

Studie ozvučení sportovní haly Vodova

kontrola předpokladů normy EN50849
simulace parametru STI
simulace celkového akustického tlaku SPL(A)

ID: 2200541

Datum:

01/2023

Konzultant:

Ing. Pavel Hořák

Kontroloval:

Ing. David Kurc

Obsah

| | |
|---|----|
| Obsah..... | 2 |
| 1 Úvod..... | 3 |
| 1.1. Podklady | 3 |
| 1.2. Vstupní požadavky | 3 |
| 1.3. Standardy | 3 |
| 1.4. Elektroakustické předpoklady..... | 3 |
| 1.5. 3D model | 4 |
| 2 Ověření řešení elektroakustickou simulací | 5 |
| 2.1. Použité reproduktory a zesilovače..... | 5 |
| 2.1.1. Ozvučení tribun | 5 |
| 2.1.2. Ozvučení hrací plochy..... | 7 |
| 2.1.3. Zavěšení reproduktorů | 7 |
| 2.2. Materiálové řešení prostoru | 8 |
| 2.3. Umístění reproduktorů | 8 |
| 3 Simulace | 10 |
| 3.1. Výsledky simulací | 10 |
| 3.2. Simulace – SPL (A) | 10 |
| 3.3. Simulace – SPL – 4 kHz octave | 11 |
| 3.4. Simulace – STI – male weighting | 12 |
| 4 Závěr | 13 |

1 Úvod

1.1. Podklady

Byly využity výkresy od zadavatele této studie, z kterých byl vytvořen 3D model. 3D model byl nakalibrován dle předchozí akustické studie a koresponduje tedy s komplexními úpravami tohoto prostoru.

1.2. Vstupní požadavky

Cílem studie je prověření navrhovaného řešení ozvučení sportovní haly pomocí výpočetního softwaru, který ověří hladinu akustického tlaku SPL(A) a hodnotu parametru STI dle normy ČSN EN 50849, která definuje požadavky srozumitelnosti evakuačního rozhlasu.

1.3. Standardy

- [1] DIN 18041:2016-03 – *Acoustic quality in rooms – Specifications and instructions for the room acoustic design*, English translation of DIN 18041:2016-03
- [2] ČSN 73 0525: *Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Všeobecné zásady*. Český normalizační institut; únor 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; březen 2005.
- [4] ČSN EN 50849, *Nouzové zvukové systémy*, Český normalizační institut 2017.
- [5] ČSN EN 60268-16 ED.2, *Elektroakustická zařízení – Část 16: Objektivní hodnocení srozumitelnosti řeči indexem přenosu řeči*, Český normalizační institut 2012.

1.4. Elektroakustické předpoklady

Dle normy ČSN EN 50849 by mělo být v prostoru dosaženo akustických parametrů, které jsou uvedeny v následující tabulce. Tyto koeficienty jsou hodnoceny v ploše sedících osob, kterou norma definuje jako akusticky odlišnou oblast ADA (acoustically different area) – v našem případě se jedná o celý divácký sektor v hale.

Tab. 1. Tabulka s obecnými předpoklady návrhu ozvučení dle normy ČSN en 50849.

| | Popis předpokladu | Numerická hodnota |
|---|--|-------------------|
| 1 | Průměrná hladina akustického tlaku SPL(A)* | SPL > 103 dB |
| 2 | Absolutně minimální hladina akustického tlaku SPL(A) | SPL > 91 dB |
| 3 | Průměrná srozumitelnost řeči – STI | STI > 0,5 |
| 4 | Minimální srozumitelnost řeči – STI | STI > 0,45 |

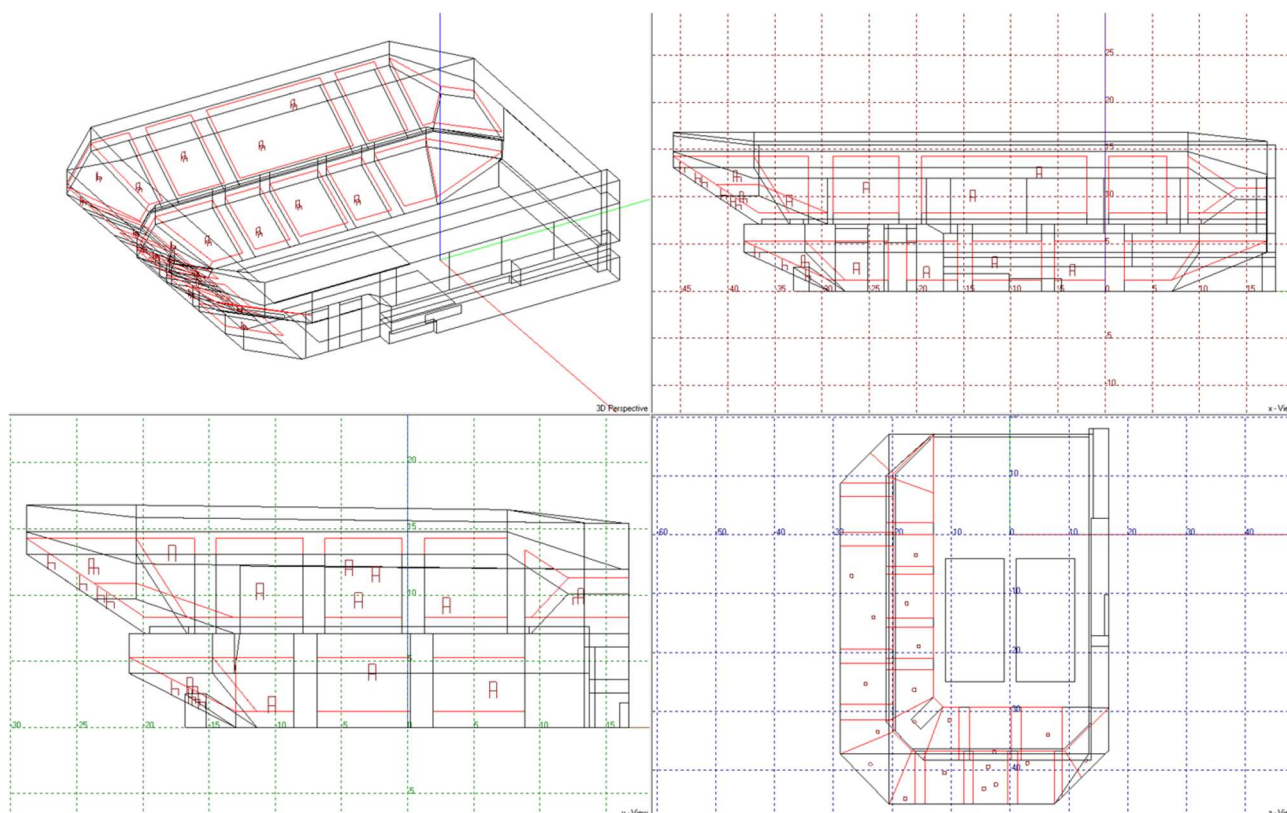
*stanovena dle minimálního odstupu 18 dB od hluku pozadí 85 dBA

1.5. 3D model a simulace

V rámci studie byl zhotoven 3D model sportovní haly dle poskytnuté dokumentace. V následujícím obrázku je uveden tento zjednodušený model v prostředí EASE 4.4.

V programu EASE 4.4 je ke všem simulacím využitý modul Aura, který počítá s přesnou definicí jednotlivých stěn v hale a tím zpřesňuje výpočet. Výpočty touto metodou zohledňují časové a intenzitní rozdíly prvotních odrazů, které mají velký vliv na srozumitelnost řeči a vnímání echa.

Výpočty jsou zobrazeny na mřížce velikosti 1 x 1 m. Výpočet hlavního hodnoceného parametru STI v této studii je proveden pomocí metodiky IEC 60268-16.



Obr. 1. 3D model sportovní haly v prostředí EASE 4.4.

2 Ověření řešení elektroakustickou simulací

2.1. Použité reproduktory a zesilovače

Pro simulaci byly použity reproduktory certifikace EN 54-24 – **Electrovoice EVF**. Tyto reproduktory byly importovány do prostředí EASE 4.4 pomocí .gll souborů, které obsahují naměřená data těchto reproduktorů.

Reproduktory jsou navrženy jako pasivní. V této studii není navržen 100V rozvod pro reproduktory, ale rozvod pomocí kabelu o průřezu $2 \times 4 \text{ mm}^2$. V případě nutnosti 100 V evakuačního rozhlasu je možnost instalace trafa do reproduktorů, které umožňuje funkčnost reproduktoru ve 100 V režimu a příslušnou změnu kabelových rozvodů.

Kabelové rozvody k reproduktorů jsou dimenzovány na maximální délku trasy přibližně 90 m. Očekávaný útlum na vzdálenost je 0,25 dB. Vzhledem ke kapacitanci tohoto kabelu je očekávatelný roll-off vysokých frekvencí – konkrétně -3 dB na kmitočtu 4kHz. Tato skutečnost musí být kompenzována při nastavení zvukového systému, jelikož reproduktory na nejkratší větvi budou mít tento roll-off až na frekvenci přibližně 14kHz.

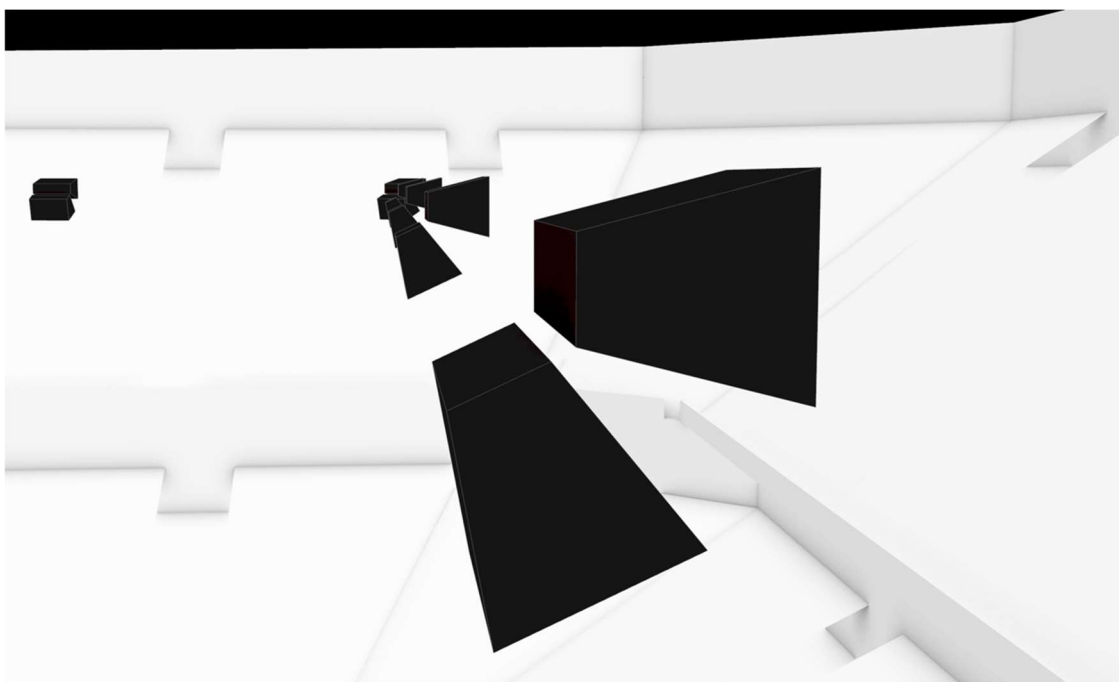
Zesilovače evakuační systém jsou zvoleny s EN54-16 – **Crown DCi 4|1250**. Pro celkem 21 reproduktorů bude potřeba 4 ks těchto zesilovačů. Jsou navrženy 2 reproduktory na jednom kanálu pro ozvučení tribun (18 ks celkem). Ozvučení hrací plochy je navrženo 3 reproduktory z nichž každý je napájen jedním kanálem tohoto zesilovače.

2.1.1. Ozvučení tribun

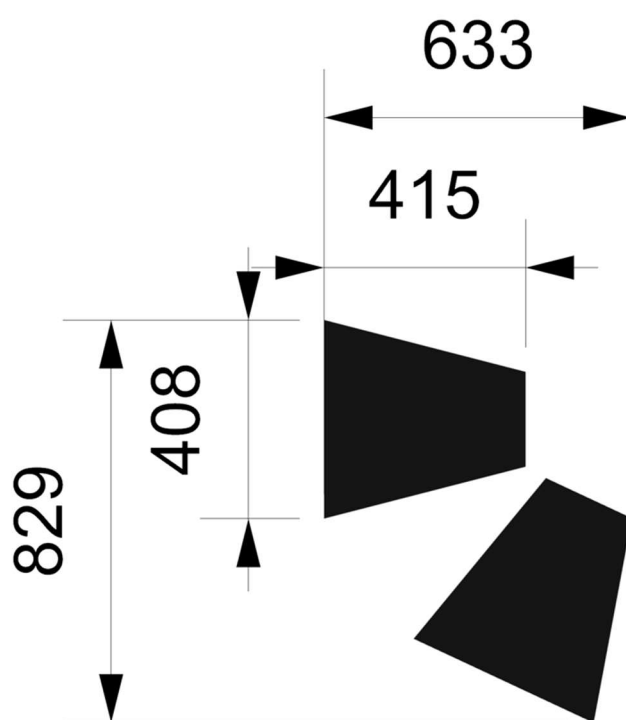
Ozvučení tribun je koncipováno pomocí 2 reproduktorů zavěšených nad sebou v konfiguraci „unity splay“. Tato konfigurace vytváří ze 2 reproduktorů 1 kompaktní cluster, který má definované jednotné vyzařování s minimální interferencí.



Obr. 2. 3D pohled na reproduktory pro ozvučení tribun.



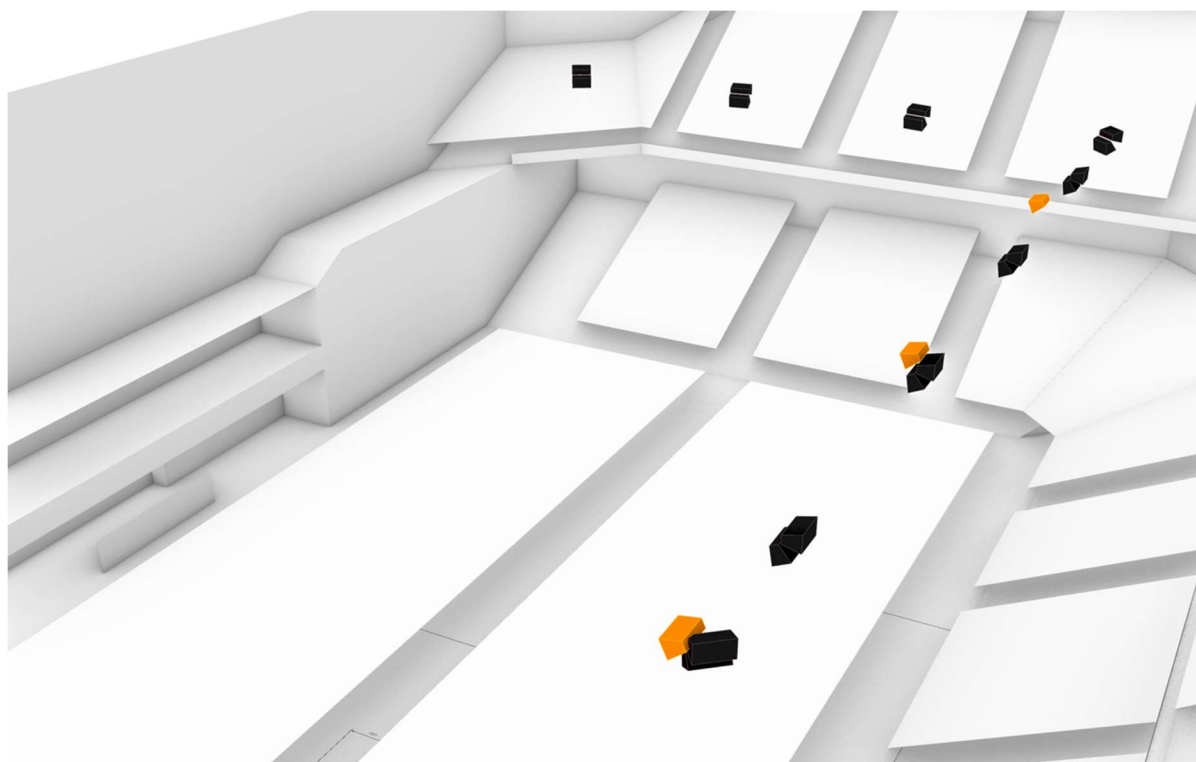
Obr. 3. 3D pohled na cluster reproduktorů.



Obr. 4. Základní rozměry jednoho clusteru reproduktorů.

2.1.2. Ozvučení hrací plochy

Ozvučení hrací plochy je koncipováno 3 reproduktory umístěných na stejné lávce jako je tomu u reproduktorů pro tribuny.



Obr. 5. 3D pohled na všechny reproduktory – reproduktory pro hrací plochu (oranžová).

2.1.3. Zavěšení reproduktorů

Vzhledem k relativnímu úhlu mezi reproduktory, který je 65° , je potřeba vytvořit zakázkové provedení uchycení reproduktorů. Úhel 65° je mezi osami beden, které ozvučují krátkou a dlouhou tribunu s výjimkou rohového clusteru a krajního clusteru krátké tribuny. Tyto úhly musí být dodrženy dle tabulky 2 (kapitola 2.3.).

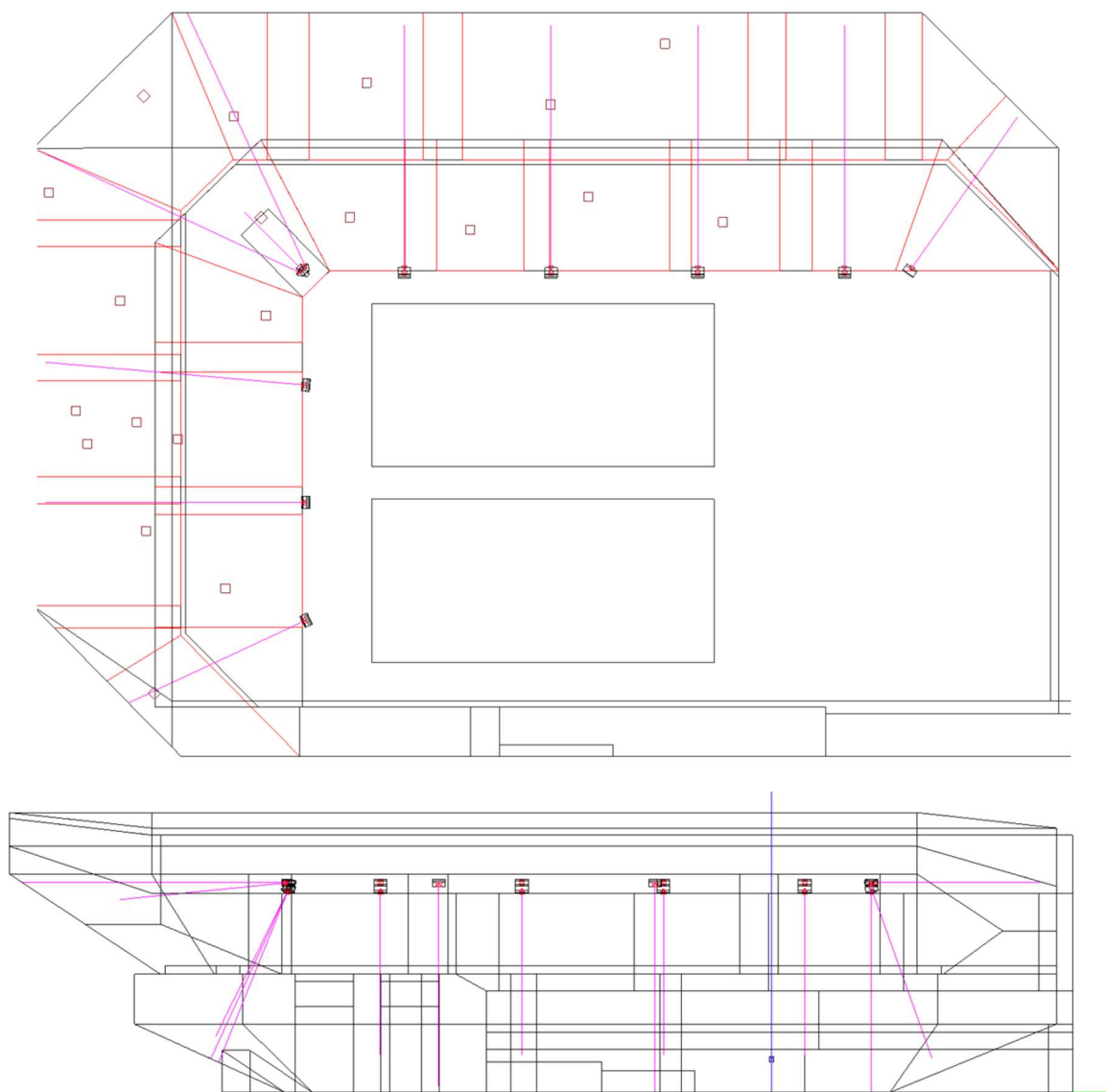
Reproduktory na delší tribuně budou nově instalovány pod pochozí lávky a jejich systém bude přizpůsoben konstrukci lávky. Reproktory na kratší tribuně je nutné instalovat na stávající nosníky střechy, tedy podobně jako stávající instalace. U těchto reproduktorů bude snížena výška reproduktorů tak, aby se zohlednila látková clona, která v tuto chvíli zabraňuje kvalitnímu ozvučení části kratší tribuny (vrchní řady).

Systém zavěšení a ukotvení na konstrukci střechy a lávky bude upřesněn při tvorbě realizační dokumentace. Je nutné splnit veškeré statické a bezpečnostní náležitosti a zajistit statický posudek zakázkových dílů, které nebudou od výrobce reproduktorů.

2.2. Materiálové řešení prostoru

Tato studie úzce souvisí s akustickou studií, která řešila snížení doby dozvuku v hale. Současná průměrná doba dozvuku v prázdné hale je 2,7 s. Tato hodnota je neslučitelná s dostatečnou hodnotou indexu srozumitelnosti řeči STI. Je proto nutné vytvořit v hale podmínky, které snižují dobu dozvuku na hodnoty, při kterých index STI dosahuje průměrně alespoň 0,5. **Z tohoto důvodu je v této studii použito materiálové složení zamýšlených úprav jako ve studii prostorové akustiky.**

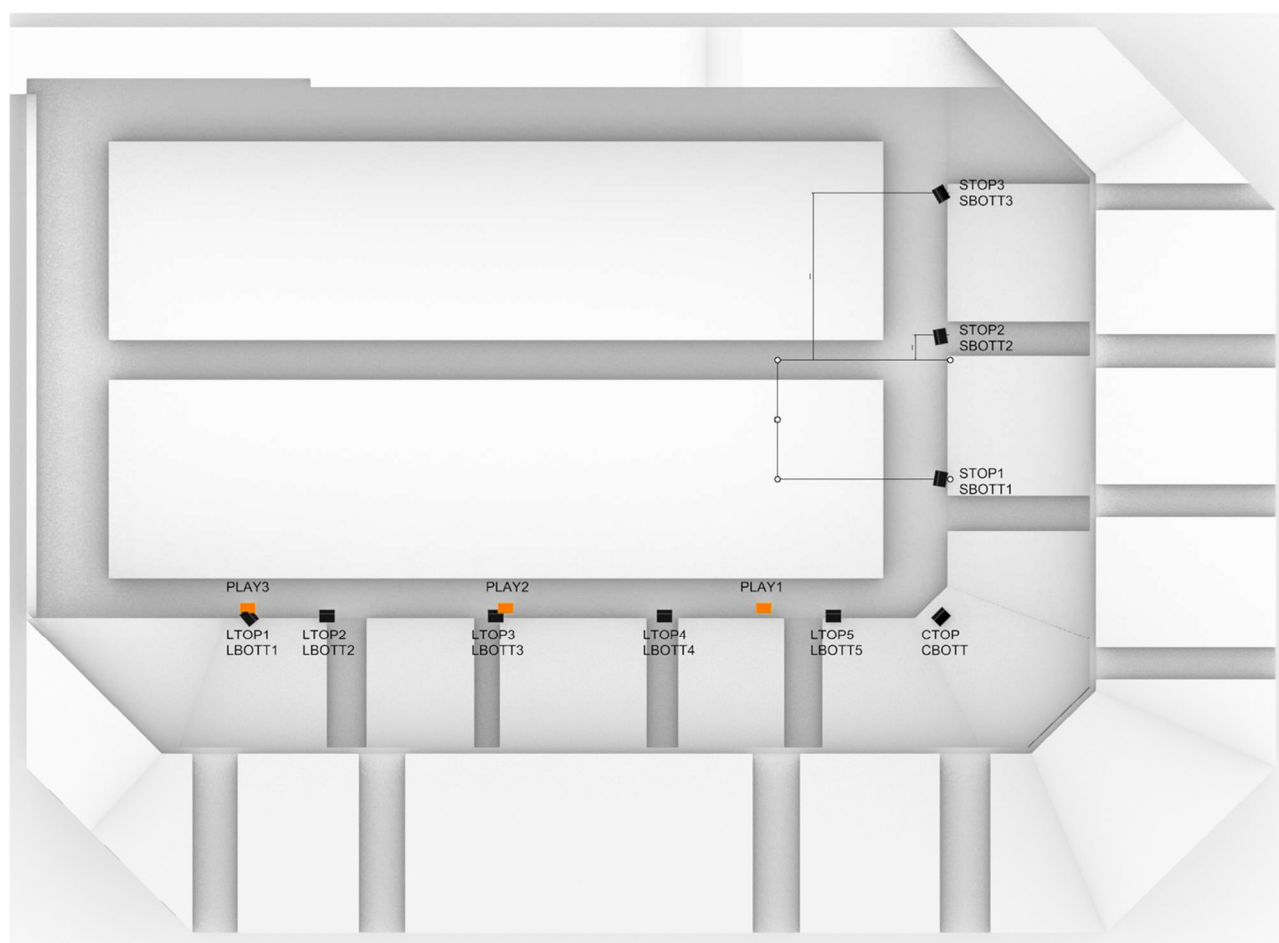
2.3. Umístění reproduktorů



Obr. 6. Půdorys a boční pohled – umístění reproduktorů v modelu haly. Červenou barvou jsou vyznačeny analyzované prostory.

Tab. 2. Tabulka se souřadnicemi jednotlivých reproduktorů včetně úhlů jednotlivých reproduktorů v clusteru.

| Name | Item | Speaker Model | x [m] | y [m] | z [m] | Hor [°] | Ver [°] | Rot [°] |
|----------------|--------|----------------------|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| Tribuna dlouhá | LTOP1 | EVF1122D-96 Passive | -13.00 | 6.00 | 12.6 | -140.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LBOTT1 | EVF1122D-126 Passive | -12.75 | 6.00 | 12.25 | -140.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LTOP2 | EVF1122D-96 Passive | -13.00 | 2.00 | 12.6 | -90.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LBOTT2 | EVF1122D-126 Passive | -12.75 | 2.00 | 12.25 | -90.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LTOP3 | EVF1122D-96 Passive | -13.00 | -6.50 | 12.6 | -90.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LBOTT3 | EVF1122D-126 Passive | -12.75 | -6.50 | 12.25 | -90.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LTOP4 | EVF1122D-96 Passive | -13.00 | -15.00 | 12.6 | -90.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LBOTT4 | EVF1122D-126 Passive | -12.75 | -15.00 | 12.25 | -90.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LTOP5 | EVF1122D-96 Passive | -13.00 | -23.50 | 12.6 | -90.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna dlouhá | LBOTT5 | EVF1122D-126 Passive | -12.75 | -23.50 | 12.25 | -90.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna rohová | CTOP | EVF1122D-94 Passive | -13.00 | -29.00 | 12.6 | -45.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna rohová | CBOTT | EVF1122S-96 Passive | -12.75 | -29.00 | 12.25 | -45.0 | -55.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | STOP1 | EVF1122D-96 Passive | -6.00 | -29.00 | 12 | -10.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | SBOTT1 | EVF1122D-126 Passive | -6.00 | -29.00 | 11.75 | -10.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | STOP2 | EVF1122D-96 Passive | 1.2 | -29.00 | 12 | 10.0 | 0.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | SBOTT2 | EVF1122D-126 Passive | 1.2 | -29.00 | 11.75 | 10.0 | -65.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | STOP3 | EVF1122D-96 Passive | 8.4 | -29.00 | 12 | 30.0 | -5.0 | 90.0 |
| Tribuna krátká | SBOTT3 | EVF1122D-66 Passive | 8.4 | -29.00 | 11.75 | 30.0 | -65.0 | 90.0 |
| Hrací plocha | PLAY1 | EVF1122D-99 Passive | -12.50 | -20.00 | 12.6 | 90.0 | -25.0 | 90.0 |
| Hrací plocha | PLAY2 | EVF1122D-99 Passive | -12.50 | -7.00 | 12.6 | 90.0 | -25.0 | 90.0 |
| Hrací plocha | PLAY3 | EVF1122D-99 Passive | -12.50 | 6.00 | 12.6 | 90.0 | -25.0 | 90.0 |



Obr. 7. Půdorys – umístění reproduktorů v modelu haly s názvy korespondující s tabulkou.

3 Simulace

3.1. Výsledky simulací

Tab. 2. Tabulka s výsledky provedených simulací.

| | Popis předpokladu | Cílová hodnota | Simulovaná hodnota |
|---|---|----------------|--------------------|
| 1 | Hladina akustického tlaku SPL(A) | SPL > 103 dB | SPL(A) = 104,12 dB |
| 2 | Absolutně minimální hladina akustického tlaku SPL (A) | SPL > 91 dB | SPL(A) = 100,81 dB |
| 3 | Průměrná hodnota srozumitelnost řeči – STI | STI > 0,5 | STI = 0,516 |
| 4 | Minimální hodnota srozumitelnost řeči – STI | STI > 0,45 | STI = 0,486* |

*minimální hodnota určena na základě směrodatné odchylky simulací STI - 0,03

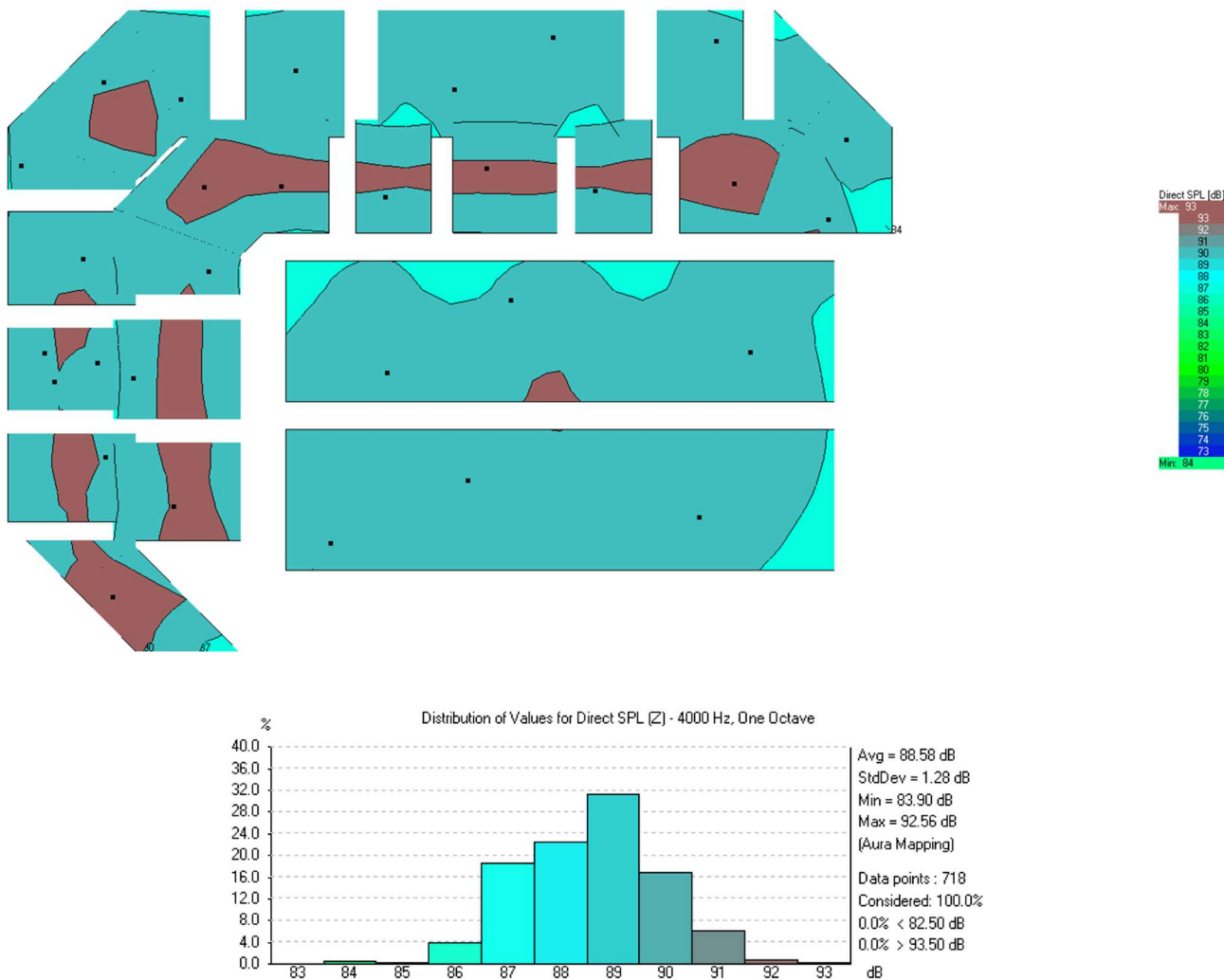
3.2. Simulace – SPL (A)



Obr. 8. Simulace celkového akustického tlaku SPL(A). Rozmezí krajních hodnot 101 až 106 dBA.

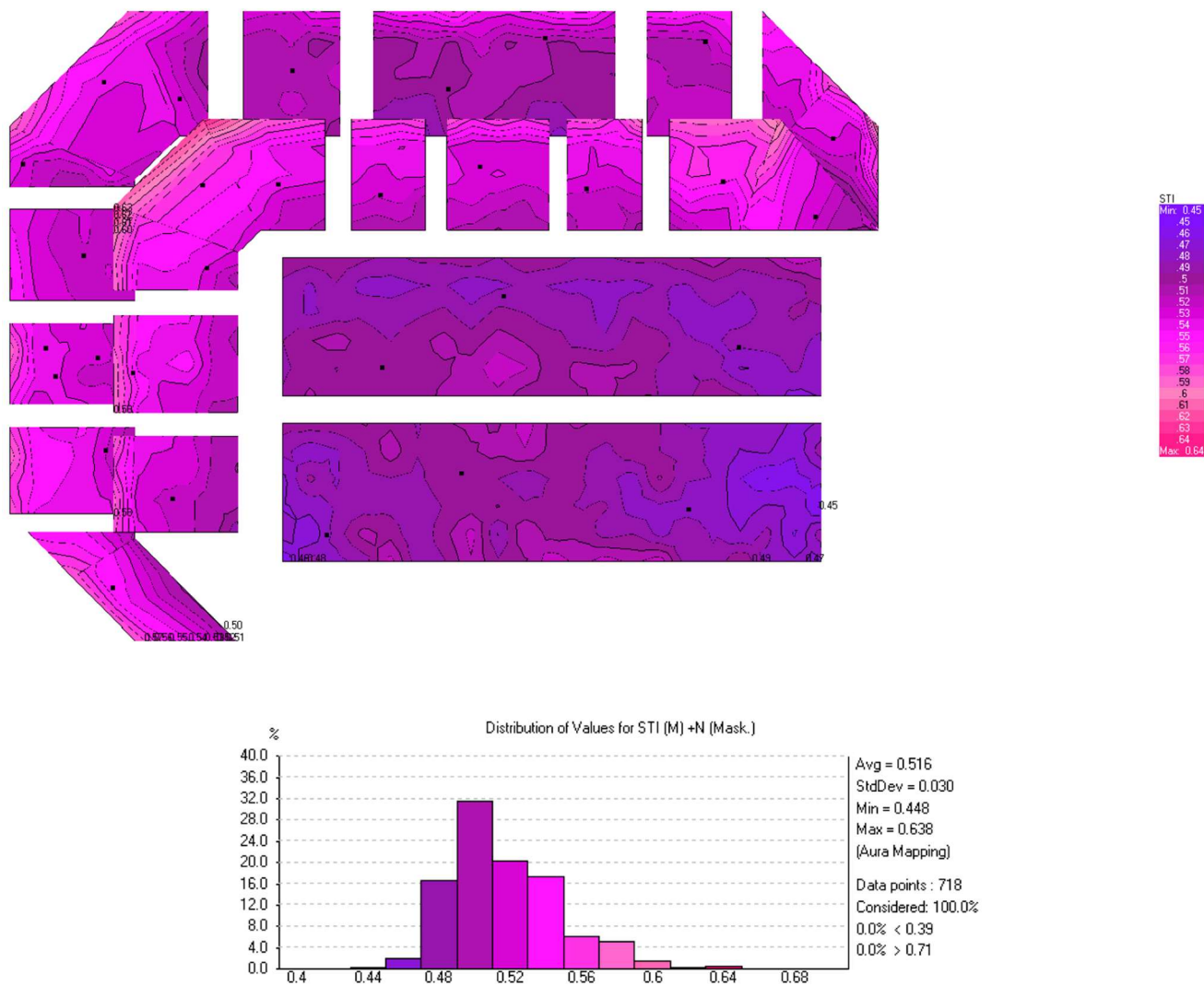
3.3. Simulace – SPL – 4 kHz octave

Rozložení akustického tlaku na vysokých kmitočtech demonstruje rovnoměrné pokrytí designu.



Obr. 9. Simulace oktávového pásma 4kHz. Rozmezí krajních hodnot 84 až 93 dBA.

3.4. Simulace – STI – male weighting



Obr. 10. Simulace parametru STI – váženého pro mužský hlas (IEC 60268-16). Průměrná hodnota STI je 0,515.

4 Závěr

V rámci této studie byly definovány pozice reproduktorů, jejich úhlování a vyzařování. Tyto parametry jsou důležité pro vytvoření rovnoměrného SPL v rámci všech 1/3 oktavových pásem tak i rovnoměrnou distribuci celospektrálního parametru SPL(A).

V rámci studie byly navrženy reproduktory Electrovoice EVF, které jsou dostupné v provedení 60° x 60°, 90° x 60°, 120° x 60° a 90° x 40°. Všechna tato vyzařování byla využita ve studii v různých kombinacích a detailní seznam je uveden v kapitole 2.3.

Rovnoměrné pokrytí SPL je především důležité pro index srozumitelnosti řeči STI. Ten byl vypočten pro 30% obsazenost haly diváky a jeho hodnota dosahuje průměrně $STI = 0,516$. Tato hodnota je průměrována včetně hrací plochy, která je ozvučena pouze 3 reproduktory. Toto úsporné řešení však stále splňuje dostatečnou hodnotu akustického tlaku na hrací ploše a zároveň se v této ploše hodnota STI pohybuje průměrně 0,49.

Prostorová akustika v předchozí studii byla úsporně optimalizovaná pouze na koncertní použití haly, kdy se reproduktory uvažovaly instalované na hrací ploše a k tomu bylo uzpůsobeno umístění akustických obkladů. V případě optimalizace prostorové akustiky na stálý zvukový systém pro sportovní klání a zároveň pro evakuační rozhlas by se dosáhlo výraznějšího zlepšení parametru STI a tedy zlepšení čitelnosti zvuku i v úplně prázdné hale.

Je doporučeno projekt prostorové akustiky optimalizovat i s ohledem této studie. V rámci akustických úprav je doporučeno doplnit akustické obklady i na stěny na horních tribunách.

V případě, že se prostorová akustika realizovat nebude může i tento zvukový systém splnit kritéria normy EN50849 pro evakuační rozhlas. V takovém případě norma umožňuje výjimku pro akusticky neupravené prostory, kdy je minimální průměrná hodnota STI stanovena na 0,45.