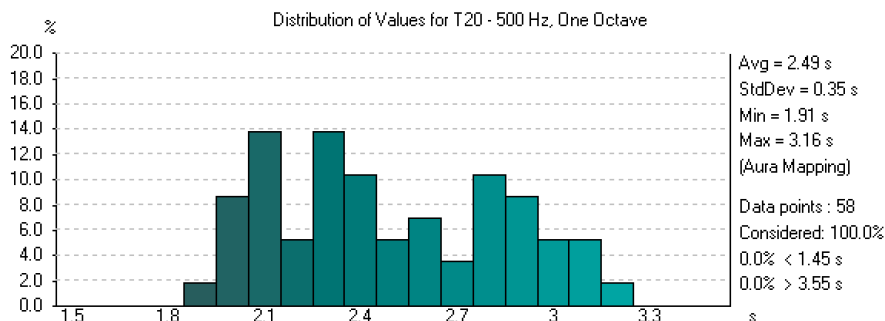
## 6 Příloha – doplnění výsledků simulací



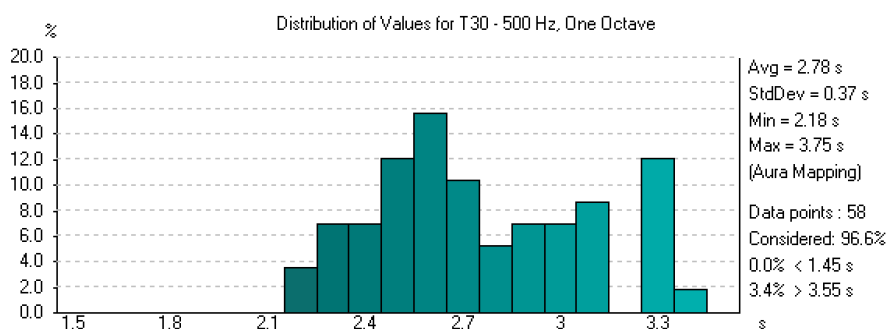
**Obr. 11.** Distribuce hodnot RT20 na oktavovém pásmu 500 Hz (obsazená aréna).



**Obr. 12.** Distribuce hodnot RT30 na oktavovém pásmu 500 Hz (obsazená aréna).

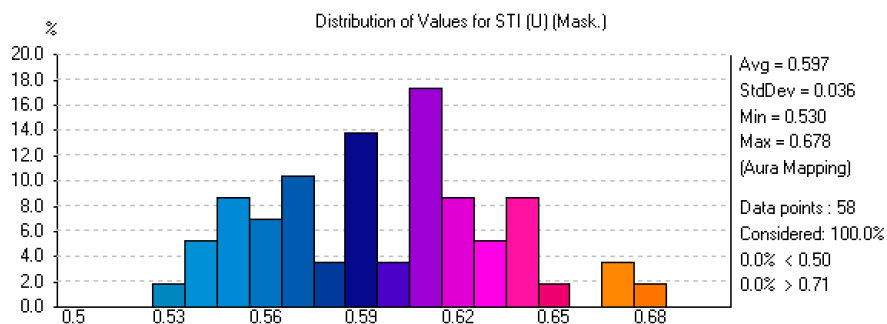


**Obr. 13.** Distribuce hodnot RT20 na oktavovém pásmu 500 Hz (prázdná aréna).

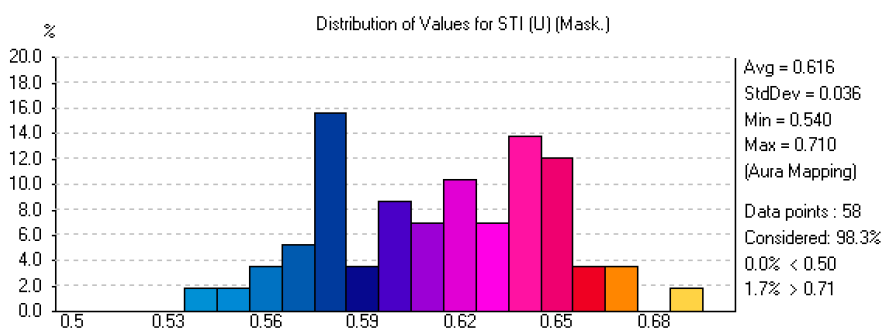


**Obr. 14.** Distribuce hodnot RT30 na oktavovém pásmu 500 Hz (prázdná aréna).

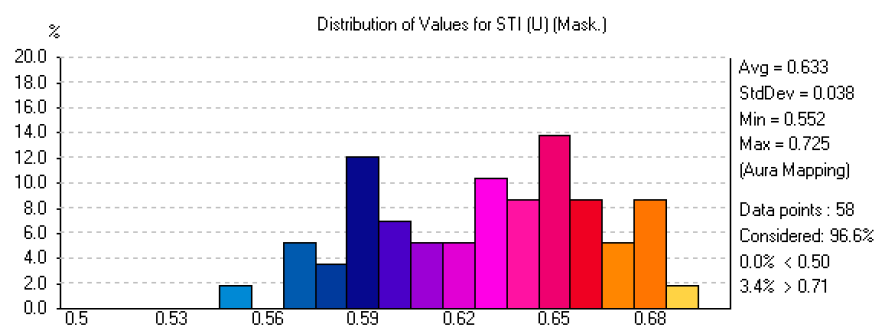




**Obr. 15.** Distribuce hodnot indexu přenosu řeči STI (prázdná aréna). STI koeficient byl určený z jednoho všesměrového zdroje umístěného poblíž centra arény. Jedná se o neváženou hodnotu.



**Obr. 15.** Distribuce hodnot indexu přenosu řeči STI (obsazená aréna). STI koeficient byl určený z jednoho všesměrového zdroje umístěného poblíž centra arény. Jedná se o neváženou hodnotu.



**Obr. 15.** Distribuce hodnot indexu přenosu řeči STI (obsazená aréna - koncert). STI koeficient byl určený z jednoho všesměrového zdroje umístěného poblíž centra arény. Jedná se o neváženou hodnotu.