

Symulacja elektroakustyczna nagłośnienia stadionu

„Przebudowa systemu nagłośnienia Stadionu im. Orła Białego w Legnicy”

INWESTOR: Urząd Miasta Legnica, Plac Słowiański 8, 59-220 Legnica

OBIEKT: Stadion im. Orła Białego w Legnicy, ul. Hetmańska 2

JEDNOSTKA PROJEKTOWA:

Makai Acoustic Michał Miczołek
Korzenna 141, 33-322 Korzenna
REGON: 365090049 NIP:7343308095
biuro@makaiacoustic.pl

Warszawa, 14.09.2018

SPIS TREŚCI

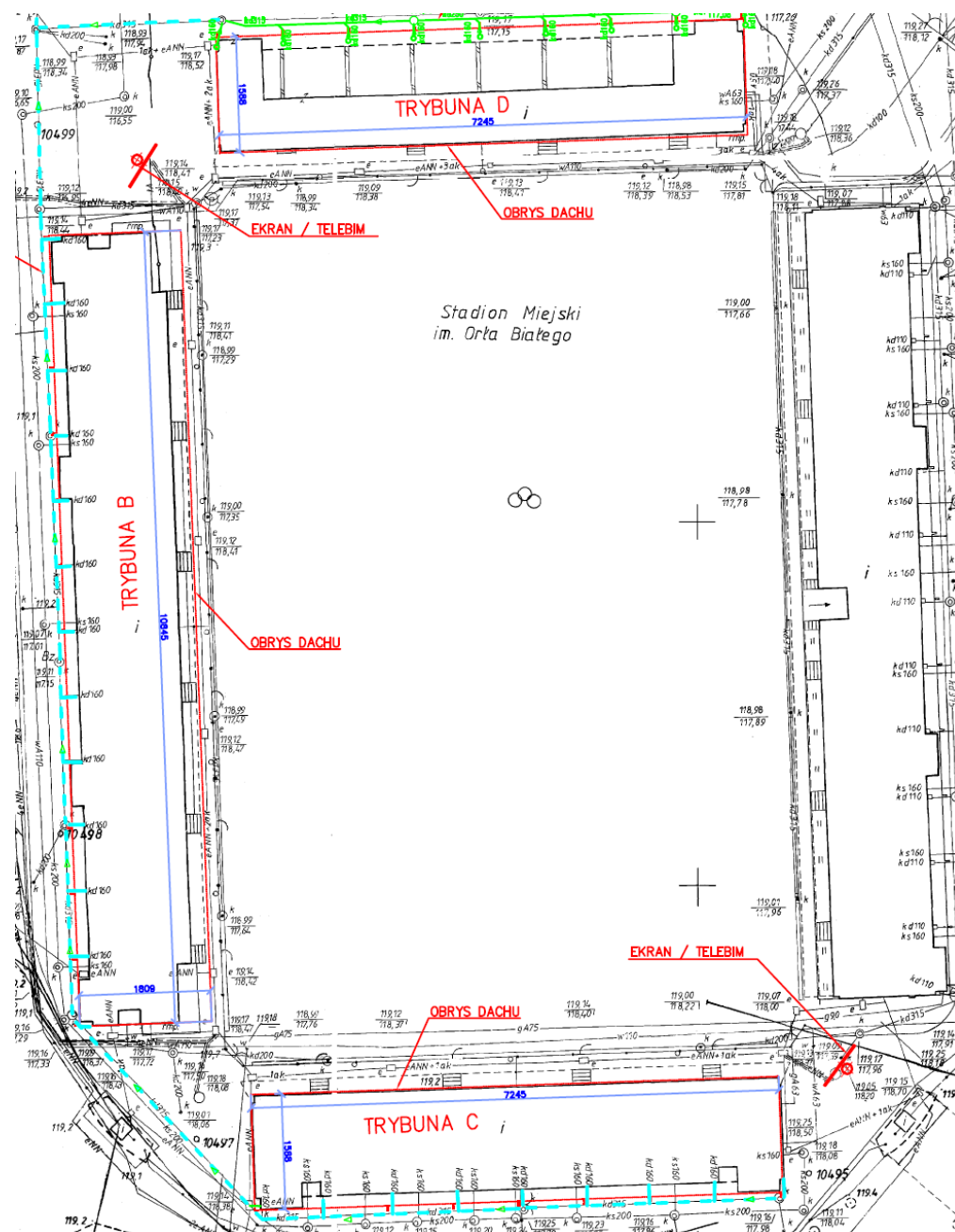
| | |
|--|----|
| 1. Opis projektu | 3 |
| 2. Wymagania normowe | 5 |
| 2.1 Obszar trybun | 5 |
| 2.2 Murawa | 6 |
| 3. Opis systemu Nagłośnienia | 7 |
| 3.1 Kolumny głośnikowe | 7 |
| 3.1.1 Przegląd zestawów głośnikowych | 7 |
| 3.2 Rozmieszczenie kolumn głośnikowych | 8 |
| 3.2.1 Akcesoria montażowe | 9 |
| 4. Symulacja systemu nagłośnienia | 10 |
| 4.1 Procedury symulacyjne | 10 |
| 4.1.1 Model symulacyjny | 10 |
| 4.1.2 Siatka obliczeniowa | 11 |
| 4.1.3 Ustawienia parametrów symulacji | 12 |
| 4.1.4 Warunki atmosferyczne i fizyczne | 13 |
| 4.2 Trybuny | 13 |
| 4.2.1 Wyniki symulacji | 13 |
| 4.2.2 Graficzna prezentacja wyników | 15 |
| 4.3 Murawa | 19 |
| 4.3.1 Wyniki symulacji | 19 |
| 4.3.2 Graficzna prezentacja wyników | 20 |
| 5. Podsumowanie | 23 |
| 6. Uwagi | 24 |

1. OPIS PROJEKTU

Dokument zawiera symulację elektroakustyczną systemu nagłośnienia dla stadionu im. Orła Białego w Legnicy.

Nagłośnienie obejmuje: murawę stadionu oraz 4 trybuny.

Poniżej przedstawiono rzut stadionu.

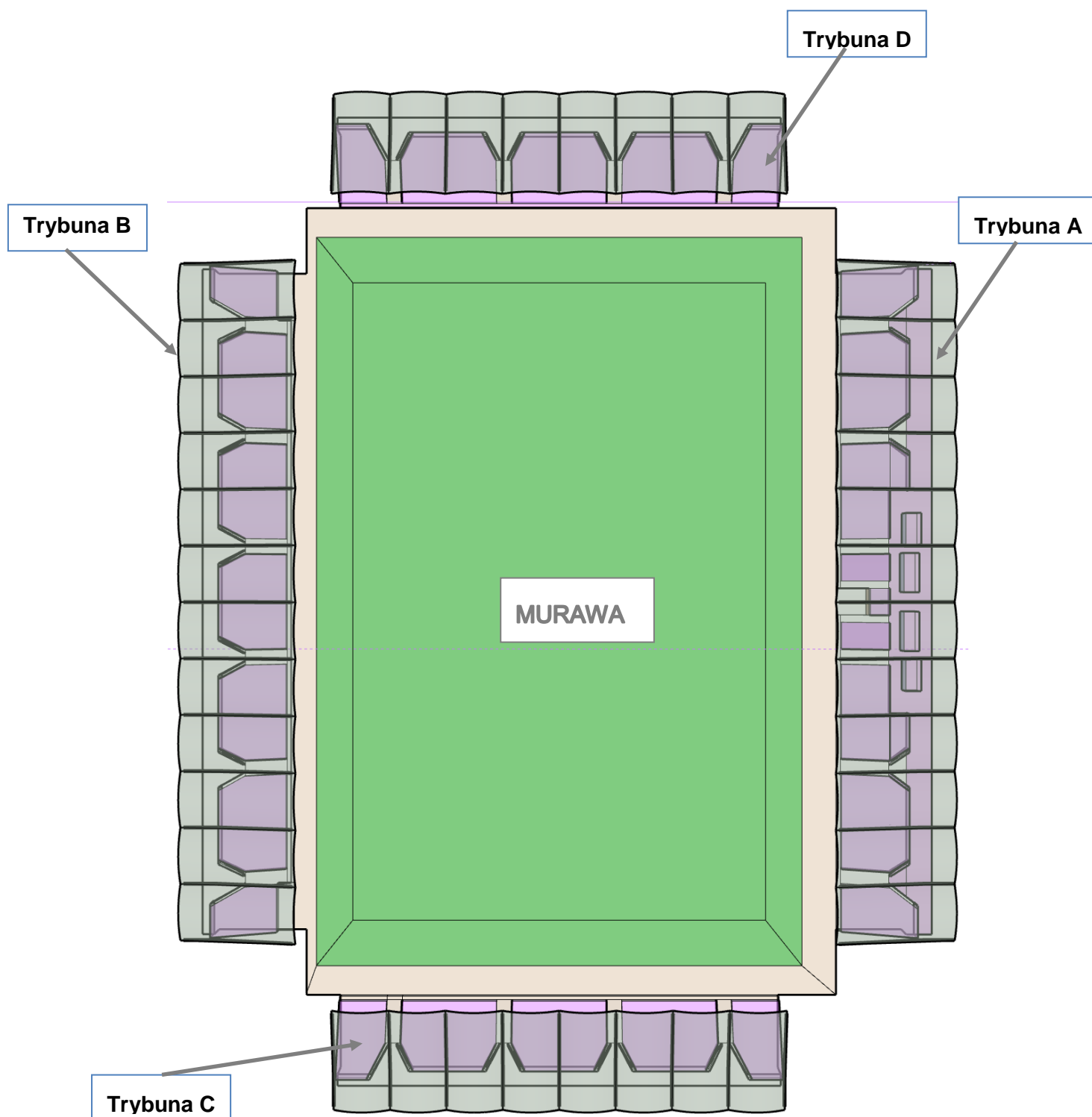


Rys. 1: Rzut stadionu

Symulacja elektroakustyczna stadionu im. Orła Białego w Legnicy

Makai Acoustic Michał Miczolek, Korzenna 141, 33-322 Korzenna
biuro@makaiaoustic.pl REGON: 365090049 NIP: 7343308095

Poniżej przedstawiono schemat stref nagłośnienia (powierzchni odsłuchowych), które uwzględniono w symulacji.



Rys 2: Strefy nagłośnienia stadionu (rzut)

2. WYMAGANIA NORMOWE

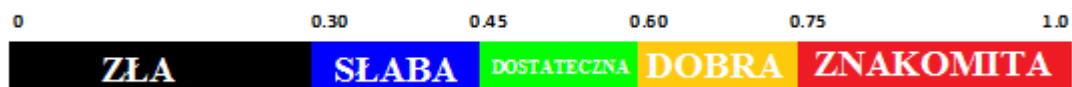
2.1 Obszar trybun

Poniżej przedstawiono wymagane wartości liczbowe dotyczące najbardziej istotnych parametrów akustycznych dla systemu nagłośnieniowego dla stadionu w obszarze trybun

| Lp. | Parametr | Zalecana wartość |
|-----|--|---|
| 1. | Nierównomierność rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego | $\Delta \text{SPL}_{(100 \text{ Hz} - 10 \text{ kHz})} \leq \pm 3 \text{ dB}$ (max odchylenie r.m.s $\pm 3 \text{ dB}$) |
| 2. | Sumaryczny Poziom ciśnienia akustycznego (ważony według krzywej A) (*) | Co najmniej 6 dB większy niż przyjęty normowy poziom tła akustycznego |
| 3. | Zrozumiałość mowy przy wypełnionych trybunach. Kategoria G wg PN-EN 6028-16:2011 (Speech transmission Index) | STI średnie $\geq 0,55$ |

Tabela 1: Zalecane wartości parametrów elektroakustycznych dla systemu PA w obszarze trybun.

(*)Obliczone w programie symulacyjnym EASE 4.3 z wykorzystaniem jako sygnału wzbudzającego szerokopasmowego szumu różowego (szerokopasmowe poziomy są sumowane zgodnie z konwencjami RTA).



Grafika 1: Zrozumiałość mowy wg IEC 60268-16

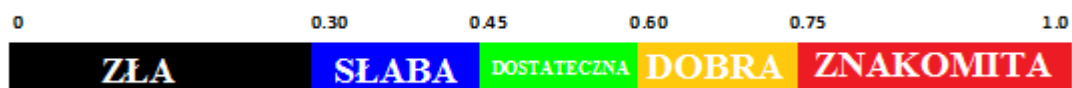
2.2 Murawa

Poniżej przedstawiono wymagane wartości liczbowe dotyczące najbardziej istotnych parametrów akustycznych dla systemu nagłośnieniowego dla stadionu w obszarze murawy.

| Lp. | Parametr | Zalecana wartość |
|-----|---|---|
| 1. | Poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego (*) (Bezpośrednie pole akustyczne dla pasma mowy; pasma częstotliwości od 100 Hz do 10 kHz) | $DSPL_{(100\text{ Hz} - 10\text{ kHz})} \geq 95\text{ dB}$ SPL (*) |
| 2. | Zrozumiałość mowy (Speech transmission Index) | STI średnie > 0,50 |

Tabela 2: Zalecane wartości parametrów elektroakustycznych dla systemu PA w obszarze murawy

(*)Obliczone w programie symulacyjnym EASE 4.3 z wykorzystaniem jako sygnału wzbudzającego szerokopasmowego szumu różowego (szerokopasmowe poziomy są sumowane zgodnie z konwencjami RTA).



Grafika 2: Zrozumiałość mowy wg IEC 60268-16

3. OPIS SYSTEMU NAGŁOŚNIENIA

3.1 Kolumny głośnikowe

3.1.1 Przegląd zestawów głośnikowych

System nagłośnieniowy projektuje się w oparciu o następujące kolumny głośnikowe:

Trybuny: koaksjalny głośnik wysokiej mocy i skuteczności

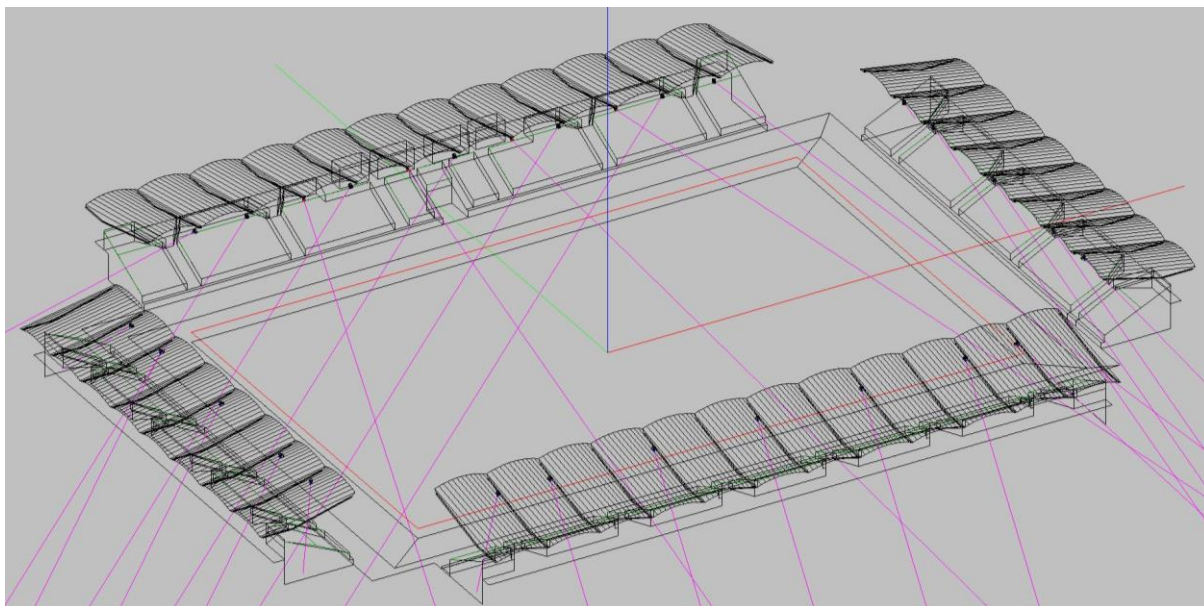
Murawa: kolumna głośnikowa dalekiego zasięgu

| Lokalizacja | Symbol | Ilość | Zamocowanie | Rozmieszczenie | Kąt ustawienia w pionie |
|-------------|--------|-------|---|--|--|
| Trybuna | ZGT xx | 24 | Montowane poziomo pod dachem trybun na konstrukcji wsporczej dachu. | Odległość między głośnikami: 18 m Głośniki grające na skrajne sektory oddalone 9 m od sąsiednich głośników. | Trybuna A: -55° Trybuna B: -57° Trybuna C: -70° Trybuna D: -70° |
| Murawa | ZGB xx | 4 | Montowane pod dachem trybun na konstrukcji wsporczej dachu. | Odległość między głośnikami: 18m | -10° |

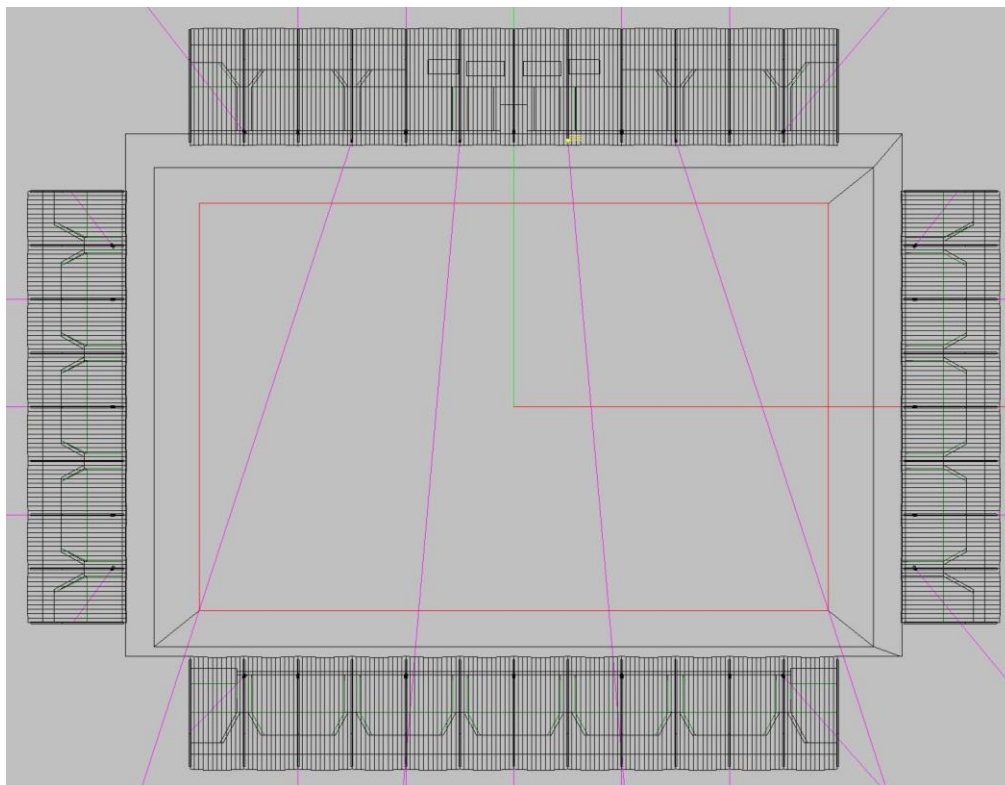
Tabela 3: Zestawienie kolumn głośnikowych.

3.2 Rozmieszczenie kolumn głośnikowych

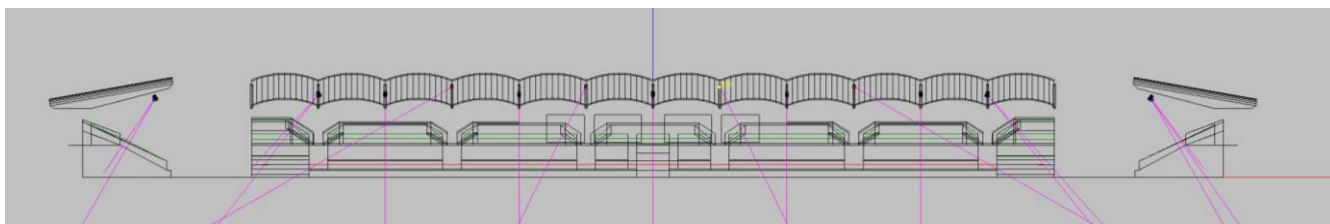
Rozmieszczenie głośników oraz ich wektory propagacji, przedstawiono na kolejnych rysunkach



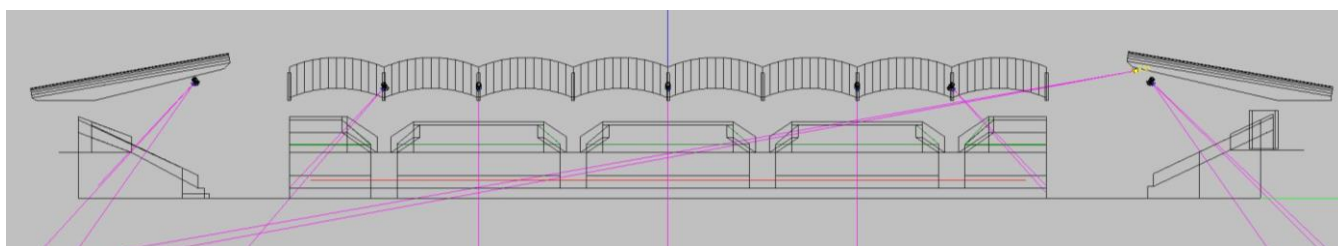
Rys. 3: Rozmieszczenie głośników (widok 3d)



Rys. 4: Rozmieszczenie głośników (rzut)



Rys. 5: Rozmieszczenie głośników (przekrój podłużny trybuny)



Rys. 6: Rozmieszczenie głośników (przekrój poprzeczny trybuny)

3.2.1 Akcesoria montażowe

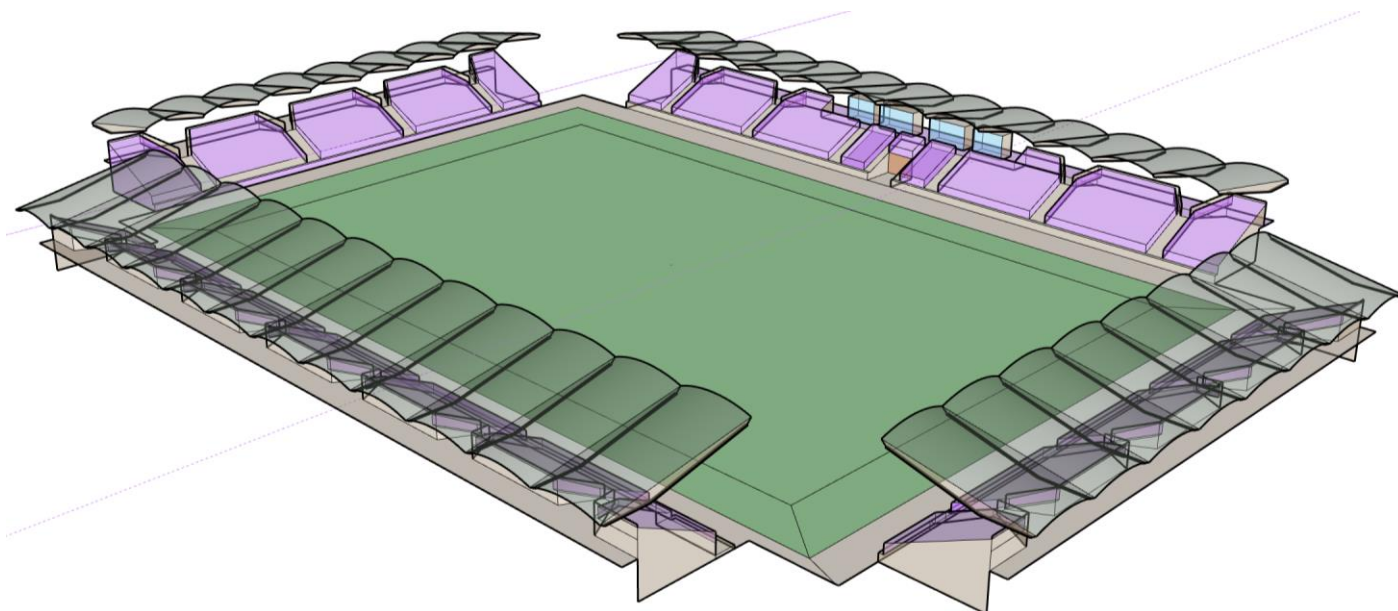
Kolumny głośnikowe będą montowane za pomocą dedykowanych certyfikowanych, fabrycznie przygotowanych uchwytów montażowych.

4. SYMULACJA SYSTEMU NAGŁOŚNIENIA

4.1 Procedury symulacyjne

4.1.1 Model symulacyjny

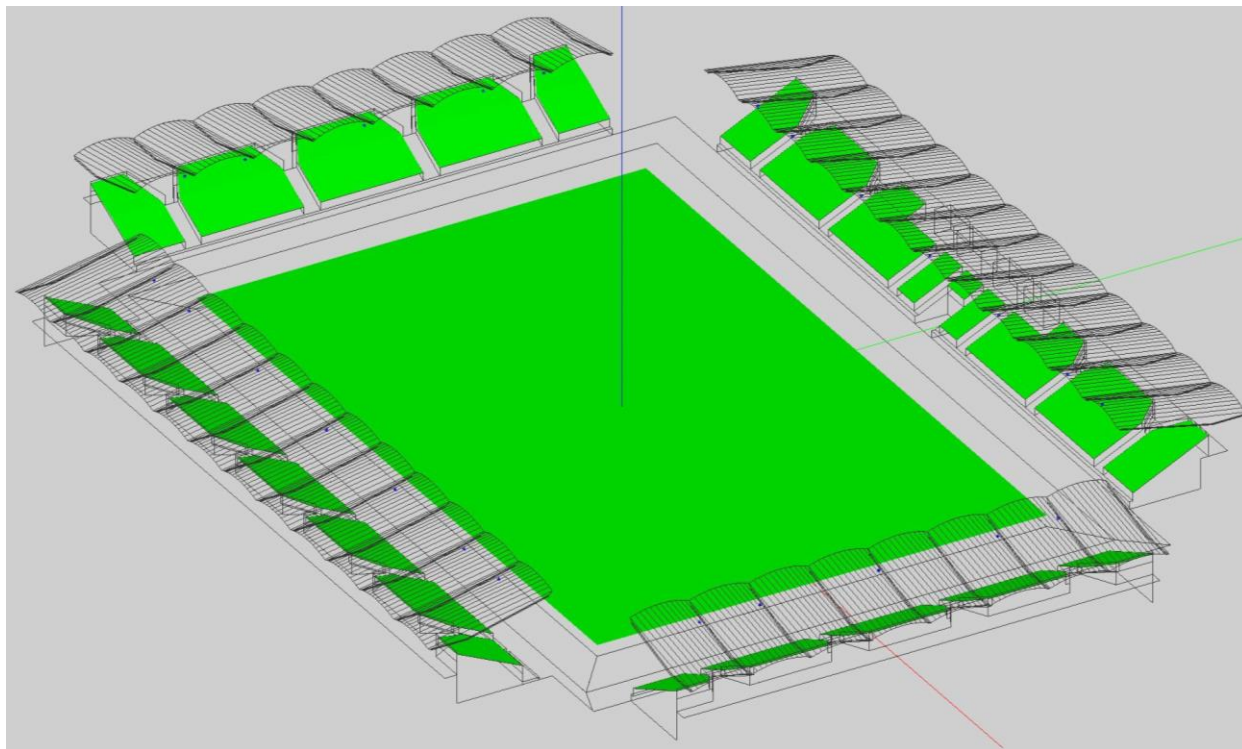
Poniżej przedstawiono widok modelu 3D stadionu:



Rys. 7: Model 3D stadionu

4.1.2 Siatka obliczeniowa

Parametry akustyczne zostały zasymulowane na powierzchniach odsłuchowych (siatkach obliczeniowych) usytuowanych na trybunach na wysokości 1.2 m nad płaszczyzną trybun (średnia wysokość położenia uszu słuchaczy) oraz na murawie na wysokości 1.7 m nad powierzchnią murawy.



Rys. 8: Siatka kalkulacyjna (powierzchnia odsłuchowa zaznaczona kolorem zielonym)

4.1.3 Ustawienia parametrów symulacji

Symulacja została przeprowadzona z następującymi parametrami:

| Lp. | Parametr symulacji | Wartość / obserwacja |
|-----|---|---|
| 1. | Absorpcja dźwięku przez powietrze | Uwzględniono |
| 2. | Interferencja fali dźwiękowej | Uwzględniono 1/3 oktawy |
| 3. | Stosunek sygnału do szumu - SNR (użyty do obliczeń STI) | 10 dB |
| 4. | Rozdzielczość siatki obliczeniowej | 0,3 do 0,5 m |
| 5. | Typ Mapowania | Standard (EASE 4.4.13.15) |
| 6. | Rodzaj Sygnału wzbudzającego | Szerokopasmowy szum różowy. (szerokopasmowe poziomy są sumowane zgodnie z konwencjami RTA). |
| 7. | Moc występowania zestawów głośnikowych | Nie większa niż moc znamionowa |
| 8. | Poziom tła akustycznego (wykorzystywany do obliczeń STI) | Uwzględniono dla trybun: Widmo mowy męskiej wg PN-EN 60262-16:2011 – poziom 95 dBA Uwzględniono dla murawy: Widmo mowy męskiej wg PN-EN 60262-16:2011 – poziom 90 dB |
| 9. | Maskowanie Sygnału | Uwzględniono zgodnie z PN-EN 60262-16:2005 |
| 10. | Wyznaczanie zrozumiałości mowy | STI zgodne z PN-EN 60262-16:2005 |

Tabela 4: Ustawienia parametrów symulacji

Poniżej przedstawiono przyjęte do symulacji poziomy tła akustycznego na trybunach jako widmo mowy męskiej o poziomie 95 dBA:

| Częstotliwość oktafowa | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Widmo hałasu | 97,9 dB | 97,9 dB | 94,2 dB | 88,2 dB | 88,2 dB | 76,2 dB | 70,2 dB |

Tabela 5: Widmo mowy męskiej na trybunach wg PN-EN 60262-16:2011

Poniżej przedstawiono przyjęte do symulacji poziomy tła akustycznego na murawie jako widmo mowy męskiej o poziomie 90 dB:

| Częstotliwość oktawowa | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Widmo hałasu | 85,9 dB | 85,9 dB | 83,2 dB | 76,2 dB | 70,2 dB | 64,2 dB | 58,2 dB |

Tabela 6: Widmo mowy męskiej na murawie wg PN-EN 60262-16:2011

4.1.4 Warunki atmosferyczne i fizyczne

Do symulacji zostały przyjęte następujące warunki atmosferyczne i fizyczne:

| | |
|-------------------|------------------------|
| Temperatura | 20,0 ° |
| Wilgotność | 60 % |
| Ciśnienie | 1013 hPa |
| Gęstość powietrza | 1,20 kg/m ³ |

Tabela 5: Warunki atmosferyczne i fizyczne

4.2 Trybuny

4.2.1 Wyniki symulacji

Kolejna tabela przedstawia uśrednione wartości obliczonych parametrów:

- wartości równomierności pokrycia dźwiękiem oparte na poziomach ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego w pasmach oktawowych od 100 Hz do 10 kHz

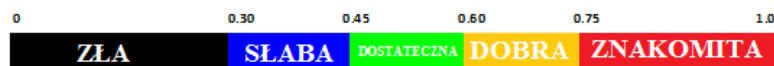
-szerokopasmowy Poziom ciśnienia akustycznego ważony wg krzywej korekcyjnej A (bezpośrednie pole)

- elektroakustyczny wskaźnik zrozumiałości mowy (Speech Transmission Index STI) wyznaczany zgodnie z normami oraz uwzględnieniem zjawiska maskowania oraz hałasu na trybunach (widmo mowy męskiej o poziomie 95 dBA

Wszystkie wyniki liczbowe zostały obliczone przez uśrednienie wszystkich punktów obliczeniowych wzdłuż widowni (płaszczyzn odsłuchowych).

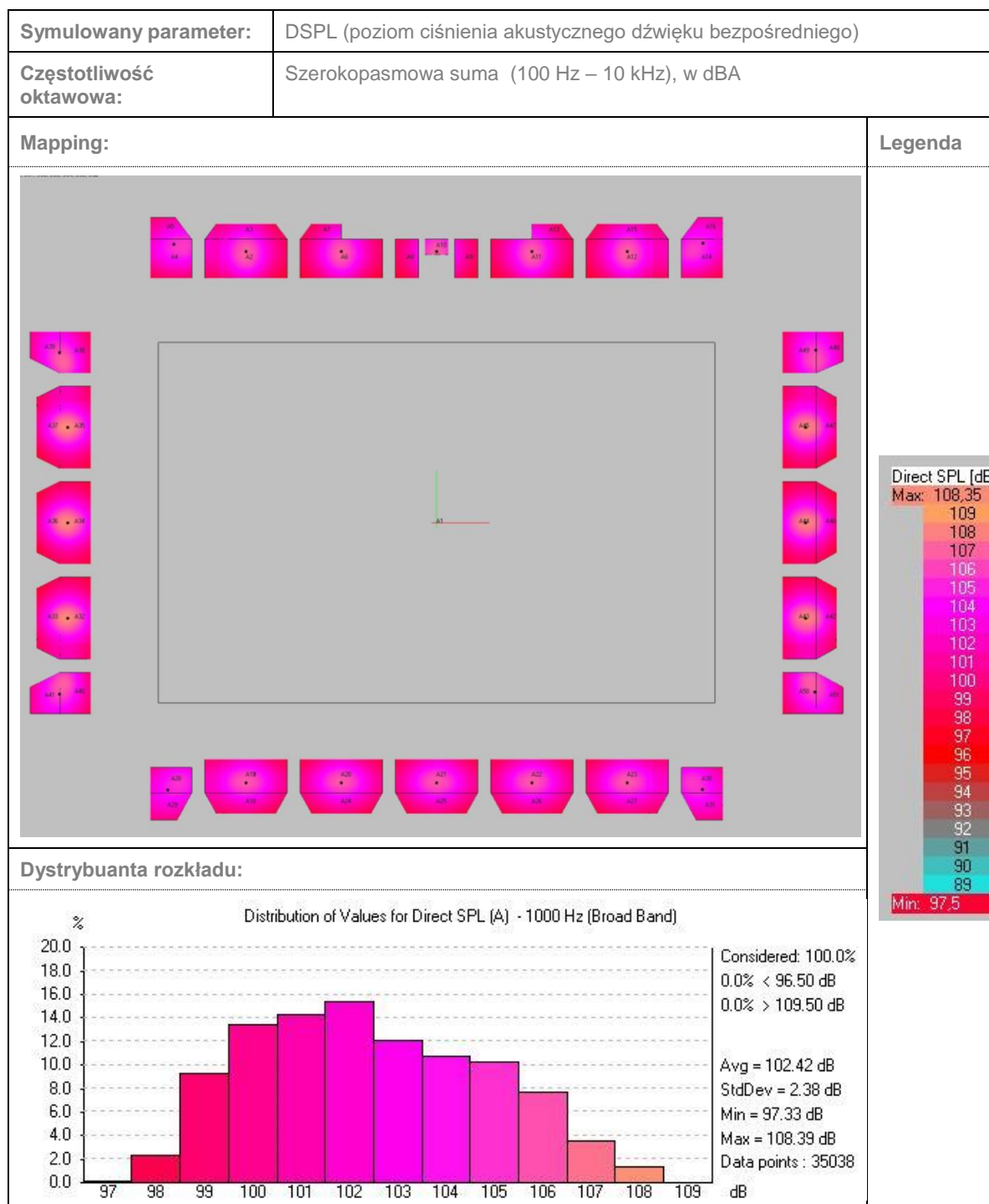
| Parametr | Częstotliwość (Hz) | Zalecana wartość |
|---|-------------------------------------|---|
| równomierność pokrycia dźwiękiem (oparty na poziomach ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego) | +/- 2,4 dB | $\Delta \text{SPL} \leq \pm 3 \text{ dB}$ |
| Uśredniony poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego (szerokopasmowy z uwzględnieniem krzywej korekcyjnej A) dBA SPL | 102,42 dBA (od 100 Hz do 10 kHz) | DSPL $\geq 95 \text{ dBA}$ |
| elektroakustyczny wskaźnik zrozumiałości mowy (STI) | 0,582 | STI _{średnie} > 0,55 |

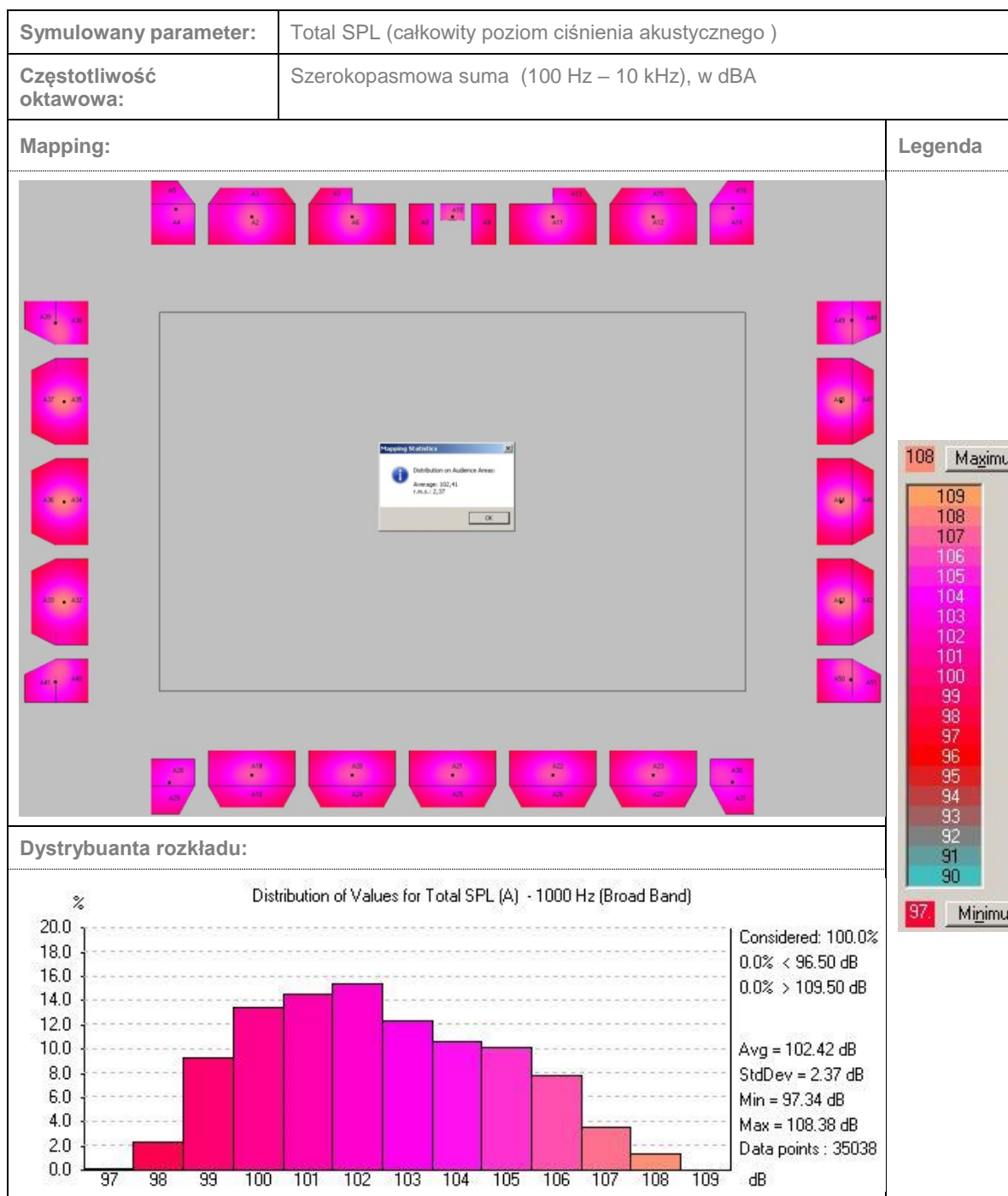
Tabela 9: Wyniki symulacji dla trybun



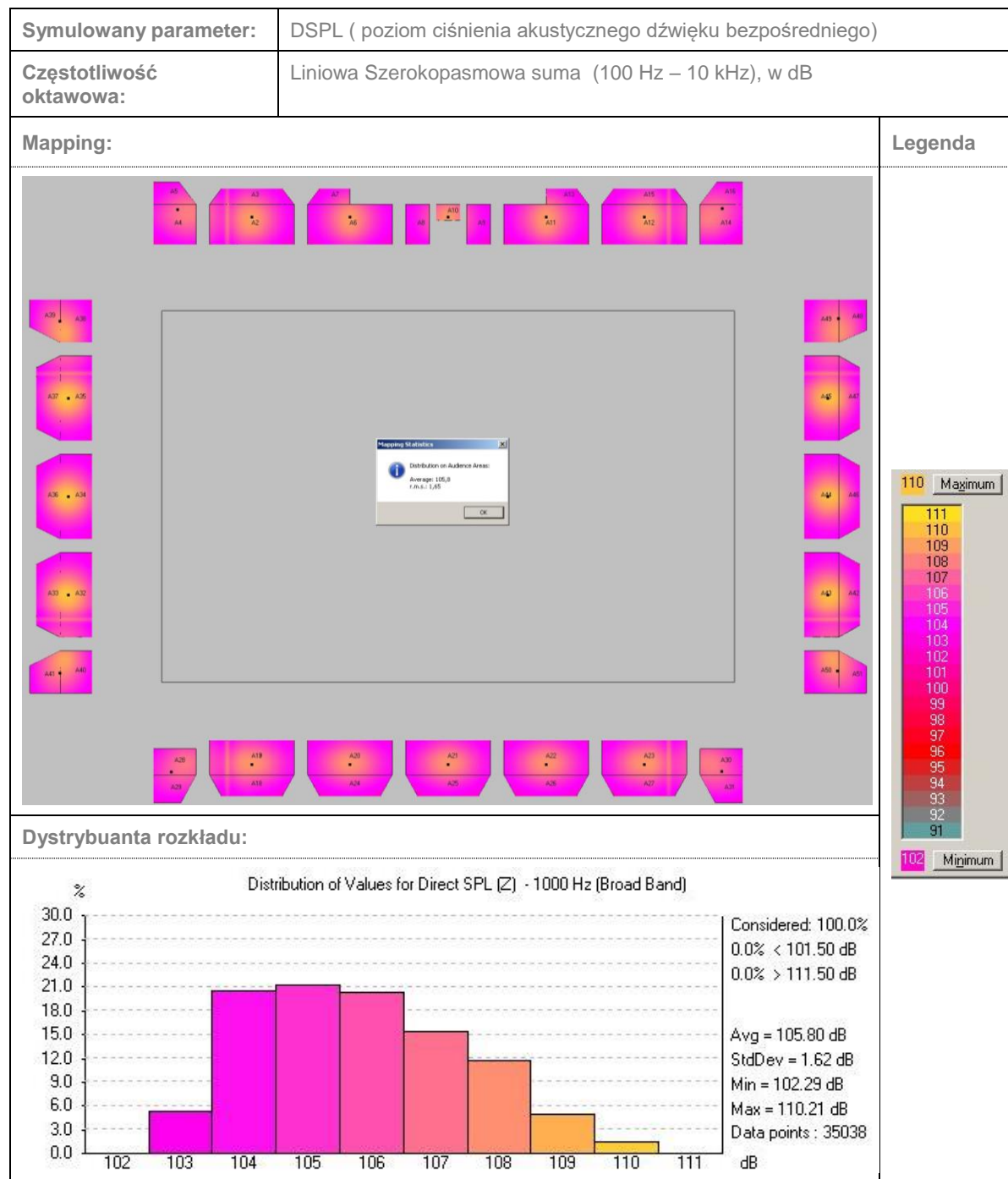
Grafika 3: Zrozumiałość mowy wg IEC 60268-16

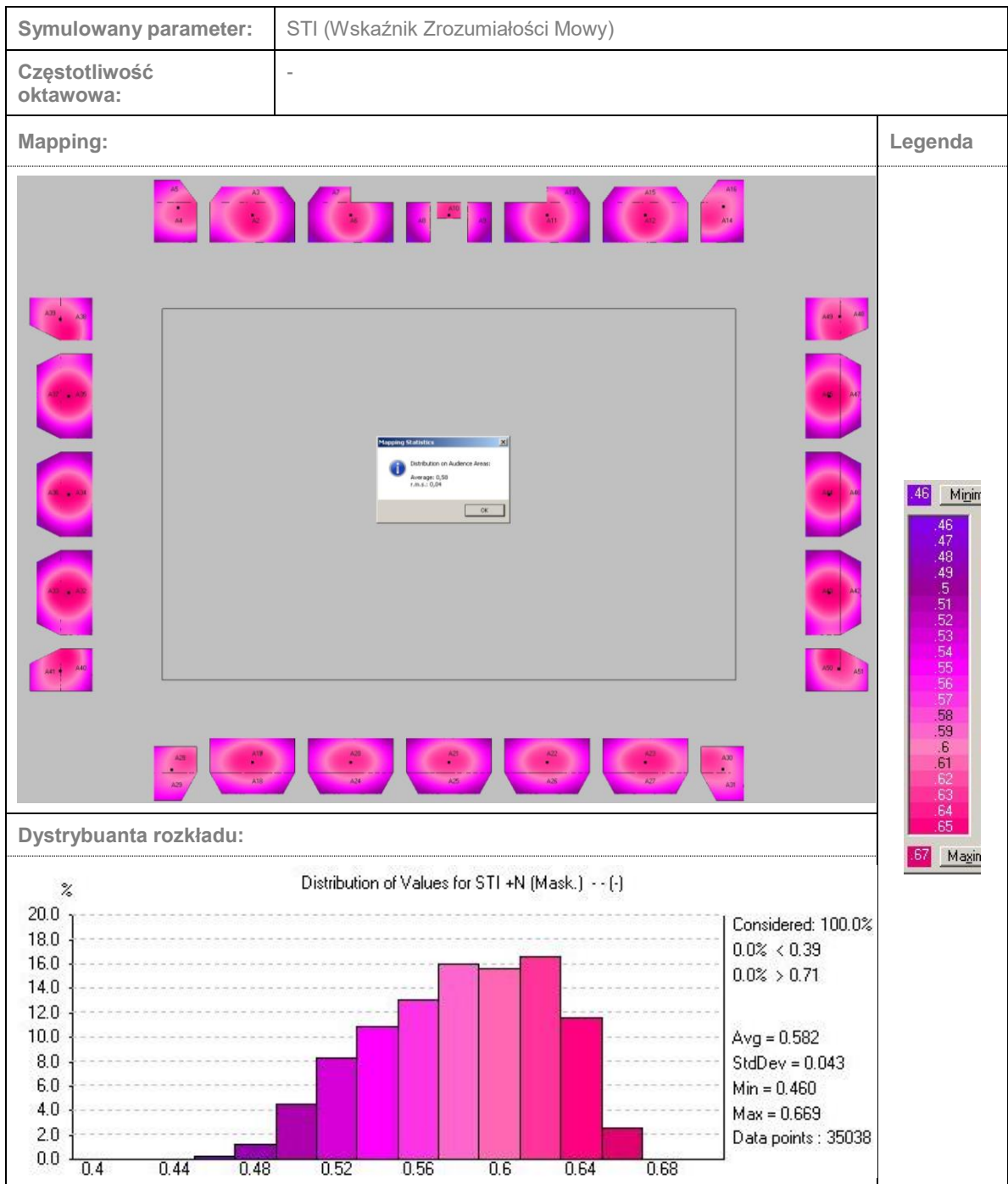
4.2.2 Graficzna prezentacja wyników





5





4.3 Murawa

4.3.1 Wyniki symulacji

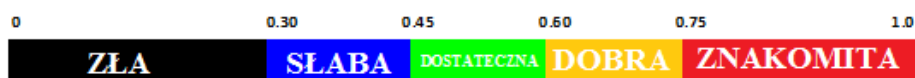
Tabela przedstawia uzyskane podczas symulacji parametry akustyczne:

- Poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego (zakres częstotliwości od 100 Hz do 10000 Hz)
- Wskaźnik Zrozumiałości Mowy (*Speech Transmission Index STI*)

Wszystkie wyniki liczbowe zostały obliczone przez uśrednienie wszystkich punktów obliczeniowych wzdłuż murawy (płaszczyzn odsłuchowych).

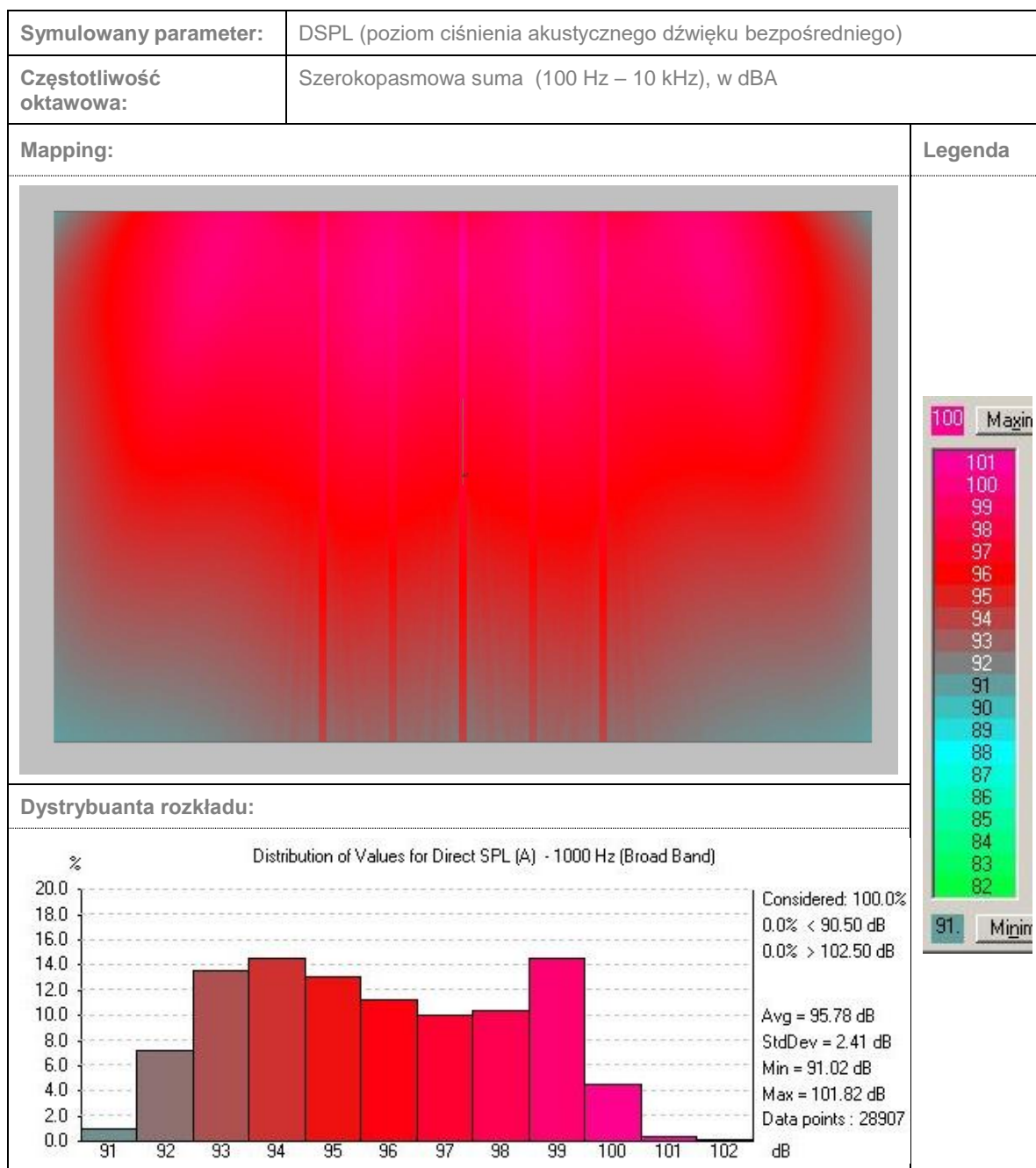
| Parametr | Uzyskana wartość | Zalecana wartość |
|---|--|--------------------------------------|
| poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego w dB SPL (szerokopasmowy z uwzględnieniem krzywej korekcyjnej A) dBA SPL | 95,78 dBA SPL (od 100 Hz do 10000 Hz) | DSPL \geq 90 dBA |
| Wskaźnik Zrozumiałości Mowy (STI) | 0,62 | STI $\text{\textit{średnie}}$ > 0,50 |

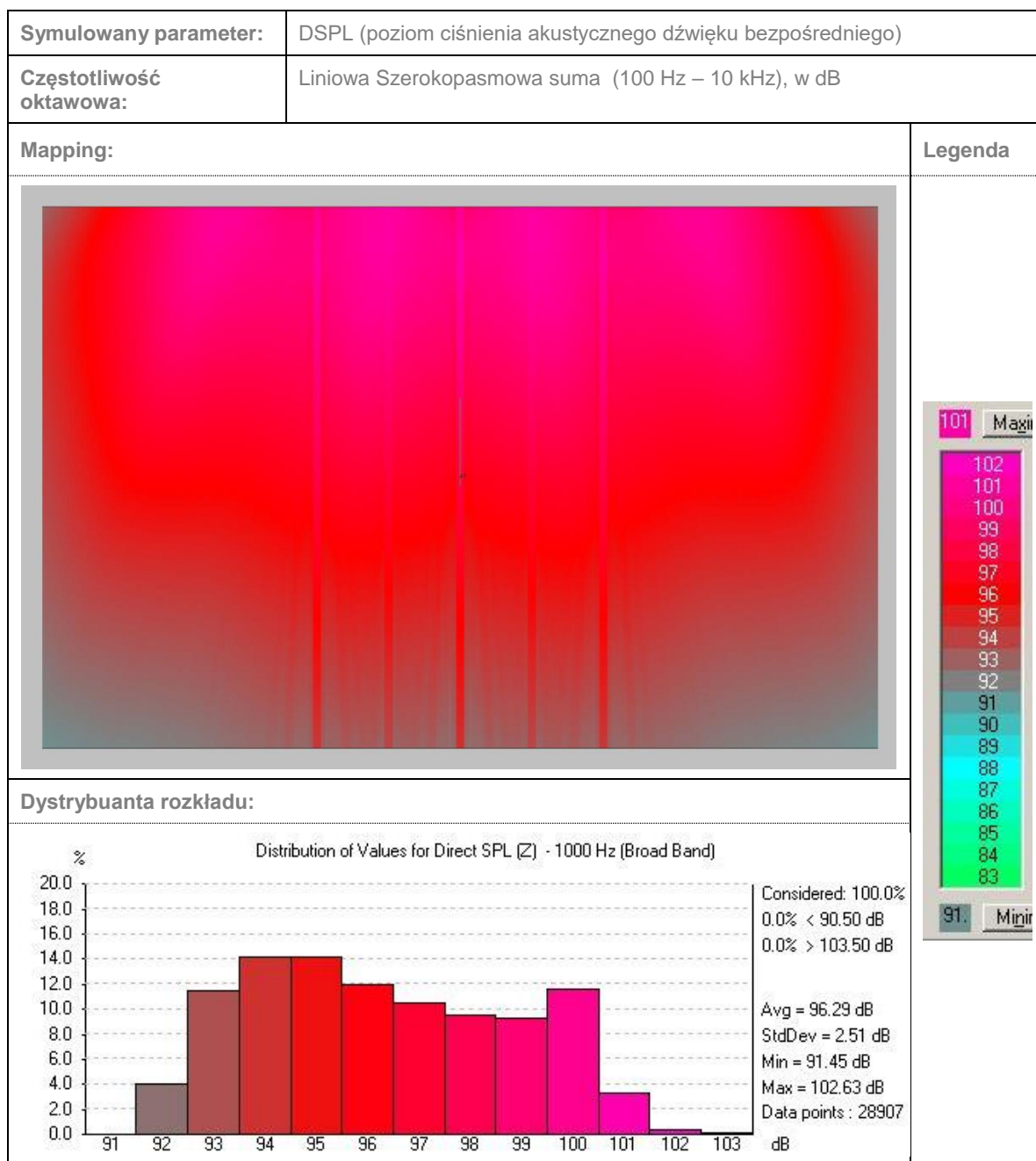
Tabela 2: Wyniki symulacji dla murawy

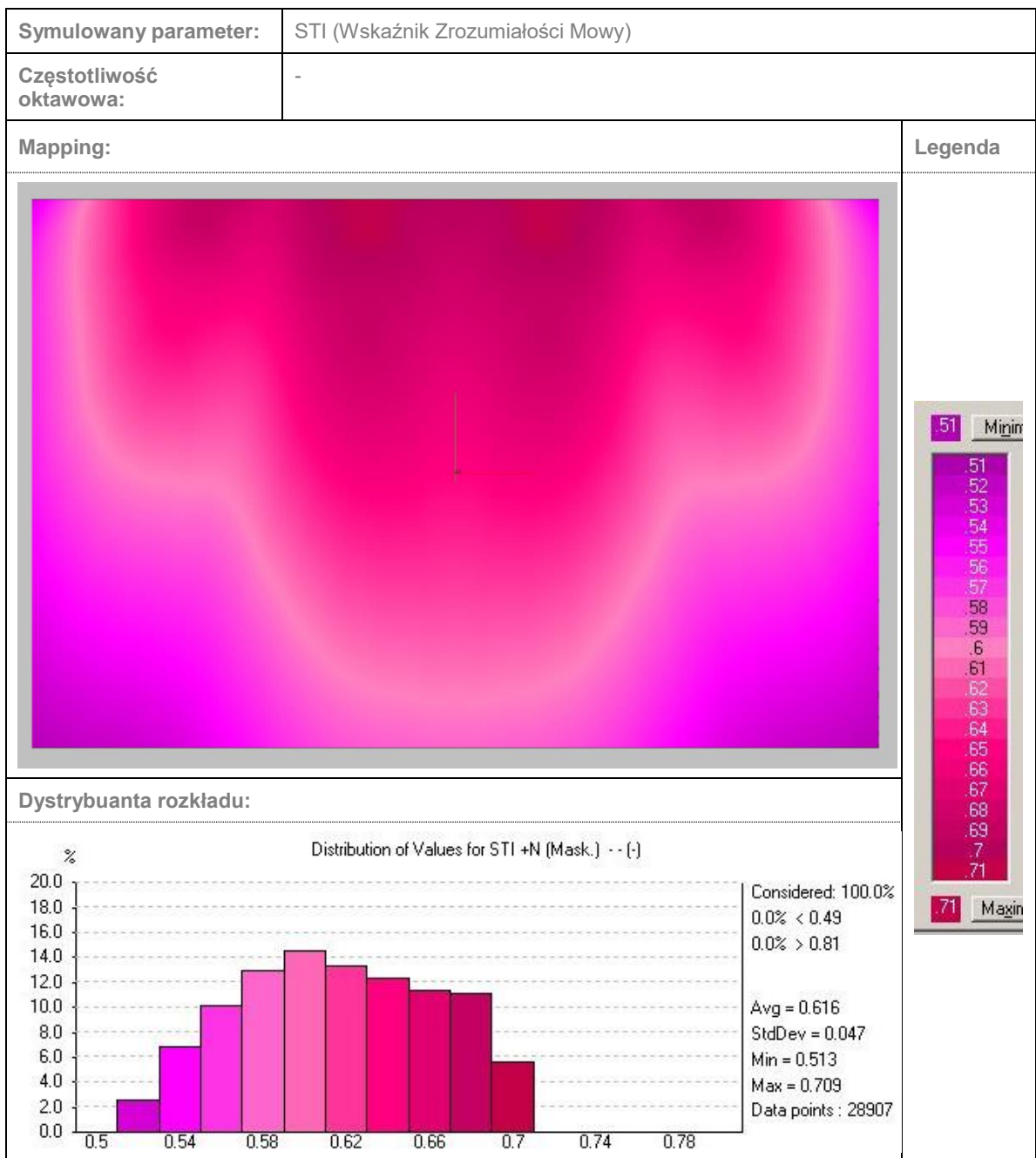


Grafika 4: Wskaźnik Zrozumiałości Mowy zgodnie z IEC 60268-16

4.3.2 Graficzna prezentacja wyników







5. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki podczas komputerowej symulacji nagłośnienia na stadionie potwierdzają prawidłowość doboru zestawów głośnikowych ich rozmieszczenia oraz ustawienia.

Zarówno na trybunach jak i murawie uzyskano wymagane poziomy ciśnienie akustycznych, równomierności rozkładów oraz zrozumiałości mowy.

Na trybunach uzyskano średni poziom ciśnienia akustycznego w zakresie 100 Hz-10 kHz z uwzględnieniem krzywej korekcyjnej A 102,42 dBA co daje 7,42 dB odstępu od poziomu tła akustycznego. Nierównomierność pokrycia mieści się w dopuszczalnych granicach ± 3 dB i wynosi 2,4 dB. Także współczynnik zrozumiałości mowy STI z uwzględnieniem hałasu i zjawiska maskowania jest bardzo dobry i wynosi 0,58.

Na murawie uzyskano poziom ciśnienia całkowitego ok. 96 dB co daje wymagany 6 dB odstęp sygnału od szumu. Współczynnik zrozumiałości mowy STI z uwzględnieniem hałasu i zjawiska maskowania jest bardzo dobry i wynosi 0,62.

6. UWAGI

Stworzony model 3d stadionu zawiera duże uproszczenia geometryczne zgodnie z wymogami producenta oprogramowania.

Symulację przeprowadza się w zakresie pasm 100 Hz – 10 kHz.

Wyniki uzyskane w programie symulacyjnym EASE mogą odbiegać od rzeczywistych parametrów akustycznych uzyskanych podczas pomiarów akustycznych powykonawczych z powodu:

- ograniczeń algorytmów obliczeniowych
- zjawisk nieliniowych występujących w rzeczywistości
- niepewności w doborze współczynników pochłaniania dźwięku dla użytych materiałów

Położenie głośników może być skorygowane podczas montażu i procesu strojenia systemu nagłośnieniowego.

Należy przeprowadzić konieczne korekcje za pomocą procesorów DSP.