



ANALIZA TECHNICZNA DOTYCZĄCA OBLICZEŃ WYMAGANEGO CZASU EWAKUACJI

Obiekt:

ERGO ARENA
Plac Dwóch Miast 1, 80-344 Gdańsk

Opracował:

mgr inż. Arkadiusz Mikulski

Sprawdził:

mgr inż. Feliks Mikulski

Gdynia, grudzień 2013

"FSC" Sp. z o.o.
ul. Solna 38C/3
81-571 Gdynia
<http://www.fsc.biz.pl>

NIP 5862243542
REGON 220859232
KRS 0000336059

Współwłaściciele:
Robert Blicharz, tel. 601 639010
Feliks Mikulski, tel. 502 427002

SPIS TREŚCI

1.	WPROWADZENIE	3
2.	CEL I ZAKRES OPRACOWANIA.....	3
3.	PODSTAWY OPRACOWANIA MODELU	3
4.	OPIS OBIEKTU.....	4
5.	ZAŁOŻENIA DO SYMULACJI EWAKUACJI	5
6.	WYNIKI PRZEPROWADZONYCH SYMULACJI.....	9
6.1.	Scenariusz 1.1.....	9
6.2.	Scenariusz 1.2.....	12
6.3.	Scenariusz 2.1.....	16
6.4.	Scenariusz 2.2.....	19
7.	PODSUMOWANIE WYNIKÓW	22
8.	SPIS TABEL I RYSUNKÓW.....	25
9.	ZAŁĄCZNIKI	25

1. WPROWADZENIE

Niniejsza analiza została przeprowadzona w celu oszacowania czasu ewakuacji i oceny warunków ewakuacji ludzi z przestrzeni płyty boiska w skutek zmiany scenariusza ewakuacji.

Opracowanie obejmuje analizę czasów ewakuacji opartych o obliczenia komputerowe dzięki którym można oszacować czas przejścia podczas procesu ewakuacji oraz założenie czasów reakcji w oparciu o dostępne standardy dotyczące ewakuacji.

Dla symulacji procesu ewakuacji sporządzony został geometryczny model obiektu, wraz z opracowaniem odpowiedniego scenariusza ewakuacji. Niniejsza dokumentacja opisuje zasadę opracowania modelu, parametry założeniowe oraz analizowany scenariusz. Obliczone wyniki zostaną przedstawione oraz ocenione pod kątem wymagań ochrony przeciwpożarowej.

2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem niniejszego opracowania są obliczenia WCBE, jaki zajmuje ewakuacja założonej liczby osób z płyty boiska Hali ERGO ARENY przy Placu Dwóch Miast 1, 80-344 Gdańsk.

Wymagany Czas Bezpiecznej Ewakuacji – WCBE jest to wyliczony czas dostępny pomiędzy zainicjowaniem zagrożenia a czasem, w którym użytkownicy, w określonych przestrzeniach w budynku, są w stanie osiągnąć bezpieczne miejsce.

Proces ewakuacji obejmuje sprawdzenie czasu opuszczenia płyty boiska oraz dojściu do miejsca bezpiecznego. Osoby podczas symulacji ewakuacji uważa się za bezpieczne, jeżeli wyjdą z budynku, wejdą do innej strefy pożarowej lub wydzielonej klatki schodowej z której jeżeli będzie to konieczne, mogą kontynuować i zakończyć bezpiecznie ewakuację na zewnątrz budynku.

3. PODSTAWY OPRACOWANIA MODELU

Podstawy opracowania modelu stanowią:

- Zlecenie wykonania analizy,
- Podkłady architektoniczne, ERGO ARENA Plac Dwóch Miast 1, 80-344 Gdańsk,
- Zdefiniowanie założeń projektowych oraz ustalenie scenariusza ewakuacji,
- PD 7974-6:2004 The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behavior and condition (Sub-system 6),

- Engineering Guide to Human Behavior in Fire, SFPE, Review Draft, August 2002.
- Joseph L. Smith, Agent-Based Simulation Of Human Movements During Emergency Evacuations Of Facilities

4. OPIS OBIEKTU

Poniższa charakterystyka obiektu obejmuje opis cech, istotnych dla procesu ewakuacji w symulacji komputerowej.

Na podstawie projektu z pkt. 2 została wykonana geometria budynku, która uwzględnia wszystkie szczegóły, istotne z punktu widzenia ruchu osób. Rozmieszczenie, wymiary i położenie wyjść ewakuacyjnych z obiektu, układ komunikacyjny, przeszkody oraz długości przejść i dojść.

Płyta boiska stanowi jedna przestrzeń ewakuacyjną. Liczba osób została dobrana na podstawie danych z pkt. 2. W opracowaniu założono ewakuację 7000 osób z płyty boiska. W tabelach 1-2 przedstawiono szerokość wyjść i drzwi ewakuacyjnych. Lokalizacje wyjść i drzwi ewakuacyjnych przedstawiono w załączniku graficznym do opracowania.

Tabela 1 Lokalizacja i wymiar wyjść ewakuacyjnych

Lokalizacja	Szerokość drzwi [m]
WE 1	1,7
WE 2	1,7
WE 3	1,7
WE 4	1,65
WE 5	1,65
WE 6	1,65
WE 7	1,65
WE 8	1,65
WE 9	1,65
WE 10	1,65
WE 11	1,65
WE 12	1,65
WE 13	1,65
WE 14	1,65
WE 15	1,65
WE 16	1,5
WE 17	1,5
WE 18	4,4
WE 19	4,7
WE 20	2,3
WE 21	2,3
WE 22	1,5
WE 23	1,5

Tabela 2 Lokalizacja i wymiar drzwi ewakuacyjnych

Lokalizacja	Szerokość drzwi [m]
DE 1	4,8
DE 2	4,8
DE 3	3
DE 4	3
DE 5	3
DE 6	3
DE 7	4,8
DE 8	4,8
DE 9	4,8
DE 10	4,8
DE 11	4,8
DE 12	4,8

5. ZAŁOŻENIA DO SYMULACJI EWAKUACJI

Do obliczeń czasów ewakuacji wykorzystano program komputerowy Pathfinder 2011.

Analizie zostaną podane cztery scenariusze ewakuacji:

W scenariuszu nr 1.1 i .1.2 czas reakcji jest doliczony po symulacji.

- Scenariusz nr 1.1 wszystkie drzwi i wyjścia dostępne.
- Scenariusz nr 1.2 drzwi ewakuacyjne DE 11 i wyjścia ewakuacyjne WE20, WE21, WE22 niedostępne.

W scenariuszu nr 2.1 i .2.2 czas reakcji założono w symulacji.

- Scenariusz nr 2.1 wszystkie drzwi i wyjścia dostępne,
- Scenariusz nr 2.2 drzwi ewakuacyjne DE 11 i wyjścia ewakuacyjne WE20, WE21, WE22 niedostępne.

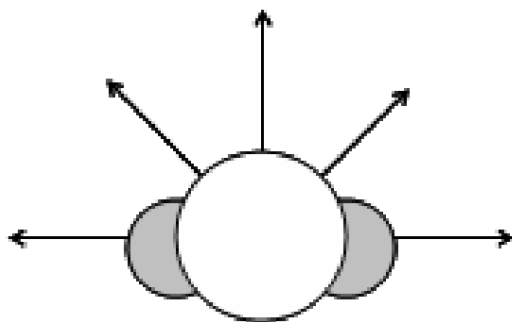
Wszelkie szczegółowe dane dotyczące programu do symulacji ewakuacji znajduje się w opracowaniach dostępnych na stronie internetowej producenta pod adresem: http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder_2011-documentation/

- Pathfinder 2011 Reference Documents
- Users Guide for Pathfinder 2011
- Technical Reference Manual for Pathfinder 2011
- verification_validation_2011-0-0711.pdf

Wyniki otrzymane z programu **Pathfinder** były sprawdzane przez instytut **NIST** w celu weryfikacji otrzymanych czasów. Przeprowadzano w takich samych środowiskach rzeczywistą ewakuację i porównywano otrzymane czasy. Wyniki osiągnięte przez program do symulacji ewakuacji Pathfinder były bardzo zbliżone do pomiaru ręcznego. Potwierdza to możliwości zastosowania Pathfinder-a do sprawdzania czasów ewakuacji z budynku i zakładanie z określonym przybliżeniem, że podobne będą czasy podczas rzeczywistej ewakuacji.

W symulacji wybrano zachowania „zmiennie-sterujące”, które uwzględniają zależności kolizji i wzajemnych interakcji pomiędzy osobami.

- Technika poruszania – „zmiennie-sterująca” pozwala modelom ewakuującym ludzi wybierać częściowe kierunki poruszania, aby ich indywidualny czas ewakuacji był jak najkrótszy. W każdym kolejnym kroku czasowym każdy ewakuujący się użytkownik obiektu wybiera najbardziej korzystną dla siebie drogę ucieczki. Program pozwala osobom reagować i odpowiedzieć na zmieniające się środowisko przy użyciu pięciu wektorów przedstawionych na rysunku poniżej.



Rysunek 1 Kierunki ruchu osób w programie.

- Ruch osób odbywa się na siatce nieregularnej reprezentowanej przez sąsiadujące trójkąty.
- Dokładność kroku czasowego w symulacji 0, 25 s,
- Czasy reakcji opisano w założonych scenariuszach ewakuacji.

Podstawowymi parametrami definiującymi zachowanie osób podczas ewakuacji są: prędkość poruszania się, szerokość ramion oraz czas reakcji. Dane na temat parametrów osób przedstawiono w tabeli nr 3.

Tabela 3 Parametry osób w symulacji:

Opis		Mężczyzna		Kobieta		Dzieci 12-15 lat	
Udział procentowy osób [%]		40		40		20	
1	Parametry osobowe	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2	Prędkość przemieszczenia [m/s]	1,1	1,6	1,05	1,45	1,0	1,4
3	Szerokość barków [cm]	40,640	49,276	36,576	44,958	30,226	46,228

Do odzwierciedlenia parametrów osób w modelu założono losowe parametry z rozkładu Gaussa (wartości minimalne i maksymalne, zróżnicowane ze względu na płeć i wiek) – funkcja ta pozwala na uzyskanie większego zróżnicowania parametrów i bardziej realnych czasów ucieczki. Na podstawie rysunków z pkt.2 dokonano rozmieszczenia osób w modelu i skryptowania wyjścia osób przez właściwe przypisanie do odpowiednich wyjść ewakuacyjnych.

Czas poprzedzający decyzję o ewakuacji jest różny dla każdego użytkownika obiektu i w związku z tym określony jest w postaci rozkładu statystycznego w którym najbardziej istotnym jest moment rozpoczęcia ruchu przez pierwszych użytkowników oraz rozciągnięcie w czasie rozpoczęcia ruchu przez pozostałych użytkowników.

Tabela 4 Projektowe scenariusze zachowań i rodzaje użytkowania

Kategoria	Gotowość użytkowników	Znajomość użytkowników	Gęstość użytkowników	Wydzielenia złożoność	Przykłady rodzajów użytkowania
B2	Czuwający	Niezaznajomieni	Wysoka	Jedno w skupionym punkcie	Widownia*

* miejsce koncertowe oraz podobne imprezy bez ustalonego miejsca do siedzenia

Analizę przewidywanego czasu reakcji osób wykonano w oparciu o brytyjski standard PD 7974 -6: 2004 który omawia specyfikę różnorodnych obiektów. Przy określaniu czasów reakcji uwzględniono wyposażenie w instalacje pożarowe obiektu:

- Pełna ochrona budynku przez system sygnalizacji pożarowej (SSP),
- Dźwiękowy system ostrzegawczy (DSO),
- Rozgłaszanie komunikatów alarmowych w obiekcie odbywa się przez DSO (użytkownicy zostaną poinformowani o sposobach postępowania w przypadku powstania pożaru),
- Wyposażenie obiektu w hydranty wewnętrzne i gaśnice,
- Odpowiednie przeszkolenie personelu ochrony i obsługi obiektu.

Uwzględniając powyższe zastosowano następujące kategorie:

- Jakość systemu zarządzania bezpieczeństwem (poziomy M1 do M3),
 - Poziom Zarządzania **M1**: personel jest przeszkolony do wysokiego poziomu zarządzania bezpieczeństwem z zapewnieniem praktyki w zabezpieczeniu przeciwpożarowym i utrzymaniem urządzeń, dobrze opracowaną instrukcją bezpieczeństwa pożarowego i regularnymi ćwiczeniami. Budynek wyposażony w dźwiękowy system ostrzegawczy.
- Złożoność budynku (poziomy B1 do B3),
 - Poziom budynku **B2** (na przykład prosty, wielokondygnacyjny budynek) przedstawia prosty budynek, z wieloma przegrodami wewnętrznymi i zazwyczaj wielokondygnacyjny, z większością cech projektowanych zgodnie z warunkami techniczno-budowlanymi i prostym wewnętrznym rozplanowaniem.
- Jakość systemu sygnalizacji pożarowej (poziomy A1 do A3),
 - Poziom **A1** system sygnalizacji pożarowej obejmuje cały budynek, ogłoszony jest natychmiastowy alarm dla wszystkich użytkowników w zagrożonych pożarem przestrzeniach budynku.

W niniejszej analizie nie podaje się czasu detekcji zagrożenia, uwzględnia się czas od chwil wykrycia zagrożenia .

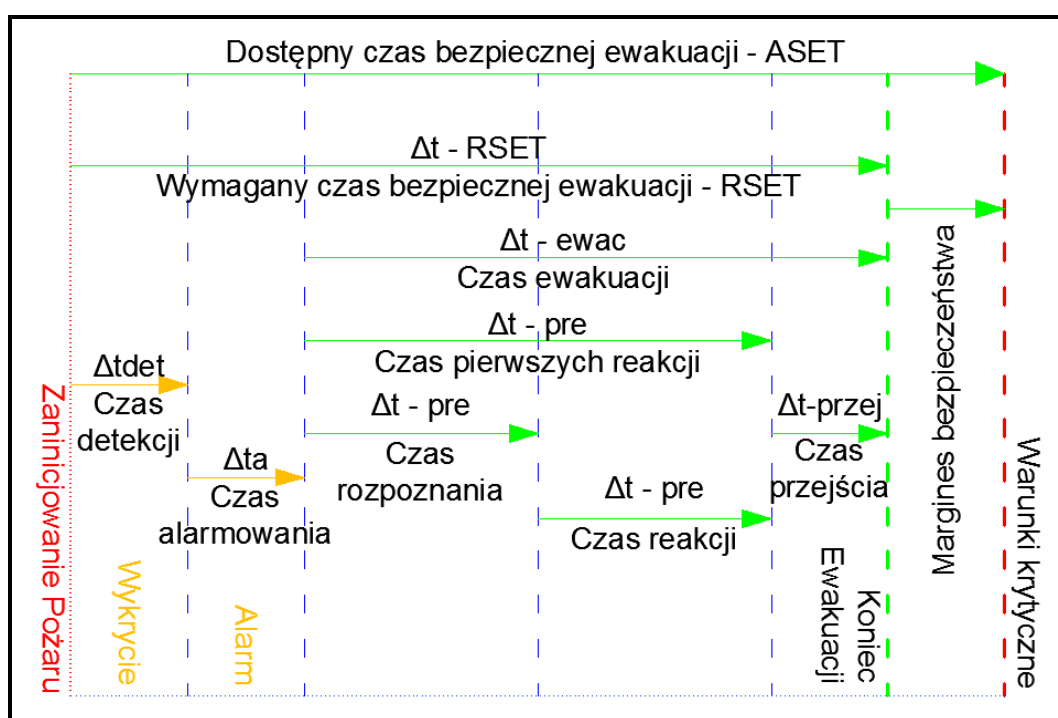
Dla powyższych kategorii (**M1**, **B2** i **A1**) w tabeli przedstawiono czas do rozpoczęcia

ewakuacji, tj. przedział czasu od momentu, w którym zostało przekazane ostrzeżenie o zagrożeniu do momentu, w którym pierwsza osoba przebywająca w obiekcie rozpoczęła ewakuację.

Tabela 5 Sugerowane czasy pierwszych-wstępnych reakcji dla różnych projektowych scenariuszy zachowań

Kategoria scenariuszy i modyfikacje	Pierwsi użytkownicy $\Delta t_{pre}(1\%)$		Rozkład użytkowników $\Delta t_{pre}(99\%)$	
B: czuwający i niezaznajomieni	[s]	[min]	[s]	[min]
M1 B2 A1	60*	1,0	120	2
* dodano 0,5 min [30s] dla szukania drogi wyjścia - w tym przypadku drogi szukają tylko pierwsi uciekający				
M1 - wymagany dźwiękowy system ostrzegawczy				

Użytkownicy pojedynczego pomieszczenia o prostej geometrii i wymiarach nie przekraczających wymiarów pojedynczej strefy dymowej w którym został zainicjowany pożar są nie tylko ostrzegani przez alarm ale także przez widok ognia i dymu wydobywającego się z palącego się źródła ognia.



Rysunek 2 Schemat składowych czasu ewakuacji w porównaniu do dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji.

Źródło: PD 7974-6:2004

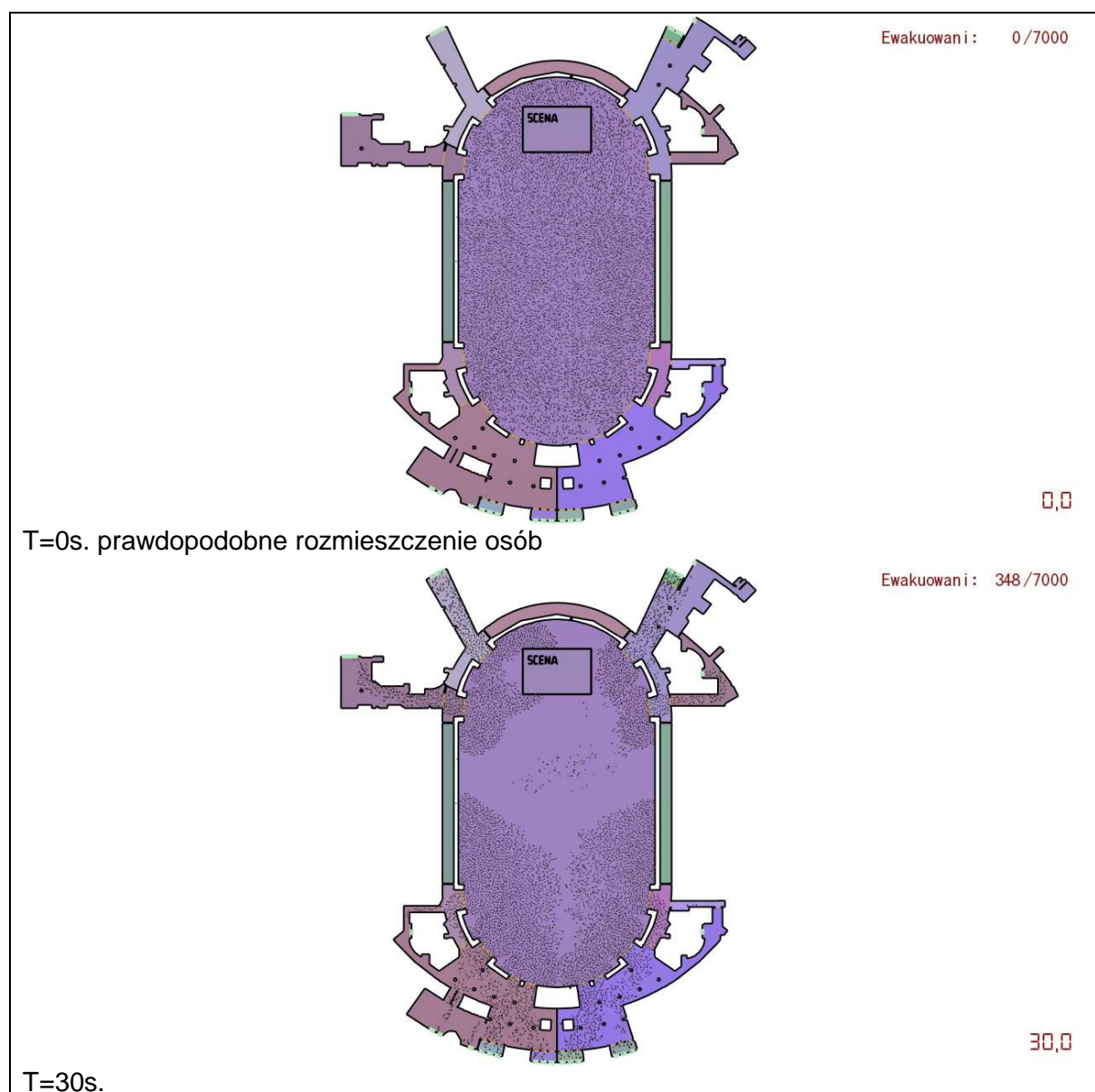
Przyjęto, że osoby znajdujące się w pobliżu źródła pożaru ewakuują się w czasie ewakuacji „pierwszej osoby”. Założono, że pierwsza osoba udaje się do najbliższego wyjścia ewakuacyjnego najkrótszą drogą. Osoba ostatnia udaje się do wyjścia, które jest dostępne, nie zawsze najkrótszą drogą.

6. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH SYMULACJI

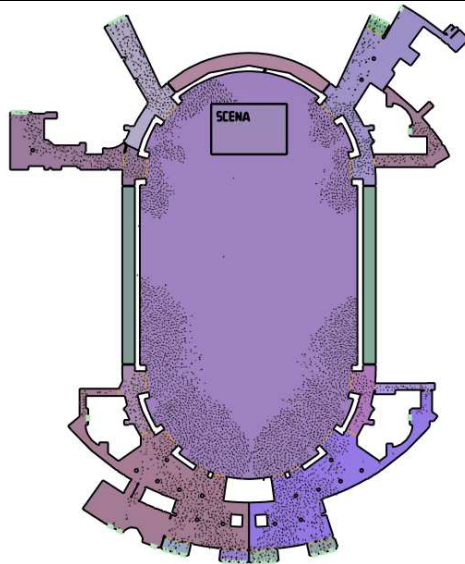
Wizualizacja otrzymanych wyników wykonana została w oprogramowaniu PathFinder 2011. Wyniki symulacji zostały przedstawione za pomocą rzutów poziomych ruchu i przemieszczania się osób w odstępach czasowych dla zobrazowania procesu ewakuacji. Dodatkowo przedstawiono na wykresach statystyki czasu i liczby wyewakuowanych osób.

Na rzutach poziomych w prawym górnym rogu znajduje się liczba wyewakuowanych osób i / liczba osób biorących udział w ewakuacji. W prawym dolnym rogu jest podany czas rzeczywisty procesu ewakuacji.

6.1. Scenariusz 1.1



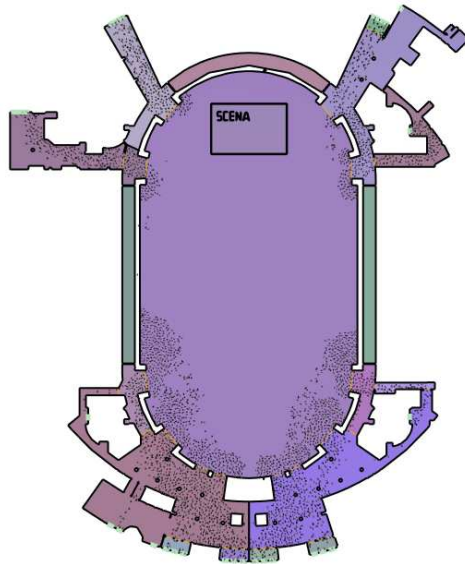
T=60s.



Ewakuowani: 1954/7000

60,0

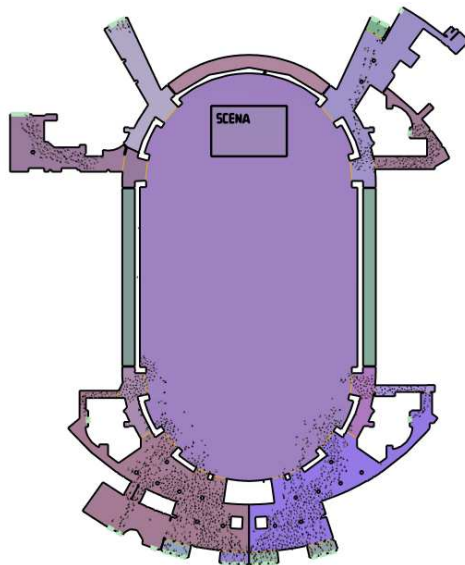
T=90s.



Ewakuowani: 3542/7000

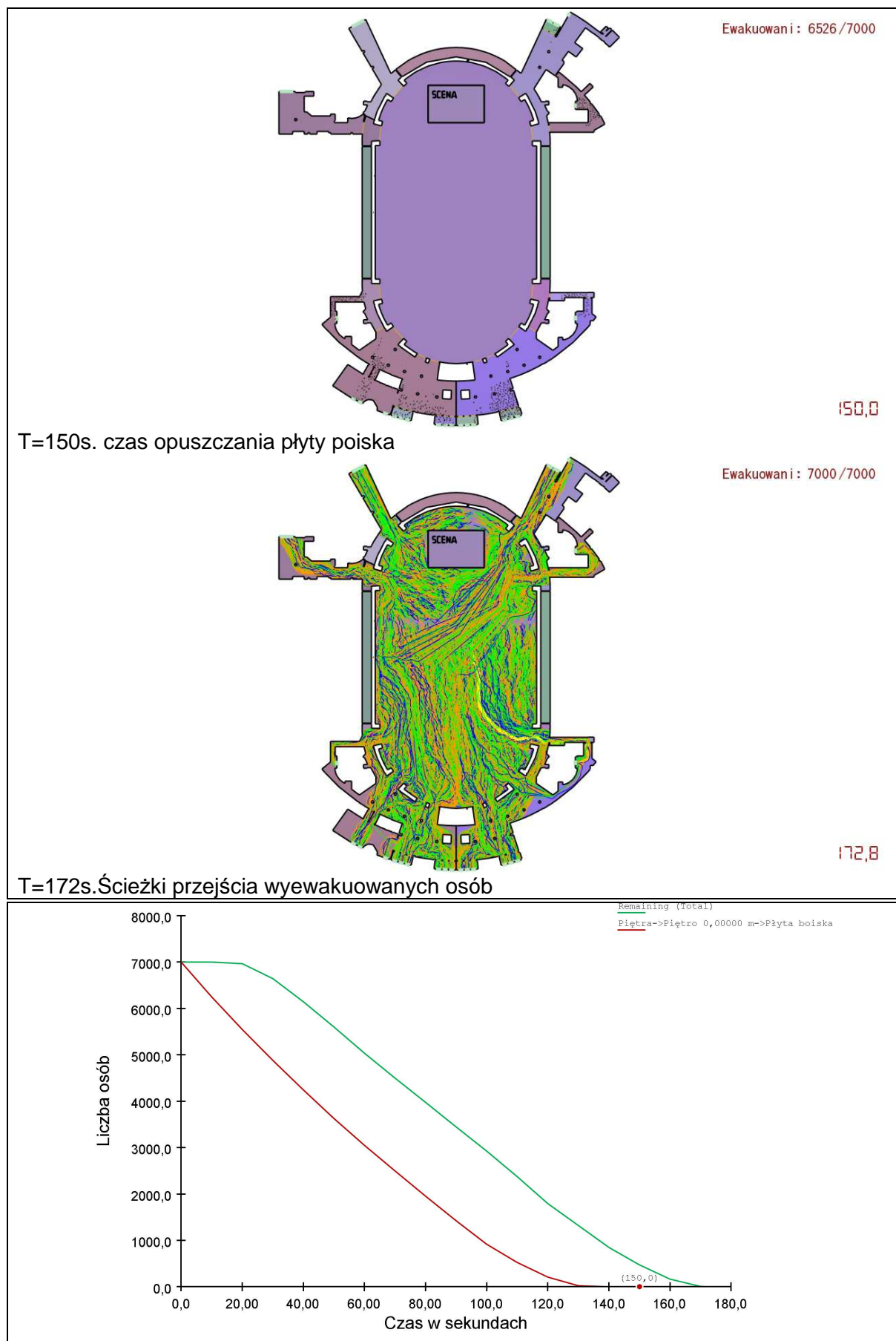
90,0

T=120s.

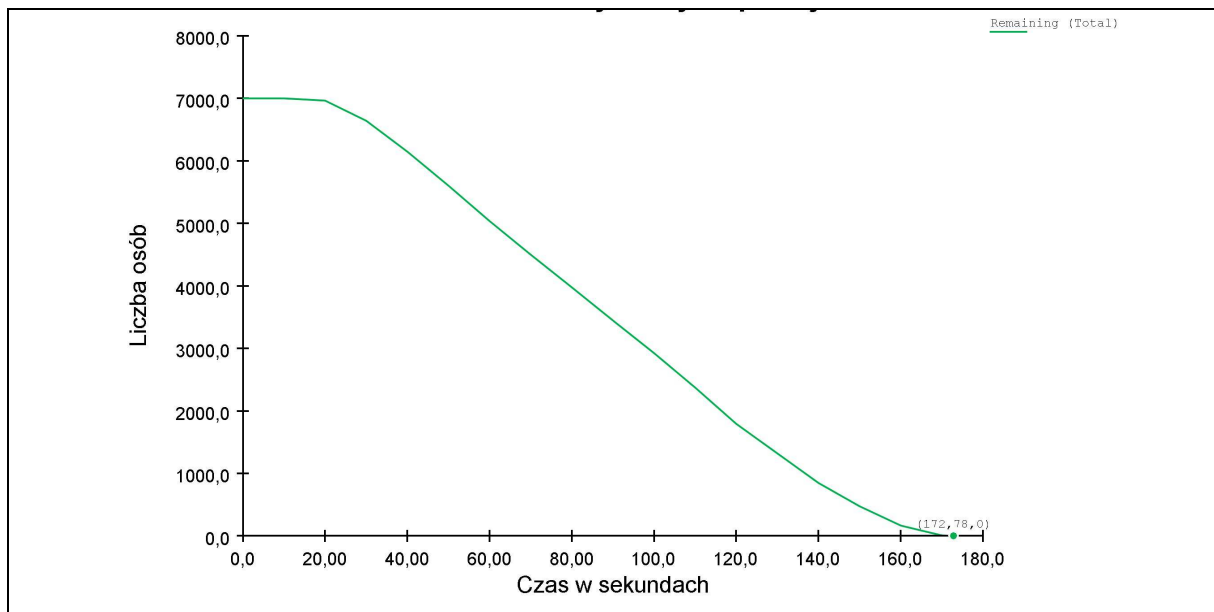


Ewakuowani: 5208/7000

120,0

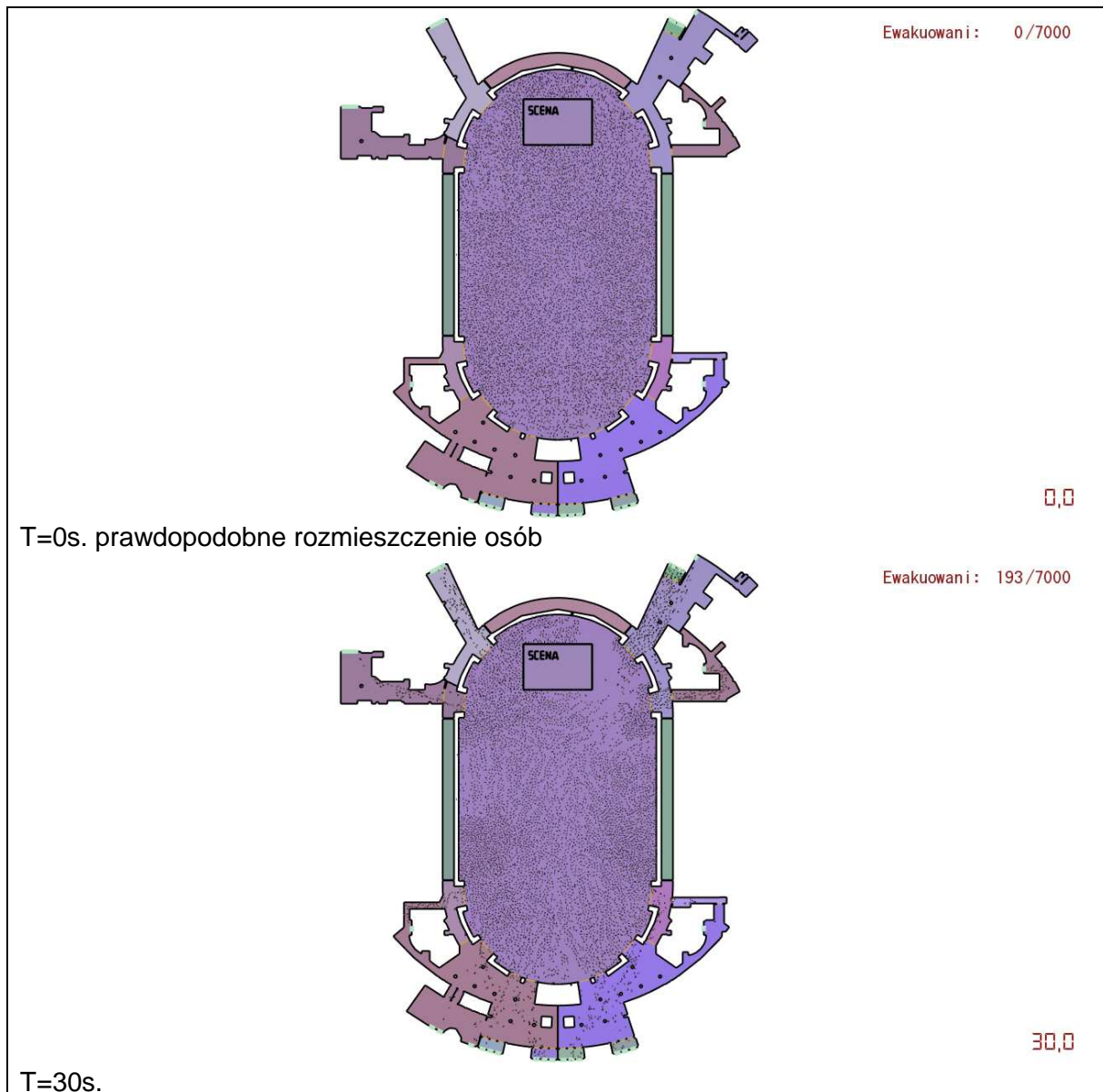


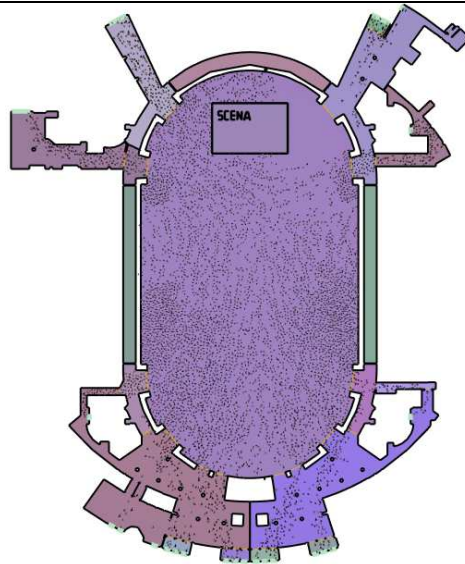
Rysunek 3 Wykres czasu i liczby ewakuowanych osób – z płyty boiska



Rysunek 4 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 1.1

6.2. Scenariusz 1.2

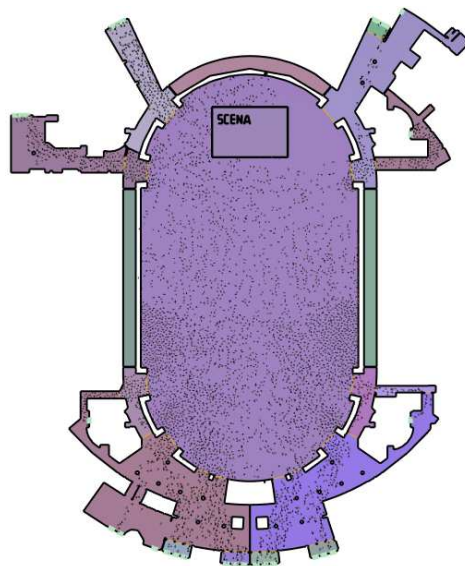




Ewakuowani: 1134/7000

60,0

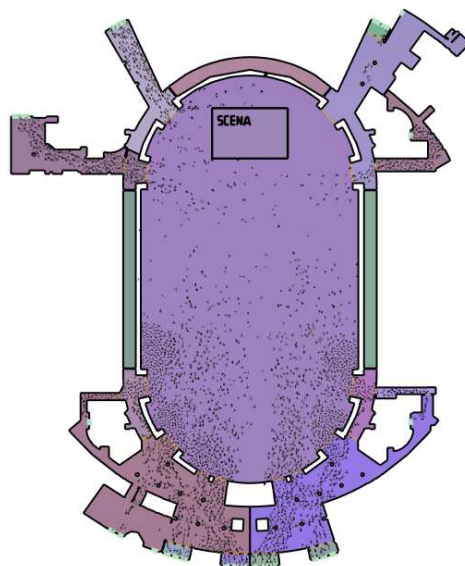
T=60s.



Ewakuowani: 2324/7000

90,0

T=90s.

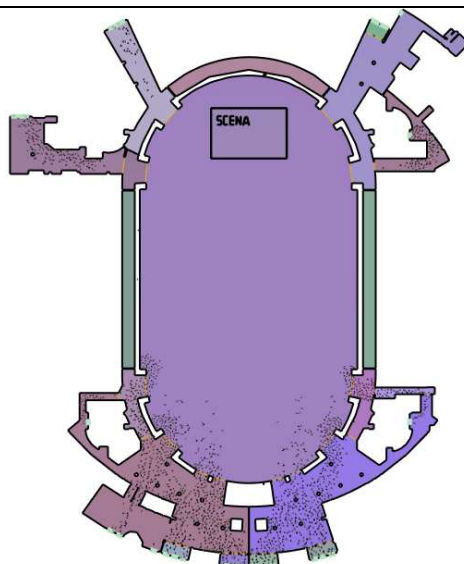


Ewakuowani: 3722/7000

120,0

T=120s.

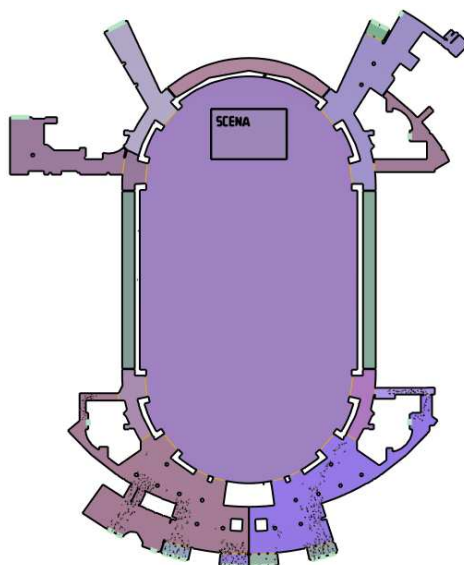
T=150s.



Ewakuowani: 5255/7000

150,0

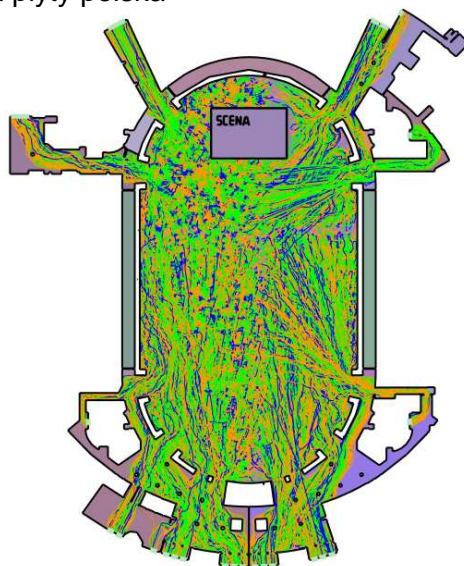
T=180s. czas opuszczania płyty poszka



Ewakuowani: 6602/7000

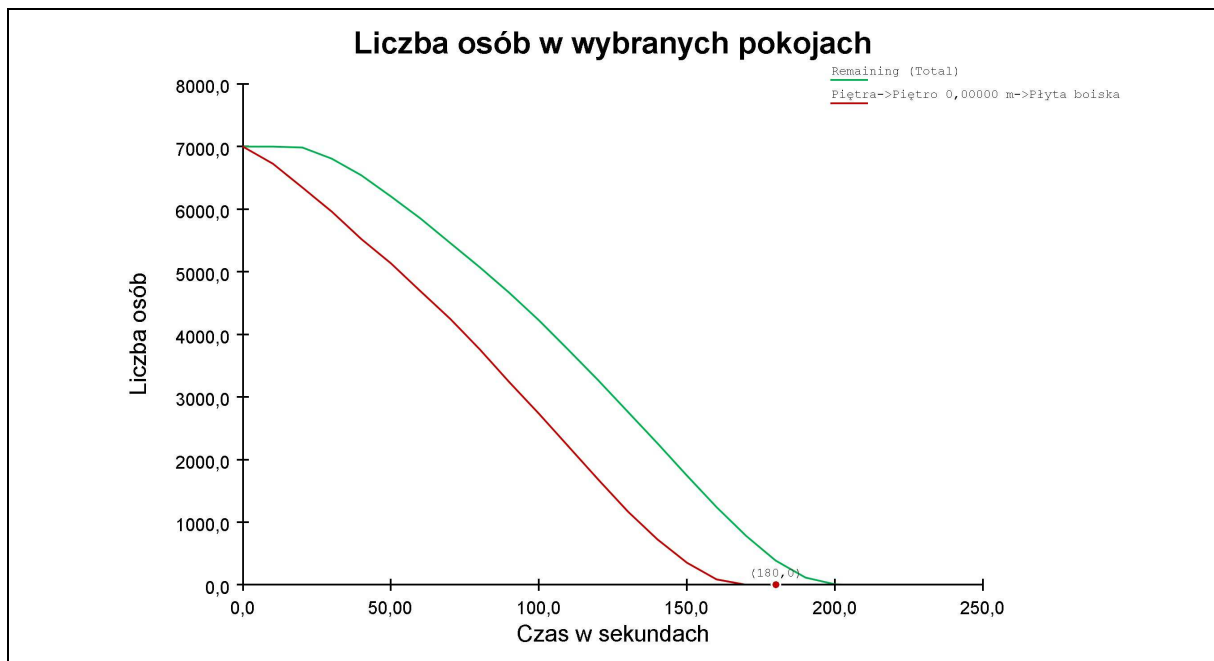
180,0

T=205s. Ścieżki przejścia wyewakuowanych osób

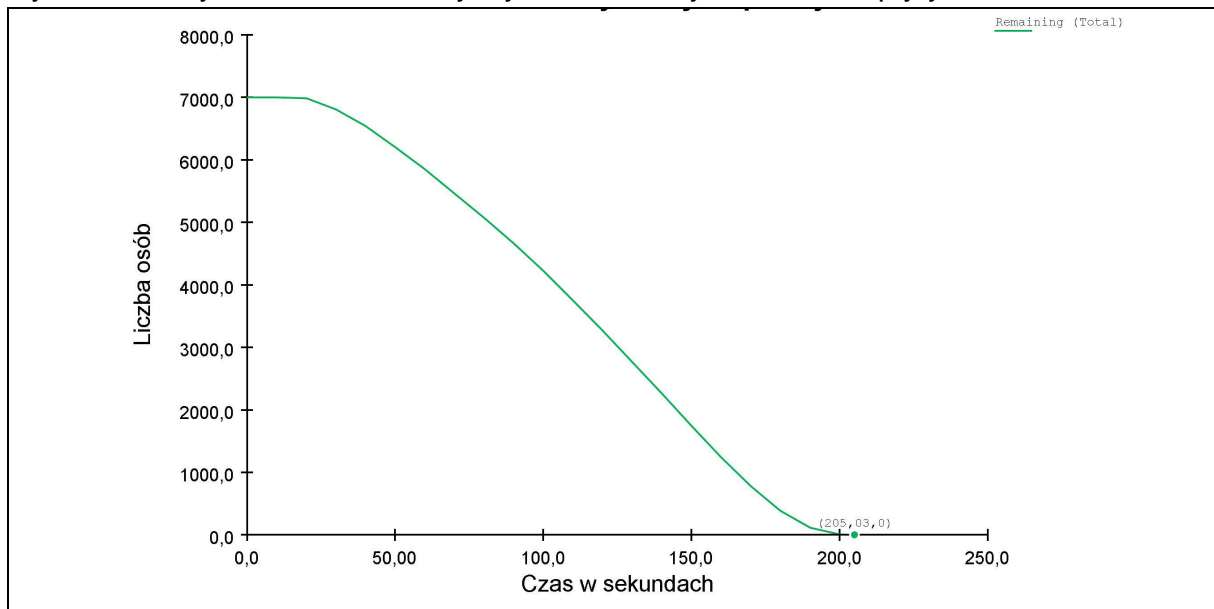


Ewakuowani: 7000/7000

205,0

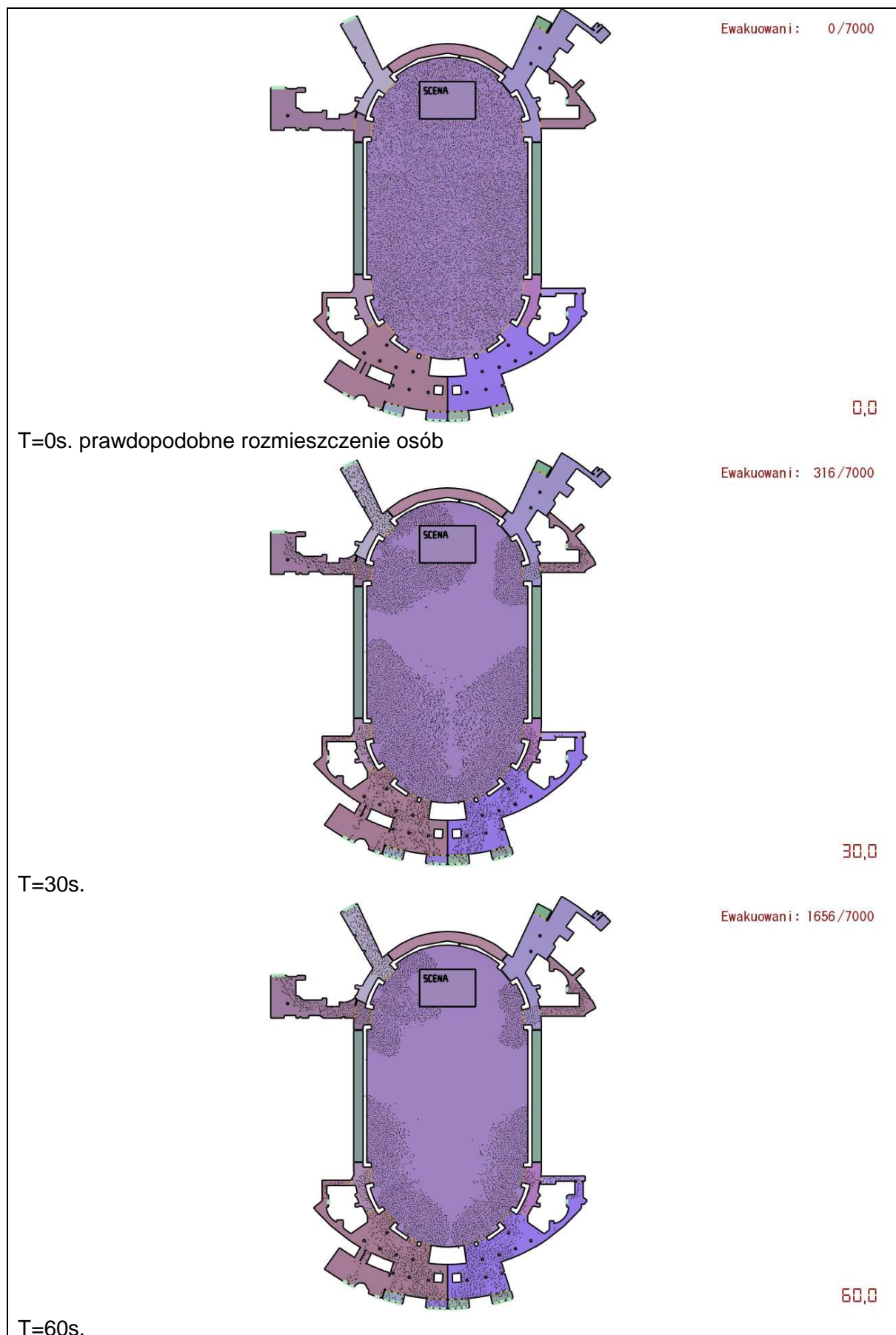


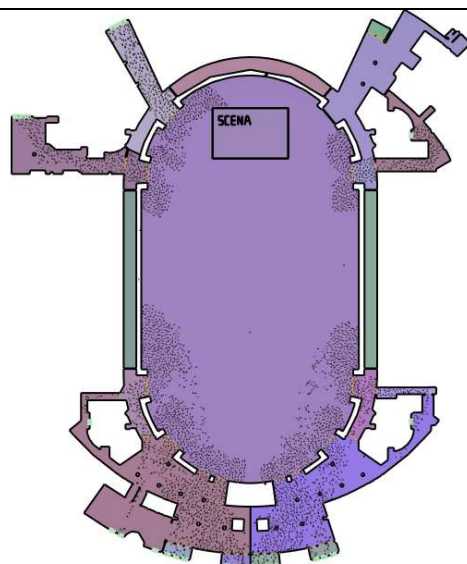
Rysunek 5 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska



Rysunek 6 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 1.2

6.3. Scenariusz 2.1

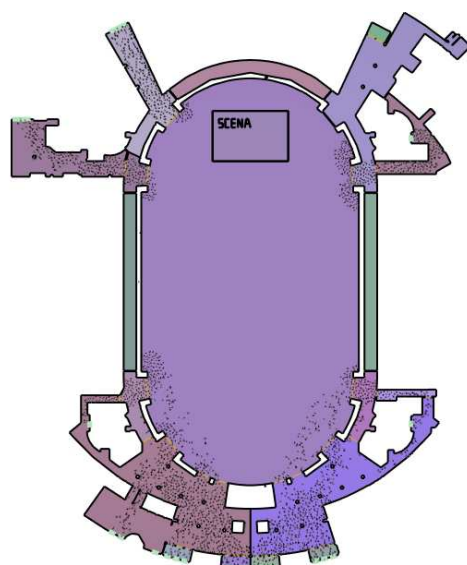




Ewakuowani: 3124/7000

90,0

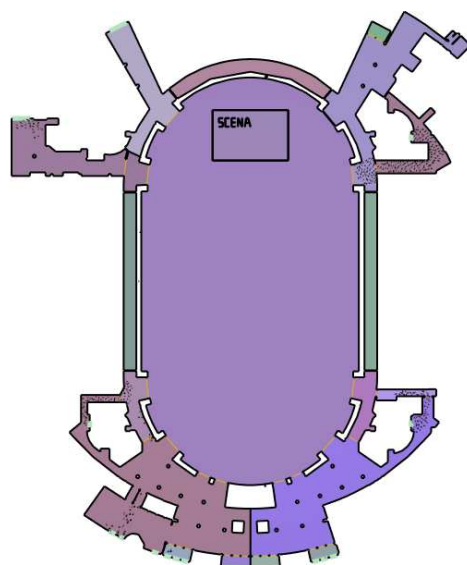
T=90s.



Ewakuowani: 4611/7000

120,0

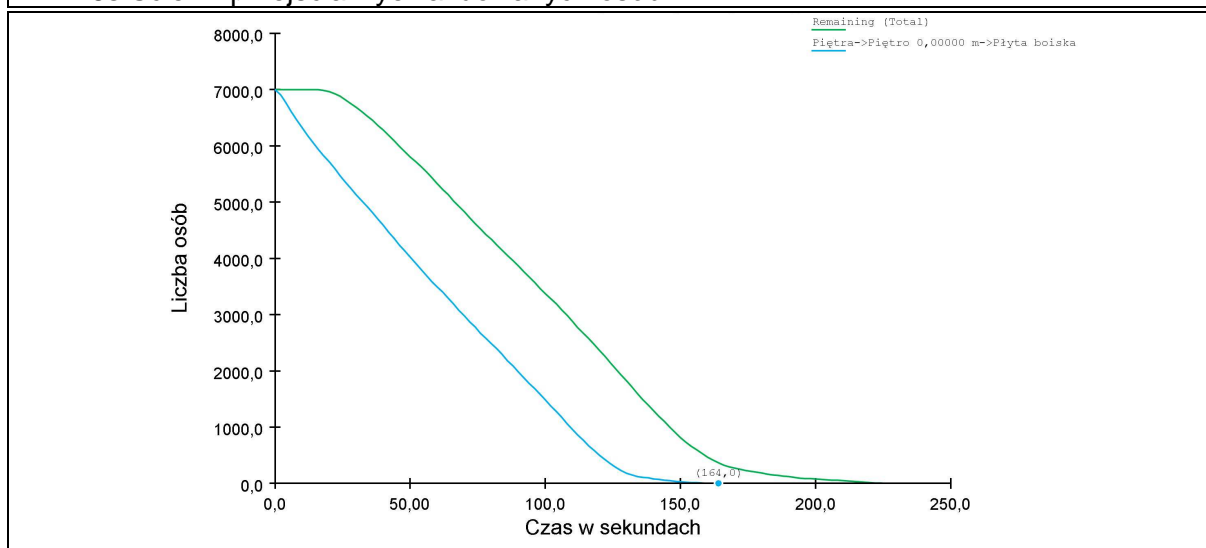
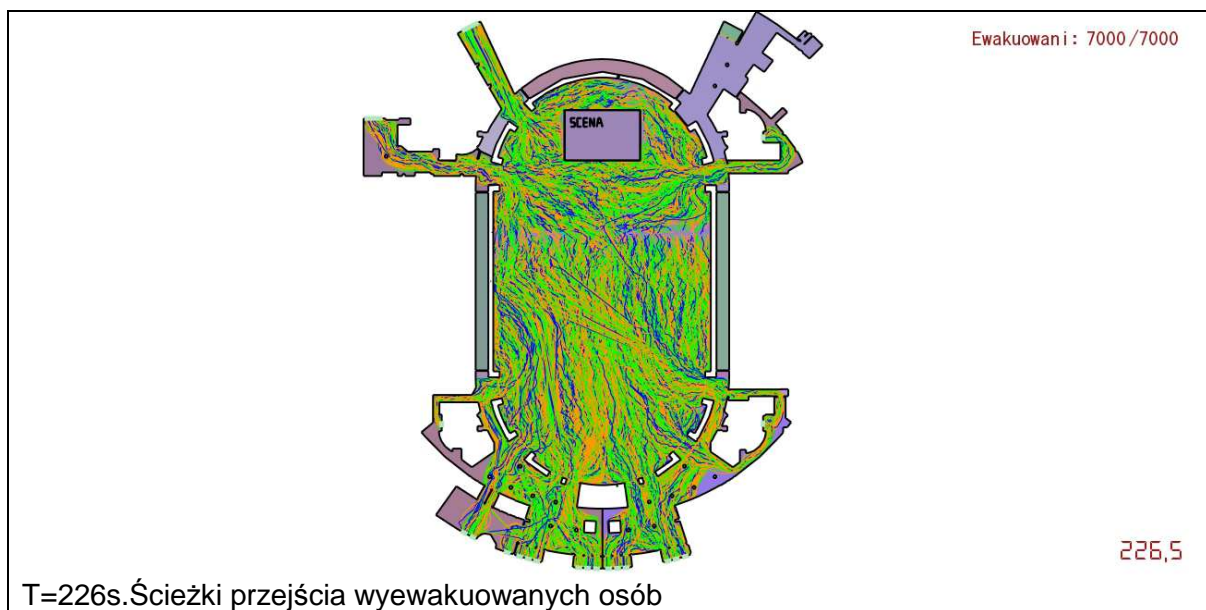
T=120s.



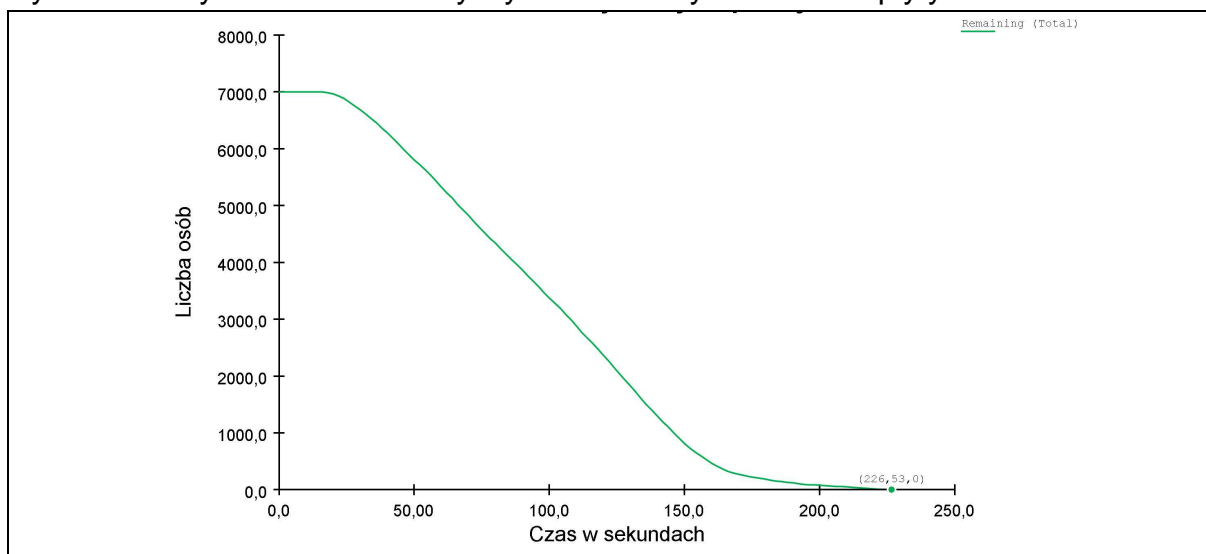
Ewakuowani: 6624/7000

164,0

T=164s. czas opuszczania płyty poszka

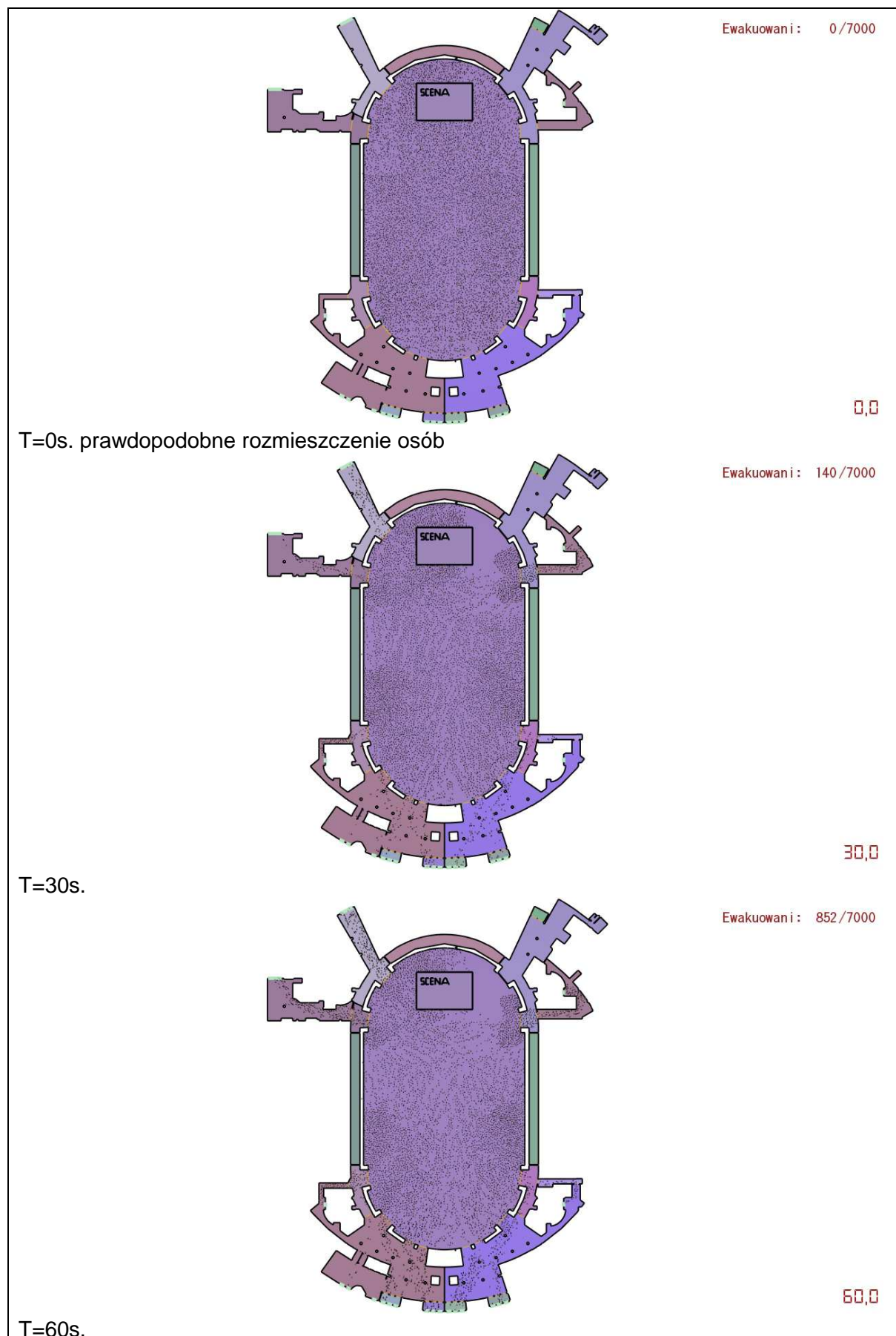


Rysunek 7 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska

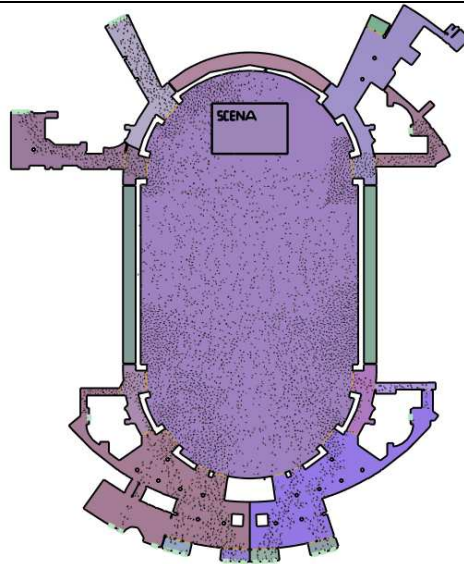


Rysunek 8 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 2.1

6.4. Scenariusz 2.2



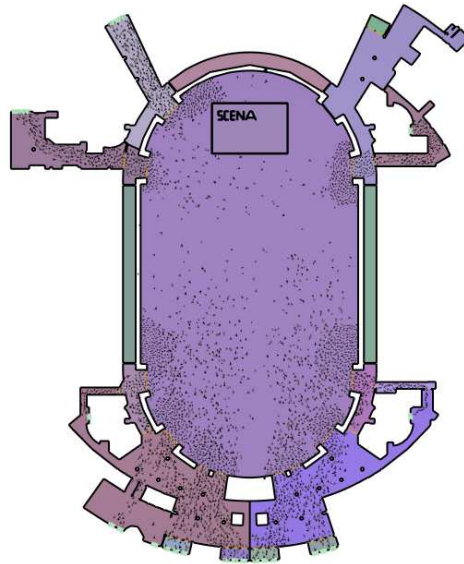
T=90s.



Ewakuowani: 1915/7000

90,0

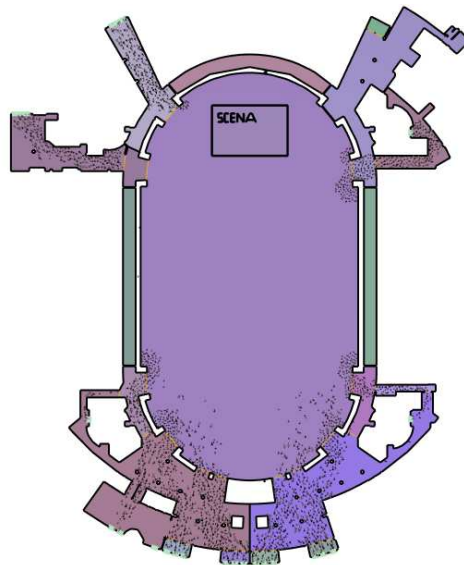
T=120s.



Ewakuowani: 3270/7000

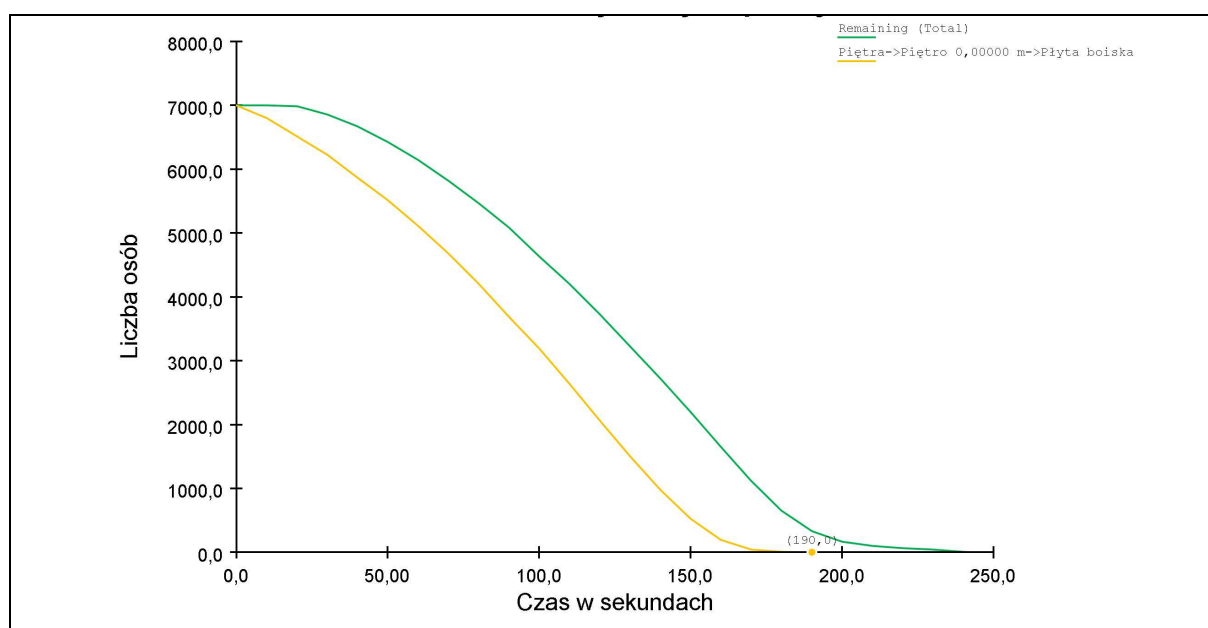
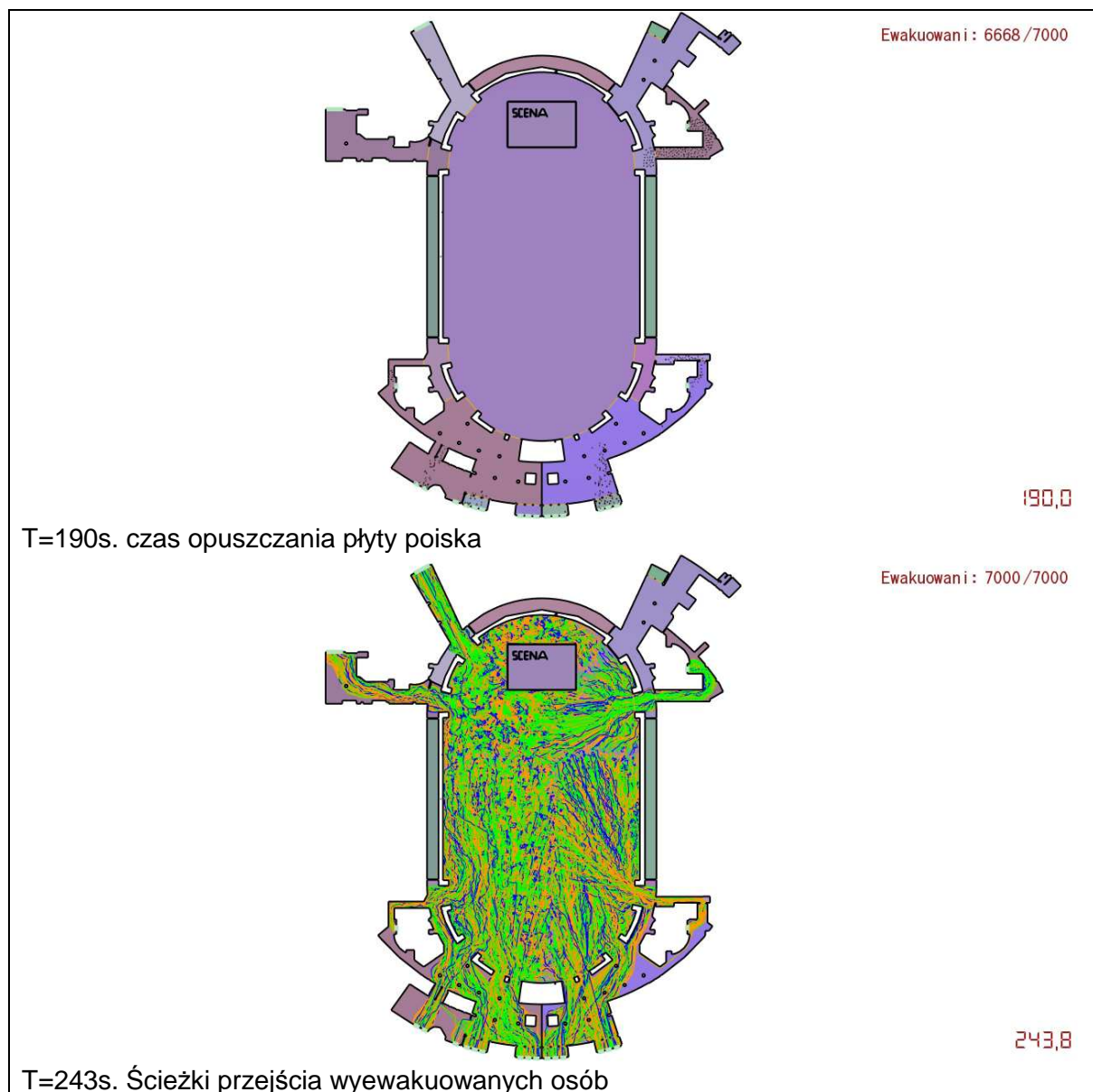
120,0

T=150s.

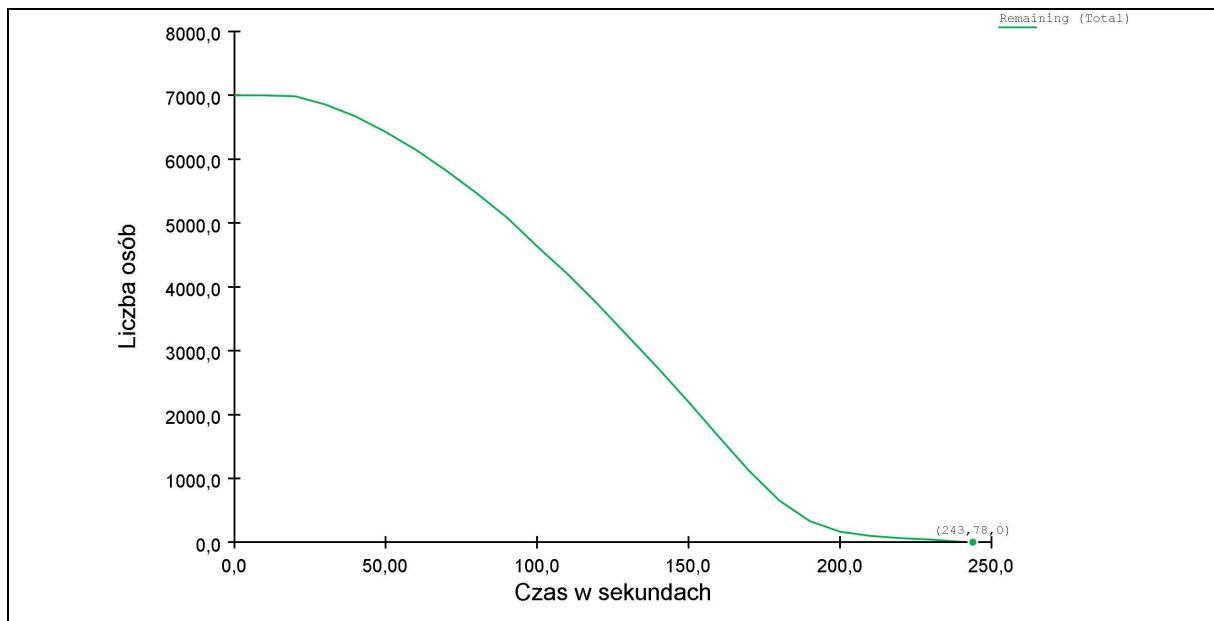


Ewakuowani: 4786/7000

150,0



Rysunek 9 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska



Rysunek 10 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 2.2

7. PODSUMOWANIE WYNIKÓW

W analizie zbadano wpływ zmiany scenariusza ewakuacji na czas ewakuacji w oparciu o symulację ewakuacji z pomocą programu Pathfinder, przeprowadzoną dla ERGO ARENY przy Placu Dwóch Miast 1, 80-344 Gdańsk.

Na podstawie założeń do symulacji ewakuacji:

- Kategorii budynku A1, B2, M1,
- Scenariusza zachowań B2
- Czas reakcji 1% ludzi 30 s.
- Czas reakcji 99 % ludzi 120 s.
- Dla B2 czas dla szukania drogi wyjścia 30 s
(dotyczy tylko pierwszych osób, kolejne nie muszą już szukać drogi, ustawiają się w kolejce do wyjścia),
- Dla M1 wymagany dźwiękowy system ostrzegawczy.

Dla przedstawionych powyżej założeń, WCBE uwzględniając dwa scenariusze doboru reakcji S1 – doliczony czas reakcji S2 – wliczony w czas symulacji oraz założone szerokości wyjść ewakuacyjnych można założyć, iż czas przejścia wynosić będzie:

Tabela 6 WCBE dla płyty boiska

Scenariusz ewakuacji	Czas przejścia	Sumaryczny czas ewakuacji 1% osób		Sumaryczny czas ewakuacji 99% osób	
		[s]	[min]	[s]	[min]
-	[s]	[s]	[min]	[s]	[min]
1.1	172	232	00:03:52	292	00:04:52
opuszczenie płyty boiska	150	210	00:03:30	270	00:04:30
1.2	205	265	00:04:25	325	00:05:25
opuszczenie płyty boiska	180	240	00:04:00	300	00:05:00
-	-	Sumaryczny czas ewakuacji			
-	-	[s]	[min]		
2.1	226	226		00:03:46	
opuszczenie płyty boiska	146	146		00:02:26	
2.2	243	243		00:04:03	
opuszczenie płyty boiska	190	190		00:03:10	

Do WCBE należy dodać czas detekcji zagrożenia.

Przedstawione dwie metody obliczenia czasu ewakuacji przedstawiają zbieżną zależność po zamknięciu drzwi ewakuacyjnych DE 11 i wyjść ewakuacyjnych WE20, WE21, WE22,

- Czas ewakuacji w scenariuszu nr 1 wydłuży się o 28,4 %
- Czas ewakuacji w scenariuszu nr 2 wydłuży się o 18,5 %

Czas ewakuacji scenariusza nr 1 jednoczesna reakcja wszystkich osób powoduje utworzenie się kolejek przed drzwiami od samego początku ewakuacji, natomiast w scenariuszu nr 2 gdy osoby rozpoczynają ewakuację zgodnie z rozkładem statystycznym ewakuacji przebiega sprawniej. Zasadniczą część buforu stanowi sumaryczna szerokość drzwi która determinuje czas wyjścia. Udział procentowy zamkniętych szerokości drzwi ewakuacyjnych wynosi 9,5 %, a wyjść ewakuacyjnych 13,6 %.

Wyniki które otrzymano są wynikiem rzeczowej analizy, która została przeprowadzona wedle wiedzy technicznej. Należy jednak pamiętać, że założenia które poczyniono i otrzymane wyniki są jedynie prognozą. W analizie nie wyznaczono czasu detekcji i nie brano pod uwagę wydarzeń niestandardowych związanych z innymi niż założone wykorzystanie i przeznaczenie obiektu.

Analiza zakłada wysoki poziom przeszkolenia personelu i prawidłowe funkcjonowanie wszystkich elementów systemów zastosowanych w budynku z uwagi na bezpieczeństwo ewakuacji. Z tego względu należy omówić z personelem obiektu odpowiedzialnym za ogłoszenie i przeprowadzenie ewakuacji scenariusza ewakuacji. Właściciel lub zarządca budynku powinien dołożyć wszelkich starań by utrzymać urządzenia w wymagalnej sprawności poprzez prace konserwatorskie i przeglądy okresowe.

8. SPIS TABEL I RYSUNKÓW

Tabela 1 Lokalizacja i wymiar wyjść ewakuacyjnych	4
Tabela 2 Lokalizacja i wymiar drzwi ewakuacyjnych	5
Tabela 3 Parametry osób w symulacji:	6
Tabela 4 Projektowe scenariusze zachowań i rodzaje użytkowania.....	7
Tabela 5 Sugerowane czasy pierwszych-wstępnych reakcji dla różnych projektowych scenariuszy zachowań	8
Tabela 6 WCBE dla płyty boiska	23
Rysunek 1 Kierunki ruchu osób w programie.	6
Rysunek 2 Schemat składowych czasu ewakuacji w porównaniu do dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji.....	8
Rysunek 3 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska.....	11
Rysunek 4 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 1.1	12
Rysunek 5 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska.....	15
Rysunek 6 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 1.2.....	15
Rysunek 7 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska.....	18
Rysunek 8 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 2.1	18
Rysunek 9 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – z płyty boiska.....	21
Rysunek 10 Wykres czasu i liczby wyewakuowanych osób – scenariusz nr 2.2	22

9. ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1	ERGO ARENA Plac Dwóch Miast 1, 80-344 Gdańsk
	Lokalizacja wyjść i drzwi ewakuacyjnych - poziom płyty boiska