Chorzów, Marzec 2018

EKSPERTYZA I ANALIZA TECHNICZNA

STANOWISKO DO PREZENTACJI WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH

PLANETARIUM ŚLĄSKIE W CHORZOWIE

Wykonawca:
PU ELGRON
Katowice

Spis treści:

SPIS TREŚCI: **1**

1. ZAKRES RZECZOWY OPRACOWANIA **4**

2. OPIS ZJAWISK FIZYCZNYCH **7**

2.1 POLE ELEKTROMAGNETYCZNE 7
2.2 GAZY 9
2.2.1 Wytwarzanie ozonu *10*
2.2.2 Wytwarzanie tlenku azotu *11*
2.2.3 Wytwarzanie dwutlenku azotu *11*
2.2.4 Powstawanie kwas azotowego i azotawego *11*
2.3 DŹWIĘK (HAŁAS) 12
2.4 ZASADA DZIAŁANIA TRANSFORMATORA TESLI 12
2.4.1 Zjawiska fizyczne występujące w trakcie pracy transformatora *14*
2.5 ZASADA DZIAŁANIE KLATKI FARADAYA 15

3. CEL JAKI CHCEMY OSIĄGNĄĆ **17**

4. BUDOWA STANOWISKA **19**

4.1 USYTUOWANIE 19
4.2 WYGLĄD STANOWISKA 21
4.3 KONSTRUKCJA KLATKI METALOWEJ 23
4.4 BUDOWA SZKLANEGO AKWARIUM 24
4.4.1 Ekranowanie elektromagnetyczne przy użyciu szyb metalizowanych *24*
4.4.2 Bezpieczeństwo szyby (mechaniczne) *28*
4.5 BARIERKI DYSTANSUJĄCE – PORĘCZE, BALUSTRADY 29
4.6 OŚWIETLENIE 29
4.7 BUDOWA TRANSFORMATORA 30
4.8 BUDOWA PULPITU STEROWNICZEGO 38
4.9 PODŁĄCZENIE DO WENTYLACJI 39

5. ZAGROŻENIA **40**

5.1 ZAGROŻENIA DLA LUDZI 40
5.1.1 Porażenia i poparzenia *42*
5.1.1.1 Poparzenia 42
5.1.1.2 Porażenie 43
5.1.2 Pole elektromagnetyczne *44*
5.1.2.1 Zagrożenia powodowane przez pole elektryczne 44
5.1.2.2 Zagrożenia powodowane przez pole magnetyczne 44
5.1.3 Błyski światła *45*
5.1.4 Zagrożenia uszkodzeniami mechanicznymi *45*
5.1.5 Zagrożenia związane z pracą urządzeń medycznych *46*
5.1.5.1 Zagrożenia dla Implantów kardiologicznych 51
5.1.5.2 Zagrożenia dla pomp insulinowych 52
5.1.6 Zagrożenie toksycznymi gazami 54
5.1.6.1 Ozonem 55
5.1.6.2 Tlenkiem azotu 55
5.1.6.3 Dwutlenkiem azotu *56*
5.1.7 Hałas, zagrożenie uszkodzeniem słuchu *57*
5.2 ZAGROŻENIA DLA URZĄDZEŃ 61
5.2.1 Uszkodzenia urządzeń elektronicznych *61*
5.2.2 Zakłócenia wprowadzane do sieci zasilającej *61*

6. SPOSOBY ZAPOBIEGANIA ZAGROŻENIOM **62**

6.1 ZABEZPIECZENIE PRZED PORAŻENIEM I POPARZENIEM 62
6.2 ZABEZPIECZENIE PRZED SZKODLIWYM ODDZIAŁYWANIEM POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO 63
6.2.1 Przed polem elektrycznym: *63*
6.2.2 Przed polem magnetycznym *63*

6.2.3 Ocena stopnia zagrożenia wykonana przez kardiologa, specjalistę od implantów kardiologicznych 64
6.3 ZABEZPIECZENIE PRZED SZKODLIWYM DZIAŁANIEM GAZÓW ... 65
6.4 ZABEZPIECZENIE PRZED NADMIERNYM HAŁASEM ... 65
6.4.1 Zabezpieczenie przed uszkodzeniem aparatów słuchowych ... 67
6.5 ZABEZPIECZENIE PRZED USZKODZENIAMI MECHANICZNYMI SPOWODOWANYMI PRZEZ ZWIEDZAJĄCYCH .. 68
6.6 ZABEZPIECZENIE PRZED USZKODZENIEM INNYCH URZĄDZEŃ ORAZ ZAKŁÓCANIEM ICH PRACY ... 68
6.6.1 Zagrożenia polem elektromagnetycznym (elektrycznym i magnetycznym) ... 69
6.6.2 Ochrona przed przepięciami ... 69
6.6.3 Minimalizacja zniekształceń wprowadzanych do sieci zasilającej ... 69
6.6.3.1 Uziemianie i ekranowanie ... 69
6.6.3.2 Usuwanie i ograniczanie zaburzeń EMI ... 70
6.7 ZABEZPIECZENIE PRZED KOROZJĄ ... 70

7. PRZEPISY ... 72

7.1 PRZEPISY DOT. DOPUSZCZALNYCH NATĘŻEŃ DŹWIĘKU (HAŁASU) ... 72
7.2 PRZEPISY DOT. PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH ... 73
7.2.1 Przepisy dot. pola elektromagnetycznego (PEM) ... 80
7.3 PRZEPISY DOT. DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ GAZÓW ... 81
7.4 PRZEPISY DOTYCZĄCE WENTYLACJI ... 83
7.5 PRZEPISY DOT. ZNIEKSZTAŁCEŃ WPROWADZANYCH DO SIECI ... 84
7.6 WYMAGANIA DOTYCZĄCE OZNAKOWANIA STANOWISKA ... 85
7.7 OZNACZENIA (TABLICZKI OSTRZEGAWCZE) ... 85
7.8 WYMAGANIA PRZECIWPOŻAROWE ... 86
7.9 UDZIELANIE PIERWSZEJ POMOCY ... 86
7.9.1 Zatrucie ozonem ... 87
7.9.2 Zatrucie dwutlenkiem azotu ... 87
7.9.3 Zatrucie tlenkiem azotu ... 87

8. POMIARY I OBLICZENIA ... 88

8.1 POMIARY ODLEGŁOŚCI UDERZENIA WYŁADOWANIA ... 88
8.2 POMIAR TEMPERATURY (BEZDOTYKOWY) ... 88
8.3 POMIARY HAŁASU ... 89
8.4 POMIARY PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH ... 94
8.4.1 Pomiary pola elektrycznego ... 94
8.4.2 Pomiary pola magnetycznego ... 96
8.5 POMIARY STĘŻENIA GAZÓW ... 101
8.5.1 Pomiary stężenia tlenku azotu ... 102
8.5.2 Pomiary stężenia dwutlenku azotu ... 102
8.5.3 Pomiary stężenia ozonu ... 102
8.6 POMIARY NATĘŻENIA PRĄDÓW ... 103
8.7 OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW ... 103
8.8 OBLICZENIA ... 104
2. Określenie krotności wymiany powietrza w akwarium ... 104
8.9. WNIOSKI Z POMIARÓW ... 106
8.9.1 Natężenie dźwięku ... 106
8.9.2 Natężenie pola elektrycznego ... 106
8.9.3 Natężenie pola magnetycznego ... 106
Natężenie pola magnetycznego nie przekracza wartości dopuszczalnych. ... 106
8.9.4 Wentylacja ... 106

9. SERWISOWANIE I CZĘŚCI ZAMIENNE ... 107

9.1 CZĘŚCI ZAMIENNE: ... 107
9.2 SERWISOWANIE ... 107

10. CECHY OPISU PRZEDMIOTU ZAMÓWIENIA (ZESTAWIENIE WYMAGAŃ) ... 108

10.1 ZASILANIE ... 108
10.2 UZIEMIENIE ... 109
10.3 BUDOWA TRANSFORMATORA ... 110
10.4 BUDOWA KLATKI METALOWEJ ... 111
10.4.1 Wymagania dotyczące klatki ... 111

10.4.2 Ochrona antykorozyjna ... 112
10.4.3 Drzwiczki rewizyjne ... 112
10.5 Założenia dla konstrukcji akwarium ... 113
10.6 Wymagania dla klatki Faradaya ... 114
10.7 Założenia konstrukcji makiety ... 114
11. SPRAWDZENIA POWYKONAWCZE ... 116
11.1 Sprawdzenie ekranowania ... 116
11.2. Testy szczelności gazowej ... 117
11.3 Sprawdzenie natężenia hałasu ... 117
12. KOSZTY I TERMINY REALIZACJI ... 117
13. PODSUMOWANIE ... 118
14. OPINIA LEKARSKA ... 126
14. ZAŁĄCZNIKI ... 128

1. Zakres rzeczowy opracowania

Wytyczne merytoryczne i funkcjonalne:

Jednym z elementów Parku Nauki ma być prezentacja wyładowania atmosferycznego – pioruna.

W pomieszczeniu oddzielonym od zwiedzających szybą oraz drobną siatką Faraday`a umieszczony będzie Transformator wysokiego napięcia Tesli, wyzwalający co pewien czas wyładowanie elektryczne wewnątrz pomieszczenia. Podłoga pomieszczenia będzie makietą z domkami i masztami. Maszty uziemione, stanowić będą elektrody przyjmujące wyładowanie. W górnej części pomieszczenia elektroda kierunkowa z torusa transformatora Tesli, skierowana w dół (może być zamaskowana imitacją chmur). Powinna być widoczna iskra elektryczna i słyszalny przerażający trzask.

Rada Konsultacyjna powołana przy Planetarium Śląskim – Parku Nauki, zaproponowała, by wyładowanie zrealizować przy pomocy transformatora Tesli, jako najbezpieczniejszego z urządzeń wysokonapięciowych. Jest to generator dużej częstotliwości. Transformatory Tesli pozwalają w dość znacznym zakresie na dostrojenie częstotliwości wyładowań do potrzeb użytkownika. Można więc oczekiwać, że cewka imitująca wyładowanie atmosferyczne będzie jednocześnie generować dźwięk pioruna. Dźwięk ten może być ponadto wspomagany przez system nagłaśniający.

Istotne z punktu widzenia użytkownika są względy bezpieczeństwa, które pozwolą użytkować transformator Tesli w sposób nie zagrażający życiu i zdrowiu ludzi znajdujących się w otoczeniu i obserwujących wyładowania.

Transformator powinien się znaleźć we wnętrzu hali wystawowej w bezpośredniej bliskości osób odwiedzających Park Nauki.

Dla stanowiska z transformatorem Tesli przewidziano wydzielony teren o powierzchni 16 m^2 (4m x 4m) i mógłby to być róg hali wystawowej.

Wykonawca opracuje ekspertyzę i analizę techniczną tak, by stanowiła ona opis przedmiotu zamówienia na opracowanie dokumentacji projektowej stanowiska z transformatorem Tesli

Ekspertyza i analiza techniczna powinna dać odpowiedź na następujące pytania związane z bezpieczeństwem

1. Czy zaplanowana powierzchnia jest wystarczająca dla stworzenia strefy bezpiecznej dla zwiedzających, przy mocy cewki równej 5 kW i częstotliwości pracy generatora 68 kHz?
2. Jak powinna być skonstruowana siatka Faradaya (jakie oczka, w jakiej odległości od generatora, jaki ma mieć kształt, jak uziemiona itp.?
3. W jakiej minimalnej odległości od siatki (na zewnątrz) mogą przebywać ludzie?
4. Oszacować ilość wymienianego powietrza w metrach sześciennych na godzinę, dla skutecznego usuwania szkodliwych tlenków azotu, ozonu itp. powstających podczas wyładowań?
5. Czy oprócz siatki, należy przewidzieć szybę pokrytą warstwą przewodzącą? Odgrodzenie pomieszczenia może być ważne z powodu powstającego ozonu, tlenków azotu itp.
6. Jeżeli istnieje negatywny wpływ generatora Tesli na inne urządzenia elektryczne i elektroniczne znajdujące się w hali na zewnątrz siatki, to jak go wyeliminować?
7. Jaki wpływ może mieć wyładowanie generatora Tesli na pracę:

    - rozruszników serca,
    - aparatów słuchowych
    - lub innych urządzeń posiadanych przez zwiedzających?

    - Czy może zagrażać ich życiu lub zdrowiu?
    - W jakiej minimalnej odległości od generatora mogą się znajdować ludzie z rozrusznikami serca?
    - Określić inne rodzaje niepełnosprawności, jeśli takie występują, które mogą powodować zagrożenie dla osoby przebywającej w pobliżu transformatora Tesli.

Wyładowanie należy zrealizować przy pomocy transformatora Tesli, jako najbezpieczniejszego z urządzeń wysokonapięciowych. Jest to generator dużej częstotliwości. Transformatory Tesli pozwalają w dość znacznym zakresie na dostrojenie częstotliwości wyładowań do potrzeb użytkownika.

Transformator powinien się znaleźć we wnętrzu hali wystawowej w bezpośredniej bliskości osób odwiedzających Park Nauki.

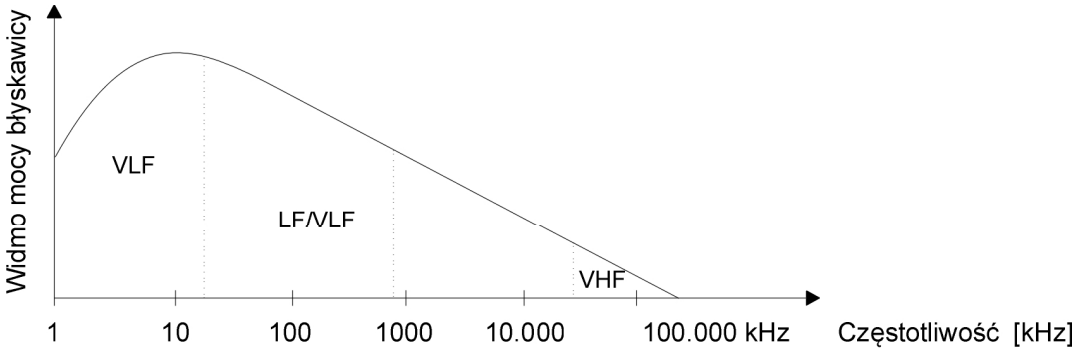
Dla stanowiska z transformatorem Tesli przewidziano wydzielony teren o powierzchni 16 m^2 (4mx 4m) i mógłby to być róg hali wystawowej

Można więc oczekiwać, że cewka imitująca wyładowanie atmosferyczne będzie jednocześnie generować dźwięk pioruna. Dźwięk ten może być ponadto wspomagany przez system nagłaśniający.

2. Opis zjawisk fizycznych

Zadaniem Transformatora Tesli jest symulacja zjawisk występujących podczas burzy. Wyładowania atmosferyczne wytwarzają :

2.1 Pole elektromagnetyczne



Rys.x Moc sygnałów w funkcji częstotliwości generowanych przez wyładowania atmosferyczne

Częstotliwość w zakresie MHz, wytwarzana przez uderzenie pioruna

Wyładowanie piorunowe

Z centrum ujemnego ładunku chmury burzowej zaczyna sie rozwijać w kierunku ziemi skokowo kanał z cienkim wysokoprzewodzącym centrum. Kanał ten przypominający lider osiada średnią szybkość rozwoju 10^{-1}m/μs.

Przy zbliżaniu sie kanału do ziemi, natężenie pola elektrycznego wzrasta na tyle że z powierzchni ziemi rozwija sie kanał długości ok. 10 metrów spotykający sie z kanałem rozwijającym się z chmury. Występuje wtedy faza wyładowania głównego w postaci wysokozjonizowanego, świetlącego kanału wydłużającego się z góry.

Przez ten kanał zostaje odprowadzony ładunek z kanału lidera i otaczającej go strefy do ziemi w czasie 10 do 100 μs.

W tym czasie przez obiekt trafiony na ziemi płynie prąd piorunowy bardzo dużej wartości. Cechą charakterystyczną odgórnych piorunów o ujemnej biegunowości są wielokrotne wyładowania. Po upływie 10 do 100 μs po zjonizowanej drodze pierwszego wyładowania znowu rozwija się lider w kierunku ziemi ze znacznie

większą prędkością, bez zauważalnych skoków. W rezultacie przez obiekt przechodzi ponowny impuls prądu. Zarejestrowano w jednym wyładowaniu piorunowym do 40 podobnych wyładowań jeden po drugim.
Przy wyładowaniu piorunowym oddolnym lider rozwija się z wysokiego obiektu do chmury i w czasie dziesiętnych części sekundy przez obiekt przepływa stosunkowo nieduży, wolno zmieniający sie prąd równy kilku setkom amperów. Rozwijający się z ziemi lider wywołuje wsteczny lider z chmury. Zarejestrowano przypadki kiedy po drodze oddolnego lidera rozwijały sie wtórne wyładowania odgórne.

Zasady ochrony odgromowej

Ochrona od przepięć atmosferycznych ma na celu niedopuszczenie do uszkodzeń obiektów . Polega na przyjmowaniu na siebie uderzeń przez przewody odgromowe w liniach energetycznych lub zwody na budynkach.
Zasadą działania jest wytwarzanie w sąsiedztwie strefy osłonowej wewnątrz której znajdujący się obiekt jest chroniony od pioruna, przejmowanego przez urządzenie chroniące.
Częste jest zastępowanie strefy stożkiem o kącie tworzącej do osi zwodu. Kąt ten nazywamy kątem osłonowym. Dla różnych obiektów wartość kąta osłonowego zalecana bywa w granicach od 20 do 45 stopni.
Wszystkie instalacje odgromowe składają się właśnie z przewodów otaczających chroniony obiekt stanowiąc dużą klatkę Faradaya. Oczka w tej klatce mogą być bardzo duże, mimo to klatka nie traci swoich właściwości w obliczu pioruna. Problem polega na bardzo dokładnym połączeniu poszczególnych przewodów oraz ich dobrym uziemieniu.

Wyładowanie elektryczne ulotowe (ulot, wyładowanie elektryczne koronowe)

Wyładowanie elektryczne w gazie o ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego występujące w obszarze silnie niejednorodnego pola elektrycznego o dużym natężeniu (w pobliżu ostrzy, cienkich przewodów); przejawia się słabym świeceniem

dookoła przewodnika, gdy natężenie pola elektrycznego wokół niego przekroczy określoną wartość; towarzyszy mu wytwarzanie w powietrzu ozonu i tlenków azotu;

Wyładowanie elektryczne iskrowe (iskra elektryczna) — wyładowanie elektryczne w gazie o ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, stanowi fazę przejściową do wyładowania jarzeniowego lub łukowego, gdy cały obszar wyładowania jest zjonizowany; ma postać jaskrawo świecącego pojedynczego kanału plazmowego o dużej gęstości prądu lub wielu rozgałęzionych kanałów znikających i pojawiających się w nowym miejscu (wyładowanie elektryczne snopiaste).

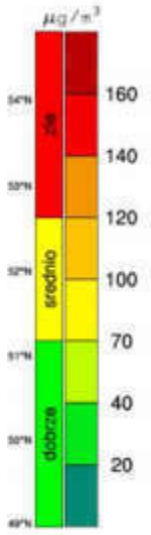
W trakcie iskrowego wyładowania elektrycznego następuje w gazie - w wąskim kanale - silne zjonizowanie gazu i nagrzanie jego cząsteczek do bardzo wysokiej temp. (ok. 10 000 ^{0}K), powoduje jaskrawe świecenie gazu i efekty akustyczne związane z silną falą uderzeniową. Zwiększenie prądu wyładowania prowadzi jedynie do powiększenia przekroju kolumny plazmowej przy stałej w przybliżeniu temperaturze gazu;

Podczas wyładowania elektrycznego zachodzą procesy prowadzące do emisji promieniowania elektromagnetycznego przez cząsteczki gazu — często w zakresie widzialnym (wzbudzenie cząsteczek — a następnie powrót do niższych stanów energetycznych, jonizacja — i w konsekwencji rekombinacja jonów i elektronów). Wielu wyładowaniom elektrycznym towarzyszą efekty akustyczne wywołane silną falą uderzeniową.

2.2 Gazy

Gazy emitowane przez wyładowania.

Kolejną kwestią na którą należy zwrócić uwagę jest emisja gazów przez łuki elektryczne i wyładowania koronowe. Przede wszystkim emitują one duże ilości dwutlenku i tlenku azotu oraz ozonu, które w znacznym stężeniu są szkodliwe. Należy zadbać o wentylację pomieszczenia w którym pracujemy z wyładowaniami. W przypadku ciasnych, dusznych pomieszczeń pozbawionych wentylacji stężenie emitowanych substancji może szybko osiągnąć szkodliwe wartości.

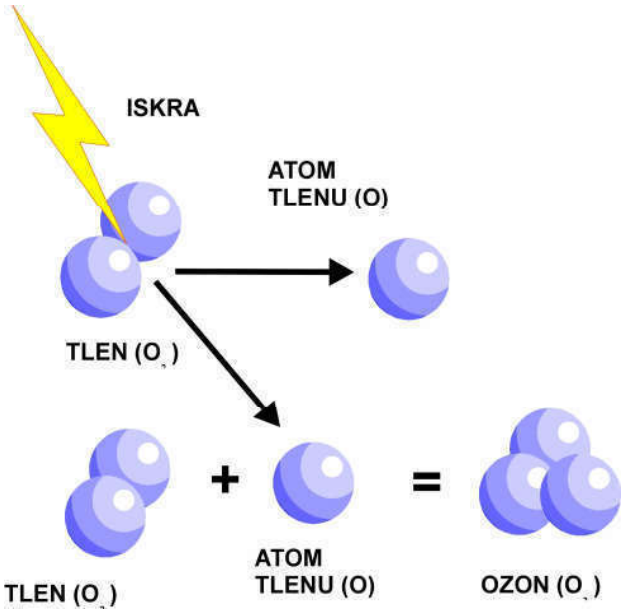


2.2.1 Wytwarzanie ozonu

Naukowcy dokładnie przebadali również jakość powietrza podczas burzy i tuż po niej. Okazuje się, że w porze letniej burza jest w stanie wyprodukować aż 190 kilogramów ozonu. To tyle ile emituje 3,6 tysiąca samochodów w ciągu każdej doby.

Ozon przyziemny jest jednym z najbardziej niebezpiecznych gazów dla naszego układu oddechowego. Wchodzi w skład smogu miejskiego i gromadząc się przy powierzchni ziemi, przenika do naszych płuc, a następnie do krwi z którą zmierza do serca i innych organów.

Iskra elektryczna powoduje przekształcenie tlenu (O_2) w ozon (O_3), co można po chwili stwierdzić na podstawie charakterystycznego zapachu



2.2.2 Wytwarzanie tlenku azotu

Wyładowania atmosferyczne powodują powstawanie tlenku azotu, który jest tak samo niebezpieczny jak ozon. Może uszkadzać układ oddechowy i krwionośny, prowadzić do astmy i chorób serca.

Badania wykazują, że burze są odpowiedzialne za 90 procent tlenku azotu występującego w górnych warstwach atmosfery.

2.2.3 Wytwarzanie dwutlenku azotu

Obok tlenku azotu powstaje również dwutlenek azotu . Ma kolor czerwono-brązowy, ostry zapach oraz trujące właściwości. U ludzi powoduje podrażnienie dróg oddechowych, kaszel, obrzęk płuc , osłabienie tętna, ma działanie o charakterze narkotycznym. Przy stężeniu powyżej 0,38 mg/dm^3 prowadzi do zatrucia śmiertelnego

- Obciąża zdolności obronne ustroju na infekcje bakteryjne
- Działa drażniąco na oczy i drogi oddechowe, jest przyczyną zaburzeń w oddychaniu, powoduje choroby alergiczne, m.in. astmę – szczególnie u dzieci mieszkających w miastach narażonych na smog.

2.2.4 Powstawanie kwas azotowego i azotawego

Dwutlenek azotu jest tlenkiem kwasowym. W sytuacji w której zasysane powietrze zawiera dużo wilgoci, dwutlenek azotu w reakcji z wodą tworzy równomolową mieszaninę kwasu azotowego i kwasu azotawego
Korzystne jest pobieranie powietrza wewnątrz budynku, a następnie przez wymuszony obieg powietrza usuwanie zanieczyszczonego na zewnątrz.

2.3 Dźwięk (hałas)

Wyładowanie iskrowe charakteryzuje się tym, że jonizacja ma charakter lawinowy. Zjawisko występuje gdy natężenie pola elektrycznego przekroczy wartość umożliwiającą swobodnym jonom lub elektronom uzyskanie na drodze swobodnej energii umożliwiającej jonizację kolejnych cząstek gazu wywołując jonizację lawinową. Kanały łączą się przebiegając między elektrodami linią zygzakową. Przestrzeń między elektrodami staje się przewodząca w wąskim kanale, w którym przepływ prądu rozgrzewa silnie gaz nawet do 10 000 ^{0}K. Rozgrzanie gazu w kanale wywołuje wzrost ciśnienia co wywołuje powstanie silnej fali akustycznej - charakterystyczny trzask przy małych wyładowaniach a grzmot przy silnych (np. piorun)

2.4 Zasada działania transformatora Tesli

W klasycznej formie Transformator Tesli składa się z iskiernika, kondensatora wysokonapięciowego, cewki pierwotnej złożonej z kilku zwojów przewodu o znacznej średnicy i cewki wtórnej w postaci ponad tysiąca zwojów cienkiego drutu, zakończonej toroidalnym terminalem pełniącym funkcję jednej z okładek kondensatora strony wtórnej .
W odróżnieniu od innych transformatorów, transformator Tesli nie posiada rdzenia ferromagnetycznego. Jest to przykład konstrukcji wykorzystującej rdzeń powietrzny i zjawisko rezonansu elektromagnetycznego.
Po załączeniu urządzenia następuje ładowanie kondensatora wysokonapięciowego aż do osiągnięcia między jego okładkami wartości napięcia krytycznego powodującego przeskok na przerwie iskrowej iskiernika. Powoduje to rozładowanie kondensatora poprzez szeregowo połączoną cewkę obwodu pierwotnego. Powstały w ten sposób obwód LC charakteryzuje się określoną częstotliwością drgań rezonansowych. Uzwojenie wtórne wraz z toroidem również jest obwodem LC o częstości determinowanej parametrami strukturalnymi. Dzięki zjawisku rezonansu amplituda drgań obwodu wtórnego zostaje znacznie zwiększona, powodując

generowanie w nim napięcia rzędu milionów woltów. Istotą projektowania Cewki Tesli jest uzyskanie tej samej częstotliwości rezonansowej obydwu obwodów.

W sieci możemy znaleźć wiele typów cewek tesli zaczynając od tak zwanych klasyków: CT- Classic Tesla, Cewka Tesli; SGTC- Spark Gap Tesla Coil to samo co klasyczna; RSGTC Rotary Spark Gap Tesla Coil- klasyczna z obrotowym iskrownikiem DCSGTC/DCTC taka sama cewka tesli jak klasyczna, zasilana wysokim napięciem stałym- DC; VTTC- Vaccum Tube Tesla Coil cewka tesli gdzie elementem przełączającym jest lampa najczęściej nadawcza dużej mocy, pentoda, trioda; OLTC- Off Line Tesla Coil, cewka tesli pracująca z jednym tranzystorem o podwójnym rezonansie; SISG- Sidac/IGBT Spark Gap, cewka tesli w której elementem zastępującym iskrownik są tranzystory IGBT/ Triaki połączone szeregowo przełączające bardzo wysokie napięcia SSTC- Solid State Tesla Coil cewka tesli oparta na dwóch/czterech tranzystorach mosfet o pojedynczym rezonansie Class E SSTC Cewka tesli oparta na jednym tranzystorze i topologii wzmacniacza klasy E Jak widzimy powstało dużo rodzaj cewek tesli i powstają następne, bardziej zaawansowane: QCW- Quasi Continuous Wave powstała jedyna na świecie oparta na topologii wzmacniaczu typu D, budowa nadal jest tajemnicą choćby chłodzenie wodne tranzystorów i wyładowanie 4 razy większe niż sama konstrukcja DRASTIC- Dual Resonant realtime Adjustable Solidstate Tesla Instrumentation Coil obecnie największa na świecie cewka tesli działająca w topologii DRSSTC, prąd w obwodzie pierwotnym dochodzi do 5kA! A ilość zwojów, wysokość uzwojenia wtórnego względem pierwotnego regulowana jest przez mikroprocesor do uzyskania jak największego prądu w obwodzie rezonansowym. Podsumowując, powstają to coraz nowsze typy cewek Tesli, każde wyładowanie różni się od siebie.

Niezwykłość cewki Tesli polega nie na jej zasadzie działania – prostym następstwie praw Maxwella – ale na spektakularnych efektach optycznych. Rezonans z Ziemią powoduje, że z torusa wydobywają się różnej długości błyskawice.

Obowiązuje tu zasada zachowania energii dla kondensatora.
Jak mamy np. 1000V i określoną ilość energii to żeby w uzwojeniu wtórnym zmieścić całość tej energii, musi wzrosnąć napięcie. Jako że ta różnica jest duża to napięcie rośnie do wartości rzędu kilku mln V.

Uzwojeniu wtórne posiada mała pojemność i duża indukcyjność. W środku jest powietrze. Koniec uzwojenia pierwotnego jest uziemiony a drugi koniec jest podłączony do Torusa. Kondensator ma jedną okładkę, ma dielektryk którym oddychamy, a drugą okładką jest całe otoczenie. W konsekwencji całą pojemność determinuje powierzchnia dużego torusa.
Mały torus zmienia rozkład pola elektrycznego . Staje się ekranem elektrycznym.
W półprzewodnikowej cewce istotne jest dodanie ostrza które ukierunkuje wyładowanie.
Transformator Tesli w fazie eksploatacji jest urządzeniem bardzo wrażliwym na zmianę konfiguracji przedmiotów znajdującym się w jego otoczeniu. Ta właściwość Transformatora Tesli wynika bezpośrednio z jego konstrukcji i jest związana ze zmianą pojemności obwodu wtórnego. Każdorazowa zmiana lokalizacji Transformatora Tesli powoduje przemieszczenie się torusa względem otoczenia przez co zmienia się częstotliwość rezonansowa obwodów. Powoduje to konieczność strojenia Transformatora Tesli przy każdej zmianie jego lokalizacji lub znaczącej zmianie konfiguracji obiektów znajdujących się w jego otoczeniu.
Umieszczając transformator Tesli w klatce Faradaya stabilizujemy częstotliwość rezonansową obwodów pozbywając się tych problemów.

2.4.1 Zjawiska fizyczne występujące w trakcie pracy transformatora

Przy wysokich częstotliwościach izolatory tracą swoje właściwości izolujące
Im wyższa częstotliwość tym bardziej izolator staje się przewodnikiem.
Przy dostatecznie dużej częstotliwości wszystkie izolatory stają się przewodnikami.
Jednym z efektów uderzenia pioruna jest olbrzymie pole elektromagnetyczne
Nawet w odległości kilkuset metrów czułe przyrządy mogą wykazywać anomalie w działaniu. Przykładem mogą być zakłócenia wprowadzane przez wyładowania atmosferyczne do transmisji. Większość bardzo czułych urządzeń elektronicznych zabezpieczonych jest klatką Faradaya.

2.5 Zasada działanie klatki Faradaya

Klatka Faradaya to osłona elektrostatyczna, która chroni urządzenia przed działaniem zewnętrznego pola elektrycznego. Występuje często w postaci metalowego, zamkniętego naczynia bądź gęstej siatki.

Na powierzchni przewodnika potencjał jest w każdym miejscu równy. Z tego względu pole elektryczne nie wnika do wnętrza Klatki Faradaya. Na zewnątrz zatem nie wystąpi pole elektryczne i nie ma znaczenia, jak silnie ta klatka jest naładowana.

Ładunki w przewodniku przesuwają się w momencie pojawienia się pola elektrycznego. Te ładunki, które znajdują się na powierzchni klatki Faradaya, tworzą pole na zewnątrz klatki, które ma przeciwny zwrot do pola wewnętrznego. Ładunki przesuwają się cały czas aż do momentu, kiedy pole elektryczne wewnątrz klatki Faradaya zostanie zrównoważone przez pole, które wytworzyło się na powierzchni metalu. W wyniku tego zjawiska pola elektrycznego nie będzie w metalu, a po jednej stronie klatki Faradaya będzie ładunek ujemny, po drugiej zaś – ładunek dodatni.

Ładunki w przewodniku przesuwają się w momencie pojawienia się pola elektrycznego. Te ładunki, które znajdują się na powierzchni klatki Faradaya, tworzą pole wewnątrz klatki, które ma przeciwny zwrot do pola zewnętrznego. Ładunki przesuwają się cały czas aż do momentu, kiedy pole elektryczne na zewnątrz klatki Faradaya zostanie zrównoważone przez pole, które wytworzyło się na powierzchni metalu. W wyniku tego zjawiska pola elektrycznego nie będzie w metalu, a po jednej stronie klatki Faradaya będzie ładunek ujemny, po drugiej zaś – ładunek dodatni.

Przy zachowaniu wielkości otworu (dużo) poniżej długości fali, pole elektromagnetyczne wnika przez otwór na głębokość rzędu rozmiaru otworu.

Działanie klatki Faradaya jest też zagwarantowane pierwszym z równań Maxwella (w wersji oryginalnej całkowej), z którego wynika, że strumień elektryczny przez dowolną zamkniętą powierzchnię jest proporcjonalny do ładunku elektrycznego zamkniętego wewnątrz tej powierzchni. Bez względu na rozmiar tej powierzchni czy

jej kształt. Więc jeśli pusta klatka była na początku neutralna (ładunki w równowadze), to po umieszczeniu w niej ładunku elektrycznego przez każdą zamkniętą powierzchnię wokół tego ładunku musi przechodzić taki sam strumień elektryczny, niezależnie czy ta powierzchnia jest wewnątrz klatki, czy na zewnątrz.

.

1. W warunkach elektrodynamicznych można traktować klatkę Faradaya jako swego rodzaju antenę odbiorczą, i to, czy jakieś fale mogą przenikać ze środka na zewnątrz lub w drugą stronę (ekranowanie, w przeciwieństwie do klatki Faradaya, może działać w obie strony) będzie zależeć od częstotliwości tych fal i od ich długości.
2. Do tego w przypadku klatki Faradaya wykonanej z siatki z otworkami, zamiast jednolitej warstwy metalu, dochodzi jeszcze jeden czynnik: dyfrakcja fal na szczelinach.

Rozmiar oczek naszej siatki musi być dużo mniejszy od długość fali promieniowania którą chcemy ekranować.

3. Cel jaki chcemy osiągnąć

Stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych ma na celu:

prezentację zjawiska wyładowania atmosferycznego - ukazanie zjawiska pioruna na wszystkich etapach jego rozwoju:

- wyładowania koronowego – w którym wyładowanie wychodzi z ostrza ale pole elektryczne jest zbyt słabe i nie dociera do uziemionej elektrody (powstawanie wyładowań pilotujących - liderów)
- wyładowania piorunowych - powstaje zjonizowany kanał przez który przepływa ładunek od elektrody inicjującej do zaostrzonej uziemionej elektrody

zobrazowanie zjawisk fizycznych występujących podczas wyładowania

- wizualizacja mocy pola elektromagnetycznego przez wywołanie świecenia w niepodłączonych do źródła zasilania neonówek bez wyprowadzonych elektrod wiszących w powietrzu lub zawieszonych na prętach klatki (napis)
- zmiany właściwości materiałów (izolatora w przewodnik) przy dużym napięciu i wysokiej częstotliwości. Szkło, będące dobrym izolatorem prądu o małej i średniej częstotliwości, traci tę właściwość w przypadku prądu o dużej częstotliwości i wysokim napięciu

metody ochrony przed wyładowaniami

- zasada budowy, działania oraz skuteczności piorunochronów jako ochrony odgromowej (metody ochrony przed wyładowaniem)
- metody ekranowania przed silnym polem elektrycznym – zasada działania klatki Faradaya

W celu przyciągnięcia publiczności transformator będzie mógł pracować w trybie muzycznym w którym może odegrać zaprogramowane melodie.

Intensywność powstających iskier i ich długość pozwala wyciągać wnioski co do wielkości napięcia między elektrodami. Każdy centymetr długości iskry to około 20.000 V.



Uwaga:

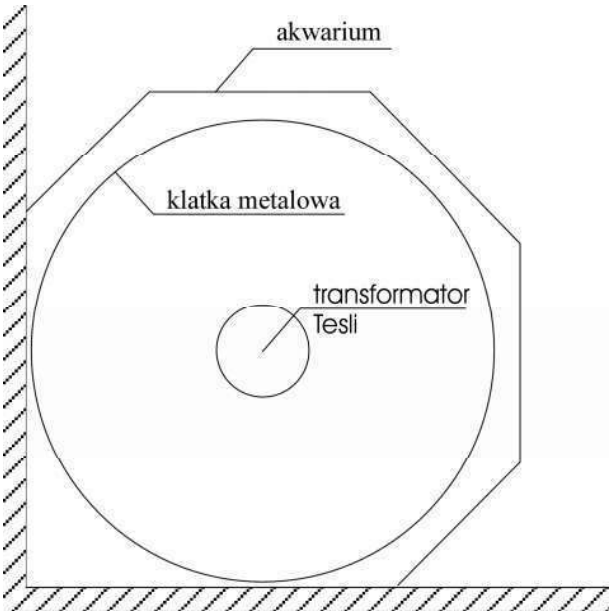
Stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych powinno mieć wykonane własne uziemienie wykonane jeszcze w trakcie prac budowlanych podczas budowy nowej części Planetarium.

4. Budowa stanowiska

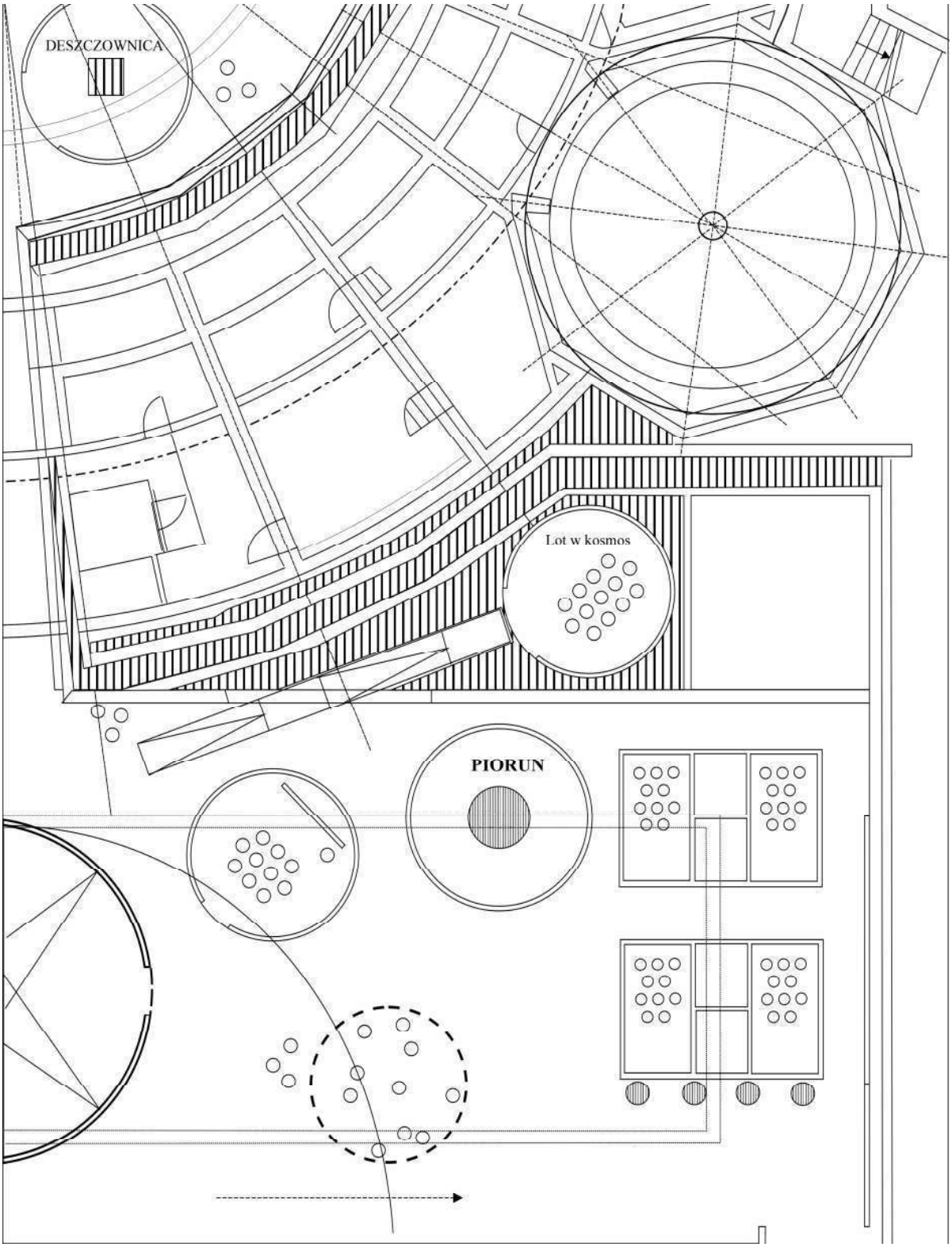
4.1 Usytuowanie

Stanowisko umieszczone będzie w nowo wybudowanej podziemnej części budynku . Dla celów prezentacji wyładowań atmosferycznych będzie wydzielona część pomieszczenia sąsiadującego ze stanowiskiem do symulacji lotów w kosmos. Wysokość pomieszczenia wyniesie 3,80 m .
Ze względu na symetryczny zakres oddziaływania wyładowania we wszystkich kierunkach kształt klatki Faradaya (metalowej klatki i akwarium) będzie w rzucie kołem o średnicy minimum 4,5 m. W odległości 25 cm od klatki umieszczone zostaną barierki dystansowe. Na pulpit sterowniczy przeznaczamy 1 m^2. Może on być jednak oddalony od akwarium i nie przesłaniać go.
Przestrzeń zajmowana przez stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych zajmie ok. 16 m^2 .

Dobrym rozwiązaniem będzie umieszczenie stanowiska w rogu sali wystawowej.



Pierwotne usytuowanie stanowiska



4.2 Wygląd stanowiska

Podłoga stanowiska powinna znajdować się na wysokości 50 cm, na podwyższeniu. Na niej zbudowana zostanie makieta miasta - z wysokimi budynkami, masztami, iglicami, liniami przesyłowymi. Budowle te będą chronione instalacjami odgromowymi .
Generator zostanie podwieszony do konstrukcji górnej - sufitu klatki, torusem do dołu, z kilkoma (minimum dwoma) zaostrzonymi prętami (pilotami, breakerami)

Wyładowania inicjowane będą na zaostrzonych prętach (pilotach) przymocowanych do torusa.
Kierować się będą w stronę iglic instalacji odgromowych obiektów makiety w sposób losowy

Całość obudowana będzie klatką metalową :

- dla odbioru „zabłąkanych" wyładowań,
- ekranującą fale elektromagnetyczne niskiej częstotliwości
- jako stelaż do montażu transformatora

Na zewnątrz klatki w celu :

- odizolowania powietrza w miejscu przebywania ludzi od toksycznych gazów
- uniemożliwienia włożenia obcych elementów do wnętrza klatki
- ekranowania fal w zakresie wysokich częstotliwości

znajdować się będzie szklana obudowa zwana dalej „**akwarium**".

Powietrze do wnętrza akwarium pobierane będzie z czerpni, z pomieszczenia w którym znajdować się będą zwiedzający, a zanieczyszczone usuwane przez wentylację mechaniczną na zewnątrz.
Dookoła akwarium znajdować się będzie barierka dystansowa (poręcz) uniemożliwiająca zwiedzającym wywieranie nadmiernego nacisku na szybę oraz zmniejszy prawdopodobieństwa jej uszkodzenia, zabrudzenie lub zarysowania.

W wyznaczonym miejscu znajdować się będzie pulpit sterowniczy, na którym specjalnymi przyciskami można będzie uruchamiać wybrany, dostępny dla zwiedzających automatyczny program pracy, w tym kilka utworów muzycznych. Dla bezpieczeństwa urządzenia cykl „praca – przerwa” będzie ustawiony zgodnie z wymaganymi interwałami czasowymi



Pilot rozdzielony na 2 ostrza w celu uzyskania równego prawdopodobieństwa dla każdego możliwego miejsca uderzenia pioruna.

4.3 Konstrukcja klatki metalowej

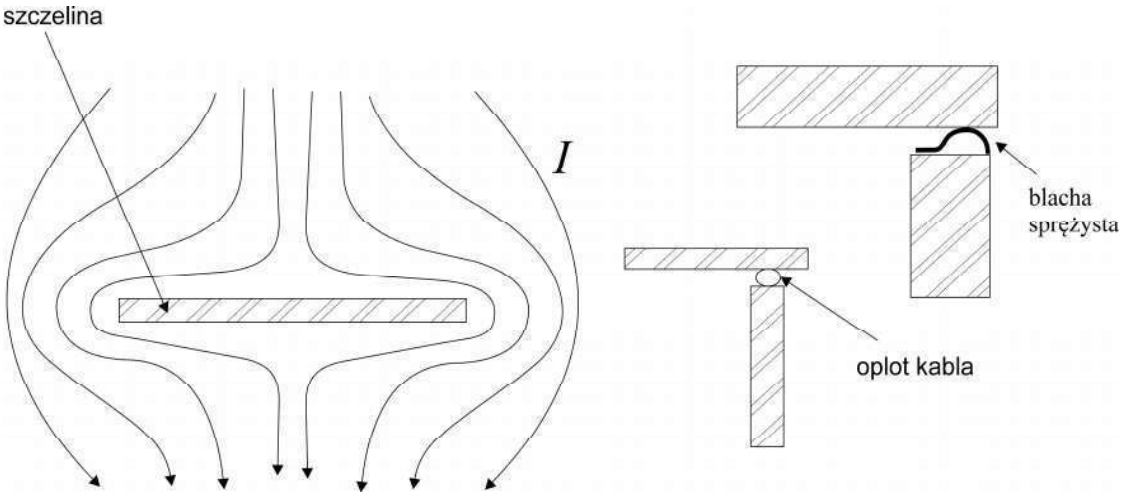
Klatka powinna być wykonana z siatki metalowej (tak aby było widać wnętrze) i ustawiona na izolatorach.

Rozmiar klatki dobieramy na podstawie długości generowanego wyładowania i wartości wytworzonego napięcia oraz tempa zanikania pola magnetycznego

Rozmiary oczek utworzonych z prętów klatki określamy ze względu na bezpieczeństwo „przejęcia" wyładowania oraz częstotliwości pola które chcemy ekranować (rozmiar oczek jest proporcjonalny do tłumionych częstotliwości) Wartość tłumienia pola elektromagnetycznego zależy od staranności wykonania. Klatka dobrze wykonana powoduje ekranowanie (tłumienie pola) na poziomie 50- 60 dB

Klatki Faradaya wykonane z siatek przewodzących charakteryzują się znacznie słabszym tłumieniem zakłóceń niż kabiny z blach.

Wszelkie szczeliny w obudowie stają się antenami, których zdolność emisyjna czy odbiorcza szybko rośnie w miarę zbliżania się ich wymiarów do długości fali zakłóceń.
Z tego powodu ściany klatki powinny być ze sobą zespawane lub zlutowane, a jeżeli istnieje potrzeba otwierania połączenia (drzwiczek), niezbędne jest stosowanie specjalnych uszczelek przewodzących ze sprężynujących blaszek lub oplotów kabli. Należy zminimalizować liczbę otworów, a te niezbędne powinny mieć jak najmniejsze rozmiary. W miarę możności otwory należy przesłaniać odpowiednimi siatkami blaszanymi o konstrukcji falowodowej lub stosować wyprowadzenia w postaci jak najdłuższych falowodów (rur) o średnicach znacznie mniejszych od polowy długości fali zakłóceń.
Nieekranowane końcówki powinny mięć rozmiary mniejsze niż dwudziesta część długości fali zakłóceń.



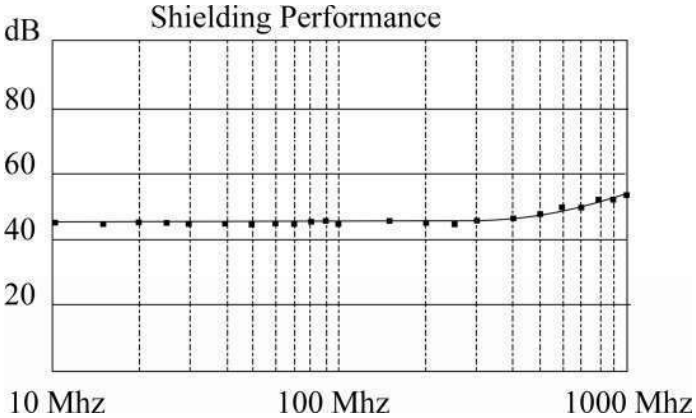
Aby przeciwdziałać propagacji zakłóceń przez promieniowanie, należy także unikać tworzenia anten emitujących i odbierających na wyprowadzeniach sygnałów.

4.4 Budowa szklanego akwarium

4.4.1 Ekranowanie elektromagnetyczne przy użyciu szyb metalizowanych

Wysokoczęstotliwościowe tłumienie elektromagnetyczne można realizować na dwa sposoby:

1. Za pomocą foli do eliminacji elektrosmogu którą wyklejone zostać mogą szyby akwarium



Wykres tłumienia przez folię

2. Przy użyciu gotowych szyb tłumiących promieniowanie elektromagnetyczne

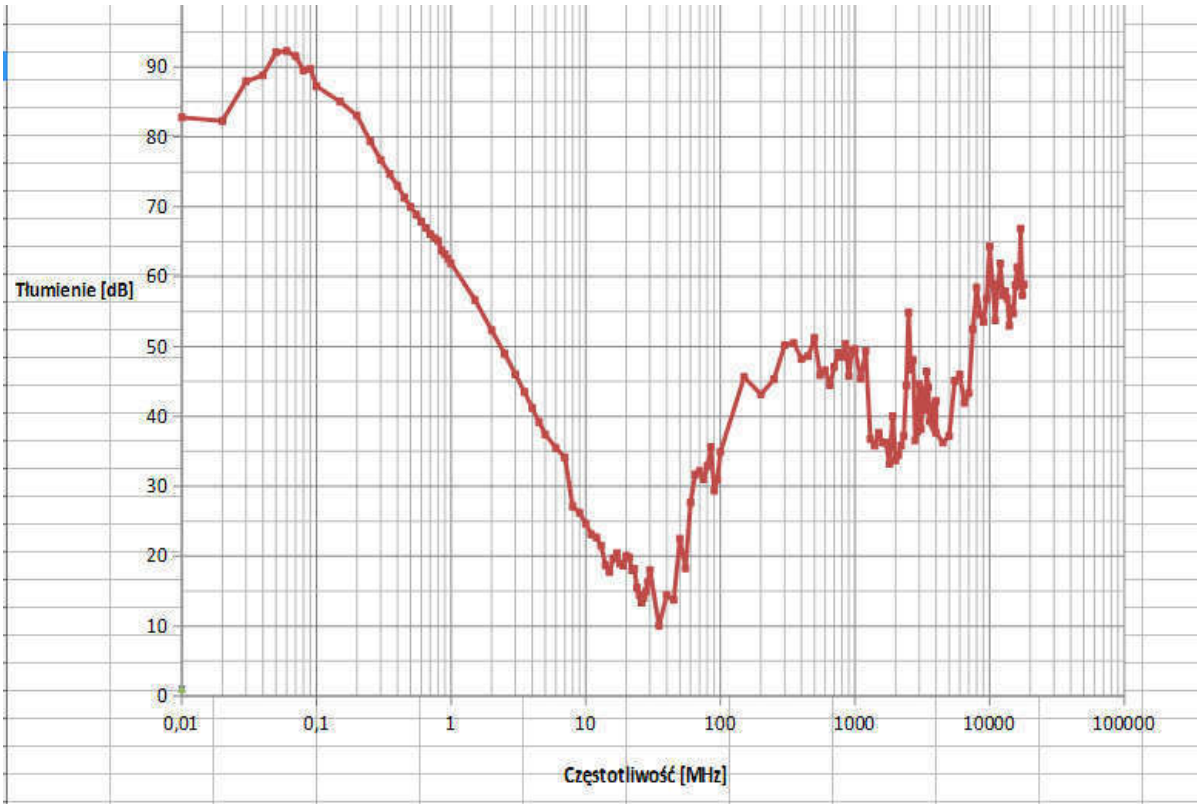
Jako przykład użytych szyb pokazano szkło firmy Bohamet BOHGLAS® EMS e-magnetic

BOHGLAS® EMS e-magnetic - technologia opracowana przez firmę BOHAMET pozwala na produkcję szyb pochłaniających promieniowanie elektromagnetyczne w szerokim paśmie częstotliwości

Przenikalność światła 75% (w zależności od wybranego wariantu i konstrukcji szyby)

Maksymalne wymiary produkowanych szyb to 2,3 x 3,6 m

Wykres tłumienia szyb dla składowej elektrycznej :



Szyby BOHGLAS® EMS e-magnetic

Tłumienie szyb - dane tabelaryczne :

Częstotliwość [MHz]	Tłumienie [dB]
0,01	82,8
0,02	82,3
0,03	88,0
0,04	88,8
0,05	92,1
0,06	92,3
0,07	91,5
0,08	89,5
0,09	89,7
0,10	87,3
0,15	85,0
0,20	83,0
0,25	79,4
0,30	76,7
0,35	74,7
0,40	73,0
0,45	71,3
0,50	70,0
0,55	68,9
0,60	67,9
0,65	66,9
0,70	66,1
0,75	65,5
0,80	65,1
0,85	63,8
0,90	63,2
0,95	62,5
1,00	61,9
1,50	56,7
2,00	52,3
2,50	49,0
3,00	46,0
3,50	43,5
4,00	41,2
4,50	39,2
5,00	37,4
6,00	35,5
7,00	34,1
8,00	27,1
9,00	26,2
10,00	24,7
11,00	23,1

Częstotliwość [MHz]	Tłumienie [dB]
200	43,1
250	45,3
300	50,2
350	50,5
400	48,2
450	48,6
500	51,2
550	45,9
600	46,6
650	44,5
700	47,1
750	49,1
800	48,5
850	50,3
900	45,8
950	49,5
1000	49,6
1100	45,4
1200	49,3
1300	36,8
1400	35,8
1500	37,6
1600	36,3
1700	36,2
1800	33,3
1900	40,0
2000	33,7
2100	34,4
2200	35,8
2300	37,2
2400	44,5
2500	54,9
2600	46,7
2700	48,1
2800	36,6
2900	37,9
3000	44,6
3100	38,2
3200	43,8
3300	40,8
3400	46,4
3500	44,2

12,00	22,7	3600	39,3
13,00	21,5	3700	41,5
14,00	18,7	3800	38,8
15,00	17,7	3900	38,3
16,00	19,7	4000	42,2
17,00	20,4	4000	37,6
18,00	18,9	4500	36,3
19,00	18,6	5000	37,2
20,00	20,1	5500	45,1
21,00	19,8	6000	46,0
22,00	18,0	6500	41,9
23,00	18,2	7000	43,3
24,00	15,4	7500	52,5
25,00	14,4	8000	58,4
26,00	13,3	8500	54,6
27,00	14,0	9000	53,5
28,00	15,0	9500	56,9
29,00	16,3	10000	64,3
30,00	18,0	10500	59,0
35,00	10,1	11000	53,8
40,00	14,4	11500	58,7
45,00	13,8	12000	61,9
50,00	22,5	12500	57,3
55,00	18,3	13000	57,9
60,00	27,7	13500	56,9
65,00	31,7	14000	53,0
70,00	32,2	14500	55,6
75,00	31,0	15000	54,7
80,00	32,9	15500	58,8
85,00	35,6	16000	61,3
90,00	29,4	16500	58,7
95,00	31,0	17000	66,9
100	34,9	17500	57,4
150	45,6	18000	58,9

W przedziale od 14 MHz do 55MHz tłumienie jest najmniejsze

Norma przewiduje pomiar pola elektromagnetycznego w odległości 30 cm od klatki Faradaya. Pole przenika poza klatkę na odległość równą maksymalnej długości fali, równej odstępowi między prętami klatki.

Na taką odległość będzie też wnikała fala poza klatkę. Wybieramy odległość między prętami na 25 cm.

4.4.2 Bezpieczeństwo szyby (mechaniczne)

Akwarium powinno być zbudowane z szyb bezpiecznych.

Szyby tego typu zapewniają ochronę przed zranieniem wszędzie tam, gdzie ze względu na warunki użytkowania istnieje niebezpieczeństwo stłuczenia szyby, a ludzie znajdują się w zasięgu odprysku odłamków szkła. Takimi miejscami są np. szpitale, szkoły, żłobki i witryny sklepów.

Szkło warstwowe bezpieczne, to takie, które dzięki swojej konstrukcji po uderzeniu i rozbiciu pozostaje w ramie lub elementach mocowań;

Obecnie na rynku dostępne są szyby bezpieczne o podwyższonej odporności na rozbicie, które bez obaw możemy montować nawet w oknach o dużych rozmiarach.

O tym, jaką odporność na rozbicie ma szyba, decyduje sposób jej wykonania i klasa bezpieczeństwa szkła (klasy szkła są uszeregowane od P1A do P8B). Najmniej odporne na uderzenia są szyby w klasie P1A, a najbardziej – w klasie P8B. Takie szkło stosuje się w miejscach, gdzie poziom bezpieczeństwa musi być najwyższy, np. w bankach. Antywłamaniowe właściwości mają już szyby w klasach od P2A do P4A. Są one odporne na kilkakrotne uderzenia stalowej kuli i zdolne do skutecznego zapobieżenia włamaniu.

Szyby przeciwwłamaniowe o klasie P4A jest w stanie wytrzymać uderzenie spadającej metalowej kuli o masie 4,11 kg z wysokości 9 metrów.

Najmocniejsze szyby przeciwwłamaniowe są w stanie wytrzymać kilkadziesiąt uderzeń dwukilogramowym młotem.
Jednym z rozwiązań zwiększających odporność przeszkleń na stłuczenie jest zastosowanie folii PVB (polywinylbutyralowa).
Szyby zespolone w klasie P2A i P4A mają w swojej budowie folie PVB, odpowiednio szyba P2A – dwie warstwy, a P4A – cztery. Szyby, w których tafle szkła połączone są ze sobą warstwami folii, nazywane są szybami laminowanymi. Mają one znacznie

większą odporność na rozbicie. Im więcej warstw szkła i warstw folii, tym szyba bardziej odporna na uderzenie

Mają one większą odporność na rozbicie, a w przypadku jej pęknięcia stanowią skuteczną ochronę przed skaleczeniem, gdyż kawałki szkła, przytrzymywane przez folie, nie rozsypują się. Oczywiście, im więcej warstw szkła i folii, tym szyba będzie bardziej odporna na rozbicie.

4.5 Barierki dystansujące – poręcze, balustrady

Dookoła akwarium należy zastosować poręcze bezpieczeństwa (schodowe) chroniące szyby przed uszkodzeniem i porysowaniem przez publiczność



Barierki ustalają również odległość zwiedzających od źródła pola – pole magnetyczne szybko maleje wraz z odległością – jest to jedyny sposób na skuteczne zmniejszanie natężenia niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego.

4.6 Oświetlenie

Oświetlenie wnętrza klatki należy wykonać źródłami światła umieszczonymi na zewnątrz klatki metalowej. Może to być również światło słoneczne ze świetlika dachowego.

Wewnątrz klatki mogą znajdować się lampy bez podłączenia do źródła napięcia ukazując w ten sposób istnienie silnego pola elektromagnetycznego i doświetlające wnętrze makiety.

4.7 Budowa transformatora

Rodzaj transformatora Tesli dobraliśmy ze względu na:

- *osiągnięcie wymaganej długości iskry*
- *minimalizacji zużycia energii*
- *możliwości regulacyjnych (częstotliwości, wartości napięcia, możliwości programowania)*
- *minimalizacja zniekształceń wprowadzanych do sieci zasilającej*
- ***interaktywność** - inicjowanie paczki impulsów przez zwiedzających*
- *możliwość **automatyzacji** – sterowania komputerem*
- *możliwość **sterowania** częstotliwością i wysokością napięcia*
- *minimalizacja prawdopodobieństwa **awarii** (dolny torus)*
- ***atrakcyjność** – podobieństwo do prawdziwego wyładowania piorunowego, losowość miejsca trafienia, unikalność umieszczenia generatora*
- *wyższe generowane **napięcia** - większa długość iskry*
- ***nowoczesność**, uniknięcie błędów wcześniejszych konstrukcji*

Najlepszym wyborem okazał się transformator DRSSTC (Double Resonant Solid State Tesla Coil) z płaskim uzwojeniem pierwotnym, tranzystorami typu IGBD, układem H-mostka

Wrażliwość generatora Tesli, w szczególności pojemności torusa, na geometrię pomieszczenia i jej wpływ na długość iskry zostanie wyeliminowana poprzez umieszczenie transformatora w klatce Faradaya

Transformator Tesli o podwójnym rezonansie to innymi słowy transformator o rdzeniu powietrznym, który posiada uzwojenie wtórne i uzwojenie pierwotne.

Aby zwiększyć wydajność transformatora koniecznym jest żeby obydwa obwody pracowały w rezonansie (obwód pierwotny pracuje na takiej samej częstotliwości jak obwód wtórny).

W odróżnieniu DRSSTC od klasycznej cewki Tesli nie ma potrzeby budowy transformatora wysokiego napięcia, ani też przerwy iskrowej na której występowały duże straty mocy

Za pomocą DRSSTC możemy osiągnąć dużo dłuższe i mocniejsze wyładowania przy dużo mniejszym poborze energii z sieci.

Każdy blok musi być szczegółowo dopracowany, bo każda nawet niewielka różnica, mały błąd, może spowodować zniszczenie transformatora.

Zasilanie transformatora tesli to trójfazowe 400VAC a moc którą pobiera to 3,4 kW.

Elektroniczną cewkę Tesli można podzielić na trzy główne bloki:

1. Blok rezonansowy pierwotny

2. Blok rezonansowy wtórny

3. Sterowanie bloku rezonansowego pierwotnego

Problemem związanym z eksploatacją transformatora Tesli, z powodu wysokich częstotliwości i wysokości napięcia, jest wytrzymałość napięciowa kondensatora wysokonapięciowego. Jest to najważniejsza a zarazem najbardziej narażona na uszkodzenia część układu.

Największymi wytrzymałościami elektrycznymi oraz największą jednorodnością struktury materiału charakteryzuje się polipropylen i polistyren.
Materiały te wykazują bardzo dobre właściwości dielektryczne w warunkach wysokich częstotliwości. Charakteryzują się bardzo małą stratnością dielektryczną w szerokim zakresie częstotliwości, co zostało potwierdzone podczas badań laboratoryjnych.

Ze względu na dobre właściwości obu materiałów można z nich zbudować kondensator płaski, potrójny. DRSSTC może pracować z kondensatorem rezonansowym którego napięcie przebicia jest nie mniejsze niż 8kV.

Pojemność kondensatora to minimum 600nF/10kV (można zastosować np. 100 sztuk kondensatorów typu CDE942C20P15kF).

Jako tranzystory można zastosować tranzystory IGBT produkcji Powerex-u lub Mitsubishi Electronic - CM300DY24HA.
Ich nominalne parametry:

- maksymalny prąd ciągły - 300A
- maksymalne napięcie C-E 1200V.

Pracują one je w rezonansie z częstotliwościami powyżej 60 kHz.

Testy transformatora Tesli w Stanach Zjednoczonych wykazały, że tranzystory te są w stanie wytrzymać impulsy rzędu 4kA (przy 5kA wybuchają na skutek wyjścia ze stanu nasycenia). Mogą pracować przy prądach impulsowych rzędu 2kA.
Tranzystory są zabezpieczone TVS'ami zdolnymi rozproszyć energię 12 kW oraz snubberami 5uF/1kV na zasilaniu.
Jako zabezpieczenia falownika należy zastosować łączone szeregowo diody typu transil (1,5 kW, 110V - tak aby dopuszczalna moc strat wynosiła 6 kW).

Kondensatory snubber o ultra-niskiej indukcyjności i dużym prądzie w impulsie służą do niwelowania szpil napięcia w razie chwilowego rozstrojenia sterownika w falowniku IGBT.

Zasilanie DRSSTC odbywa się z sieci przez odseparowanie jej za pomocą transformatora. Sterownik jest zasilany z transformatora 100W 2x15VAC.

Falownik zbudujemy w konfiguracji pół-mostka

Jako indukcyjność znosząca wysokie częstotliwości w przypadku przebicia transformatora separującego należy zastosować rdzeń ferrytowy na którym jest nawinięte kilka zwojów.

Dwa duże kondensatory pracują jako filtry napięcia oraz jako masa.

Potężne tranzystory wymagają masywnego radiatora. Zastosować należy duży radiator o grubości podstawy 2 cm, aby oddać jak najwięcej ciepła ze struktury modułu tranzystorowego,

Ilość wytwarzanego ciepła nie wymaga stosowania wentylatora.

Blok rezonansowy pierwotny

Składa się z uzwojenia pierwotnego i kondensatora rezonansowego. Układ rezonansowy pracuje w szeregu, to oznacza iż występuje zjawisko rezonansu napięć a impedancja tego obwodu jest bliska zeru co powoduje że prąd który płynie przez ten obwód jest praktycznie nieskończony i trzeba go ograniczać. Częstotliwość pracy tego bloku jest równa 68 kHz, maksymalny prąd który popłynie przez uzwojenie pierwotne to 1000A, napięcie maksymalne MMC - baterii kondensatorów wynosi 3600VDC, 1800AC a pojemność zaledwie 455nF. Kable łączące te części są przekroju 15mm^2 Uzwojenie pierwotne dodatkowo jest zabezpieczone otwartym zwojem podłączonym do uziemienia, gdyby wyładowanie miało by uderzyć w uzwojenie pierwotne uderzy w ten zwój.
Uzwojenie pierwotne powinno być płaskie, ze względu na znacznie lepszy rozkład pola u podstawy wtórnego. Uzwojenie należy wykonać z miękkiej miedzi średnicy 15mm o grubości ścianki 1mm. Zmniejsza się też wysokość całego transformatora Wsporniki . Ażeby precyzyjnie wykonać wsporniki należy blachy wypalić laserem co znacznie uprości wykonanie uzwojenia.

Blok rezonansowy wtórny

To część wtórna naszego transformatora. Składa się nań rura PCV na którą nawinięte jest uzwojenie wtórne drutem miedzianym emaliowanym o przekroju 0,4mm i terminal czyli dwie rury kominowe aluminiowe lub rurki aluminiowe które określają pojemność względem otoczenia.

Obie rury są w taki sposób nawinięte by zmienić gradient potencjału tak aby wyładowanie nie trafiało w uzwojenie pierwotne. To kolejny obwód rezonansowy. Kiedy przez uzwojenie pierwotne płynie prąd z częstotliwością rezonansową uzwojenia pierwotnego i częstotliwością rezonansową uzwojenia wtórnego w uzwojeniu wtórnym indukuje się ogromne napięcie i prąd.

Dół uzwojenia wtórnego musi być uziemiony. Współczynnik sprzężenia uzwojenia wtórnego i pierwotnego wynosi 0,18% Uzwojenie wtórne zawiera 2300 zwojów drutu 0.4mm. (1500m przewodu = ok. 2 kg miedzi)

Uzwojenie musi być odpowiednio zespojone – polakierowane, żeby nie zostało uszkodzone poprzez współczynnik rozszerzalności temperaturowej miedzi (np. parkietolakiem)

Średnica drutu, średnica rury, długość rury, wymiary torusów są ściśle ze sobą powiązane. Zmiana któregokolwiek parametru wymusza przeliczenie pozostałych. Wielkości należy dobierać pod konkretne warunki i konkretną lokalizację.

Na terminalu umieszczony jest breakpoint (pilot) czyli punkt przełamania z którego wytwarzane jest wyładowanie. Wracając do gradientu potencjału jest on tak ustawiony by wyładowanie nie uderzało w uzwojenie pierwotne co doprowadziłoby do jego zniszczenia.

Jako formę dla uzwojenia wtórnego wykorzystamy rurę z PVC lub plexi średnicy 200mm i wysokości 1m.
Zwiększenie wytrzymałości mechanicznej oraz możliwości regulacji pojemności uzyskać możemy wykonując torus z rurek aluminiowych.
Drugi toroid to konstrukcja klasyczna którą można wykonać z rury wentylacyjnej spiroflex.
Zastosowanie dwóch toroidów poprawi rozkład pola elektrycznego wokół uzwojeń dzięki czemu wyładowanie będzie omijać uzwojenie pierwotne.

Należy zastosować zwoje zabezpieczające – jeden powyżej a drugi poniżej płaszczyzny uzwojenia pierwotnego. Górny zwój to rurka miedziana 18mm długości około 3 m.
Dolna część obudowy mieszcząca elektronikę powinna być obłożona siatką zabezpieczającą.

Sterowanie bloku rezonansowego

To najbardziej skomplikowany element DRSSTC. Jest to układ falownika z tranzystorami IGBT, połączonym z kontrolerem prądu sprzężeniem zwrotnym, przesuwnikiem fazy, ogranicznikiem prądu, interruperem i układem sterowania tranzystorów. Układ falownika podaje napięcie przemienne o wartości 320VDC po odfiltrowaniu przez ogromny kondensator elektrolityczny o pojemności rzędu 4700uF, na układ rezonansowy bloku pierwotnego. To powoduje przepływ prądu, który ma przebieg sinusoidalny co jest spowodowane elementami LC bloku pierwotnego.

Interrupter czyli kontroler prądu pozwala precyzyjnie regulować ilość cykli prądu w uzwojeniu pierwotnym oraz czas odstępu między każdą paczką ustawionej ilości cykli.

Wraz z każdym cyklem narasta wartość prądu. Zmniejszając ilość cykli zmniejszamy wartość płynącego prądu.

Po zakończeniu zadanej ilości cykli pojawiają się od trzech do pięciu cykli wygasających w których wartość prądu maleje. Ogranicznik prądu składa się z kaskady dwóch przekładników prądowych o przekładni 1:1000 założonej na uzwojenie pierwotne.

Wyindukowane napięcie jest prostowane i podawane na układ porównujący wartość napięcia do wartości napięcia zadanego.

Jeżeli napięcie z przekładnika prądowego przekroczy zadaną wartość to na wyjściu komparatora pojawia się stan wyzwalający generator monostabilny który na określoną ilość czasu (kilka ns) zatrzymuje pracę cewki aż prąd w uzwojeniu pierwotnym zmniejszy się. Najczęściej czas stopu to czas jednego cyklu pracy.

Podczas pracy często bywa tak że gdy wyładowanie uderza w uziemiony przedmiot, prąd w uzwojeniu pierwotnym natychmiastowo rośnie do wartości które mogą zniszczyć falownik.

Kontroler prądu jest urządzeniem które dotykamy rękami, tak więc aby wyeliminować możliwość porażenia prądem interrupter powinien być połączony z cewką Tesli za pomocą światłowodu.

Sprzężenie zwrotne jest zrobione tak jak ogranicznik, założony jest przekładnik prądowy, sygnał z przekładnika trafia na przerzutnik Schmitta który powoduje przemianę sygnału sinusoidalnego na sygnał cyfrowy, który jest przekazywany na układ sterowania tranzystorami. Tak więc nie ma innej możliwości by prąd płynący w obwodzie pierwotnym nie był prądem rezonansowym. (przebiegu prądowego w uzwojeniu pierwotnym, 12 cykli narastających, 5 opadających)

Urządzenie może generować wyładowania elektryczne o długości iskry ponad 2 metry.

Możliwe jest stworzenie interruptera który byłby zmodulowany za pomocą MIDI, efektem czego DRSSTC gra muzykę, co prawda prostą ale bardzo efektywną.

Wszystkie przerzutniki, bramki logiczne, wzmacniacze itd. wprowadzają opóźnienia tzw. czasy propagacji. Części falownika takie jak kondensator, mostek prostowniczy i tranzystory IGBT muszą być połączone płaskownikami co z kolei stanowi indukcyjność. Tranzystory muszą przełączać napięcie w zerach prądu tzw. ZCS (Zero Cross Switching). Wprowadzone czasy propagacji powodują że tranzystory nie przełączają w zerach tylko obok, co je dociąża. Płynie większy prąd przez płaskowniki, jako iż praca odbywa się przy 68 kHz, indukcyjności połączeń zaczynają wprowadzać szpile napięciowe dodatnie o dwukrotnej a nawet większej, wartości napięcia zasilania.

Efekt ten jest niepożądany gdyż większość tranzystorów pracuje przy napięciu maksymalnym 600VDC, przy zasilaniu z 320VDC szpile od razu zniszczyłyby tranzystory. Sygnał ze sprzężenia zwrotnego można przesunąć w fazie za pomocą indukcyjności i porównywacza stworzonego na komparatorze.

Potrzebny do tego jest bardzo szybki komparator i odpowiednio zaprojektowana płytka PCB tak aby wyeliminować szkodliwe indukcyjności i pojemności.

Wystarczy niewielkie przesunięcie fazy żeby wyeliminować szpile impulsów. Tranzystory będą dużo mniej obciążone co wydłuży ich żywotność.

Nie ma też ograniczenia napięciowego, można podać nawet 450VDC na mostek.

W ograniczniku prądowym należy zastosować bardzo szybkie komparatory. Dodatkowym jego elementem jest pełny mostek pośredni, który służy do wysterowania dużego transformatora sterującego bramkami tak, aby uzyskać czasy narastania zbocza rzędu 200ns, zapobiec wyjściu z nasycenia tranzystorów podając odpowiednie napięcie na jego bramki i odseparować galwanicznie część sterującą od falownika.

Kondensatory filtrujące zasilanie

Urządzenie pracujące impulsowo potrzebuje wysokonapięciowych kondensatorów elektrolitycznych o znacznej pojemności przeznaczonych do pracy impulsowej – (niskoimpendancyjne np. lowesr)
Zasilanie mostka napięciem wyższym niż sieciowe 320V (po wyprostowaniu) około 650/700V DC powoduje że konieczne są kondensatory elektrolityczne zdolne do pracy z takim napięciem. Ponieważ najwyższe napięcie w dostępnych kondensatorach elektrolitycznych (500V) jest zbyt niskie konieczne jest połączenie czterech kondensatorów elektrolitycznych szeregowo.
Należy zminimalizować odległości miedzy kondensatorami a tranzystorami a także zastosować jak największe przekroje (zwiększenie szerokości mostka).

Sterownik to predikter zasilający mostek pośredni na mosfetach.
Pośredni mostek zasilany jest stabilizowanym napięciem 80V, który zasila transformator sterujący bramkami tranzystorów IGBT.
Przekładnia tego transformatora to 4:1:1:1:1. Konstrukcja taka pozwala uzyskać typowe 20V na bramkach.
Jej stosowanie ma na celu zmniejszenie czasów przeładowania bramek.

Ogranicznik prądu w obwodzie pierwotnym jest ustawiony na 1400A i działa tylko przy zapaleniu się iskry do uziomu. Częstotliwość rezonansowa to 68 kHz.

Transformator Tesli ze względów bezpieczeństwa dla obsługi powinien być wyposażony w oddzielny wyłącznik zasilania sterownika i cewki mocy.

Transformator Tesli umieszczony będzie w górnej części klatki powieszony „do góry nogami". Torus znajdować się będzie na dole urządzenia. Do torusa od dołu przymocowany będzie zaostrzony pręt (pilot) który inicjował będzie wyładowanie.

4.8 Budowa pulpitu sterowniczego

Pulpit sterowniczy połączony będzie z modułem elektronicznym transformatora Tesli (interrupterem) za pomocą światłowodu, którego trasa w całości prowadzona będzie poza klatką i akwarium. Połączenie zrealizowane będzie w górnej środkowej części klatki do układu elektronicznego generatora znajdującego sie poza klatką.

Ponieważ nie jest możliwe regulowanie opornością powinna być ona dokonywana częstotliwościowo. Im niższa będzie częstotliwość tym iskry będą krótsze.

Tryb ręczny inicjowany przez obsługę umożliwiać będzie wybieranie programu pracy transformatora Tesli przez naciśnięcie przycisku na pulpicie.

Ilość impulsów w paczce powinna być ograniczona przez program sterujący.

Między kolejnymi naciśnięciami automatyka zapewni ustawiony interwał czasowy. Przez ten czas przyciski będą nieaktywne. Zapewni on bezawaryjność pracy transformatora oraz ustali stężenie szkodliwych toksycznych gazów w akwarium na zaprojektowanym poziomie oraz umożliwi usunięcie ich przez wentylację bez konieczności stosowania wysokich przepływów (mniejszy szum)

Całość unieruchamiana będzie przez kluczyk dezaktywujący sterowanie oraz wyłącznik znajdujący się w miejscu niedostępnym dla zwiedzających.

Poszczególne programy umożliwiać będą pracę w trybie

- wyładowania koronowego

- wyładowania pełnego o krótkim czasie trwania

- wyładowania koronowego o dłuższym (ustawianym czasie trwania)

- muzycznym - możliwe będzie wybór z kilku melodii którą odegrać może cewka Tesli.

Pulpit sterowniczy umożliwiał będzie pracę w trybie automatycznym (program wgrywany będzie przez obsługę) lub w trybie ręcznym. Zaleca sie żeby generator działał tylko wtedy gdy wewnątrz pomieszczenia wokół akwarium będą obecni ludzie.

4.9 Podłączenie do wentylacji

W celu zabudowania wentylacji należy w klatce i akwarium wykonać otwór pokryty siatką o oczkach max 1 cm. Łączenie siatki z blachą należy wykonać poprzez lutowanie ciągłe po obwodzie

Powietrze doprowadzane będzie do akwarium poprzez czerpnię z pomieszczenia ogólnego. W celu utrzymania sprawnej wentylacji należy zaprojektować wentylację mechaniczną wywiewną. Wylot wentylacji mechanicznej należy doprowadzić do blachy miedzianej a następnie otwór od strony ściany pokryć siatką miedzianą o oczkach maks 1 cm. Łączyć należy oba materiały poprzez lutowanie ciągłe po obwodzie.

.

Wentylacja wywiewna zostanie wyprowadzona ponad dach i zakończona wentylatorem dachowym wg projektu budowlanego.

Wentylacja powinna być uruchamiana automatycznie wraz z załączeniem transformatora Tesli.

5. Zagrożenia

5.1 Zagrożenia dla ludzi

Podczas pracy transformatora generowane jest wyładowanie elektryczne o wysokim napięciu (iskra elektryczna). Przepływający kanał plazmowy osiąga wysoką temperaturę rzędu 10 tys. stopni K. Oprócz tego zawiera on elementy przechowujące ładunek elektryczny (kondensatory).

Ze strony wyładowania elektrycznego występuje więc niebezpieczeństwo:

- poparzenia
- porażenia

Ze strony generowanego pola elektromagnetycznego reprezentowanego przez swoje składowe elektryczną i magnetyczną:

- prądy indukowane mogą zakłócać pracę organizmu na skutek interferencji z prądami endogennymi oraz wywoływać skutki termiczne wewnątrz ciała
- mogą zakłócać pracę wszczepionych implantów aktywnych
- zakłócać pracę przenośnych urządzeń medycznych:
    - pomp insulinowych
    - aparatów słuchowych

Podczas wyładowania i jonizacji powietrza powstają szkodliwe gazy w dużej ilości:

- dwutlenku azotu (ditlenku)
- tlenku azotu
- ozonu

W trakcie wyładowania generowany jest silny dźwięk w całym zakresie częstotliwości słyszalnym dla człowieka

Podczas wyładowania emitowane są błyski światła o dużej intensywności szkodliwe dla osób ze skłonnościami do epilepsji - szczególnie padaczki fotogennej.

Specjalną ostrożność powinny też zachować kobiety w ciąży oraz kobiety karmiące piersią

5.1.1 Porażenia i poparzenia

5.1.1.1 Poparzenia

Wyładowania z cewek Tesli są bardzo gorące (ok. 10 tys. stopni K) - kontakt z łukiem powoduje głębokie oparzenie w formie niewielkiej, zwęglonej dziurki w skórze. W przypadku urządzeń o dużym prądzie wyjściowym mogą spowodować dużo rozleglejsze uszkodzenia skóry. Rany takie wyjątkowo trudno się goją.
Dla metali naskórkowość sprawia, że prąd już przy kilku kilohercach wnika jedynie na głębokość ułamków milimetra, jednak dla ośrodków jak ludzkie ciało, niejednorodnych, ponadto przewodzących w sposób inny niż metale wnika głęboko, choć nie jest odczuwany ponieważ prądy w.cz. nie stymulują zakończeń nerwowych.

Typowy transformator Tesli pompuje moc na poziomie kilowatów i ta energia płynąc przez tkanki wytraca się w formie ciepła prowadząc do uszkodzeń termicznych. Prąd płynie drogą o najlepszym przewodnictwie, zatem największy popłynie przez tkanki nerwowe (które przewodzą doskonale, ale są niestety delikatne i bardzo istotne), zaś niewielki przez chociażby mięśnie, które przewodzą stosunkowo słabo, a wytrzymują znacznie więcej. Sprawia to, że prądy w.cz. stanowią specyficzne zagrożenie - fakt, iż nie odczuwa się porażenia powoduje złudne uczucie bezpieczeństwa co może powodować przedłużanie ekspozycji, jednocześnie powodując szkody które ujawnią się dopiero po pewnym czasie od porażenia.

W Polsce występowały przypadki osób , które po kontakcie z wyładowaniem odczuwały zaburzenia czucia w kończynach.
Im większa cewka, tym większe ryzyko. O ile niewielkie SSTC mogą nie spowodować widocznych uszkodzeń, o tyle kontakt z większą DRSSTC czy SGTC, które generują bardzo duże moce szczytowe jest już bardzo ryzykowny.

5.1.1.2 Porażenie

Istnieją jednak kolejne zagrożenia związane z porażeniem przez wyładowanie. Jeżeli cewka jest sterowania przez interrupter(przerywacz), może on wprowadzać do prądu wtórnego składowe niskiej, dużo niebezpieczniejszej częstotliwości (np. 50Hz) którego przepływ przez ludzkie ciało może mieć dużo szybsze i poważniejsze konsekwencje.

Kondensatory wysokonapięciowe.

Zagrożeniem występujące w tego typu urządzeniach są duże pojemności kondensatorów pracujących pod wysokim napięciem. W cewkach półprzewodnikowych są to kondensatory elektrolityczne. Posiadają one znaczne (tysiące mikrofaradów) pojemności i są ładowane do szczytowej wartości napięcia sieci (około 320V dla jednej fazy, 560V w systemach trójfazowych). Ilość energii zgromadzonej w takim kondensatorze jest bardzo duża – oraz śmiertelnie niebezpieczna. Rozładowanie takowego przez ludzkie ciało jest ekstremalnie niebezpieczne i może prowadzić do śmierci lub poważnych uszkodzeń ciała. Należy także pamiętać o zjawisku absorpcji dielektrycznej - kondensator elektrolityczny który przez dłuższy czas był pod napięciem nawet po rozładowaniu może powoli odzyskiwać część ładunku.

5.1.2 Pole elektromagnetyczne

5.1.2.1 Zagrożenia powodowane przez pole elektryczne

Pole elektryczne może negatywnie wpływać na osoby:

- z implantami kardiologicznymi (wysokoenergetycznymi) np. z rozrusznikami serca, kardiowerterami-defibrylatorami
- z pompami insulinowymi,
- z aparatami słuchowymi,
- kobiety w ciąży
- chorzy na epilepsję.

Oddziaływanie zmiennego w czasie pola elektrycznego z organizmem ludzkim wywołuje przepływ ładunków elektrycznych (prąd elektryczny) oraz ich polaryzację (formowanie dipoli elektrycznych i zmianę ustawienia w tkankach dipoli elektrycznych już istniejących). Prądy indukowane mogą zakłócać pracę organizmu na skutek interferencji z prądami endogennymi oraz wywoływać skutki termiczne wewnątrz ciała. Względna wielkość tych skutków zależy od elektrycznych właściwości ciała, tzn. przewodności elektrycznej (dotyczącej przepływu prądu elektrycznego) i przenikalności elektrycznej (dotyczącej polaryzacji ładunków). Przewodność i przenikalność elektryczna tkanek ciała człowieka są uzależnione od częstotliwości przyłożonego pola i różne dla różnych tkanek.
Rozkład przestrzenny prądów zaindukowanych w ciele zależy od warunków napromieniowania, wymiarów i kształtu ciała oraz od jego ustawienia względem polaryzacji pola elektromagnetycznego.

5.1.2.2 Zagrożenia powodowane przez pole magnetyczne

Zmienne w czasie pola magnetyczne wywołują indukowane pola elektryczne wewnątrz ciała i wirowe prądy elektryczne. Wielkości pól indukowanych i gęstości prądu są proporcjonalne do powierzchni pętli, jaką tworzy eksponowana część ciała,

szybkości zmian w czasie przenikającego ją strumienia magnetycznego oraz przenikalności elektrycznej tkanek.

U zdrowego człowieka nie występują zauważalne skutki działania przepływającego przez ciało prądu sinusoidalnego o gęstości 1÷10 mA/m2.
Oddziaływanie prądów o gęstościach 10÷100 mA/m^2 zależy od częstotliwości, nie jest uważane za szkodliwe, ale może istotnie wpływać na bezpieczeństwo pracy, np. utrudniając pracownikom wykonywanie czynności zawodowych.
Prądy o gęstości 100÷1000 mA/m^2 wywołują pobudzenie tkanek i mogą negatywnie oddziaływać na zdrowie. Prądy o gęstości większej od 1 A/m2 mogą zakłócać pracę serca i stwarzać zagrożenie życia.

Ograniczenia dotyczące gęstości prądu indukowanego wewnątrz ciała ludzkiego są podstawą ustalania dopuszczalnych wartości natężenia pola magnetycznego (indukcji) oraz natężenia pola elektrycznego małych częstotliwości, przyjętych w zaleceniach międzynarodowych i krajowych przepisach.

5.1.3 Błyski światła

Wytwarzane podczas pokazu silne błyski światła mogą powodować u osób wrażliwych ataki epilepsji.

5.1.4 Zagrożenia uszkodzeniami mechanicznymi

Osoby zwiedzające mogą mechanicznie uszkodzić szybę akwarium przez uderzanie lub duży nacisk.

5.1.5 Zagrożenia związane z pracą urządzeń medycznych

Aby rozrusznik wiedział kiedy ma stymulować, nieustannie monitoruje pracę serca analizując jego aktywność elektryczną, której napięcie jest stosunkowo niskie (ok. 0,01 V). Jeśli pojawi się silne pole elektryczne lub magnetyczne może ono zaindukować (wytworzyć) impulsy elektryczne, które rozrusznik mylnie odbierze jako sygnał z serca. Odebrane sygnały (w tym przypadku zakłócenia) zinterpretowane będą jako własna aktywność serca i rozrusznik nie będzie dostarczał impulsów stymulujących. Mówimy wtedy, że stymulacja została zahamowana przez zakłócenia. Sytuacja taka jest szczególnie niebezpieczna u pacjentów którzy są stymulatoro-zależni tzn. ich serce nie potrafi samo bić i są w pełni zależni od stymulacji. Ponieważ wokół nas jest coraz więcej urządzeń elektrycznych, które są potencjalnym źródłem zakłóceń, producenci rozruszników wyposażyli je w specjalny system obrony przed zakłóceniami. Nosi on angielską nazwę **Noise Reversion Mode** i polega na tym, że wykryte przez stymulator zakłócenia powodują przełączenie się stymulatora w tryb asynchroniczny. Gdy monitorowany sygnał z serca jest zakłócony i przestaje być wiarygodnym źródłem informacji o pracy serca, rozrusznik podejmuje stałą stymulację ignorując sygnały z serca. Oczywiście urządzenie sprawdza co jakiś czas czy zakłócenia nie znikły i może znów przejść do standardowego trybu stymulacji. W większości urządzeń tryb Noise Reversion jest standardowo włączony, co powoduje że zakłócenia mogą spowodować co najwyżej niepotrzebną stymulację.

Bardzo silne pole oprócz zahamowania stymulacji lub przejścia w tryb Noise Reversion, może zaindukować znacznie większe prądy, które mogą podgrzewać wszczepione urządzenie i końcówkę elektrody umieszczoną w sercu. Jeśli temperatura znacznie wzrośnie może dojść do poparzenia tkanek wokół metalowych części i powikłań. Potencjalnie istnieje też ryzyko uszkodzenia elektroniki rozrusznika lub zresetowanie jego programu.

Istnieje symbol, który ostrzega, że urządzenie (bądź strefa) jest niebezpieczne dla pacjentów z wszczepionym rozrusznikiem.



Wszczepiane stymulatory posiadają specjalny czujnik tzw. reed switch, który reaguje na pole magnetyczne. Przyłożenie magnesu w okolice stymulatora będzie skutkowało włączeniem zaprogramowanej funkcji. Najczęściej rozrusznik przechodzi w tryb stymulacji asynchronicznej, której częstotliwość pokazuje stan naładowania baterii, czasem może dezaktywować program nocny lub w ogóle nie reagować. Magnes nie uszkodzi urządzenia ani nie spowoduje zatrzymania stymulacji, ale należy takich sytuacji unikać.

Ostrzeżenia o negatywnym wpływie na rozrusznik serca były formułowane wiele lat temu kiedy powszechnie stosowano stymulację unipolarną. Takie układy były znacznie bardziej wrażliwe na zakłócenia zewnętrzne niż stosowane dzisiaj systemy bipolarne. Stąd wiele ostrzeżeń jest już nieaktualnych i należy bazować na informacji, która dotyczy stosowanych obecnie stymulatorów.
Ostrzeżenia te są najbardziej istotne dla pacjentów stymulatoro-zależnych, ponieważ oni najwyraźniej odczują zakłócenia pracy stymulatora. U pacjentów z własnym rytmem, u których stymulator jest urządzeniem wspomagającym, zakłócenia pracy stymulatora najczęściej nie są odczuwalne.

Norma europejska, dotycząca ochrony sprzętu elektromedycznego pochodzi z 1993 roku, a jej drugie wydanie opracowane zostało w 2001 roku (IEC Nr 60601-1-2). Podane tam warunki odporności sprzętu elektromedycznego w polu elektromagnetycznym są następujące:

- urządzenia ratujące czy podtrzymujące życie ludzkie mają być odporne na działanie pola elektromagnetycznego, którego składowa elektryczna nie przekracza 10 V/m w zakresie częstotliwości 80 MHz - 2,5 GHz.
- dla grupy urządzeń, których działanie nie jest bezpośrednio związane z utrzymaniem życia wartość ta wynosi 3 V/m.

Pole elektryczne może zakłócić pracę układu stymulującego (przejście na “noise mode pacing”). Dotyczy to jedynie układów jednobiegunowych; dwubiegunowe układy stymulujące pozostają niewrażliwe.

Pole magnetyczne - badania wpływu na kardioimplanty

Jedynie systemy oparte *o* pole magnetyczne mogą wywoływać przejściowe zablokowanie stymulacji (u pacjentów praktycznie tylko z systemami jednobiegunowymi),

Przy dłuższej ekspozycji obserwowano sporadycznie stymulację z maksymalną zaprogramowaną częstością (transmisja zakłóceń odebranych w kanale przedsionkowym do kanału komorowego) opisano również stymulację impulsami nie pochodzącymi ze stymulatora lecz powstałymi na skutek zjawiska indukcji prądu w układzie stymulującym

Przeprogramowanie stymulatora jest zjawiskiem niezmiernie rzadkim.

W najgorszej sytuacji pole może czasowo przeprowadzić stymulator w tryb asynchroniczny i zjawisko to może być odczuwane jedynie u pacjentów z natywnym rytmem serca blokującym w danym momencie funkcję stymulacji.

Wpływ pola magnetycznego badano przy okazji badania wpływu rezonansu magnetycznego na pacjentów z wszczepionymi implantami

1) stałe silne pole magnetyczne -*jedynie przejście stymulatora do "magnetycznego" trybu pracy*
2) zmienne pole magnetyczne- *zakłócenie funkcji stymulatora (noise reversion mode, czasowe zablokowanie ale i wyzwalanie szybkiej stymulacji)*
3) szybkie impulsy o częstości radiowej z różnych kierunków przez kilka minut *"efekt anteny" –powstanie wyindukowanej energii w elektrodzie :*

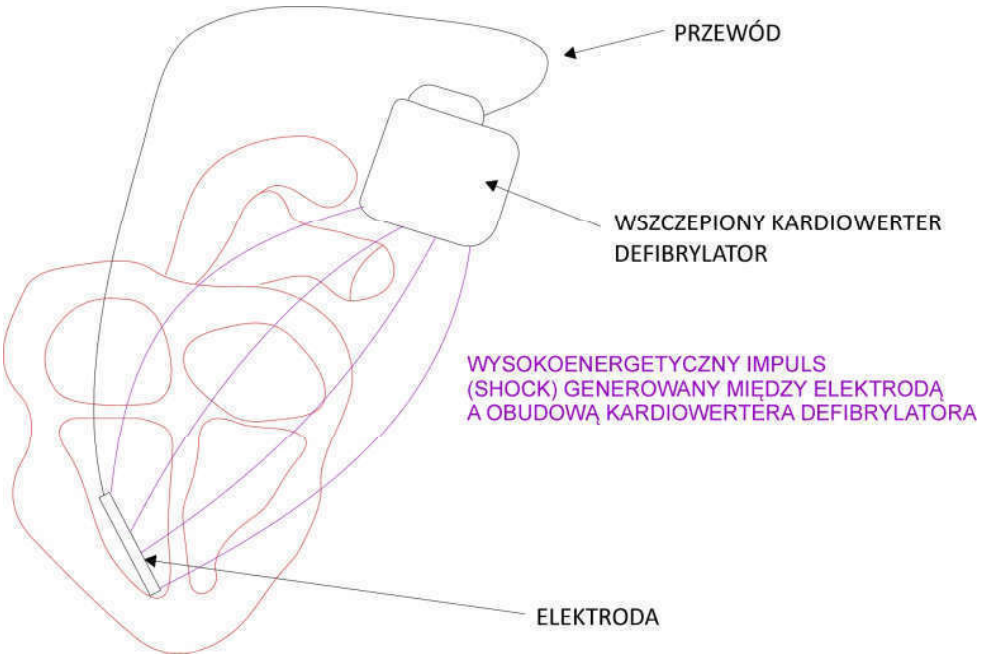
    - *zakłócenie funkcji stymulatora (noise reversion mode, czasowe zablokowanie ale i wyzwalanie szybkiej stymulacji)*
    - *stymulacja serca samą energią z "efektu anteny" (napięcie może osiągać nawet 20V a częstość stymulacji - częstość 300/min) - STYMULACJA BEZ UDZIAŁU STYMULATORA !!! Elektroda nie musi być ferromagnetykiem !*
    - *powstawanie efektu cieplnego w elektrodzie aż do 89 stopni (Celsjusza)*

Pacjenci, „nosiciele" kardioimplantów, nie są w stanie kontrolować natężenia pola i jego częstotliwości, jednak mogą oni na przykład wpływać na swoją odległość od źródła zakłóceń i czas ekspozycji na pole elektromagnetyczne.

Szacuje się, że w Polsce żyje około 300 000 osób zabezpieczanych urządzeniami podtrzymującymi rytm pracy serca . Obserwuje się tendencję wzrostową liczby implantacji kardiowerterów-defibrylatorów ICD w Polsce (ponad tysiąc rocznie)

Kardioimplanty są obecnie rozpowszechnionymi medycznymi urządzeniami elektronicznymi, wszczepianymi w organizm ludzki dla zachowania właściwej czynności elektrycznej serca. Pełnią one rolę detekcyjną (wykrywanie zaburzeń) i terapeutyczną.

Wszczepialny kardiowerter-defibrylator został wynaleziony ponad ćwierć wieku temu (1980 r.) przez lekarza polskiego pochodzenia Mieczysława Mirowskiego. Pierwszy zabieg wszczepienia tego implantu w kraju przeprowadzono 20 lat temu w I Klinice Kardiologii Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach.



Rys. Wszczepialny kardiowerter-defibrylator (ICD) wykrywa nierównomierność rytmu serca zagrażająca życiu oraz reaguje na nią generując sygnały elektryczne

Wszczepialny kardiowerter-defibrylator jest precyzyjnym medycznym urządzeniem elektronicznym. Nowoczesne implanty to urządzenia ważące nie więcej niż 90 gramów o wymiarach 6 cm x 5 cm x 1,5 cm. Implant zawiera mikrokomputer oraz długotrwałe źródła energii zamknięte w tytanowej obudowie. Przez przewody/elektrody urządzenie to monitoruje rytm pracy serca i dostarcza energię wykorzystywaną do stymulacji, kardiowersji i/lub defibrylacji.
Wszczepialny kardiowerter-defibrylator jest elementem systemu defibrylacji. Dwie części tego systemu (defibrylator, elektrody) umieszcza się w organizmie człowieka. Trzecia część, urządzenie programujące implant, z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego umożliwia komunikację z urządzeniem i jego przeprogramowywanie.

Zachowanie międzynarodowych standardów* umożliwia zredukowanie ryzyka potencjalnych interferencji elektromagnetycznych. Szczegółowe standardy kompatybilności elektromagnetycznej dla wszczepialnych kardiowerterów-defibrylatorów są aktualnie opracowywane przez organizację standaryzującą (ISO)

[*] International Electrotechnical Commission: Medical Electrical Equipment, Part 1: General Requirements for Safety. IEC Standard 601-1-2, 2001

Należy pamiętać, że pole elektromagnetyczne może również generować potencjały elektryczne na elektrodach odbierających sygnały, wówczas interferencje elektromagnetyczne powodują niewłaściwe funkcjonowanie implantu.

** Interferencje elektromagnetyczne = zakłócenia działania układu stymulującego spowodowane przez sygnały elektryczne, elektromagnetyczne i magnetyczne pochodzące z niefizjologicznych źródeł*

W testach nie zaobserwowano żadnych nieprawidłowości w funkcjonowaniu implantów wyprodukowanych po 2000 roku.
Natomiast przed 2000 r. funkcjonowanie aż 85% urządzeń wyprodukowanych ulegało zakłóceniu.

Zakłócenia pracy rozrusznika pochodzące od pola elektromagnetycznego jest mało prawdopodobne, ale pojawia się w pewnych okolicznościach

5.1.5.1 Zagrożenia dla Implantów kardiologicznych

Na podstawie informacji otrzymanych dzięki uprzejmości przedstawicielstwa firmy Medtronic w Polsce potencjalnie istnieją następujące zagrożenia :

- Dla wszczepialnego rozrusznika serca (IPG) - zahamowanie stymulacji , rewersja lub stymulacja z wysoką częstością
- Dla wszczepialnego kardiowertera – defibrylatora (ICD) – zahamowanie stymulacji, terapia wysokoenergetyczna lub stymulacja z wysoką częstością
- Dla wszczepialnego monitora rytmu serca (ILR) – rejestracja fałszywego epizodu

Stałe pole magnetyczne DC :

- Dla wszczepialnego rozrusznika serca (IPG) – stymulacja w trybie asynchronicznym
- Dla wszczepialnego kardiowertera – defibrylatora (ICD) – zawieszenie detekcji arytmii , nie ma wpływu na stymulację
- Nie ma wpływu na pracę wszczepialnego monitora rytmu serca (ILR)

5.1.5.2 Zagrożenia dla pomp insulinowych

Na podstawie instrukcji obsługi Medtronic MiniMED™ 640G
Podręcznik użytkowania systemu

OSTRZEŻENIE:

Pompa nie powinna znajdować się w zasięgu pól magnetycznych; należy też unikać bezpośredniego kontaktu urządzenia z jakimikolwiek magnesami.

We wszelkich innych okolicznościach narażających pacjenta na działanie promieniowania należy zdjąć pompę, sensor, nadajnik i glukometr przed wejściem do pomieszczenia, w którym znajduje się sprzęt do tego typu badań.

Pole magnetyczne oraz promieniowanie w bezpośrednim sąsiedztwie tego typu urządzeń mogą spowodować nieprawidłowe działanie urządzeń lub uszkodzenie części pompy regulującej podawanie insuliny, prowadząc do przedawkowania insuliny i ostrej hipoglikemii
Wystawienie na działanie stałego pola magnetycznego może zakłócać pracę silnika pompy.

Wyładowanie elektrostatyczne

Choć konstrukcja pompy insulinowej MiniMed 640G powoduje, że jest ona odporna na wyładowania elektrostatyczne o typowej sile, bardzo silne wyładowania elektrostatyczne mogą spowodować wyzerowanie oprogramowania pompy i wygenerowanie alarmu informującego o tym fakcie. Po skasowaniu alarmu należy zawsze sprawdzić, czy w pompie ustawiona jest właściwa data i godzina, oraz czy pozostałe ustawienia są prawidłowo zaprogramowane — wyzerowanie oprogramowania może spowodować skasowanie zaprogramowanych wcześniej ustawień.

Na podstawie podręcznika użytkownika Pompy insulinowej Paradigm® Veo™

Wyładowanie elektrostatyczne

Konstrukcja pompy Paradigm sprawia, że jest ona odporna na wyładowania elektrostatyczne o typowej sile, jednak bardzo silne wyładowania elektrostatyczne mogą spowodować wyzerowanie oprogramowania pompy i wywołać w pompie alarm informujący o tym fakcie. W większości przypadków narażenie na silne wyładowania elektrostatyczne wywoła w pompie alarm A-13, jednak w niektórych okolicznościach może również wywołać alarmy A-44, „Bolus zatrzymany". lub „Max. Podawanie". Silne wyładowania elektrostatyczne są bardziej prawdopodobne w warunkach bardzo małej wilgotności względnej, np. w ogrzewanym budynku zimą, gdy temperatura powietrza na zewnątrz jest bardzo niska.

Jeśli pompa zgłasza alarm A-13 lub inny, należy nacisnąć przyciski **ESC** i **ACT**, aby skasować alarm. Jeśli skasowanie alarmu za pomocą przycisków **ESC** i **ACT** nie jest możliwe, konieczne może być wyjęcie baterii z pompy i włożenie jej z powrotem. Po skasowaniu alarmu należy zawsze sprawdzić, czy w pompie ustawiona jest właściwa data i godzina, oraz czy pozostałe ustawienia (dawka podstawowa, maks. dawka podstawowa, limity bolusa itp.) są prawidłowo zaprogramowane, ponieważ wyzerowanie oprogramowania może spowodować skasowanie zaprogramowanych wcześniej ustawień.

Zakłócenia radiowe

Typowe urządzenia elektroniczne powszechnego użytku, które emitują fale elektromagnetyczne w tym samym paśmie częstotliwości, co nadajnik MiniLink MMT-7703, mogą uniemożliwić odbieranie przez pompę informacji o stężeniu glukozy wysyłanych przez nadajnik. Większość telefonów komórkowych i bezprzewodowych telefonów korzystających z pasma 900 MHz może podczas nadawania lub odbioru powodować istotne zakłócenia komunikacji nadajnik-odbiornik. Istnieje prawdopodobieństwo, że inne urządzenia działające w podobnych zakresach częstotliwości będą powodować podobne skutki. Zakłócenia takie nie powodują przesyłania nieprawidłowych danych ani uszkodzenia nadajnika.

Rozwiązaniem może być wyłączenie urządzenia lub oddalenie się od urządzeń transmitujących fale radiowe

Problemy z komunikacją mogą powstać również wskutek zakłóceń spowodowanych przez telefony komórkowe. W testach przeprowadzonych z użyciem wielu różnych telefonów komórkowych wykazano, że używanie telefonu komórkowego w odległości poniżej 31 cm (12 cali) od urządzenia odbiorczego, nadajnika lub glukometru komunikującego się przy użyciu częstotliwości radiowej podczas przesyłania wartości pomiarów glukozy może zakłócać odbiór tych danych.

Siły pól od nadajników nie można dokładnie przewidzieć teoretycznie. Na rozprzestrzenianie się pól elektromagnetycznych wpływa ich absorpcja oraz odbijanie od konstrukcji, przedmiotów i osób

5.1.6 Zagrożenie toksycznymi gazami

Najważniejsze wskaźniki charakteryzujące stężenia gazów:

NDS - *najwyższe dopuszczalne stężenie*; wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń;
NDSCh - *najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe*; wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina;
NDSP - *najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe*, wartość stężenia, która ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie.

5.1.6.1 Ozonem

WARTOŚCI NAJWYŻSZYCH DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ

NDS: 0,15 mg/m^3
NDSCh: -
NDSP: -

METODY OZNACZANIA SUBSTANCJI W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY

PN-Z-04007-2:1994

Barwa: bezbarwny lub niebieskawy
Zapach: ostry, charakterystyczny
Gęstość gazu względem powietrza: **1,66**

Stężenia oraz dawki śmiertelne i toksyczne

TCL0 (człowiek, inhalacja) - 2 mg/m^3
LCL0 (człowiek, inhalacja) - 100 mg/m^3 (30 min)

Działanie toksyczne i inne szkodliwe działanie biologiczne na ustrój człowieka:
gaz bardzo toksyczny, drażniący, powodujący głównie uszkodzenie tkanki płucnej i naczyń włosowatych.
Drogi wchłaniania: drogi oddechowe.

5.1.6.2 Tlenkiem azotu

Jest to gaz bezbarwny i bezwonny słabo rozpuszczalny w wodzie. Do organizmu ludzkiego wprowadzany jest wraz z powietrzem do płuc, a następnie łączy się z hemoglobiną

WARTOŚCI NAJWYŻSZYCH DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ

NDS: 3,5 mg/m^3
NDSCh: 7 mg/m^3
NDSP: -

METODY OZNACZANIA SUBSTANCJI W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY

PN-Z-04009-11:2008 , PiMOŚP 2003, nr 4(38)
Barwa: bezbarwny
Zapach: ostry
Gęstość gazu względem powietrza: **1,04**

Stężenia oraz dawki śmiertelne i toksyczne

W stężeniu przekraczającym 70 mg/m^3 wywołuje kaszel, ból gardła, silne podrażnienie i ból błony śluzowej nosa i oczu. Przerwanie narażenia powoduje ustąpienie tych objawów; po 6-24 godzinach bez dolegliwości występuje ból ściskający w klatce piersiowej, duszność, ból i zawroty głowy, niepokój, obrzęk płuc, sinica, utrata przytomności - śmierć.
W stężeniach powyżej 120 mg/m^3 tlenek azotu wywołuje podobne objawy po 30-60 minutach.
W większych stężeniach - ponad 200 mg/m^3 - śmierć może nastąpić po krótkiej ekspozycji.
Drogi wchłaniania: drogi oddechowe.

5.1.6.3 Dwutlenkiem azotu

Barwa: czerwonobrunatna
Zapach: ostry, duszący

WARTOŚCI NAJWYŻSZYCH DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ

NDS: 0,7 mg/m^3
NDSCh: 1,5 mg/m^3
NDSP: -

METODY OZNACZANIA SUBSTANCJI W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY
PN-Z-04009-11:2008 , PN-Z-04317:2006 , PiMOŚP 2003, nr 4(38) ,PiMOŚP 2000, nr 3(25)

Gęstość gazu względem powietrza: **1,58**

Rozpuszczalność w wodzie: rozpuszcza się bardzo dobrze, z reakcją do mieszaniny kwasu azotawego i azotowego

Stężenia oraz dawki śmiertelne i toksyczne

LCL0 (człowiek, inhalacja) - 383 mg/m^3 (1 min)

Działanie toksyczne i inne szkodliwe działanie biologiczne na ustrój człowieka:

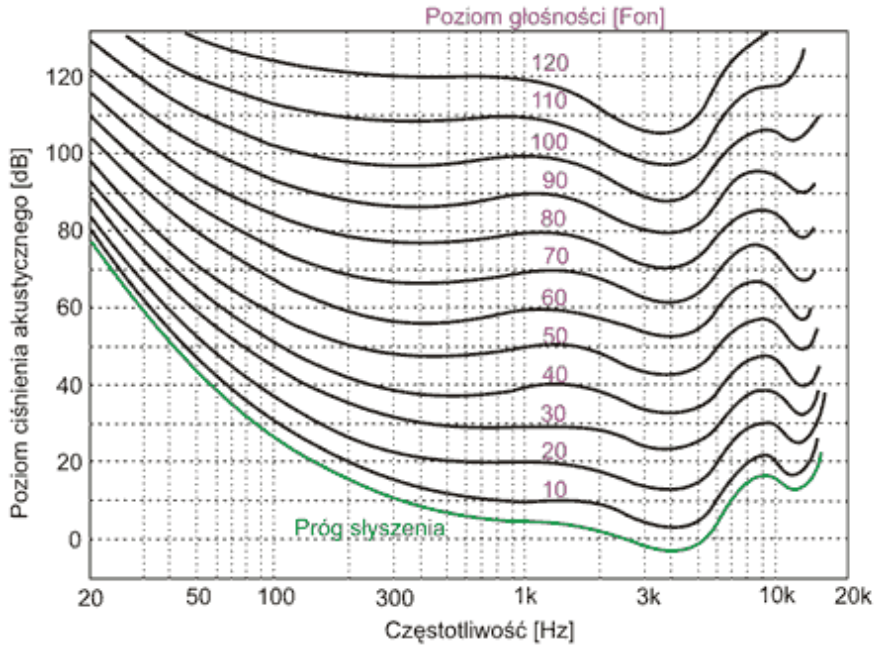
gaz bardzo toksyczny, drażniący i duszący.

Drogi wchłaniania: układ oddechowy.

5.1.7 Hałas, zagrożenie uszkodzeniem słuchu

Podczas pokazu wytwarzane są głośne dźwięki, które mogą być nieprzyjemne dla osób nadwrażliwych, a także dla małych dzieci.

Wrażenie słuchowe wywołane dźwiękiem zależy od jego częstotliwości i poziomu ciśnienia akustycznego. Na rys. 6 pokazano typowy zakres dźwięków słyszanych przez osoby o prawidłowym słuchu. Przedstawione na wykresie krzywe odpowiadają dźwiękom które postrzegane są jako mające tą samą głośność. Poziom głośności dźwięku wyrażany jest w fonach i jest liczbowo równy poziomowi ciśnienia akustycznego tonu o częstotliwości 1 kHz, który brzmi jednakowo głośno jak ten dźwięk.



Rys. 6. Zakres dźwięków słyszalnych - krzywe jednakowej głośności

Klasyfikacja hałasu:

- hałas o natężeniu poniżej 35 decybeli - brak znacznego szkodliwego działania na zdrowie człowieka, jednak może być denerwujący i utrudniać skupienie uwagi,

- hałas o natężeniu od 35 decybeli do 70 decybeli - działa negatywnie na ośrodkowy układ nerwowy, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia wydajności organizmu czy uczucia zmęczenia,

- hałas o natężeniu od 70 decybeli do 85 decybeli - jeśli jest trwały, powoduje obniżenie produktywności w pracy, może na stałe osłabić słuch, jest przyczyną bólów głowy, działa krzywdząco na układ nerwowy,

- hałas o natężeniu od 85 decybeli do 130 decybeli - w znaczny sposób uszkadza narząd słuchu i powoduje wiele różnych schorzeń innych układów (krwionośnego, nerwowego), może się przyczynić do zaburzeń równowagi, a nawet uniemożliwić czytelność i przystępność mowy,

- hałas o natężeniu od 130 decybeli do 150 decybeli - wywołuje drgania poszczególnych narządów wewnętrznych w organizmie ludzkim, uszkadzając je przy tym trwale, wywołując liczne schorzenia; przebywanie w takim hałasie wiąże się jednoznacznie z trwałym uszkodzeniem słuchu,

- hałas o natężeniu powyżej 150 decybeli - wystarczy niespełna 5 minut, by taki hałas sparaliżował organizm. Wywołuje mdłości i zaburzenia błędnika

Wpływ hałasu na zdrowie

Państwowa Inspekcja Pracy wymienia kilka pozasłuchowych skutków oddziaływania hałasu. Badania doświadczalne pokazują, że hałas o natężeniu powyżej 75 decybeli może powodować:

- nerwice,
- bóle głowy,
- pobudliwość,
- osłabiony czas reakcji,

- nadciśnienie tętnicze,
- choroba wrzodowa,
- choroby wzroku.

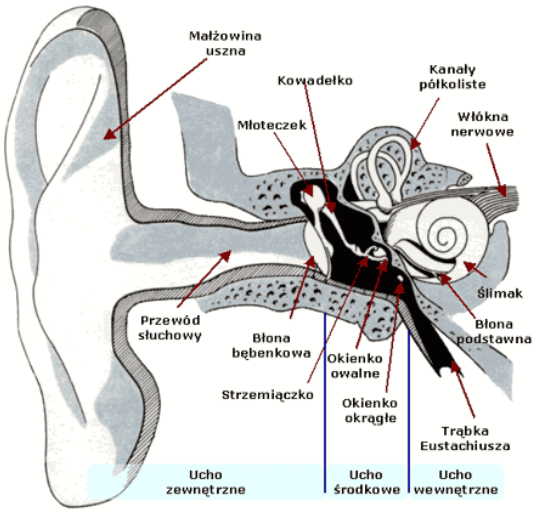
Nieprzyjemny i szkodliwy jest krótkotrwały, nieoczekiwany hałas impulsowy powyżej 90 dB oraz wąskopasmowy o wysokiej częstotliwości (powyżej 4000 Hz, np. pisk, syk).

Reakcja biologiczna i psychologiczna

na działanie hałasu jest częściowo odmienna u różnych ludzi w zależności od wieku, płci, nastawienia emocjonalnego. Problemami zwalczania hałasu zajmuje się akustyka techniczna, budowlana i urbanistyczna.

Wpływ hałasu na organizm człowieka

Negatywny wpływ hałasu na organizm człowieka dotyczy przede wszystkim narządu słuchu czyli ucha. Jest to narząd o bardzo złożonej budowie ale dzięki temu najsłabszy dźwięk słyszany przez człowieka posiada amplitudę 5 000 000 000 razy mniejszą od średniego ciśnienia atmosferycznego. Wychylenie błony bębenkowej jest wówczas porównywalne do wymiarów najmniejszych molekuł. Równocześnie człowiek jest w stanie tolerować ciśnienia dźwięku miliony razy większe.
Ucho ludzkie, którego budowę pokazano na rysunku można podzielić na trzy części: ucho zewnętrzne, ucho środkowe i ucho wewnętrzne.



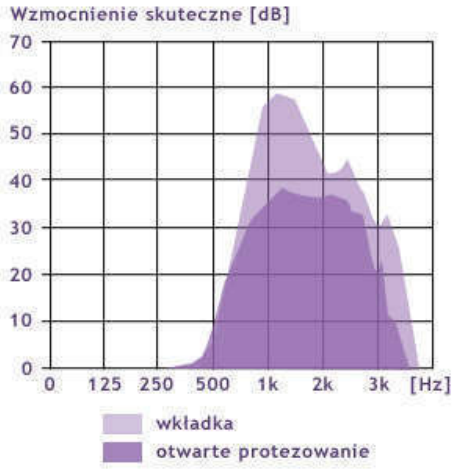
Kosteczki słuchowe są zawieszone za pomocą specjalnych mięśni w taki sposób, że może następować przesunięcie strzemiączka zmniejszające sprzężenie ucha środkowego z wewnętrznym jak również może następować ruch obrotowy strzemiączka przy silnym pobudzeniu błony bębenkowej. Zjawisko to nosi nazwę odruchu strzemiączkowego i zabezpiecza ucho wewnętrzne przed zbyt silnymi drganiami akustycznymi. Czas zadziałania tego mechanizmu wynosi około 150ms natomiast czas trwania to około 1,5 s.

***Nie chroni on zatem przed hałasem impulsowym*.**

Negatywny wpływ hałasu działającego w sposób ciągły na narząd słuchu może być ograniczony przez wspomniany już odruch strzemiączkowy. W przypadku hałasów impulsowych czas zadziałania tego odruchu jest zbyt duży i w konsekwencji energia akustyczna docierająca do ucha wewnętrznego nie zostaje ograniczona powodując szybsze uszkadzanie słuchu.
Hałasy o wysokich poziomach szczytowych, powyżej 130 dB, mogą powodować natychmiastowe uszkodzenie struktur anatomicznych narządu słuchu prowadzące do głuchoty.

Zagrożenia dla aparatów słuchowych

Aparaty słuchowe wzmacniają częstotliwości akustyczne wytwarzane przez pracujący transformator Tesli, co tylko pogarsza sytuację.



5.2 Zagrożenia dla urządzeń

Częstotliwości harmoniczne mające wpływ na wrażliwy sprzęt przeważnie mieszczą się w zakresie od 8 kHz do 100 MHz i więcej.
Silne pole elektryczne towarzyszące pokazom może zakłócać pracę ekranów dotykowych w telefonach komórkowych, tabletach i innych podobnych urządzeniach.

5.2.1 Uszkodzenia urządzeń elektronicznych

Uszkodzenie układów elektronicznych może spowodować impuls prądu elektrycznego o odpowiednio wysokim napięciu i energii mniejszej od milidżula (10^{-3} J), przy czym czas jego trwania nie musi przekraczać mikrosekundy (10^{-6} s).

Przepięcia w obwodach elektrycznych wywołują także przenikające je zewnętrzne, zmienne pola magnetyczne. Dotychczas uważano, że układy elektroniczne umieszczone w metalowej obudowie są skutecznie zabezpieczone przed działaniem zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Jednak badania wykazały, że nawet metalowa klatka Faradaya nie w pełni chroni aparaty przed wnikaniem impulsów fal elektromagnetycznych wielkiej częstotliwości. Źródłem impulsowych pól mogą być np. wyładowania atmosferyczne.

5.2.2 Zakłócenia wprowadzane do sieci zasilającej

Charakterystyczne dla Cewki Tesli jest przenoszenie zakłóceń wysokoczęstotliwościowych do sieci zasilającej. Transformacja napięcia o wyższych składowych harmonicznych przez układ zasilający może potencjalnie stanowić kolejne zagrożenie dla samego układu oraz znacznie pogorszyć parametry jakościowe energii. Istnieje również teoretyczna możliwość przeniesienia napięcia strony wtórnej Cewki Tesli na stronę pierwotną. Pojawienie się tak wysokiego napięcia po stronie pierwotnej Cewki Tesli (czyli stronie wtórnej układu zasilającego) skutkuje przebiciem izolacji układu zasilania.

Zakłócenia ściśle zależą od jakości wykonania oraz użytych elementów.
Przebieg napięcia jest sinusoidą . Silne odkształcenia występują w przebiegu prądu.

W szczycie napięcia powstaje mocna szpilka prądu o amplitudzie 5 do 10 wartości RMS.
Jeżeli napięcie sieci jest mniejsze od napięcia na kondensatorze prąd nie płynie. Po przekroczeniu tej wartości następuje gwałtowny pobór prądu i zostaje mocno odkształcony (zawiera dużą ilość harmonicznych). Cała energia zostaje pobrana w czasie 1/10 okresu.

Problem ten występuje w każdym układzie z mostkiem prostowniczym i kondensatorem. Rozwiązaniem jest zasilanie 3 fazowe (zamiast 2 szczytów napięcia mamy ich 6). Do filtracji wystarczy wtedy dobry dławik.

6. Sposoby zapobiegania zagrożeniom

Budując stanowisko musimy zapewnić bezpieczeństwo zarówno ludziom zwiedzającym wystawę, obsłudze jak i sąsiednim urządzeniom i instalacjom.

6.1 Zabezpieczenie przed porażeniem i poparzeniem

Urządzenia generują wysokie napięcia niebezpieczne dla zdrowia i życia.
Nie może istnieć możliwość wydostania się iskry poza obudowę szklanej konstrukcji (należy zapewnić akwarium odpowiednie wymiary)
Należy zapewnić ochronę przed włożeniem jakichkolwiek przedmiotu w obszar oddziaływania iskry elektrycznej.

Uniknięcie zagrożenia porażenia i poparzenia iskrą

- odizolowanie zwiedzających od generatora i iskry - zachowanie bezpiecznej odległości – należy uniemożliwić możliwość przekroczenia granicy wyznaczonej strefy bezpieczeństwa
- zastosowanie klatki zbierającej „zabłąkane” wyładowania
- sterowanie transformatorem przy pomocy światłowodu
- ukierunkowanie wyładowania w przewidywane miejsca – poprzez zastosowanie odpowiednio ustawionych ostrzy

Dobrą praktyką jest wyposażenie cewek w oddzielny wyłącznik zasilania sterownika i cewki mocy.

Przy wyłączaniu cewki najpierw odcinamy zasilanie mostka, potem sterownika – w ten sposób mamy pewność iż cewka rozładuje kondensatory zanim zostanie odstawiona. Istotne jest też dodawanie równolegle do pojemności filtrującej rezystora rozładowczego o wartości kilkunastu kiloomów. Daje on gwarancję, że nawet jeżeli po odcięciu zasilania w kondensatorze pozostanie ładunek, zostanie on w krótkim czasie usunięty.
Zarówno "duże" kondensatory elektrolityczne, jak i kondensatory wysokiego napięcia należy dotykać tylko gdy mamy pewność, że są rozładowane. A najlepiej - zanim zaczniemy manipulować przy cewce powinniśmy dla pewności rozładować kondensatory za pomocą rezystora wyposażonego w stosownie zaizolowany uchwyt. Uwaga - nie należy rozładowywać kondensatorów przez zwarcie! Uwolnienie w ten sposób energii jest bardzo gwałtowne i może nawet spowodować miniaturową eksplozję.

Należy także pamiętać o zjawisku absorpcji dielektrycznej - kondensator elektrolityczny który przez dłuższy czas był pod napięciem nawet po rozładowaniu może powoli odzyskać część ładunku. Dlatego wysokonapięciowe kondensatory elektrolityczne powinno przechowywać się ze zwartymi terminalami.

6.2 Zabezpieczenie przed szkodliwym oddziaływaniem pola elektromagnetycznego

6.2.1 Przed polem elektrycznym:

- ekranowanie klatką Faradaya dla niskich częstotliwości
- ekranowanie szybami metalizowanymi dla wysokich częstotliwości

6.2.2 Przed polem magnetycznym

- poprzez ekranowanie oraz
- zachowanie odpowiedniej odległości widzów od źródła - zapewni odpowiednio niskie wartości natężenia pola magnetycznego.

Choć od promieniowania, teoretycznie rzecz ujmując, można się do pewnego stopnia izolować (klatki Faradaya), nie jest to jednak praktycznie możliwe w przypadku pól magnetycznych o bardzo niskiej częstotliwości.

Ekranujemy źródło zakłóceń. Potrzeba ekranowania wynika z potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa ludziom i urządzeniom wykorzystywanym w Planetarium Śląskim (po rozbudowie).
Chronieni mają być wszyscy zwiedzający w szczególności osoby niepełnosprawne w tym osoby korzystające z aparatów słuchowych, posiadający wbudowane implanty wysokoenergetyczne, urządzenia medyczne (np. pompy insulinowe).
Powinni być chronieni przed zagrażającym ich życiu wysokim napięciem, temperaturą, promieniowaniem elektromagnetycznym, polem elektrycznym i magnetycznym.

Konstrukcja musi przenieść obciążenie mechaniczne wynikające z zawieszeniem na niej generatora Tesli o ciężarze ok.26 kg oraz obciążenia elektrodynamiczne od uderzenia wyładowania elektrycznego o napięciu do 4 mln Volt.

6.2.3 Ocena stopnia zagrożenia wykonana przez kardiologa, specjalistę od implantów kardiologicznych

Częstotliwości mogące zagrozić funkcjonowaniu implantów to częstotliwości od 0 do 50 Hz które mogą synchronizować pracę implantów (wpadać w rezonans). Przy częstotliwościach wyższych zadziała filtr wmontowany w urządzenie. Współczesne stymulatory wyposażone są w filtry zmniejszające ryzyko interferencji elektromagnetycznych (feedthru filters)

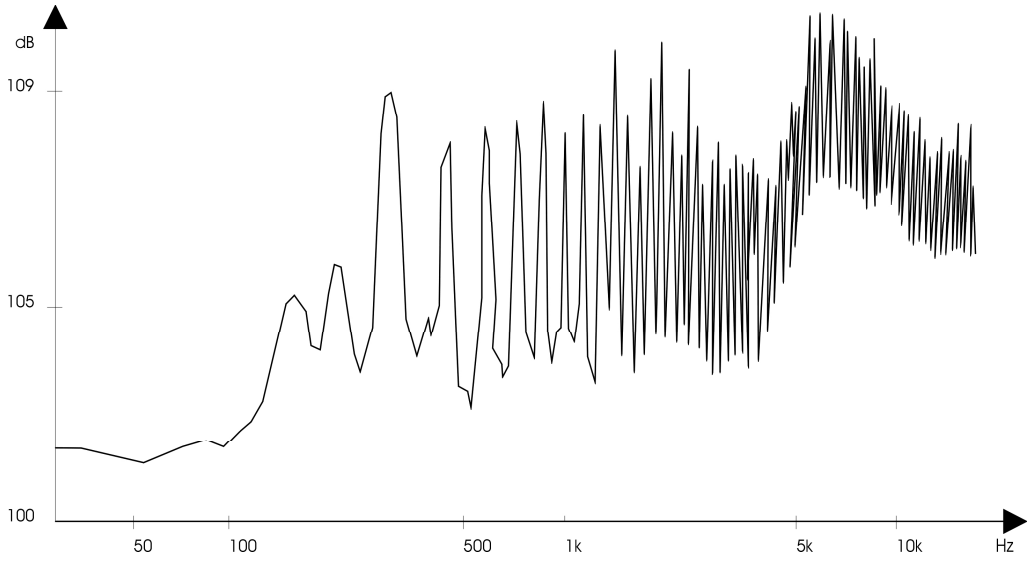
Zgodnie z opinią otrzymaną od kardiologa stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych jest bezpieczne dla pacjentów z wszczepionymi kardioimplantami.

6.3 Zabezpieczenie przed szkodliwym działaniem gazów

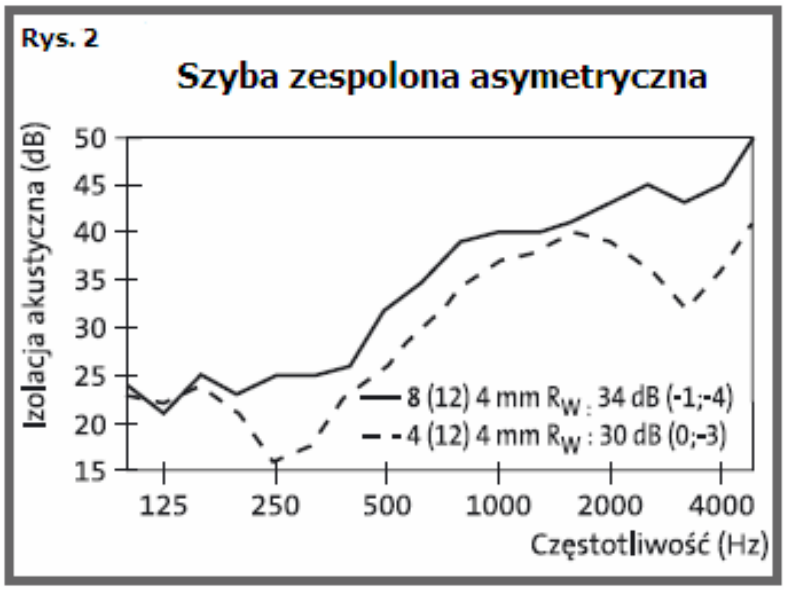
Nie wolno dopuścić do przedostania się trujących gazów do przestrzeni w której mogą przebywać zwiedzający.
Oddzielenie przestrzeni szczelnym akwarium oraz zastosowanie odpowiednio zaprojektowanego systemu wentylacji usuwającego gaz na zewnątrz budynku zabezpieczy zwiedzających przed szkodliwymi stężeniami wytwarzanych gazów.

6.4 Zabezpieczenie przed nadmiernym hałasem

Zbyt wysokie natężenie dźwięku będzie tłumione przez szyby akwarium.
Możliwe że konieczne będzie wykonanie dodatkowego wygłuszenia ścian otaczających pomieszczenie ze stanowiskiem dla ochrony przed dźwiękiem odbitym (a przez to wzmocnionym przez ściany)



Częstotliwości akustyczne generowane przez cewkę Tesli



Częstotliwości dźwięku tłumione przez szybę

Stłumienie spowoduje przesunięcie najgłośniejszych dźwięków w rejon niższych częstotliwości, co bardziej upodobni odgłos do dźwięku pioruna.
Naturalny piorun generuje dźwięki o niskich częstotliwościach aż do zakresu infradźwięków.
Szyby powinny zapewniać izolacje akustyczną zapewniającą ochronę przed dźwiękiem o głośności powyżej 85 dB.

Jeżeli po wykonaniu stanowiska w gotowym obiekcie okaże się że wzmacnianie dźwięku poprzez odbijanie od ścian pomieszczenia spowoduje ich wzmocnienie i przekroczenie granicznych wartości możliwe jest zmniejszenie jego poziomu przez wytłumienie ścian wokół stanowiska.

Proces wygłuszania pomieszczenia składa się z kombinacji czterech różnych działań:

1. Zwiększanie masy
2. Tłumienie
3. Rozdzielanie
4. Wypełnianie luk powietrznych

W tym celu stosowane są pochłaniacze i dyfuzory stanowią barierę dla niechcianego hałasu

W celu wygłuszenia można stosować :

- maty wygłuszające
- panele akustyczne z płyt MDF.
- specjalnie obciążoną folię - Sheetblock - aby zwiększyć masę ścian lub elementów *istniejącego* już pomieszczenia
- panele szerokopasmowe - skuteczność jest oparta na zastosowaniu odpowiedniego materiału pochłaniającego, najczęściej wysokiej klasy wełny skalnej oraz sprasowana pianki

Materiały użyte do poprawy akustyki powinny być wykonane w wersji trudnopalnej, posiadające atest PZH, P-POŻ i badania akustyczne.

Dopuszczalny poziom hałasu

Zgodnie z polskimi prawem najwyższe dopuszczalne natężenie w środowisku dźwięku typu A wynosi 115 decybeli, a szczytowy poziom dźwięku C 135 decybeli.

Państwowa Inspekcja Pracy informuje, że pracodawca **musi** podjąć działania, gdy ekspozycja na hałas w ośmiogodzinnym dobowym wymiarze czasu pracy **wynosi 85 decybeli.**

6.4.1 Zabezpieczenie przed uszkodzeniem aparatów słuchowych

Producenci aparatów słuchowych w instrukcjach eksploatacji swoich urządzeń wymagają wyłączenia tych urządzeń w przypadku dużych pól elektromagnetycznych i źródeł dużego natężenia dźwięku

Wyciąg z instrukcji producenta aparatu słuchowego(Producent: PHONAK AG www.phonak.com CH-8712 Stäfa, Laubisrütistrasse 28 Szwajcaria) :

„Zalecamy, aby przed badaniem zdjąć aparat i pozostawić go na zewnątrz pomieszczenia ”

Przy stanowisku powinna zostać wywieszona tabliczka z prośbą (ostrzeżeniem) o wyłączenie aparatów słuchowych

Organizujący wystawę musi przewidzieć miejsce do przechowywania urządzeń pozostawionych przez zwiedzających.

6.5 Zabezpieczenie przed uszkodzeniami mechanicznymi spowodowanymi przez zwiedzających

- Barierki odgradzające zwiedzających od bezpośredniego kontaktu z szybami (napierający tłum),
- Szyby bezpieczne (klejone) – jeżeli doszłoby do rozbicia kawałki szkła pozostaną w ramie nie powodując ran u zwiedzających
- Uniemożliwienie zwiedzającym nieprzewidywanych niebezpiecznych działań np. próby włożenia parasolki pomiędzy kraty - uniemożliwi to oddzielenie zwiedzających szybą od klatki.

6.6 Zabezpieczenie przed uszkodzeniem innych urządzeń oraz zakłócaniem ich pracy

Działanie transformatora może zakłócić pracę innych urządzeń w budynku Planetarium.

Najbardziej podatne na uszkodzenia są urządzenia które byłyby wpięte w ten sam obwód co Tesla. Generator Tesli powinny być instalowane w jak największej odległości od zagęszczenia kabli elektrycznych, instalacji elektrycznych i linii napowietrznych oraz instalacji antenowych. Czym mniej kabli w pobliżu tym mniejsze ryzyko uszkodzenia sprzętu elektronicznego.

6.6.1 Zagrożenia polem elektromagnetycznym (elektrycznym i magnetycznym)

Ochrona realizowana jest przez stosowanie ekranowania źródła zakłócenia jakim jest transformator Tesli.
Stosujemy te same środki, które zmniejszają natężenie emitowanych pól do wartości nieszkodliwych dla czułych implantów wysokoenergetycznych.
Niektóre niestandardowe urządzenia mogą wymagać stosowania środków ochrony indywidualnej.

6.6.2 Ochrona przed przepięciami

Typowe ochronniki przepięciowe wykazują zdolność pochłaniania impulsów o większej energii niż generowane przez cewkę.

.

6.6.3 Minimalizacja zniekształceń wprowadzanych do sieci zasilającej

Transformator Tesli należy zasilać z oddzielnego niezależnego obwodu elektrycznego. Występujące zniekształcenia prądowe można zmniejszyć przez zastosowanie zasilania trójfazowego oraz odpowiednio dobranego dławika stanowiącego filtr przeciwzakłóceniowy. Należy go dobierać indywidualnie dla konkretnego urządzenia.

6.6.3.1 Uziemianie i ekranowanie

Prawidłowe uziemianie i ekranowanie to najtańsze i najskuteczniejsze metody ograniczania zaburzeń EMI w systemie. W pełni uziemiony system to taki, w którym występuje prawidłowy przewód uziemiający zapewniający bezpośrednią ścieżkę o niskiej impedancji dla odprowadzania zaburzeń wspólnych asymetrycznych. Wszystkie punkty uziemienia powinny mieć dużą powierzchnię, aby nie wnosić dodatkowej rezystancji dla odprowadzania zaburzeń.

Przewód typu plecionka jest więc najlepszą opcją dla uziemiania w celach redukcji zakłóceń. Uziemiające plecionki płaskie dobrze nadają się do łączenia urządzeń będących źródłami zaburzeń, ze śrubowymi zaciskami uziemiającymi. Dobrą praktyką jest także użycie jak najkrótszych plecionek. Zwiększenie powierzchni ścieżki przewodzącej jest ważniejsze od zwiększania przekroju przewodu uziemiającego. Ponieważ prądy EMI o wysokiej częstotliwości płyną po powierzchni przewodów, większa powierzchnia tych przewodów daje lepszą ścieżkę dla odprowadzania zaburzeń do ziemi. Oznacza to, że plecionki wykonane z cienkich drutów są lepsze od przewodów jednodrutowych, ponieważ mają większą powierzchnię przewodzącą .

W przypadku źródeł o bardzo wysokiej częstotliwości, czyli powyżej 1 MHz, uziemić ekran należy po obu końcach przewodu/kabla.

Uziemienie w jednym punkcie centralnym redukuje możliwość powstawania prądowych pętli uziemienia, co może wystąpić, gdy dwa punkty uziemiające lub więcej mają lekko różniące się potencjały. Może to spowodować przepływ dużych prądów w sieci uziemienia i powstawanie większych sprzężeń magnetycznych z przewodami i kablami. Czasami nieekranowany przewód/kabel może generować mniej zakłóceń niż ekranowany i uziemiony po obu końcach, jeżeli występuje tam znacząca pętla uziemienia.

6.6.3.2 Usuwanie i ograniczanie zaburzeń EMI

Możliwym i najczęstszym źródłem zaburzeń EMI są przewody i kable. Na zmniejszenie zaburzeń może więc wpłynąć separacja przewodów i kabli zasilających od sygnałowych oraz użycie przewodów skręconych (skrętek) i skracanie długości przewodów/kabli. Do redukcji zaburzeń EMI można też wykorzystać wiele innych technik integracji oraz instalacji przewodów i kabli.

6.7 Zabezpieczenie przed korozją

Ozon, tlenki azotu mają wpływ na żywotność elementów metalowych i powodują zwiększenie tempa ich korozyjności.

Dwutlenek azotu ma silne właściwości utleniające – utlenia wiele metali przejściowych, np. żelazo i miedź, tworząc odpowiednie tlenki tych metali i tlenek azotu (NO).

Główną metodą ochrony antykorozyjnej będzie szybkie usuwanie gazów z pomieszczenia poprzez system wentylacyjny oraz zabezpieczenie antykorozyjne prętów i spawów

Należy wykonywać coroczny przegląd pod katem sprawdzenia zabezpieczenia antykorozyjnego ponieważ wyładowanie może wypalić otwór w powłokach zabezpieczających.

7. Przepisy

7.1 Przepisy dot. dopuszczalnych natężeń dźwięku (hałasu)

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie wartości dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.
2. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy I Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy
3. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku

Obowiązuje Polska Norma dotycząca hałasu:
PN-N-01307:1994 – Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.

Hałas

Hałas w środowisku pracy jest charakteryzowany przez:
a) poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy i odpowiadającą mu ekspozycję dzienną lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. - Kodeks pracy i odpowiadającą mu ekspozycję tygodniową (wyjątkowo w przypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
b) maksymalny poziom dźwięku A,
c) szczytowy poziom dźwięku C.
1.2. Dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu wartości hałasu obowiązują jednocześnie i nie mogą przekraczać wartości podanych w pkt. 1.3-1.5.
1.3. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy nie może przekraczać 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja dzienna

nie może przekraczać wartości 3,64 x 10^3 Pa^2 x s lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. - Kodeks pracy, nie może przekraczać wartości 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa nie może przekraczać wartości 18,2 x 10^3 Pa^2 x s.

1.4. Maksymalny poziom dźwięku A nie może przekraczać wartości 115 dB.

1.5. Szczytowy poziom dźwięku C nie może przekraczać wartości 135 dB.

1.6. Wartości podane w pkt. 1.3-1.5 stosuje się, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych.

1.7. Definicje pojęć i metody pomiaru hałasu określają Polskie Normy.

7.2 Przepisy dot. pól elektromagnetycznych

W związku z tym, że stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych nie będzie posiadało stałej obsługi nie bierzemy pod uwagę przepisów dotyczących zagrożeń występujących na stanowisku pracy.

Obowiązują nas przepisy dotyczące ogółu ludności a więc przepisy dotyczące dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz.U. nr 192, poz. 1883) – polskie przepisy zawarte w rozporządzeniu ministra środowiska z dnia 30 października 2003r (interpretacja zgodna ze stanowiskiem Instytutu Ochrony Pracy).

Załączniki do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. (poz. 1883)

Załącznik nr 1

ZRÓŻNICOWANE DOPUSZCZALNE POZIOMY PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Tabela 1

Zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych, dla których określa się parametry fizyczne charakteryzujące oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko, dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową oraz dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową

Parametr fizyczny / Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego		Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
	1	2	3	4
1	50 Hz	1 kV/m	60 A/m	—

Objaśnienia:

a) 50 Hz — częstotliwość sieci elektroenergetycznej,

b) podane w kolumnach 2 i 3 tabeli wartości graniczne parametrów fizycznych charakteryzujących oddziaływanie pól elektromagnetycznych odpowiadają wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych i magnetycznych.

Tabela 2
Zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych, dla których określa się parametry fizyczne charakteryzujące oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko, dla miejsc dostępnych dla ludności oraz dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla miejsc dostępnych dla ludności

Parametr fizyczny / Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego		Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
	1	2	3	4
1	0 Hz	10 kV/m	2 500 A/m	—
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	—	2 500 A/m	—
3	od 0,5 Hz do 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	—
4	od 0,05 kHz do 1 kHz	—	3/f A/m	—
5	od 0,001 MHz do 3 MHz	20 V/m	3 A/m	—
6	od 3 MHz do 300 MHz	7 V/m	—	—
7	od 300 MHz do 300 GHz	7 V/m	—	0,1 W/m^2

Objaśnienia:

Podane w kolumnach 2 i 3 tabeli wartości graniczne parametrów fizycznych charakteryzujących oddziaływanie pól elektromagnetycznych odpowiadają:

a) wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości do 3 MHz, podanym z dokładnością do jednego miejsca znaczącego,

b) wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych o częstotliwości od 3 MHz do 300 MHz, podanym z dokładnością do jednego miejsca znaczącego,

c) wartości średniej gęstości mocy dla pól elektromagnetycznych o częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz lub wartościom skutecznym dla pól elektrycznych o częstotliwościach z tego zakresu częstotliwości, podanej z dokładnością do jednego miejsca znaczącego po przecinku,

d) f — częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie 1,

e) 50 Hz — częstotliwość sieci elektroenergetycznej.

Załącznik nr 2

METODY SPRAWDZANIA DOTRZYMANIA DOPUSZCZALNYCH POZIOMÓW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH W ŚRODOWISKU

1. Sprawdzenia dotrzymania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku dokonuje się metodą pomiaru pól elektromagnetycznych w środowisku w otoczeniu instalacji wytwarzających takie pola i porównując otrzymane wyniki pomiarów z wartościami dopuszczalnymi parametrów fizycznych pól elektromagnetycznych określonymi w załączniku nr 1 do rozporządzenia.

2. Pomiary poziomów pól elektromagnetycznych wykonuje się:

1) bezpośrednio po pierwszym uruchomieniu instalacji;

2) każdorazowo w razie zmiany warunków pracy instalacji, o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest ta instalacja.

3. W otoczeniu instalacji wytwarzającej pola elektromagnetyczne sprawdzenia występowania pola elektromagnetycznego o dopuszczalnych wartościach parametrów fizycznych dokonuje się:

1) dla instalacji wytwarzających pola elektromagnetyczne o częstotliwości 0 Hz — na podstawie wartości składowych elektrycznej i magnetycznej pola;

2) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 0,5 Hz — na podstawie wartości składowej magnetycznej pola;

3) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 50 Hz — na podstawie wartości składowych elektrycznej i magnetycznej pola;

4) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 0,05 kHz do 1 kHz — na podstawie wartości składowej magnetycznej pola;

5) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 0,001 MHz do 3 MHz — na podstawie większej wartości składowej elektrycznej i składowej magnetycznej pola;

6) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 3 MHz do 300 MHz — na podstawie wartości składowej elektrycznej pola;

7) dla instalacji wytwarzających pola eketromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz — na podstawie gęstości mocy albo wartości składowej elektrycznej pola;

8) na podstawie wartości średniej gęstości mocy, wyznaczonej zgodnie z ust. 27—31 niniejszego załącznika, odpowiednio do rodzaju instalacji, jeżeli instalacje radiolokacyjne pracują w zakresie częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz.

4. Pomiary pól elektromagnetycznych należy wykonywać przy dobrej pogodzie, w temperaturze nie niższej niż 0° Celsjusza, przy wilgotności względnej nie większej niż 75 %, bez opadów atmosferycznych.

5. Pomiary przeprowadza się w szczególności w tych miejscach, w których, na podstawie uprzednio przeprowadzonych obliczeń, stwierdzono występowanie pól elektromagnetycznych o poziomach zbliżonych do poziomów dopuszczalnych.

6. Przy pomiarach pól elektromagnetycznych uwzględnia się poprawki pomiarowe, umożliwiające uwzględnienie parametrów pracy instalacji wytwarzających te pola najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia oddziaływania na środowisko.

7. Pomiary poziomów pól elektromagnetycznych w otoczeniu instalacji radiokomunikacyjnych, radionawigacyjnych oraz radiolokacyjnych wykonuje się w sposób umożliwiający:

1) wyznaczenie miejsc występowania pól elektromagnetycznych o poziomach dopuszczalnych;

2) wyznaczenie granic obszarów ograniczonego użytkowania.

8. Jeżeli w otoczeniu instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika występuje pole elektromagnetyczne wytworzone przez kilka instalacji niepracujących równocześnie, zasięg występowania pól elektromagnetycznych o poziomach dopuszczalnych wyznacza się dla instalacji albo grupy instalacji wytwarzających pola elektromagnetyczne o poziomach najwyższych.

9. Pomiary w otoczeniu instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika wykonuje się podczas pracy wszystkich urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w danym zakresie częstotliwości, wymienionym w kolumnie pierwszej tabeli 1 i tabeli 2 załącznika nr 1 do rozporządzenia, w warunkach odpowiadających charakterystykom eksploatacyjnym tych urządzeń; w przypadku możliwości eksploatacji w kilku rodzajach pracy — pomiary należy wykonać przy tym rodzaju pracy, przy którym występują pola elektromagnetyczne o najwyższym poziomie.

10. Pomiary w otoczeniu instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika wykonuje się w punktach i pionach pomiarowych; pionem pomiarowym jest linia pionowa, wzdłuż której przemieszczana jest sonda aparatury pomiarowej w celu znalezienia maksymalnych lub dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych.

11. Pomiary w otoczeniu instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika, w przyjętych pionach pomiarowych, wykonuje się w punktach pomiarowych położonych na wysokościach od 0,3 m do 2 m nad powierzchnią ziemi albo nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie, przyjmując za wynik pomiaru maksymalny poziom pól elektromagnetycznych; w pobliżu urządzeń, obiektów i elementów metalowych pomiary należy wykonywać w odległości nie mniejszej niż 0,3 m od tych urządzeń, obiektów i elementów metalowych.

12. Pomiary w otoczeniu instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika, w punktach i pionach pomiarowych, wykonuje się wzdłuż głównych oraz pomocniczych kierunków pomiarowych:

1) główne kierunki pomiarowe ustala się wzdłuż kierunku maksymalnego zasięgu oddziaływania pól elektromagnetycznych oraz wzdłuż linii prostych łączących urządzenie nadawcze z najbliższymi osiedlami i wolno stojącymi budynkami mieszkalnymi;

2) pomocnicze kierunki pomiarowe ustala się przy uwzględnieniu lokalizacji instalacji wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika, warunków terenowych występujących na obszarach je otaczających oraz parametrów technicznych zainstalowanych urządzeń.

13. Pomiary poziomów pól elektromagnetycznych należy przeprowadzać w dodatkowych pionach pomiarowych w budynkach mieszkalnych oraz na balkonach i tarasach, na których mogą przebywać ludzie.

14. Pomiary wymienione w ust. 13 niniejszego załącznika, w dodatkowych pionach pomiarowych, w pomieszczeniach budynków znajdujących się w otoczeniu obiektów i urządzeń, wymienionych w ust. 7 niniejszego załącznika, wykonuje się:

1) w środku pomieszczenia — na wysokości od 0,3 m do 2 m nad poziomem podłogi;

2) w płaszczyźnie otworów okiennych znajdujących się od strony źródła pól elektromagnetycznych;

3) w odległości nie mniejszej niż 0,3 m od:

a) instalacji telefonicznych,

b) wyłączonych odbiorników radiowych i telewizyjnych,

Załącznik nr 3

METODY WYZNACZANIA DOTRZYMANIA DOPUSZCZALNYCH POZIOMÓW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH, JEŻELI W ŚRODOWISKU WYSTĘPUJĄ POLA ELEKTROMAGNETYCZNE Z RÓŻNYCH ZAKRESÓW CZĘSTOTLIWOŚCI

1. Jeżeli instalacje pracują w różnych zakresach częstotliwości, spośród określonych w kolumnie 1 tabeli 1 i kolumnie 1 tabeli 2 zawartych w załączniku nr 1 do rozporządzenia, to wyznaczenia poziomów pól elektromagnetycznych o wartościach wyższych od dopuszczalnych dokonuje się, korzystając ze wzoru:

$$W = \left(\frac{H}{H_g}\right)^2 + \left(\frac{E}{E_g}\right)^2 + \frac{S}{S_g}$$

gdzie:

W — wartość wskaźnikowa zasięgu występowania pól elektromagnetycznych o wartościach wyższych od dopuszczalnych,

H, E, S — zmierzone lub wyznaczone wartości wypadkowe, odpowiednio natężeń pól magnetycznych, elektrycznych oraz gęstości mocy w poszczególnych zakresach częstotliwości, podanych w kolumnie 1 tabeli 1 i kolumnie 1 tabeli 2 załącznika nr 1 do rozporządzenia,

H_g, E_g, S_g — dopuszczalne poziomy, odpowiednio natężeń pól magnetycznych, pól elektrycznych oraz gęstości mocy pola w poszczególnych zakresach częstotliwości, podanych w kolumnach 2, 3 i 4 tabeli 1 i tabeli 2 załącznika nr 1 do rozporządzenia.

2. Odległość od wytwarzającej pola elektromagnetyczne instalacji, dla której W = 1, określa granicę występowania pola elektromagnetycznego o wartości dopuszczalnej. Odległości, dla których W < 1, określają obszar, na którym nie występują pola elektromagnetyczne o poziomach wyższych od dopuszczalnych.

3. Jeżeli wartość jednego ze składników sumy z ust. 1 niniejszego załącznika jest mniejsza niż 5 % sumy pozostałych składników, to w wyznaczaniu zasięgu występowania pól elektromagnetycznych o wartościach dopuszczalnych składnika tego nie uwzględnia się.

Możliwość obecności wśród zwiedzających osób z implantami medycznymi wymusza na nas konieczność zbadania wpływu pól wytwarzanych przez transformator Tesli na działanie i oprogramowanie tych urządzeń

Jedyną normą która omawia wpływ pól na działanie implantów medycznych jest norma **PN-EN 50527 -1:2017- 01** wersja angielska, omawiająca procedurę oceny ekspozycji na pola elektromagnetyczne pracowników z wszczepionymi aktywnymi urządzeniami medycznymi – [Część 1 – Wymagania ogólne] dla stymulatorów serca (EN 45502-2-1), implantowanych kardiowerterów-defibrylatorów (EN 45502-2-2), implantów ślimakowych (EN 45502-2-3), implantowane neurostymulatorów (ISO 14708-3), implantowanych pomp infuzyjnych (ISO 14708-4).

PN-EN 50527-1:2017-01 wersja angielska

Zakres stosowania normy

Norma Europejska określa procedurę oceny ryzyka pracowników z implantowanymi, jednym lub więcej, aktywnymi urządzeniami, medycznymi, eksponowanych w miejscu pracy na pola elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne. Opisuje ona, jak powinna być wykonana ogólna ocena ryzyka i określa, czy konieczne jest

przeprowadzenie oceny szczegółowej. Ryzyko ekspozycji ludzi na EMF rozpatrywane jest w odniesieniu do nieprawidłowego działania AIMD. Częstotliwości objęte normą zawierają się w granicach od 0 Hz do 300 GHz.

Norma informuje, że spełnienie limitów norm środowiskowych oznacza brak zakłócenia pracy implantów.

Dyrektywa 90/385 / EWG ze zmianami obejmuje swą regulacją implantowane aktywne urządzenia medyczne (AIMD). Różne rodzaje AIMD to np. stymulator serca (EN 45502-2-1), implantowane kardiowertery-defibrylatory (EN 45502-2-2), implanty ślimakowe (EN 45502-2-3), implantowane neurostymulatory (ISO 14708-3), implantowane pompy infuzyjne (ISO 14708-4).

Ponieważ nie ma innych norm dotyczących wrażliwości implantowanych urządzeń medycznych na pola elektromagnetyczne skorzystaliśmy z uprzejmości przedstawiciela amerykańskiej firmy Medtronic, która udostępniła nam swoje badania dotyczące zgodności elektromagnetycznej (EMC) oraz zakłóceń elektro-magnetycznych (EMI) dla wszczepialnego rozrusznika serca, wszczepialnego kardiowertera- defibrylatora, wszczepialnego monitora rytmu serca oraz spełnienia wymagań dla pomp insulinowych umieszczonych w instrukcji obsługi (systemy Pompa Paradigm Veo, Pompa_insulinowa 640 IFU] – tekst angielski i tłumaczenie przysięgłe z języka angielskiego w załączeniu.

Dane udostępnione nam prze firmę Medtronic

Wartości progowe dla pola elektromagnetycznego implantów:

Źródła EMI	Maksymalna wartość natężenia pola
stałe pole magnetyczne	5 Gaussów
modulowane pole magnetyczne do 10 kHz	80 A/m (1 Gauss)
modulowane pole magnetyczne powyżej 10 kHz	1 A/m
pole elektryczne (50-60 Hz) źródła mocy	6 kV/m
wysoka częstotliwość (150 kHz u więcej)	100 V/m

Odporność elektromagnetyczna dla pomp insulinowych:

System pompy Paradigm 554/754

Pole magnetyczne o częstotliwości sieci zasilającej (50/60 Hz) – 3 A/m

Pole elektryczne (80 MHz do 6 GHz) – 10 V/m

Pompa insulinowa MiniMed 640G

Pole magnetyczne o częstotliwości sieci zasilającej (50/60 Hz)

Pole ciągłe przy 60 sekundach – 400 A/m

Krótkotrwałe przy 3 sekundach – 4000 A/m

Instrukcja zaznacza jednak, że pompę taką należy **wyłączyć przed wejściem** w zasięg jakiegokolwiek pola elektromagnetycznego.

IEC Nr 60601-1-2 Medyczne urządzenia elektryczne -- Część 1-12: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego.
Norma uzupełniająca: Wymagania dotyczące medycznych urządzeń elektrycznych i medycznych systemów elektrycznych przeznaczonych do stosowania w środowisku działania medycznych służb ratowniczych

Norma europejska, dotycząca ochrony sprzętu elektromedycznego pochodzi z 1993 roku, a jej drugie wydanie opracowane zostało w 2001 roku . Podane tam warunki odporności sprzętu elektromedycznego w polu elektromagnetycznym są następujące: urządzenia ratujące czy podtrzymujące życie ludzkie mają być odporne na działanie pola elektromagnetycznego, którego składowa elektryczna nie przekracza 10 V/m w zakresie częstotliwości 80 MHz - 2,5 GHz. Dla grupy urządzeń, których działanie nie jest bezpośrednio związane z utrzymaniem życia wartość ta wynosi 3 V/m.

7.2.1 Przepisy dot. pola elektromagnetycznego (PEM)

- **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r.** *w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów* (Dz. U. Nr 192 z 14.11.2003 r., poz. 1883).
- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r.** *w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE* (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej
- **PN-74/T-06260** *Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze.*

7.3 Przepisy dot. dopuszczalnych stężeń gazów

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu

W § 1 Rozporządzenie określa m.in. alarmowe poziomy dla niektórych substancji w powietrzu, których nawet krótkotrwałe przekroczenie może powodować zagrożenie dla zdrowia ludzi

Załącznik nr 4

POZIOMY ALARMOWE DLA NIEKTÓRYCH SUBSTANCJI W POWIETRZU, OZNACZENIE NUMERYCZNE TYCH SUBSTANCJI ORAZ OKRESY, DLA KTÓRYCH UŚREDNIA SIĘ WYNIKI POMIARÓW

Lp.	Nazwa substancji (numer CAS)[a)]	Okres uśredniania wyników pomiarów	Poziom alarmowy dla niektórych substancji w powietrzu w $\mu g/m^3$
1	2	3	4
1	dwutlenek azotu (10102-44-0)	jedna godzina	400[b)]
3	Ozon (10028-15-6)	jedna godzina	240[b)]

Objaśnienia:
a) Oznaczenie numeryczne substancji wg Chemical Abstracts Service Registry Number
b) Wartość występująca przez trzy kolejne godziny w punktach pomiarowych reprezentujących jakość powietrza na obszarze o powierzchni co najmniej 100 km2 albo na obszarze strefy zależnie od tego, który z tych obszarów jest mniejszy

Obwieszczenie Ministra rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 czerwca 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

Na podstawie art. 16 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2000 r. o ogłaszaniu aktów normatywnych i niektórych innych aktów prawnych (Dz.U. z 2016 r. poz. 296 i 1579 oraz z 2017 r. poz. 1139) ogłasza się w załączniku do niniejszego obwieszczenia jednolity tekst rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników

szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 817),z uwzględnieniem zmian wprowadzonych:
1) rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r.
Zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. poz. 944);
2) rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27czerwca 2016 r.
Zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. poz. 952).

§ 1. 1. Ustala się wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, określone w wykazie stanowiącym załącznik nr 1 do rozporządzenia.

§ 1.2. Ustala się wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, określone w wykazie stanowiącym załącznik nr 2 do rozporządzenia.

§ 3. Wartości, o których mowa w § 1 ust. 2, określają najwyższe dopuszczalne natężenia fizycznego czynnika szkodliwego dla zdrowia ustalone jako poziomy ekspozycji odpowiednio do właściwości poszczególnych czynników, których oddziaływanie na pracownika w okresie jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń

Załączniki do rozporządzenia Ministra Pracy
i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r.

Załącznik nr 1

WYKAZ WARTOŚCI NAJWYŻSZYCH DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ CHEMICZNYCH I PYŁOWYCH CZYNNIKÓW SZKODLIWYCH DLA ZDROWIA W ŚRODOWISKU PRACY

A. Substancje chemiczne

Lp.	Nazwa i numer CAS[1] substancji chemicznej	Najwyższe dopuszczalne stężenie (w mg/m^3) [2] w zależności od czasu narażenia w ciągu zmiany roboczej		
		NDS	NDSCh	NDSP
1	2	3	4	5
188	Ditlenek azotu [10102-44-0]	0,7	1,5	--
407	Ozon [10028-15-6]	0,15	--	--
470	Tlenek azotu [10102-43-9]	3,5	7	--

1) CAS (Chemical Abstracts Service Registry Number) jest oznaczeniem numerycznym substancji pozwalającym jednoznacznie zidentyfikować substancję chemiczną.

2) mg/m^3 - jednostka miligramy na metr sześcienny powietrza odnoszą się do pomiaru wykonywanego w temperaturze 20^0C i przy ciśnieniu 101,3 kPa (760 mm słupa rtęci).

UWAGI:
Jeżeli NDS dotyczy mieszaniny izomerów, to w przypadku występowania w środowisku pracy jednego z nich, należy stosować tę samą wartość NDS (podany numer CAS dotyczy mieszaniny).

7.4 Przepisy dotyczące wentylacji

Wymagania dot. wentylacji określa norma **PN-EN 12207:2001**

Podaje klasyfikację wyników badań całkowicie zmontowanych okien i drzwi, wykonanych z dowolnego materiału, a przebadanych zgodnie z zasadami podanymi w normie **PN-EN 1026:2001**. Klasyfikacja jest oparta na porównaniu przepuszczalności powietrza badanej próbki w odniesieniu do powierzchni całkowitej i przepuszczalności powietrza w odniesieniu do długości szczelin otworu.

7.5 Przepisy dot. zniekształceń wprowadzanych do sieci

Problem występowania odkształceń krzywej napięcia i prądu należy do niekorzystnych zjawisk zachodzących w sieciach elektroenergetycznych.

Dystrybutor energii elektrycznej żąda spełnienia następujących warunków :

Odkształcenia napięcia ($THD_{dop} < 8\%$),
Wahania napięcia ($P_{LT\ dop} < 1{,}0$),
Uskoki (zapady) napięcia ($1\% < U < 90\%\ U_n$, $t_{trwania}$~10 ÷600 ms÷3s ÷1min),
Krótkotrwałe wzrosty napięcia ($U > 110\%\ U_n$, $t_{trwania}$~600 ms ÷3s ÷1min),
Długotrwałe obniżenia i wzrosty napięcia ($t_{trwania}$> 1 min; typowe wartości:
U_{min}=0,8÷0,9 jw., U_{max}=1,1÷1,2 jw.)
Krótkie i długie przerwy w zasilaniu ($U < 1\ \%$ Un , T_{kr}<3 min, $T_{dł}$>3 min),
Przepięcia impulsowe (zbocza $t_{narastania}$ ~ 5ns÷0,1ms; $t_{trwania}$~50 ns ÷1ms),
Przepięcia oscylacyjne (f_{osc} ~5 kHz ÷5 MHz, $t_{trwania}$~5µs ÷50ms, amplitudy 0÷4÷8 jw.)
Asymetria napięć ($U_{2\%\ dop} = (U_2/U_1) \cdot 100\% < 2\%$),
Załamania napięcia (szer. [^{0}el.], głębokość [$\%U_{max}$] , typ. 5÷15^{0}el*70%).
Istnieje cały katalog norm ciągle aktualizowanych i uzupełnianych, ukierunkowanych na systemy i układy zasilające urządzenia, w tym na:

- poziomy emisji zakłóceń,
- odporność na zakłócenia.

11	Harmoniczne napięcia zasilającego	Średnie wartości skuteczne poszczególnych harmonicznych mierzone w czasie 10 min., w normalnych warunkach pracy, w okresie każdego tygodnia, w 95% pomiarów nie powinny przekraczać wartości podanych w tablicy 2. Ponadto współczynnik THD_u *) napięcia zasilającego, uwzględniający harmoniczne do 40 rzędu nie powinien przekraczać 8 %

*) THD_u – współczynnik deformacji napięcia (total harmonic distortion) określony zależnością

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} U_h^2}}{U_1}$$

w której: U_h to wartość skuteczna napięcia n-tej harmonicznej

7.6 Wymagania dotyczące oznakowania stanowiska

Wymagania określa norma **PN-74/T-06260** *Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze.*

7.7 Oznaczenia (tabliczki ostrzegawcze)

Przepisy nakazują ostrzec zwiedzających wywieszając znaki ostrzegawcze

Przy stanowisku należy umieścić tablice ostrzegawcze o następującym wyglądzie i treści :

W urządzeniu wykorzystywane jest wysokie napięcie



- Prośba o wyłączenie pomp insulinowych

- Prośba o wyłączenie aparatów słuchowych (zalecenie producenta aparatów słuchowych)



- W pobliżu sprzętu oznaczonego poniższym symbolem mogą wystąpić zakłócenia



7.8 Wymagania przeciwpożarowe

Zabezpieczenia przeciwpożarowe należy uzgodnić z projektantem modernizacji Planetarium

- Na zewnątrz akwarium powinna znaleźć sie instrukcja obrazująca postępowanie w razie wystąpienia pożaru.
- Należy opracować instrukcję serwisowania i konserwacji wnętrza akwarium

7.9 Udzielanie pierwszej pomocy

W pobliżu stanowiska do prezentacji wyładowań atmosferycznych powinna być wywieszona informacja o sposobie postępowania w przypadku zatruć gazami:

***Udzielanie pierwszej pomocy przy zatruciach inhalacyjnych**:*

Pierwsza pomoc przedlekarska:

7.9.1 Zatrucie ozonem

Wynieść zatrutego z miejsca narażenia. Zapewnić bezwzględny spokój (bezruch) w pozycji półleżącej lub siedzącej (wysiłek fizyczny może wyzwolić obrzęk płuc). Chronić przed utratą ciepła. Podawać tlen, najlepiej przez maskę. W razie duszności ze świszczącym oddechem można podać do inhalacji Atrovent (1-2 rozpylenia). Wezwać lekarza.

Uwaga: objawy podrażnienia górnych dróg oddechowych uzasadniają w każdym przypadku transport do szpitala karetką PR lub reanimacyjną w celu obserwacji lekarskiej trwającej nie krócej niż 48 godzin!
Transport do szpitala karetką reanimacyjną PR pod nadzorem lekarza, z kontrolą ciśnienia tętniczego krwi i stanu układu oddechowego.

7.9.2 Zatrucie dwutlenkiem azotu

Wyprowadzić poszkodowanego z miejsca narażenia, zapewnić spokój w dowolnej pozycji. Podawać tlen, najlepiej przez maskę. Wezwać lekarza. Jeżeli poszkodowany ma duszność, można podać do inhalacji Atrovent (1-2 rozpylenia).

Uwaga: objawy podrażnienia górnych dróg oddechowych uzasadniają w każdym przypadku transport do szpitala karetką PR lub reanimacyjną w celu obserwacji lekarskiej nie krótszej niż 48 godzin!

7.9.3 Zatrucie tlenkiem azotu

Wyprowadzić poszkodowanego z miejsca narażenia, zapewnić spokój w dowolnej pozycji. Podawać tlen, najlepiej przez maskę. Wezwać lekarza. Jeżeli poszkodowany ma duszność -można podać do inhalacji Atrovent (1-2 rozpylenia).

Uwaga: objawy podrażnienia górnych dróg oddechowych uzasadniają w każdym przypadku transport do szpitala karetką PR lub reanimacyjną w celu obserwacji lekarskiej trwającej nie krócej niż 48 godzin!
Transport do szpitala karetką reanimacyjną PR pod nadzorem lekarza, z kontrolą ciśnienia tętniczego krwi i stanu układu oddechowego.

8. Pomiary i obliczenia

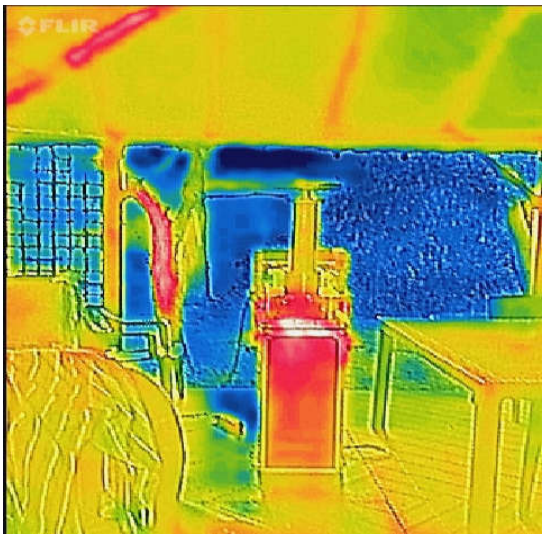
8.1 Pomiary odległości uderzenia wyładowania

Doświadczalnie wyznaczono maksymalną odległość uderzenia wyładowania 2,4 m (odległości nie długości - iskra nie uderza po linii prostej).Można ja ograniczyć do niecałych 2m w celu zachowania wymaganych wymiarów stanowiska.

Odległość w której uderzy wyładowanie zmieni się nieznacznie ze względu na zmianę pojemności układu torus-otoczenie tworzącego kondensator transformatora Tesli, ze względu na zmianę geometrię otoczenia w stosunku do pomieszczenia pomiarowego. Staraliśmy się w czasie pomiarów dobrać wymiary pomieszczenia kontrolnego (garażu) do wielkości docelowej wymiaru klatki i akwarium.

8.2 Pomiar temperatury (bezdotykowy)

Urządzenie rozgrzewa się maksymalnie o 5^{o}C i nie stanowi ani zagrożenia pożarowego, ani nie stwarza zagrożenia poparzeniem.



Zdjęcie termowizyjne transformatora Tesli

8.3 Pomiary hałasu

Pomiar natężenia hałasu wykonano miernikiem poziomu dźwięku zgodnie z normą PN-N-01307:1994; Pomiar hałasu został wykonany w odległości 2,5 m od cewki Tesli na wysokości 1,75m.
Pomiary natężenia dźwięku wykonaliśmy w garażu o wymiarach analogicznych do wymiarów akwarium w którym znajdować się będzie stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych, ze względu na zjawisko wzmocnienia dźwięku które nastąpi w pomieszczeniu zamkniętym na skutek dźwięków odbitych od ścian pomieszczenia.

Pomiary wykonaliśmy dla dwóch wielkości transformatorów Tesli - dla dużego o długości iskry 2,4 m oraz „małego" o długości iskry 1,4 m

Natężenie dźwięku

Natężenie dźwięku „dużego" transformatora Tesli w odległości 2,5 m na wysokości 1,75m od pracującego transformatora

Rodzaj poziomu dźwięku	Natężenie dźwięku [dB]
Równoważny poziom dźwięku A	102,1 dB
Maksymalny poziom dźwięku A	106,1 dB
Szczytowy poziom dźwięku C	122,8 dB

Średnie natężenie dźwięku „małego" transformatora Tesli

Rodzaj poziomu dźwięku]	Natężenie dźwięku [dB]
Równoważny poziom dźwięku A	97 dB
Maksymalny poziom dźwięku A	99 dB

gdzie:
Poziom dźwięku *A* – poziom ciśnienia akustycznego skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej *A* [dB].

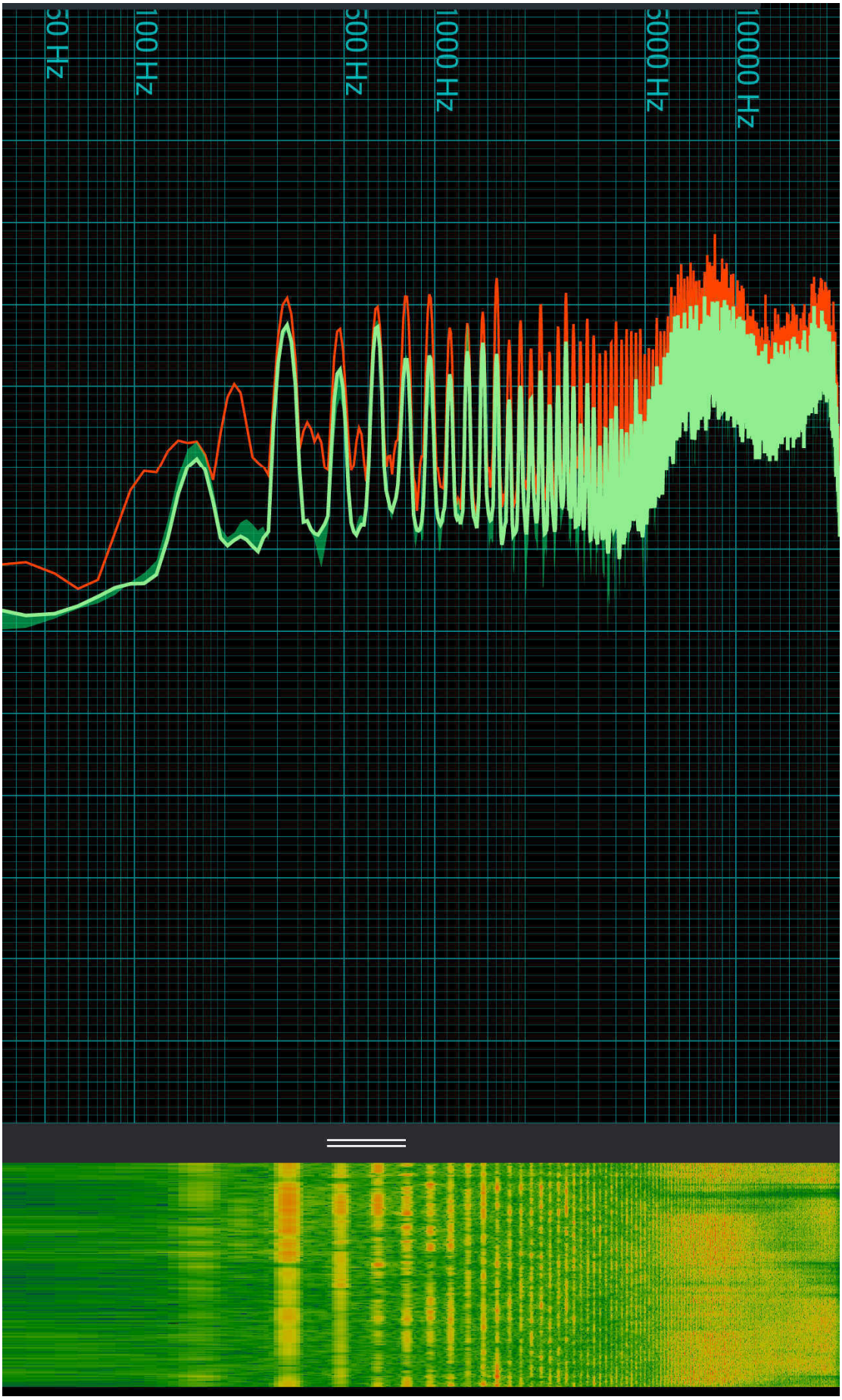
Równoważny poziom dźwięku *A* - wartość poziomu dźwięku A w przedziale czasu odniesienia T, zmierzony miernikiem całkującym.

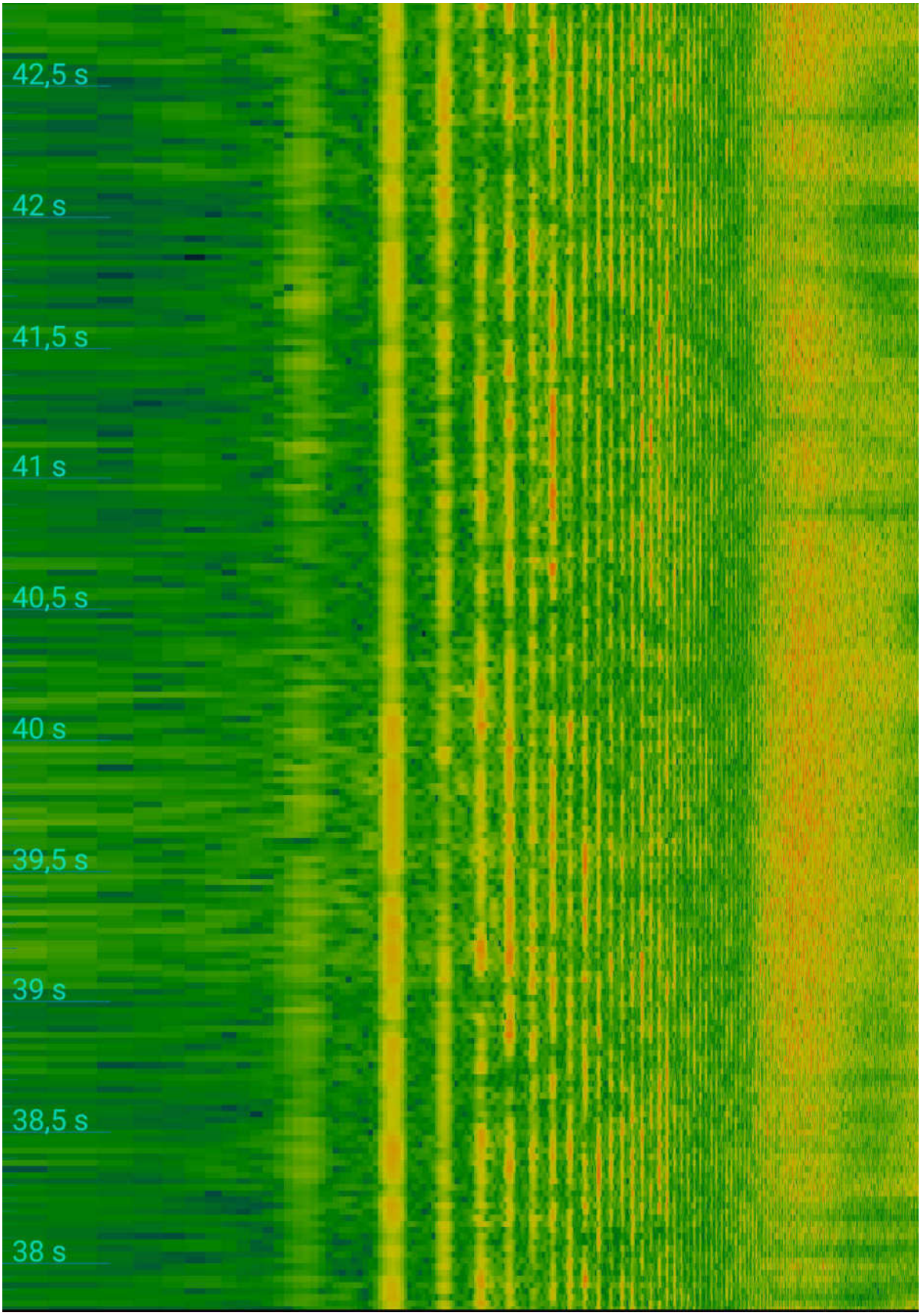
Maksymalny poziom dźwięku *A* – maksymalna wartość skuteczna poziomu dźwięku *A* występująca w czasie obserwacji [dB]. Parametr służy do oceny hałasów krótkotrwałych i impulsowych o dużych poziomach.

Szczytowy poziom dźwięku *C* – maksymalna wartość chwilowa poziomu dźwięku *C* występująca w czasie obserwacji [dB]. Parametr służy do oceny hałasów krótkotrwałych i impulsowych o dużych poziomach.

Podsumowanie:

Przepisy nie określają wprost wymagań dot. hałasu dla hali wystawienniczej.
Jedyne przepisy jakie możemy tu zastosować dotyczą stanowisk pracy, chociaż ze względu na czas przebywania zwiedzających w hali nie jest to obowiązkowe.
O ile nie będzie to sprzeczne z innymi celami dźwięk można wygłuszyć przy pomocy szyb „akwarium”.
Jeżeli dla konkretnego pomieszczenia współczynnik odbicia od ścian przekroczy dopuszczalne wartości można je wytłumić umieszczając na ścianach trapezy wygłuszające zapobiegające przedostaniu sie charakterystycznego dźwięku do stanowisk sąsiednich.
Różnica między zmierzona wartością maksymalną a wartością średnią jest niewielka.
Wszystkie częstotliwości mają podobne natężenie dźwięku. Zwiększenie mocy transformatora powoduje tylko proporcjonalne zwiększenie głośności dźwięku.
Maksymalna chwilowa częstotliwość nie jest wyznacznikiem natężenia dźwięku, gdyż wielkość ta zależy od nastaw na panelu sterowania.


50 Hz
100 Hz
500 Hz
1000 Hz
5000 Hz
10000 Hz


42,5 s
42 s
41,5 s
41 s
40,5 s
40 s
39,5 s
39 s
38,5 s
38 s



Częstotliwości dźwięku emitowane przez generator Tesli obejmują cały zakres widma słyszalnego dla człowieka.

8.4 Pomiary pól elektromagnetycznych

Pomiary wykonano w ekranowanym garażu o wymiarach porównywalnych z wielkością klatki Faradaya.

8.4.1 Pomiary pola elektrycznego

Wyznaczono pomiarowo następujący rozkład pola elektrycznego - pomiar w odległości 2,5 m od źródła.

Zakres mierzonej częstotliwości [Hz]	Natężenie pola elektrycznego [V/m]
od 5Hz do 20 kHz	65
16,7 Hz	13,4
50 Hz	6,5
od 2 kHz do 400 kHz	114,4
od 100 kHz do 3 GHz	93

Z zakresów można wnioskować, że maksimum pola elektrycznego pojawi się przy częstotliwości rezonansowej transformatora tj. 68 kHz

Warunki środowiskowe określają zakresy natężenia pola elektrycznego:

L.p.	Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego	Składowa elektryczna
-	-	V/m
1	0 Hz	10 000
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	-
3	od 0,5Hz do 50 Hz	10 000
4	50 Hz	1 000

5	od 50 Hz do 1 kHz	-
6	od 1 kHz do 3 MHz	20
7	Od 3 MHz do 300 MHz	7
8	Od 300 MHz do 300 GHz	7

Zostały przekroczone wartości natężenia pola elektrycznego dla wszystkich częstotliwości większych od 1 kHz

Wartości progowe dla wszczepialnych implantów wg firmy Medtronic:

Maksymalne wartości natężeń pola elektrycznego dla **IPG** (wszczepialnego rozrusznika serca) oraz **ICD** (wszczepialnego kardiowertera – defibrylatora)

Zakres mierzonej częstotliwości [Hz]	Natężenie pola elektrycznego [V/m]
50/60 Hz	6000
powyżej 150 kHz	100

Wymagania dotyczące maksymalnych natężeń pola elektrycznego są łagodniejsze niż warunki środowiskowe.

Maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego dla wszczepialnych implantów kardiologicznych nie zostały przekroczone

8.4.2 Pomiary pola magnetycznego

Wyznaczono pomiarowo następujące wartości pola magnetycznego w odległości 2,5 m od źródła

Zakres mierzonej częstotliwości [Hz]	Natężenie pola magnetycznego [mT, nT]	Natężenie pola magnetycznego [A/m]
0 Hz	0,351 mT	280,8
16,7 Hz	0 nT	0
50 Hz	101 nT	0,08
od 2 kHz do 400 kHz	63 nt	0,051
od 300 kHz do 30 MHz	-	0,053

W powietrzu pole o natężeniu 1 A/m charakteryzuje indukcja magnetyczna o wartości około 1,25 μT ; (przeliczenia jednostek 1 A/cm = 1/4π mT)

Warunki środowiskowe określają zakresy natężenia pola magnetycznego:

L.p.	Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego	Składowa magnetyczna A/m
-	-	
1	0 Hz	2500
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	2500
3	od 0,5Hz do 50 Hz	60
4	50 Hz	60
5	od 50 Hz do 1 kHz	3/1000 f (od 60 do 3)
6	od 1 kHz do 3 MHz	3
7	Od 3 MHz do 300 MHz	-
8	Od 300 MHz do 300 GHz	-

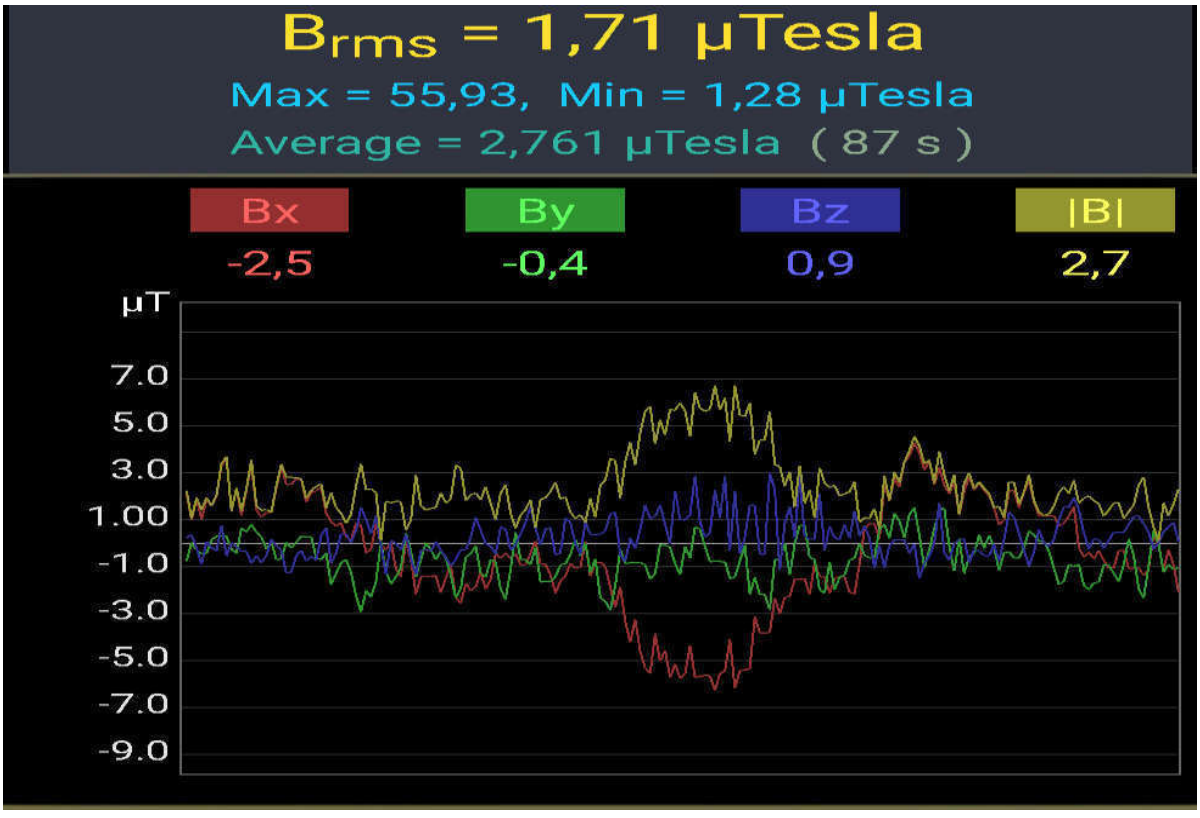
Wymagania dla implantów wg firmy Medtronic

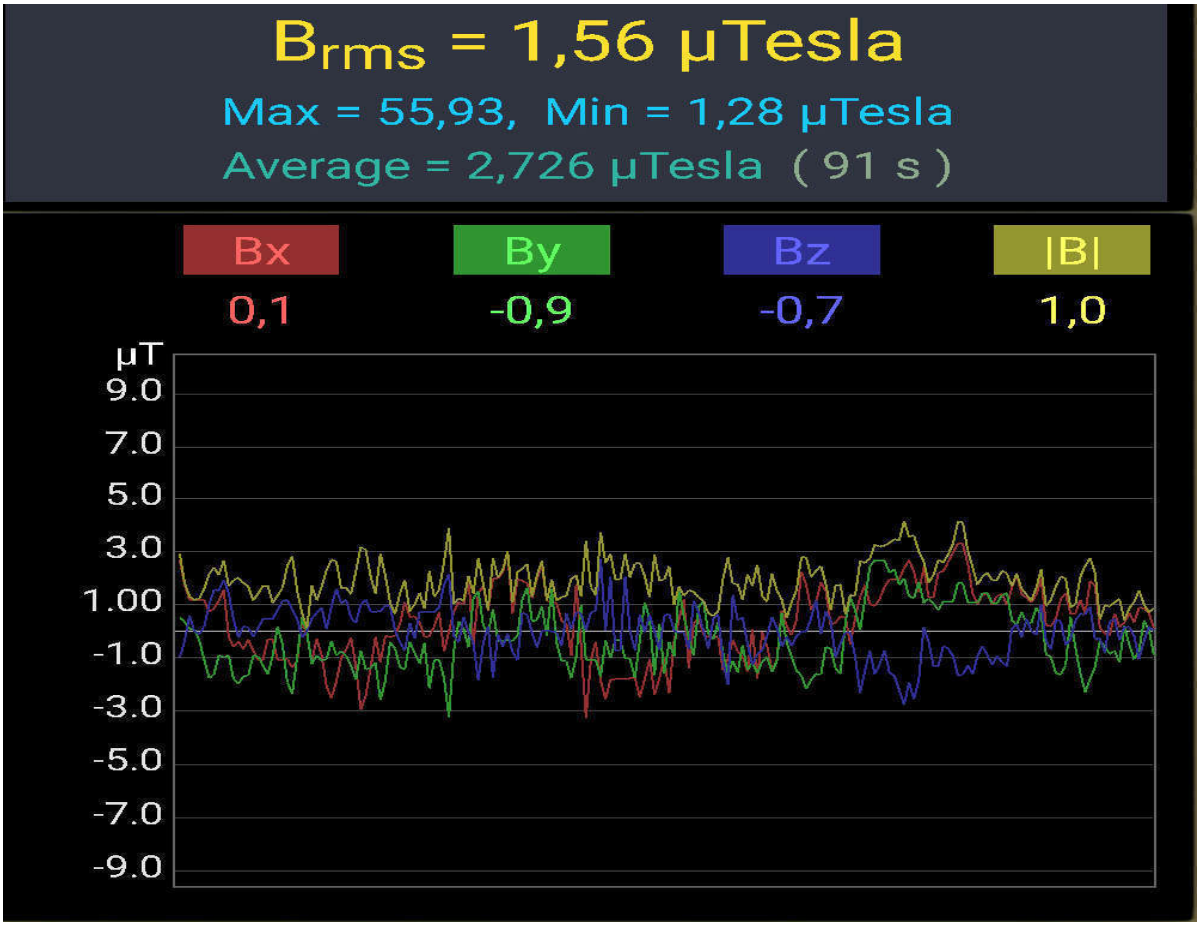
L.p.	Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego	Składowa magnetyczna	Składowa magnetyczna
-	-	[Gauss]	[A/m]
1	Stałe pole magnetyczne	5	400
2	do 10 kHz	1	80
3	powyżej 10 kHz	-	1

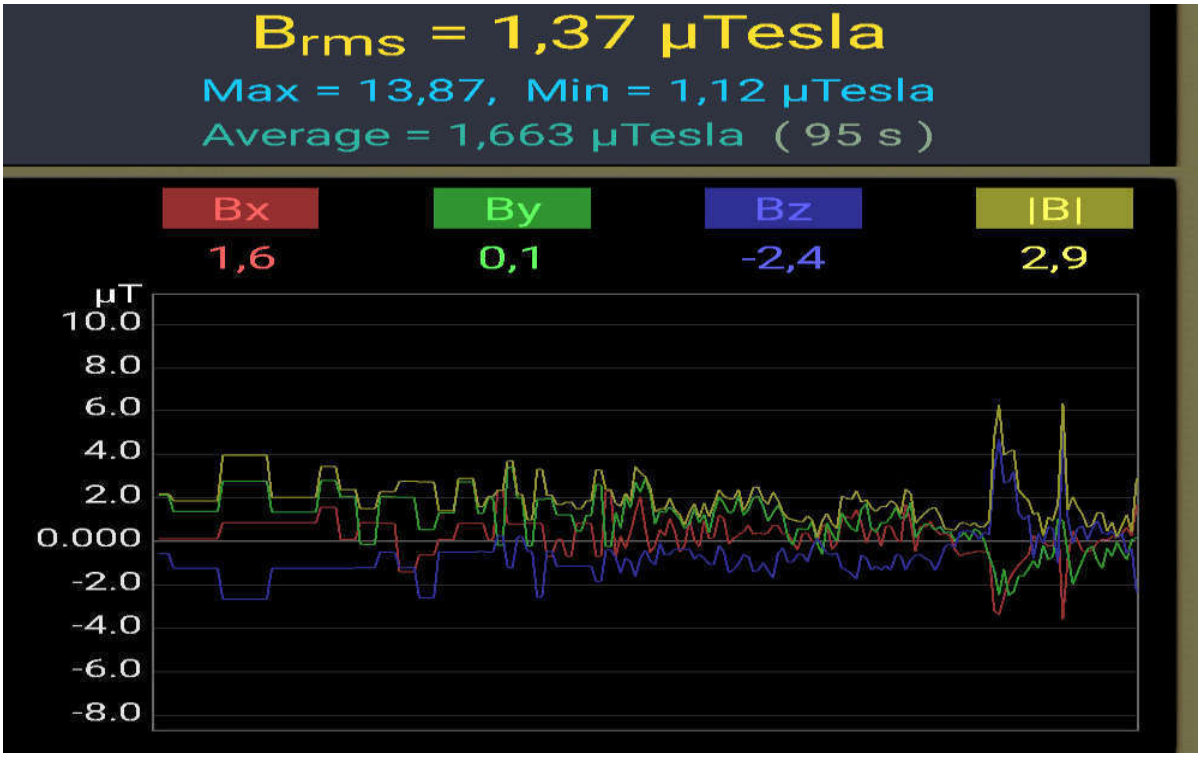
Wymagania dotyczące maksymalnych natężeń pola magnetycznego są ostrzejsze niż warunki środowiskowe.

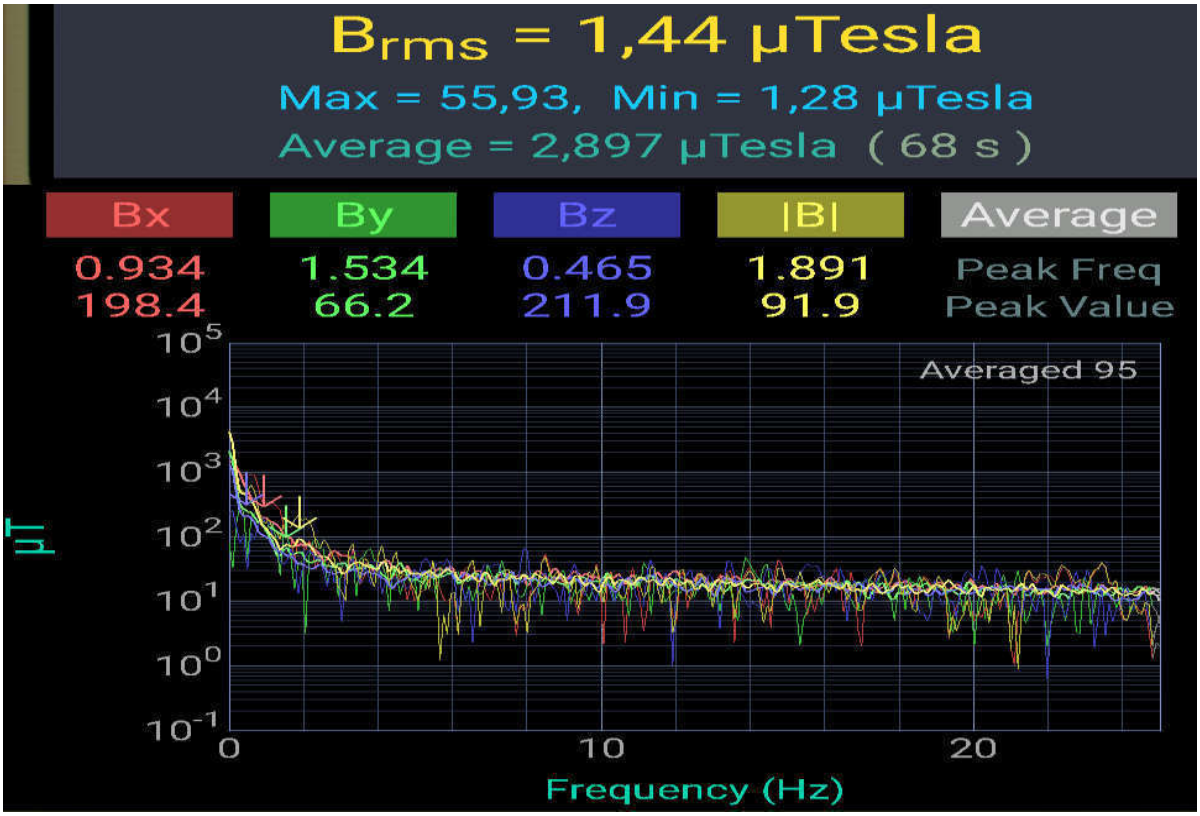
Poniżej przedstawiono przebiegi czasowe krzywej pola magnetycznego oraz wykresy pola magnetycznego w funkcji częstotliwości w zakresie:

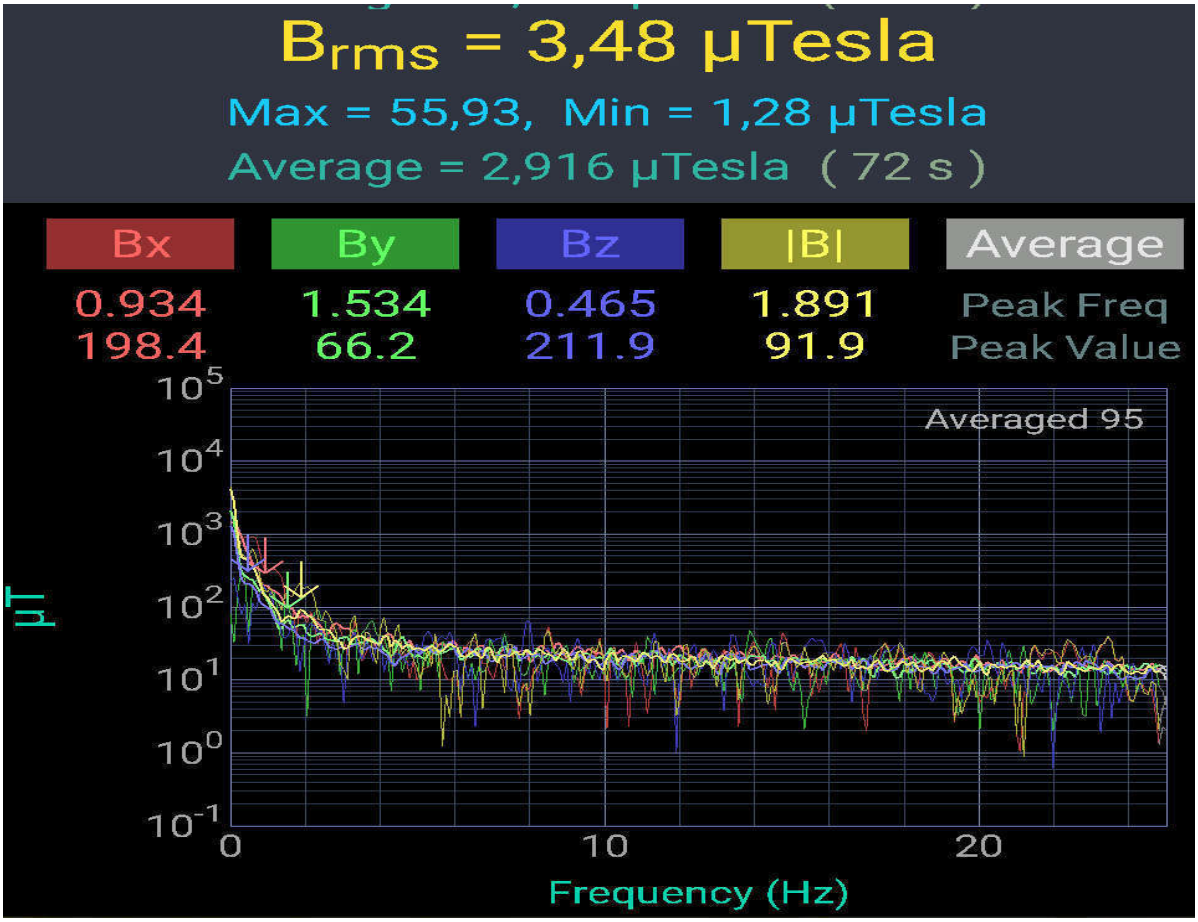
- od 0 Hz do 20 Hz
- od 0 Hz do 1000 Hz

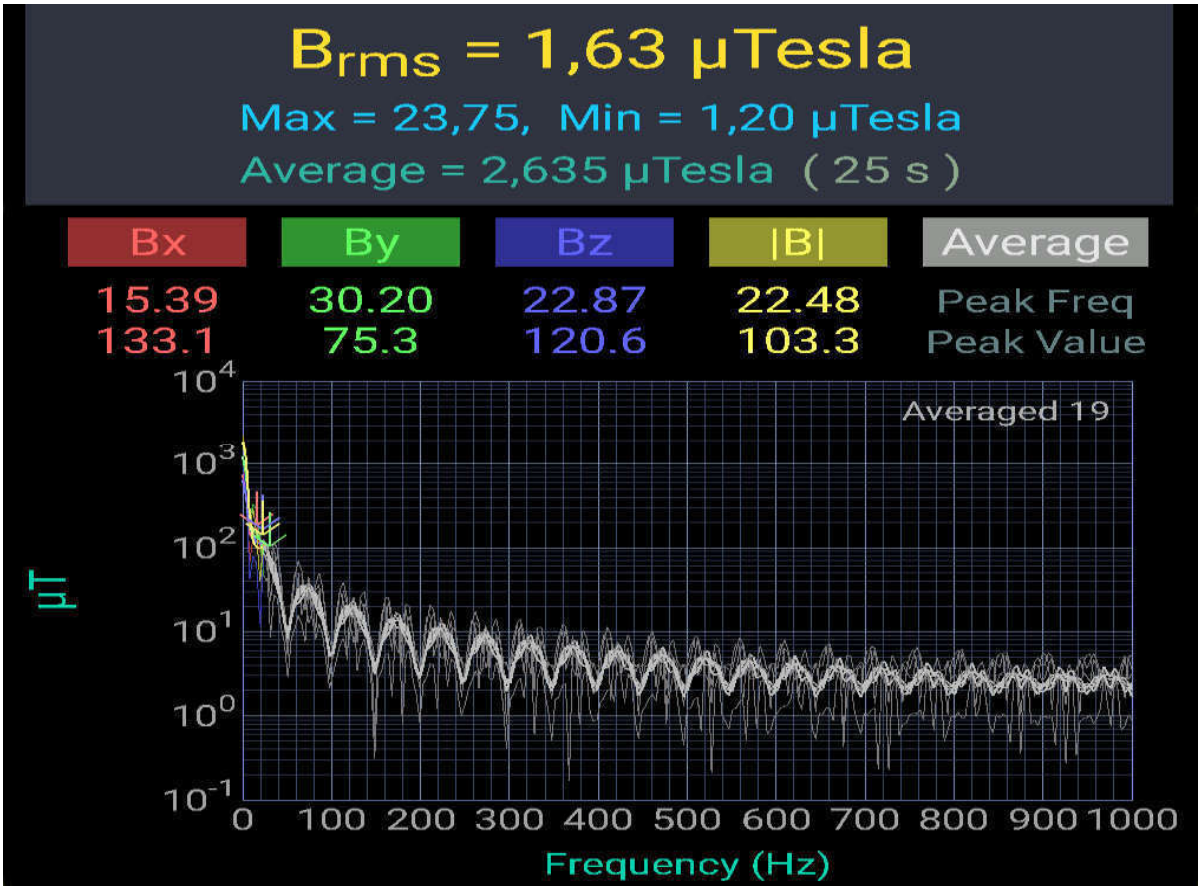


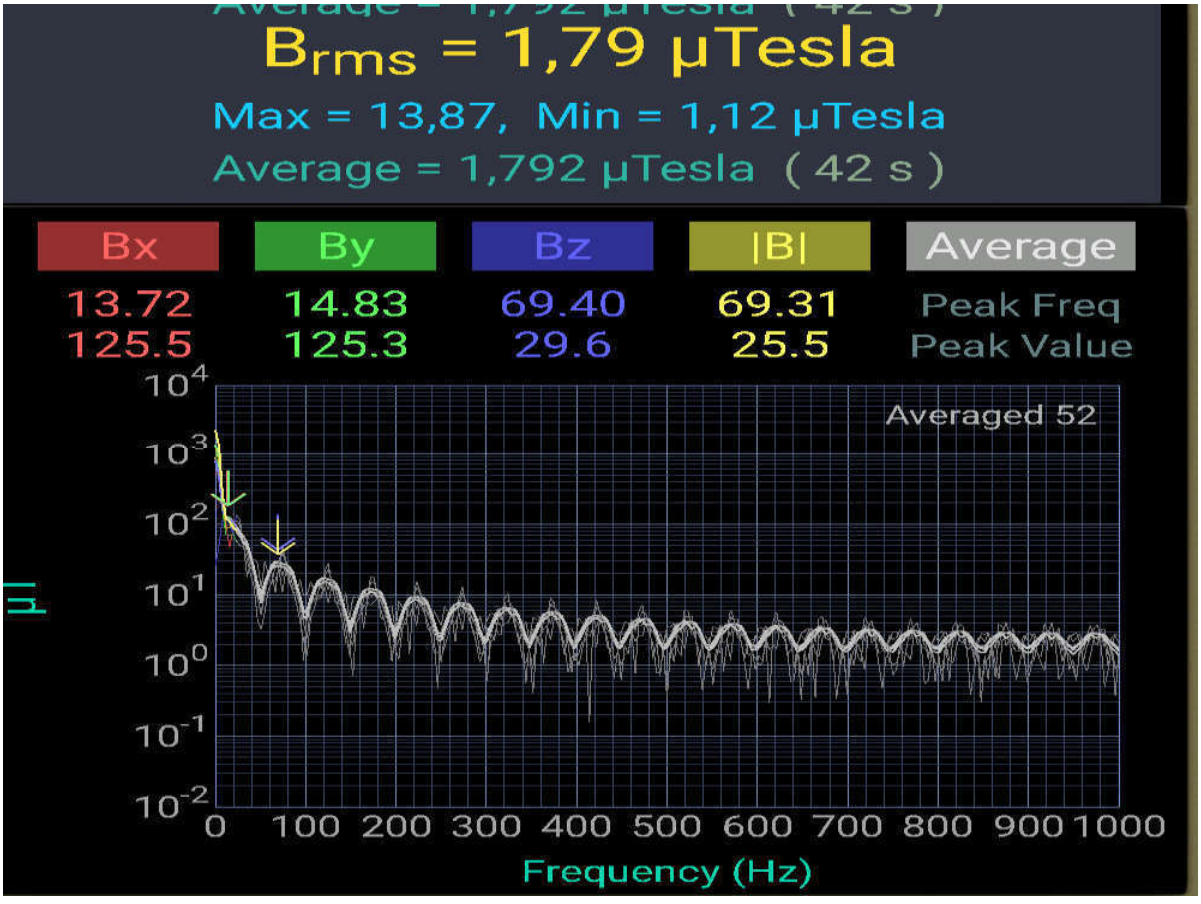

Brms = 1,56 µTesla
Max = 55,93, Min = 1,28 µTesla
Average = 2,726 µTesla (91 s)
Bx
By
Bz
|B|
0,1
-0,9
-0,7
1,0
µT
9.0
7.0
5.0
3.0
1.00
-1.0
-3.0
-5.0
-7.0
-9.0


Brms = 1,37 µTesla
Max = 13,87, Min = 1,12 µTesla
Average = 1,663 µTesla (95 s)
Bx
By
Bz
|B|
1,6
0,1
-2,4
2,9
µT
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.000
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0


Brms = 1,44 µTesla
Max = 55,93, Min = 1,28 µTesla
Average = 2,897 µTesla (68 s)
Bx
By
Bz
|B|
Average
0.934
198.4
1.534
66.2
0.465
211.9
1.891
91.9
Peak Freq
Peak Value
Averaged 95
µT
Frequency (Hz)


Brms = 3,48 µTesla
Max = 55,93, Min = 1,28 µTesla
Average = 2,916 µTesla (72 s)
Bx
By
Bz
|B|
Average
0.934
198.4
1.534
66.2
0.465
211.9
1.891
91.9
Peak Freq
Peak Value
Averaged 95
µT
Frequency (Hz)


Brms = 1,63 µTesla
Max = 23,75, Min = 1,20 µTesla
Average = 2,635 µTesla (25 s)
Bx
By
Bz
|B|
Average
15.39
30.20
22.87
22.48
Peak Freq
133.1
75.3
120.6
103.3
Peak Value
Averaged 19
µT
Frequency (Hz)


Brms = 1,79 µTesla
Max = 13,87, Min = 1,12 µTesla
Average = 1,792 µTesla (42 s)
Bx
By
Bz
|B|
Average
13.72
14.83
69.40
69.31
Peak Freq
125.5
125.3
29.6
25.5
Peak Value
Averaged 52
µT
Frequency (Hz)

Tłumienie pola magnetycznego jest trudne do zrealizowania szczególnie dla pól wolnozmiennych niskiej częstotliwości lub stałych.

Pole magnetyczne maleje silnie z odległością od jego źródła. Barierki ograniczające pozwolą utrzymywać zwiedzających w odpowiedniej odległości.

Pomiary natężenia pola w zależności od odległości głowicy pomiarowej od źródła pola (transformatora Tesli).

8.5 Pomiary stężenia gazów

Warunki środowiskowe w trakcie pomiarów były kontrolowane wzorcowym termohigrometrem Kestrel 3500 nr 187433.
Pobór powietrza w celu oznaczenia tlenku azotu, ditlenku azotu oraz ozonu przeprowadzono metodą absorpcji do roztworu pochłaniającego z użyciem aspiratorów typu LFs-113D i GilAir 3. Aspiratory są kalibrowane każdorazowo przed pomiarami oraz sprawdzone po pomiarach.
Tlenek azotu i ditlenek azotu przepuszczono powietrze przez zestaw płuczek bełkotowych w 10 ml roztworze pochłaniającym.
Ozon - płuczki Zajcewa w roztworze w 10 ml roztworuKH2PO4, Na2HPO4*12H2O; KI, Na2S203)+Vk z wyliczenia tiosiarczanu sodu 0,001 mol/l

Pomiary wykonano w cyklu pracy :

praca/przerwa: 4 minuty / 6minut / 4 minuty / 6minut / 4 minuty / 6minut

Cykl pracy powinien jak najbardziej przypominać cykl na stanowisku do prezentacji wyładowań atmosferycznych. Przerwy są uwarunkowane warunkami technicznymi pracy generatora (w celu zabezpieczenia go przed awarią).

Zgodnie z warunkami pomiaru gazów przy użyciu absorbentów czas pomiaru powinien wynosić 30 minut.

8.5.1 Pomiary stężenia tlenku azotu

Pomiary wykonano w szczelnie zamkniętym garażu o wymiarach 4m (szerokość) x 5,10m (długość) x 2,40m (wysokość)

6. **Stężenie tlenku azotu**

Objętość pomieszczenia [m^3]	**Stężenie po 30 min.(1800 sek.) [mg/m^3]**
48,96 m^3	0,389

8.5.2 Pomiary stężenia dwutlenku azotu

Stężenie ditlenku azotu

Objętość pomieszczenia [m^3]	**Stężenie po 30 min.(1800 sek.) [mg/m^3]**
48,96 m^3	2,73

8.5.3 Pomiary stężenia ozonu

Stężenie ozonu

Objętość pomieszczenia [m^3]	**Stężenie po 30 min.(1800 sek.) [mg/m^3]**
48,96 m^3	0,106

8.6 Pomiary natężenia prądów

Natężenie prądu wpływającego (moc pobierana)

Wartość skuteczna prądu pobieranego [A]	Moc pobierana [W]
8,5	3400

Prąd wypływający uziomem

Wartość skuteczna prądu upływowego [A]	Rezystancja uziemienia [Ω]
3,4	3

8.7 Opracowanie wyników pomiarów

Wyniki pomiarów należy porównać do wartości wymaganych przez normy dla warunków środowiskowych oraz wymagań medycznych dla osób posiadających implanty energetyczne.

Ponieważ na stanowisku nie będzie stałej obsługi obowiązują normy dla warunków środowiskowych.

Na ich podstawie należy określić wymaganą wartość tłumienia dla pól elektromagnetycznych oraz krotności wymian dla gazów.

Dla pola magnetycznego należy określamy minimalną odległość w jakiej mogą przebywać ludzie i w jakiej mogą być instalowane urządzenia elektroniczne

W celu określenia wartości wymaganego tłumienia dla zaprojektowania klatki Faradaya wyniki natężenia pola elektrycznego należy obniżyć do wartości wymaganych przez normy środowiskowe.

8.8 Obliczenia

1. Rozmiary konstrukcyjne należy dobierać wg następującego schematu :

- Minimalne rozmiary klatki wyznacza maksymalna odległość uderzenia wyładowania
- Ze względu na zakres tłumionych częstotliwości parametrem determinującym odległość między prętami klatki jest głębokość wnikania pola poza klatkę.
- Minimalne rozmiary akwarium wyznaczone zostały z wielkości klatki metalowej powiekszonej o zasięg wyciekania pola elektrycznego poza klatkę metalową
- Minimalną odległość dla poręczy dystansowych wyznacza się z wartości natężenia pola magnetycznego

2. Określenie krotności wymiany powietrza w akwarium

Przeliczenie stężenia dla objętości wyznaczonej przez szyby akwarium:

Powierzchnia S= 16 m^2

Wysokość h akwarium nie przekroczy 3,30 m (3,80m – 0,5m)

0,5m - jest wysokością podestu

Objętość akwarium obliczymy ze wzoru

V = S*h

V = 52,8 m^3

Stężenie = ilość substancji / objętość

Musimy przeliczyć stężenie na objętość pomieszczenia w którym będzie umieszczony docelowo transformator Tesli.

Objętość pomiarowa = 48,96 m^3

Objętość akwarium = 52,8 m^3

Największe dopuszczalne stężenie gazów NDS

1. Tlenku azotu = 3,5 mg/m^3
2. Dwutlenku azotu = 0,7 mg/m^3
3. Ozonu = 0,15 mg/m^3

Stężenia przeliczone :

Tlenek azotu : stężenie zmierzone 0,389 mg/m^3

dla rzeczywistego akwarium wyniesie 0,389*48,96/52,8 = 0,3607 mg/m^3

NDS czyli największe dopuszczalne stężenie dla tlenku azotu wynosi 3,5 mg/m^3

W czasie 1 godziny (2x30 minut) wyniesie 0,721 mg/m^3 , będzie więc 20,6 % stężenia dopuszczalnego.

Wymagana będzie 0,21 krotna wymiana powietrza ze względu na tlenek azotu

Dwutlenek azotu : stężenie zmierzone 2,73 mg/m^3

dla rzeczywistego akwarium wyniesie 2,73*48,96/52,8 = 2,53 mg/m^3

NDS czyli największe dopuszczalne stężenie dla dwutlenku azotu wynosi 0,7 mg/m^3

W czasie 1 godziny (2x30 minut) wyniesie 5,06 mg/m^3 , będzie wiec 7,23 x większe od dopuszczalnego.

Wymagana będzie 7,3 krotna wymiana powietrza ze względu na dwutlenek azotu

Ozon : stężenie zmierzone 0,106 mg/m^3

dla rzeczywistego akwarium wyniesie 0,106 *48,96/52,8 = 0,0982 mg/m^3

NDS czyli największe dopuszczalne stężenie dla ozonu wynosi 0,15 mg/m^3

W czasie 1 godziny (2x30 minut) wyniesie 0,197 mg/m^3 , będzie więc stanowił 131 % stężenia dopuszczalnego.

Wymagana będzie 1,3 krotna wymiana powietrza ze względu na ozon

8.9. Wnioski z pomiarów

8.9.1 Natężenie dźwięku

Natężenie dźwięku powinno zostać obniżone do 85 dB poprzez wytłumienie akustyczne przez szyby akwarium.

8.9.2 Natężenie pola elektrycznego

Natężenie pola elektrycznego zostało przekroczone dla wszystkich zmierzonych częstotliwości powyżej 2 kHz. Należy je obniżyć poprzez ekranowanie źródła pola czyli transformatora.

8.9.3 Natężenie pola magnetycznego

Natężenie pola magnetycznego nie przekracza wartości dopuszczalnych.

8.9.4 Wentylacja

Wentylacja musi pracować z wydajnością pozwalającą obniżyć stężenie dwutlenku azotu do największego dopuszczalnego stężenia (NDS) tj. **7,3** krotnie.

Wymagania co do krotności wymiany powietrza można regulować zmieniając współczynnik cyklu: praca/przerwa

Powietrze powinno być pobierane czerpnią z wnętrza pomieszczenia i wyprowadzane na zewnątrz poprzez wspólny komin.

9. Serwisowanie i części zamienne

9.1 Części zamienne:

1. Kondensator wysokonapięciowy to najważniejsza a zarazem najbardziej newralgiczna część układu. Z powodu wysokich częstotliwości oraz obecności wysokich przepięć rezonansowych kondensator szczególnie narażony jest na uszkodzenie.

2. Drugim newralgicznym elementem konstrukcji transformatora jest uzwojenie wtórne. Naprawa tego elementu jest przede wszystkim czasochłonna i może na dłuższy czas wyłączyć transformator z użytkowania.

Zalecane jest żeby oba te elementy leżały na półce w magazynie serwisowym co gwarantuje szybkie usunięcie awarii.

9.2 Serwisowanie

Zalecamy zawarcie umowy z ekipą serwisową posiadającą odpowiednią wiedzę i umiejętności szybkiego usunięcia awarii.

Podczas czynności serwisowych oraz porządkowych przy wchodzeniu do środka akwarium i klatki Faradaya nie wolno zamykać drzwiczek rewizyjnych !

.

Czynności sprawdzające szczelność elektromagnetyczną i gazową powinny być wykonywane raz do roku oraz we wszystkich przypadkach które pozwolą nasunąć jakiekolwiek podejrzenia np. przy wyczuciu zapachu ozonu lub tlenków azotu.

10. Cechy opisu przedmiotu zamówienia (zestawienie wymagań)

Ze względu na sposób projektowania i budowy transformatora Tesli należy stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych wybudować metodą „zaprojektuj i zbuduj”

10.1 Zasilanie

W celu minimalizacji zagrożeń zastosować należy dedykowany system zabezpieczeń służący do ochrony układu zasilającego przed przepięciami występującymi od strony obwodu pierwotnego transformatora Tesli oraz zabezpieczający przed przenoszeniem składowych wysokoczęstotliwościowych do sieci zasilającej.

W oddzielnej szafce zasilającej stanowisko należy zabudować przeciwzakłóceniowy dławik uziomowy. Sposób podłączenia wykonać zgodnie z instrukcją instalacji filtra i dławika.

Niestety niemożliwe jest stosowanie wyłączników różnicowoprądowych. Prąd doziemny za każdym razem powodowałby wyłączenie obwodu co zwiększałoby ryzyko uszkodzenia transformatora

1. Transformator Tesli powinien być zasilany z odrębnego wydzielonego obwodu
2. Przewody zasilające transformator powinny przebiegać poza klatką Faradaya
3. W celu odizolowania elektrycznego jako przewód sterujący należy zastosować światłowód.
4. W obwodzie zasilającym aby zapobiec uszkodzeniu urządzeń, należy zastosować system ochrony przeciwprzepięciowej: instalując ograniczniki

przepięć typu 1 i 2 (zgodnie z PN-EN 61643-11) / klasy B i C (według DIN VDE 0675). Ograniczniki każdego z typów pełnią ważną i odrębną rolę przy redukcji przepięć. Przewody łączące ograniczniki przepięć typu 1 i typu 1+2 w sieci elektrycznej z szyną wyrównawczą powinny być jak najkrótsze. Zaleca się, aby długość przewodów połączeniowych nie przekraczała 0,5 m. Ze względu na ogromne siły dynamiczne powstające podczas wyładowań, należy pamiętać o solidnym mocowaniu przewodów w zaciskach ograniczników przepięć.

5. Ze względu na eliminacje zakłóceń należy wykonać transformator Tesli jako zasilany trójfazowo – urządzenia z mostkiem prostowniczym i kondensatorem wytwarzają znacznie mniejsze zakłócenia (amplitudy szpilek przebiegu prądu) przy zasilaniu trójfazowym niż jednofazowym. Do tłumienia odkształceń prądu wystarczy wtedy odpowiednio dobrany dławik przeciwzakłóceniowy.
6. Obwód powinien być zabezpieczony dodatkowo bezpiecznikami topikowymi.

10.2 Uziemienie

Zalecane jest, by w urządzeniach elektronicznych **niezależnie** uziemiać układy impulsowe i układy analogowe. Uziemianie za pośrednictwem przewodu PE do sieci energetycznej doprowadzi do sprzęgania się z innymi jej użytkownikami, często wytwarzającymi silne zakłócenia. W praktyce stosuje się niezależne uziemienia dla układów elektroenergetycznych i dla aparatury pomiarowej (tzw. czysta masa).

Transformator Tesli, klatka Faradaya i odgromy makiety powinny być podłączone do wspólnego niezależnego uziemienia wykonanego w czasie budowy nowej części Planetarium.

Ważne jest aby system uziemienia był niepodatny na korozję.

10.3 Budowa transformatora

1. Transformator Tesli powinien być wykonany jako transformator DRSSTC.
2. Odległość w którą uderza wyładowanie powinna wynosić 1,9 m (+/- 10 cm)
3. Torusy transformatora należy wykonać z rurek aluminiowych.
4. Torus powinien zostać wyposażony w minimum dwa ostrza inicjujące wyładowanie w celu ukierunkowania wyładowań w zaplanowane obszary makiety w sposób losowy.
5. Transformator powinien być zaopatrzony w filtr zakłóceń nie pozwalający wprowadzać do sieci zniekształceń i harmonicznych większych niż pozwalają na to wymagania dostawcy energii.
6. Transformator powinien umożliwiać uzyskanie różnych długości iskry dla uzyskania wyładowania niezupełnego oraz wyładowania pełnego z wytworzeniem kanału plazmowego
7. Sterowanie powinno umożliwić generowanie krótkich wyładowań z możliwością zaprogramowania przerwy między wyładowaniami.
8. Należy umożliwić zainicjowanie wyładowania poprzez naciśnięcie przycisku (z zachowaniem zaprogramowanej przerwy).
9. Musi być możliwość wyłączenia sterowania przez obsługę „na kluczyk”.
10. Jeden z programów sterowania powinien umożliwić „odegranie” krótkiej zaprogramowanej melodii.
11. Uzwojenie pierwotne transformatora należy dodatkowo zabezpieczyć otwartym zwojem podłączonym do uziemienia. Gdyby wyładowanie miało by uderzyć w uzwojenie pierwotne uderzy w ten zwój. Do uziomu powinien być również podłączony dół uzwojenia wtórnego.
12. Przy wykonywaniu uziemienia należy pamiętać, aby wszystkie przewody były możliwie krótkie, a zaciski i połączenia pewne.

10.4 Budowa klatki metalowej

10.4.1 Wymagania dotyczące klatki

- Rozmiary oczek siatki klatki metalowej nie powinny być większe niż 25 cm
- Średnice prętów powinny być dobrane względem wytrzymałości mechanicznej klatki i oddziaływania dynamicznego uderzenia wyładowania – istnieje prawdopodobieństwo uderzenia wyładowania bezpośrednio w pręty klatki. Prąd wyładowania przebiegnie przez pręty klatki do uziemienia.
- Wszystkie połączenia, na każdym skrzyżowaniu powinny być ze sobą zespawane lub zlutowane.
- Rezystancja między dwoma dowolnymi punktami siatki nie powinna być większa niż 3 Ω
- Przed podłączeniem uziemienia rezystancja klatki umieszczonej na izolatorach względem podłoża, ścian i sufitu nie powinna być mniejsza niż 1000 Ω.
- Rezystancja uziemienia klatki nie powinna być większa niż 10 Ω
- Drzwiczki do klatki powinny być zabezpieczone przed wyciekiem pola . W odległości 30 cm od drzwiczek powinny być zachowane wszelkie wymagania ekranowania klatki (wymagania normy)
- Otwarcie drzwiczek powinno automatycznie odłączać stanowisko od zasilania oraz uziemiać jego konstrukcję
- Na prętach klatki powinien zostać zawieszony napis wykonanych z neonów bez wyprowadzonych na zewnątrz elektrod : „ **TRANSFORMATOR TESLI** ” lub ”**PLANETARIUM ŚLĄSKIE**”

Pręty metalowej klatki powinny znajdować się w odległości nie mniejszej niż 2,0 m od torusa transformatora Tesli.

Pamiętać należy o bardzo dokładnym połączeniu poszczególnych przewodów oraz ich dobrym uziemieniu

Klatka powinna posiadać wyłącznik awaryjny który po uruchomieniu powoduje jednocześnie uziemienie elementów za nim (patrząc od strony źródła zasilania).

10.4.2 Ochrona antykorozyjna

Ze względu na silne właściwości utleniające ozonu, tlenku i dwutlenku azotu oraz wytwarzanie (śladowych ilości silnie zależnych od wilgotności powietrza) kwasów azotowego i azotawego musimy elementy metalowe zabezpieczyć antykorozyjnie.

10.4.3 Drzwiczki rewizyjne

W klatce metalowej należy przewidzieć drzwiczki wejściowe otwierane do wewnątrz (dla obsługi i konserwacji). Styki drzwiczek z klatką powinny być realizowane poprzez zawiasy i uszczelki sprężynujące (dla zapewnienia skuteczności połączenia).

Uwaga:

Odcięcie zasilania i uziemienie powinno nastąpić również po otwarciu drzwiczek klatki, gdy obsługa wchodzi do środka klatki w celach konserwacyjnych, pomiarowych lub w celu usunięcia awarii.

Wejście do klatki musi być sprzęgnięte z wyłącznikiem napięcia i uziemieniem uniemożliwiające załączenie napięcia bez zamknięcia drzwiczek.

Grubość prętów powinna być dobrana głównie ze względów wytrzymałościowych. Duże oczka siatki z prętów mogą być uzupełnione drobną siatką z cienkich drutów umocowaną na zewnętrznej części klatki.

10.5 Założenia dla konstrukcji akwarium

Wielkość akwarium (jego rozmiary) określamy na podstawie rozmiarów klatki metalowej i głębokości wnikania pola magnetycznego poza obręb klatki (minimum 2,0 m + 0,25m). Dookoła klatki z prętów należy zbudować szczelne "akwarium" nieprzepuszczające gazów.
Szyby powinny być umieszczone w ramach metalowych zabezpieczonych przed agresywnym działaniem gazów, tworzących "szczelne " akwarium wokół klatki metalowej. Część jednego z powstałych w ten sposób okien powinno być otwieralne (na zewnątrz) współgrające z drzwiczkami wejściowymi do klatki.

1. Akwarium należy wykonać w formie wycinka z ośmiokąta foremnego wykonanego z szyb bezpiecznych klejonych.
2. W wyznaczonym boku akwarium powinny być wykonane drzwiczki rewizyjne otwierane na zewnątrz, umiejscowione w tym samym miejscu w którym znajdują się drzwiczki do klatki metalowej
3. Wszystkie części metaliczne powinny być galwanicznie połączone w sposób opisany jak dla klatki z prętów.
4. Należy wykonać czerpnie powietrza do pobierania go z wnętrza pomieszczenia
5. W akwarium należy przewidzieć otwór do odprowadzenia gazów przez system wentylacyjny.
6. Otwory powinny zostać osłonięte siatką o rozmiarach oczka maksymalnie 1 cm połączoną z konstrukcją przez lutowanie.
7. Szyby akwarium powinny zapewniać tłumienie dźwięku w całym zakresie częstotliwości w celu spełnienia przepisów wymagań środowiskowych. Poziom natężenia dźwięku na zewnątrz nie powinien przekraczać 85 dB w całym paśmie słyszalnym przez człowieka.
8. Konstrukcja szklana powinna być szczelna w sposób uniemożliwiający przedostawanie sie gazów w sposób przekraczający dopuszczalne stężenie do hali wystawowej. Należy to potwierdzić odpowiednimi pomiarami.

9. Szyby powinny być oddalone od prętów klatki metalowej o minimum 25 cm
10. W celu ochrony szyb przed możliwością uszkodzenia ich przez zwiedzających dookoła akwarium powinna być zabudowana barierka dystansowa w formie poręczy drewnianej.
11. Łączenia szyb z konstrukcja wsporczą powinny być wykonane w sposób szczelny elektromagnetycznie. Poziom szczelności nie może pogarszać szczelności całej klatki Faradaya w stosunku do wymogów środowiskowych i medycznych implantów .

10.6 Wymagania dla klatki Faradaya

Wymagania ekranowania obowiązują dla układu „metalowa klatka– akwarium" łącznie. Jako klatkę Faradaya traktujemy połączenie konstrukcji „metalowa klatka–akwarium".
Pomiary należy wykonać po wykonaniu stanowiska w odległości wyznaczonej barierkami dystansowymi.
Ekranowanie musi zapewnić spełnienie wymagań środowiskowych dla promieniowania elektromagnetycznego .

10.7 Założenia konstrukcji makiety

1. Makieta powinna zajmować miejsce ok. 10 m^2 i znajdować się na podwyższeniu o wysokości 50 cm . Rzut poziomy makiety powinien być zawarty w rzucie okręgu o średnicy 350 cm.
2. W modelach obiektów o największej wysokości zostaną zainstalowane piorunochrony z ostro zakończonymi prętami (ostrzami) .
3. Odległość iglic piorunochronów od końców pilotówTorusa powinna być nie większa niż 1,9 m.
4. Iglice powinny być w miarę możliwości równo rozłożone na powierzchni wyimaginowanej kuli zasięgu. Uzyskujemy w ten sposób możliwie równe prawdopodobieństwo uderzeń w poszczególne iglice.

5. Modele na obrzeżach makiety powinny być wyższe niż w pobliżu jej środka. Obszar należy wyznaczyć tzw. metodą toczącej się kuli.
6. Modele instalacji odgromowych należy wykonać w identyczny sposób i na identycznych zasadach jak prawdziwe instalacje (sposób montażu i wykonanie elementów). Przekroje przewodów powinny mieć przekrój przystosowany do przepływającego prądu i jego sił elektrodynamicznych.
7. Najwyższe modele wieżowców powinny mieć wysokość nie większą niż 0,4 m i powinny znajdować się na obrzeżach makiety.
8. Modele budynków, użyte materiały do budowy powinny być wykonane z dbałością o szczegóły dla zachowania realizmu (elewacje, rzuty, wizualizacje, itp.)
9. Zalecamy by modele budynków w tym wieżowców były modelami budynków, wież, linii przesyłowych, domów, masztów z naszego regionu (w celu uzyskania pozytywnych skojarzeń) np. budynki „Kukurydzy" z os. Tysiąclecia, wieżowce z os.Gwiazdy, katowicki Spodek, model Planetarium Śląskiego, pomnik Powstańców Śląskich.
10. Na makiecie należy umieścić modele 4 wieżowców, model katowickiego Spodka, model Planetarium Śląskiego i cztery mniejsze budynki 4 piętrowe
11. Całość zagospodarować modelami zieleni, drzew i obiektami małej architektury
12. W pobliżu środka makiety w niezabudowanym miejscu należy umieścić ukryte ostrza dla symulacji uderzenia pioruna w powierzchnię ziemi (w taki sposób ma być to widoczne przez obserwatora).
13. W poprzek makiety (ale nie centralnie) należy wybudować model „uziemionej" linii energetycznej
14. Rozmieszczenie modeli musi uwzględniać rozkład pola elektromagnetycznego. Iglice piorunochronu muszą znaleźć się w zasięgu wyładowań transformatora (wyimaginowanej kuli o promieniu 1,9 m , ze środkiem na końcu jednego z pilotów). Można pokazać również zasięg chronionego terenu (kąta) przez piorunochron np. obrysem na makiecie.
15. Zasięg kuli należy regulować rozmieszczeniem i długością pilotów (ale nie długością iglic budynków)

16. Wewnątrz klatki powinny znaleźć się neony (układające się w napis „***Transformator Tesli" lub „Planetarium Śląskie"***) w widoczny sposób niepodłączone do źródła zasilania bez wyprowadzonych elektrod, w celu zobrazowania istnienia pola elektromagnetycznego oraz dodatkowego oświetlenia makiety.
17. Efekt klatki Faradaya ukazany będzie przez położenie obok siebie dwóch identycznych jarzeniówek – jedna przykryta obudową z siatki.
18. Wobec braku jakiejkolwiek instalacji elektrycznych wewnątrz klatki metalowej doświetlenie musi być zrealizowane źródłami światła umieszczonymi na zewnątrz klatki metalowej .
19. Uziemienie odgromów powinno być połączone galwanicznie z metalową konstrukcją klatki i uziemieniem transformatora.
20. Podłoże makiety powinno być wykonane z materiałów które nie rozprzestrzeniają ognia.

11. Sprawdzenia powykonawcze

Przed oddaniem stanowiska do użytku należy sprawdzić czy zostały zachowane parametry zapewniające bezpieczne użytkowanie urządzeń – wymagania środowiskowe ,przepisy i normy (należy wykonać stosowne pomiary). Sprawdzić należy stężenie ozonu, tlenku węgla, dwutlenku węgla, wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz natężenie hałasu. Pomiary powinny być potwierdzone przez laboratoria akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji. Wyniki pomiaru należy dołączyć do dokumentacji powykonawczej.

11.1 Sprawdzenie ekranowania

Każda klatka Faraday wymaga regularnych badań kontrolnych. Dotyczy to nie tylko wykonania robót - ponieważ może być wiele niewidocznych powodów, dla których klatka może stać się "nieszczelna", więc nie działa już zgodnie ze specyfikacją. Dlatego należy przeprowadzić pomiary kontrolne w miejscu ostatecznej lokalizacji. Sprawdzenie klatki Faradaya należy przeprowadzać w pasmach o szerokim zakresie częstotliwości od 0 Hz do 2,5 GHz.

Należy położyć szczególny nacisk na pasmo 2kHz do 200 kHz ze względu na przewidywane największe wartości natężenia pola elektrycznego.

11.2. Testy szczelności gazowej

Wysoka szczelność w sposób zasadniczy odizoluje wytwarzane gazy od powietrza którym oddychają zwiedzający.

Przepuszczalność powietrza określimy się na podstawie dwóch badań:

- W odległej części hali wystawowej (poziom tła)
- W odległości 1,0 m od akwarium przynajmniej w 4 równo oddalonych miejscach na obwodzie w pobliżu połączeń szyb.

Pomiary należy przeprowadzić po minimum 8h pracy transformatora Tesli. Nie mogą trwać krócej niż 30 minut.
Poziomy stężenia muszą spełniać wymagania warunków środowiskowych.

11.3 Sprawdzenie natężenia hałasu

Poziom dźwięku nie powinien przekraczać 85 dB mierzony na wysokości 1,75 m w odległości wyznaczonej przez poręcze dystansujące.

12. Koszty i terminy realizacji

Na podstawie rozpoznania rynku ustaliśmy że budowa:

- transformatora Tesli – trwa ok. 9 miesięcy
- klatki metalowej - trwa ok. 2 miesiące
- akwarium - trwa ok. 4 miesiące
- makiety - trwa ok. 6 miesięcy

Koszt całości to ok. 250 tys. zł brutto.

13. Podsumowanie

Przeprowadzona ekspertyza udziela nam odpowiedzi na pytania związane z bezpieczeństwem użytkowania stanowiska do prezentacji wyładowań atmosferycznych

1. Czy zaplanowana powierzchnia jest wystarczająca dla stworzenia strefy bezpiecznej dla zwiedzających, przy mocy cewki równej 5 kW i częstotliwości pracy generatora 68 kHz?

Strefę bezpieczeństwa można kształtować odpowiednio konstruując transformator Tesli. Granicę jej wyznacza głównie zasięg stałego pola magnetycznego. Konstruując transformator na odległość uderzenia wyładowania (nie długości iskry) na niecałe 2 m, np.1,95 m możemy wyznaczyć średnicę metalowej klatki na 4m.
Średnica szklanego akwarium wyniesie wtedy 4,5m a powierzchnia zajmowana przez stanowisko zajmie 16m^2.
Panel sterowania może być umiejscowiony w pewnej odległości od akwarium. Umożliwi to lepszy dostęp do sterowania i nie zasłoni części akwarium przed widzami.

2. Jak powinna być skonstruowana siatka Faradaya (jakie oczka, w jakiej odległości od generatora, jaki ma mieć kształt, jak uziemiona itp.?

Jako klatkę Faradaya traktujemy zestaw „klatka metalowa-szyby metalizowane”. Wymiary oczek klatki metalowej wyznaczamy ze względu na głębokość wnikania pola elektrycznego oraz przejecie na siebie „zabłąkanego” wyładowania. Odległość tę określiliśmy na 25 cm i z czego wynika też wielkość oczek na 25 cm.
Klatka musi posiadać osobne uziemienie (wspólne z transformatorem Tesli i piorunochronami obiektów makiety) w stosunku do innych urządzeń w Planetarium. Uziemienie te nie może posiadać wartości wyższej niż 10 Ω (im mniej tym lepiej).

3. W jakiej minimalnej odległości od siatki (na zewnątrz) mogą przebywać ludzie?

W odległości wyznaczonej przez poręcze, które uzależnione są od natężenia stałego pola magnetycznego. Dla przeprowadzonych przez nas pomiarach była to odległość.2,5 m

4. Oszacować ilość wymienianego powietrza w metrach sześciennych na godzinę, dla skutecznego usuwania szkodliwych tlenków azotu, ozonu itp. powstających podczas wyładowań?

Najsilniej wydzielanym toksycznym gazem jest dwutlenek azotu który w ciągu godziny (przy trybie 4 minuty pracy / 6 minut przerwy) 7,3-krotnie przekracza dopuszczalną wartość. Powietrze w akwarium powinno być wymienione w ilości 385 m^3 na godzinę.
Jest to wielkość którą możemy ***dowolnie kształtować***, dostosowując ją do wydajności systemu wentylacyjnego poprzez regulację stosunku długości czasu pracy do czasu przerwy transformatora.

5. Czy oprócz siatki, należy przewidzieć szybę pokrytą warstwą przewodzącą? Odgrodzenie pomieszczenia może być ważne z powodu powstającego ozonu, tlenków azotu itp.

Konieczne jest szczelne oddzielenie pomieszczenia w którym znajduje się transformator Tesli od pomieszczenia przeznaczonego dla zwiedzających. Ilość wytwarzanych toksycznych gazów szybko przekracza dopuszczalne wartości.
Gazy te muszą być usuwane z otoczenia Tesli przez system wentylacyjny.
Ze względu na generowane pole elektromagnetyczne konieczne jest ekranowanie źródła (transformatora Tesli). Generowane pole elektryczne przekracza wartości dopuszczane przez określone przepisami warunki środowiskowe.
Wielkość tego pola można ograniczać na 3 sposoby.

i. Poprzez dalsze udoskonalenie konstrukcji transformatora Tesli
ii. Przez zastosowanie klatki metalowej
iii. Poprzez zastosowanie szyb metalizowanych .

Jako wymaganie dla konstruktora i projektanta należy określić bezwzględne spełnienie wymogów środowiskowych dla tandemu transformator – klatka Faradaya w odległości określonej dla poręczy dystansowych. Jako klatkę Faradaya należy traktować zespół „klatka metalowa – metalizowane szyby”
Przeprowadzana ekspertyza wykazała, że wymagania te mogą zostać zagwarantowane.
Ekranowanie zabezpieczy również przed zmiana parametrów (pojemności układu wtórnego) pracy transformatora Tesli (ustabilizuje jego pracę).
Wszystkie parametry muszą być potwierdzone odpowiednimi pomiarami.

6. Jeżeli istnieje negatywny wpływ generatora Tesli na inne urządzenia elektryczne i elektroniczne znajdujące się w hali na zewnątrz siatki, to jak go wyeliminować?

Transformator Tesli generuje zakłócenia mogące niekorzystnie wpływać na pracę sąsiadujących z urządzeniami elektrycznymi (głównie odkształca kształt przebiegu prądu) Badania wykazały jednak że silnie zależy to od konkretnego egzemplarza transformatora. Prawidłowo skonstruowany transformator zasilany trójfazowo przy zastosowaniu indywidualnie dobranego dławika tłumiącego pozwala spełnić wymagania dostawcy energii.
Zakłócenia elektromagnetyczne skutecznie eliminujemy przez ekranowanie źródła zakłóceń klatką Faradaya. Przy szczególnie czułych urządzeniach elektronicznych może okazać się konieczność ekranowania samego urządzenia (również przed innymi urządzeniami).

7. Jaki wpływ może mieć wyładowanie generatora Tesli na pracę:

- rozruszników serca,
- aparatów słuchowych
- lub innych urządzeń posiadanych przez zwiedzających?
- Czy może zagrażać ich życiu lub zdrowiu?
- W jakiej minimalnej odległości od generatora mogą się znajdować ludzie z rozrusznikami serca?

- Określić inne rodzaje niepełnosprawności, jeśli takie występują, które mogą powodować zagrożenie dla osoby przebywającej w pobliżu transformatora Tesli.

Stanowisko do prezentacji wyładowań atmosferycznych przy spełnieniu wspomnianych już wcześniej wymagań określonych w Ekspertyzie nie stwarza zagrożenia interferencji elektromagnetycznych dla pacjentów z urządzeniami wszczepialnymi (stymulatorów, kardiowerterów-defibrylatorów).

Aparaty słuchowe ze względu na wzmacnianie częstotliwości generowanych przez transformator Tesli powinny zostać wyłączone. Producent aparatów słuchowych bezwzględnie wymaga wyłączenia pozostawienie ich poza obszarami o dużym natężeniu dźwięku.

Producent pomp insulinowych wymaga natomiast ich wyłączenia bez względu na spełnienie lub nie poziomów pól elektromagnetycznych.
„Pompa nie powinna znajdować się w zasięgu pól magnetycznych; należy też unikać bezpośredniego kontaktu urządzenia z jakimikolwiek magnesami.
We wszelkich innych okolicznościach narażających pacjenta na działanie promieniowania należy zdjąć pompę, sensor, nadajnik i glukometr przed wejściem do pomieszczenia, w którym znajduje się sprzęt do tego typu badań.”

Ze względu na powstające błyski światła mogą one wywołać ataki epilepsji u osób chorych na padaczkę fotogenną
Pomimo braku wymogów prawnych nie jest zalecane przebywanie kobiet karmiących piersią lub będących w ciąży przy źródłach dźwięku powyżej 65dB (wymagania dla stanowisk pracy).
Osoby z rozrusznikami serca tak jak pozostałe osoby mogą przebywać w odległości od 2,5m od transformatora Tesli

Wyładowanie należy zrealizować przy pomocy transformatora Tesli, jako najbezpieczniejszego z urządzeń wysokonapięciowych. Jest to generator dużej częstotliwości. Transformatory Tesli pozwalają w dość znacznym zakresie na dostrojenie częstotliwości wyładowań do potrzeb użytkownika.

Układ sterowania umożliwi generowanie różnych długości iskry (wyładowanie koronowe lub pełne) w zależności od wciśniętego przycisku. Będzie również możliwe odegranie krótkiej melodii.

Transformator powinien się znaleźć we wnętrzu hali wystawowej w bezpośredniej bliskości osób odwiedzających Park Nauki.

Dla stanowiska z transformatorem Tesli przewidziano wydzielony teren o powierzchni 16 m^2 (4mx 4m) i mógłby to być róg hali wystawowej

Wyznaczony teren jest wystarczający dla wybudowania stanowiska do wyładowań atmosferycznych o długości iskry do 2m.
Róg hali wystawowej jest dobrym rozwiązaniem ze względu na :

- łatwiejsze tłumienie hałasu który będzie kumulował się z energią akustyczna z innych źródeł
- zmniejszonym sumowaniem się pola elektromagnetycznego pochodzącego od transformatora Tesli i innych źródeł w hali wystawowej
- łatwiejsze uzyskanie szczelności gazowej akwarium

W pobliżu musi znajdować się system wentylacyjny usuwający powstałe gazy na zewnątrz. Powietrze może być pobierane z hali wystawowej.

Powinno się jednak unikać miejsc o dużym nagromadzeniu kabli.

Jeszcze w trakcie przebudowy należy wykonać odrębne uziemienie dla stanowiska do wyładowań atmosferycznych .

Można więc oczekiwać, że cewka imitująca wyładowanie atmosferyczne będzie jednocześnie generować dźwięk pioruna. Dźwięk ten może być ponadto wspomagany przez system nagłaśniający.

Dźwięk generowany przez transformator Tesli nie wymaga wzmocnienia. Jest dostatecznie głośny. Szyba akwarium tłumić będzie wysokie częstotliwości co jest zjawiskiem korzystnym.

Odpowiedzi dot. uwag do Ekspertyzy i analizy technicznej Cewki Tesli

Autor nie podaje przekroju rury do wyprowadzenia gazów ze stanowiska z cewka Tesli. Sposób wyprowadzenia należy określić z Projektantem (Consultor). Projektant nie zgadza się na dziurawienie dachu hali wystawowej, a takie rozwiązanie sugeruje Autor ekspertyzy.. Nie znaleziono określenia jaka musi być krotność wymiany gazów na godzinę z objętości Akwarium, co będzie determinowało przekrój rury odprowadzającej gazy.

Krotność wymiany gazów zależy od trybu pracy transformatora. W najbardziej intensywnym (ze względu na wytrzymałość transformatora) cyklu pracy : 4 minuty pracy / 6 minut przerwy – wyniesie ona **7,3 razy na godzinę** objętości 52,8 m^3 akwarium tj. ok**. 390 m^3/h**, ze względu na wydzielanie się dużych ilości toksycznych gazów, w szczególności dwutlenku azotu. Można zastosować wentylator o regulowanej wydajnosci.

Obliczenie potrzebnego przekroju rury odprowadzającej gazy

Określenie prędkości powietrza w przewodach wentylacyjnych:

$$V = \frac{L}{3600 * F} \quad (m/sek)$$

gdzie:

L - wydatek powietrza, m^3/h

F - powierzchnia przekroju kanału m^2

Ze względu na hałas który powstaje na czerpni przy prędkości przepływu powyżej 3m/s suma powierzchni przekroju kanałów nie powinna być mniejsza niż 0,04m^2

Wartość ta może być dowolnie kształtowana przez zmianę programu pracy (wydłużenie przerwy i skrócenie pracy transformatora w cyklu zmniejsza krotność wymaganej wymiany). Konstrukcja stanowiska nie determinuje wymiarów rur wentylacyjnych.

Uziemianie stanowiska zgodnie z ekspertyza powinno być niezależne i wykonane podczas prac budowlanych. Należy doprecyzować jak ma zostać wykonane uziemienie i uzgodnić z Projektantem!

Uziemienie powinno być wyprowadzone w postaci bednarki w centralnej części obszaru w którym będzie usytuowane stanowisko. Wartość impedancji uziemienia

nie powinna przekroczyć 10 Ω. Przez bednarkę będzie przepływał maksymalny prąd 3,4 A.

Dalsze podłączenia powinny być już zrealizowane przez wykonawcę stanowiska.

Nie dowiadujemy się, czy rura odprowadzająca gazy będzie uziemiona tym samym uziemieniem co całe stanowisko, czy powinna być galwanicznie oddzielona od klatki Faradaya? Czy rura odprowadzająca gazy może stykać się z innymi urządzeniami?

Rura odprowadzająca gazy powinna być galwanicznie odizolowana od stanowiska.. Powietrze usuwane z akwarium będzie przechodzić przez gęstą siatkę (oczka wielkości 1 cm) co zabezpieczy rurę przed przejęciem wyładowania. Dodatkowo powinna być umieszczona w miejscu w którym uderzenie jest bardzo mało prawdopodobne. Rura powinna być fizycznie oddalona od siatki na niewielką odległość (nie może jej dotykać). Wartość napięcia zredukowanego przez uziemienie nigdy nie przekroczy 34V (z warunku 10 Ω) i nie pojawi sie na rurze wentylacyjnej. Napięcie bezpieczne dla prądu przemiennego wynosi **50 V** – warunki środowiskowe 1 (pomieszczenia suche). *Wysokoczęstotliwościowe napięcie nawet niskiej wartości mogłoby wprowadzać zakłócenia do innych urządzeń stykających się z rurą wentylacyjną. Niepożądane jest też wprowadzanie na rurę obcego potencjału.*

Ramy szyb akwarium będą natomiast od strony publiczności pokryte warstwą izolacyjną.

Rura powinna być natomiast zabezpieczona antykorozyjnie ze względu na korozyjny charakter odprowadzanych gazów.

Nie znamy czasu życia implantów – czy te sprzed 2000 roku jeszcze są używane?

W tej chwili rozruszniki wyprodukowane przed 2000 rokiem nie są już używane przez pacjentów. Wymieniono już wszystkie implanty wszczepione przed tą datą.

Wiąże sie to z czasem życia baterii która jest wymieniana (wraz z implantem) średnio po upływie 10 lat.

Brakuje opinii podpisanej przez lekarza, na temat zagrożeń dla ludzi z rozrusznikami serca.

Opinia lekarska została już dołączona do ekspertyzy.

Nie wiemy czy jeśli stanowisko z cewką Tesli zostanie ustawione na kanale kablowym umieszczonym w podłodze, istnieje zagrożenie przebicie wyładowania cewki do sieci elektrycznej prowadzonej w kanale kablowym? Czy należy rozważyć inną lokalizację cewki? Nad stanowiskiem z cewką Tesli będzie przebiegało koryto z instalacją sieciową? Jak zabezpieczyć instalację przed przebiciem? Czy należy rozważyć zmianę trasy koryta z kablami, podwieszonego pod sufitem?

W proponowanym rozwiązaniu nie istnieje możliwość przebicia iskry do instalacji elektrycznej Natomiast kable przebiegające, jeżeli jest to konieczne, pod akwarium ze względu na możliwość wprowadzania zakłóceń do sieci należy przeprowadzić w metalowej uziemionej rurze bezszwowej. Ze względu na to, że akwarium będzie zabudowane do samego sufitu należałoby rozważyć obejście koryt kablowych poza granice wyznaczone przez akwarium np. poprzez umieszczenie stanowiska w rogu hali.

Należy rozważyć nałożenia ograniczenia na napięcie wyjściowe wtórnego uzwojenia cewki tak, aby iskra nie przekraczała 2 m. To pozwoli na budowę stanowiska o rozmiarach wcześniej przewidywanych w koncepcji.

W poprawionej ekspertyzie uwzględniono już ograniczenie długości iskry i wymiarów całego stanowiska.

Brak określenia jak działająca cewka Tesli wpłynie na telefony komórkowe.

Klatka Faradaya skutecznie zabezpieczy telefony komórkowe przed wpływem pola elektromagnetycznego pochodzącego od cewki Tesli.

Nieekranowana cewka zakłócałaby pracę telefonów i prawidłowość działania ekranów dotykowych w smartfonach.

mgr inż. Leszek Czerwiński

Zabrze 3.04.2018

Dr n biol. lek. med. Adam Sokal

Katedra Kardiologii Wrodzonych Wad Serca i Elektroterapii

Śląskie Centrum Chorób Serca

Ul. Marii Skłodowskiej-Curie 9

41-800 Zabrze

ZAŚWIADCZENIE

W oparciu o wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego (załącznik 1) oraz oświadczenia przedstawicieli technicznych producentów urządzeń wszczepialnych stosowanych w Polsce stwierdzam, że proponowany model generatora Tesli nie stwarza zagrożenia interferencji elektromagnetycznych dla pacjentów z urządzeniami wszczepialnymi (stymulatory, kardiowertery-defibrylatory) jeżeli przebywać będą one w obszarze, w którym wartości natężenia pola odpowiadać będą wartością uzyskanym w załączonych pomiarach.

Adam Sokal

Indywidualna Specjalistyczna
Praktyka Lekarska
Adam Sokal
43-400 Cieszyn, ul. Stalmacha 32/2
NIP 725-145-92-02, REG. 072910849
NFZ 981220652, Nr rej. 55-11-1716183
tel. 33 858 26 74

1. Pomiary pól elektromagnetycznych

Częstotliwość rezonansowa transformatora 68 kHz

1.1 Pomiary pola elektrycznego

Wyznaczono pomiarowo następujący rozkład pola elektrycznego - pomiar w odległości 2,5 m od źródła. Nikt nie będzie podchodził bliżej.

Zakres mierzonej częstotliwości [Hz]	Natężenie pola elektrycznego [V/m]
od 5Hz do 20 kHz	65
16,7 Hz	13,4
50 Hz	6,5V
od 2 kHz do 400 kHz	114,4
od 100 kHz do 3 GHz	93

1.2 Pomiary pola magnetycznego

Wyznaczono pomiarowo następującą wartość pola magnetycznego dla odległości 2,5 m od źródła

Zakres mierzonej częstotliwości [Hz]	Natężenie pola magnetycznego [nT, mT]	Natężenie pola magnetycznego [A/m]
0 Hz	0,351 mT	280,8
16,7 Hz	0 nT	0
50 Hz	101 nT	0,08
od 2 kHz do 400 kHz	63 nT	0,051
od 300 kHz do 30 MHz	-	0,053

TŁUMACZ PRZYSIĘGŁY
JĘZYKA ANGIELSKIEGO
mgr Anna CICHOCKA
04-113 Warszawa, ul. Łukowska 3 m. 58
tel./fax (022) 612 58 37; mobile. [illegible] 78 355

Medtronic

Tłumaczenie przysięgłe z języka angielskiego

Standardowe pismo
Serwis techniczny CRDM U.S.A.
Mounds View, MN
Brady (8900) 505-4636
Tachy (800) 723-4636
Instruments (800) 638-1991

ZGODNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA (EMC)
ZAKŁÓCENIA ELEKTROMAGNETYCZNE (EMI)

Wersja A.1, 03.02.2010, Strona 1 z 2

IPG – Wszczepialny Rozrusznik Serca
ICD – Wszczepialny Kardiowerter-Defibrylator
ILR – Wszczepialny Monitor Rytmu Serca

Rozruszniki serca, kardiowertery-defibrylatory oraz monitory rytmu serca firmy Medtronic zostały zaprojektowane i przetestowane do prawidłowego działania w czasie kontaktu pacjenta z polami elektromagnetycznymi występującymi zwykle w domu lub w miejscu pracy. Pacjent, lekarz oraz pracodawca wspólnie muszą rozważyć zdolność pacjenta do powrotu do pracy po wszczepieniu urządzenia.

Poniżej wymieniono trzy podstawowe rodzaje zakłóceń:

- zakłócenie przewodzone – występuje wówczas, gdy pacjent znajduje się w bezpośrednim kontakcie ze źródłem elektrycznym. Największe zagrożenie oraz rzeczywiste zdarzenia są spowodowane przez wadliwe urządzenia wyposażenia elektrycznego. Tego rodzaju zakłóceń należy unikać.
- Promieniowanie – to sygnały rozprzestrzeniające się w powietrzu i mogące potencjalnie indukować prąd, który może zostać wykryty przez wszczepione urządzenie. Najczęstszymi źródłami takiego promieniowania są linie wysokiego napięcia, przekaźniki sygnału radiowego, wyposażenie do dwukierunkowej komunikacji bezprzewodowej.
- Stałe pole magnetyczne – jest wytwarzane przez magnes stały lub elektromagnes prądu stałego (DC).

Typowa reakcja każdego z rodzaju urządzeń (efekty te są przejściowe):

Źródło	IPG	ICD	ILR
Zakłócenia przewodzone LUB Promieniowanie	Zahamowanie stymulacji, Rewersja lub stymulacja z wysoką	Zahamowanie stymulacji, Terapia wysokoenergetyczna	Rejestracja Fałszywego Epizodu

TŁUMACZ PRZYSIĘGŁY
JĘZYKA ANGIELSKIEGO
mgr Anna CICHOCKA
04-113 Warszawa, ul. Łukowska 3 m. 58
tel./fax (022) 612 58 37; mobile: 0-504 178 255

elektromagnetyczne	częstością	lub stymulacja z wysoką częstością	
Stałe pole magnetyczne (DC)	Stymulacja w trybie asynchronicznym	Zawieszenie detekcji arytmii (nie ma wpływu na stymulacje)	Nie ma wpływu

Zakłócenie pracy rozrusznika pochodzące od pola elektromagnetycznego jest mało prawdopodobne, ale pojawia się w pewnych okolicznościach.

ZGODNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA (EMC)
ZAKŁÓCENIA ELEKTROMAGNETYCZNE (EMI)

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE – WARTOŚCI PROGOWE

Poniżej znajdują się maksymalne wartości natężeń pola elektromagnetycznego dla IPG oraz ICD firmy Medtronic. Podane wartości są względne w stosunku do położenia klatki piersiowej pacjenta:

Źródło EMI	**Maksymalna wartość natężenia pola**
Źródła mocy (50/60 Hz)	6000 V/m
Wysoka częstotliwość (150 kHz i więcej)	100 V/m
Stałe pole magnetyczne	5 Gaussów
Modulowane Pole Magnetyczne	80 A/m (1 Gauss) do 10 kHz oraz 1 A/m powyżej 10 kHz

Chociaż firma Medtronic nie prowadzi badań środowiska w miejscu przebywania pacjenta, to możliwa jest konsultacja techniczna w interpretacji wyników wykonanych przez uprawnione osoby. Serwis Techniczny firmy Medtronic może odpowiedzieć na pytania dotyczące zgodności elektromagnetycznej oraz możliwych wzajemnych oddziaływań pomiędzy urządzeniami.

Koniec dokumentu

****

Ja, niżej podpisana, mgr ANNA CICHOCKA, Tłumacz przysięgły języka angielskiego przy Sądzie Wojewódzkim, wpisana na listę Ministra Sprawiedliwości za nr TP/89/05, w Warszawie, Rzeczpospolita Polska, uwierzytelniam niniejsze tłumaczenie jako zgodne z okazanym dokumentem sporządzonym w języku angielskim. *Ilość znaków: 3.565*

Warszawa, 29 marca 2010 *Nr Rep. 99/ 2010*

ANNA CICHOCKA TŁUMACZ PRZYSIĘGŁY JĘZYKA ANGIELSKIEGO NR TP 89/05