

Postprint of: Świątek-Żołyńska S., Niedostatkiewicz M., Ryżyński W., Błędy projektowe i wykonawcze przyczyną uszkodzeń posadzki antyelektrostatycznej, *Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje*, Szczecin (2022), s. 599-610, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, XXX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, 23 – 24.05.2022 r. Międzyzdroje, Polska,
<http://www.awarie.zut.edu.pl/files/ab2022/sesja6/06-08%20Swiatek-Zolynska%20S%20i%20in%20-%20Bledy%20projektowe%20i%20wykonawcze%20przyczyna%20uszkodzen%20posadzki%20antyelektrostatycznej.pdf>

BŁĘDY PROJEKTOWE I WYKONAWCZE PRZYCYNĄ USZKODZEŃ POSADZKI ANTYELEKTROSTATYCZNEJ

SYLWIA ŚWIĄTEK-ŻOŁYŃSKA¹, *sylwia.zolynska@pg.edu.pl*

MACIEJ NIEDOSTATKIEWICZ²,

WŁADYSŁAW RYŻYŃSKI³,

¹Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, Politechnika Gdańska

²Katedra Konstrukcji Inżynierskich, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

³Wydział Politechniczny, Budownictwo, Państwowa Uczelnia Zawodowa w Suwałkach

Streszczenie: Konieczność odprowadzania ładunków elektrostatycznych z powierzchni posadzki czyli ochrona przed elektrycznością statyczną występuje w pomieszczeniach w których w wyniku prowadzonych procesów technologicznych lub magazynowania składowane są substancje łatwopalne lub wybuchowe, ponadto problematyka ta jest również bardzo istotna w przypadku prowadzenia procesów produkcyjnych gdzie niekontrolowane rozładowanie nagromadzonego potencjału elektrycznego może spowodować zniszczenie produkowanego elementu. W artykule przedstawiono opis przypadków uszkodzeń posadzek antyelektrostatycznych które powstały w wyniku popełnianych błędów projektowych oraz wykonawczych. Artykuł zawiera również opis zastosowanych rozwiązań mających na celu doprowadzenie posadzek do właściwego stanu technicznego, umożliwiające ich użytkowanie zgodnie z pierwotnym przeznaczeniem.

Słowa kluczowe: posadzki przemysłowe, antyelektrostatyczność, elektryczność statyczna, diagnostyka naprawa posadzek.

1. Wstęp

Posadzki przemysłowe stanowią obok linii technologicznych kluczowy element w zakresie utrzymania ciągłości pracy zarówno zakładów produkcyjnych, jak również centrów logistycznych [1], [2]. Stale rozwijająca się branża posadzek przemysłowych obejmuje zarówno klasyczne rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne posadzek, jak i specjalistyczne znajdujące zastosowanie w obiektach w których prowadzone procesy technologiczne lub magazynowanie wymagają systemowego zabezpieczenia przed elektrycznością statyczną [3]. Podstawowym działaniem projektowym i realizacyjnym, poza stosowaniem układów uziemienia elementów konstrukcji nośnej obiektu, jest wykonywanie posadzek antyelektrostatycznych o parametrach i cechach użytkowych dostosowanych do funkcji obiektu [4], [8], [9].

Konieczność odprowadzania ładunków elektrostatycznych z powierzchni posadzki występuje wszędzie tam, gdzie na skutek procesów technologicznych lub warunków magazynowania gromadzone są substancje wybuchowe i łatwopalne. Do pomieszczeń zagrożonych należą m.in. magazyny paliw, gazów, rozpuszczalników, materiałów pylistych, pompownie materiałów łatwopalnych, lakiernie proszkowe i mokre. Posadzki antyelektrostatyczne znajdują zastosowanie także w hangarach lotniczych, a także obiektach przeznaczenia wojskowego, w tym warsztatach remontowo-naprawczych oraz składnicach sprzętu, broni i amunicji. Właściwości antyelektrostatyczne posadzek są również szczególnie

istotne w przemyśle elektronicznym, gdzie rozładowanie nagromadzonego potencjału w delikatnym elemencie elektronicznym, procesorze może powodować jego zniszczenie. Nagromadzone na powierzchni posadzki ładunki elektryczne w miejscach pracy czułego sprzętu elektronicznego i aparatury pomiarowej, mogą być i w związku ze stale rozwijającą się branżą automatyki przemysłowej coraz częściej są przyczyną zakłócania pracy tych urządzeń.

2. Charakterystyka i podział posadzek antyelektrostatycznych

Podstawowym kryterium klasyfikacji posadzek antyelektrostatycznych jest przewodność elektryczna. W międzynarodowych dokumentach normatywnych przyjęto klasyfikację posadzek antyelektrostatycznych według rezystancji elektrycznej, dzieląc je na posadzki przewodzące, rozpraszające ładunek elektrostatyczny oraz izolacyjne. W Tab.1 przytoczono podział posadzek według specyfikacji technicznej [26].

Tablica 1. Podział posadzek antyelektrostatycznych wg [26]

| Posadzki | | |
|-----------------------------|--|--------------------------------|
| przewodzące | rozpraszające ładunek elektrostatyczny | izolacyjne |
| $R_u < 1 \cdot 10^5 \Omega$ | $1 \cdot 10^5 \Omega \leq R_u < 1 \cdot 10^8 \Omega$ | $R_u \geq 1 \cdot 10^8 \Omega$ |

W przepisach krajowych norma [2] klasyfikuje materiały, w tym również materiały stosowane na podłogach, w oparciu o kryterium rezystywności elektrycznej skośnej (ρ_v) i powierzchniowej (ρ_{rs}). Ich podział przedstawiono w Tab.2.

Tablica 2. Rezystywność elektryczna skośna (ρ_v) i powierzchniowa (ρ_s), klasyfikacja materiałów [18]

| Posadzki | | |
|--|---|---|
| antyelektrostatyczne przewodzące | antyelektrostatyczne częściowo przewodzące | nie mające właściwości antyelektrostatycznych |
| $\rho_v \leq 1 \cdot 10^4 \Omega \cdot m$ i/lub $\rho_s \leq 1 \cdot 10^7 \Omega$ | $1 \cdot 10^4 \Omega \cdot m < \rho_v \leq 1 \cdot 10^7 \Omega \cdot m$ i/lub $1 \cdot 10^7 \Omega < \rho_s \leq 1 \cdot 10^{10} \Omega$ | $\rho_v > 1 \cdot 10^8 \Omega \cdot m$ i/lub $\rho_s > 1 \cdot 10^{10} \Omega$ |

Wymagania ochrony antystatycznej dotyczące posadzek określają polskie oraz międzynarodowe normy [18]–[31], ale należy zwrócić uwagę na fakt, że w normach tych występują istotne różnice. W celu zapewnienia skutecznej ochrony antyelektrostatycznej korzystne jest stosowanie posadzek o dużej przewodności elektrycznej, pamiętając przy tym o ochronie przeciwporażeniowej. Z tego względu konieczne jest spełnienie dodatkowego warunku dotyczącego bezpieczeństwa człowieka stojącego na posadzce. Wymagane jest aby to rezystancja elektryczna upływu ciała człowieka stojącego w obuwiu ochronnym na posadzce w miejscu pomiaru spełniała warunek $R_u \text{ czł.} \geq 5 \times 10^4 \Omega$.

Najczęściej stosowane rozwiązania posadzek antyelektrostatycznych w obiektach przemysłowych, dotyczą zastosowania wykończenia płyty posadzkowej w postaci: wykładzin ESD (z ang. *Electrostatic Discharge*) na bazie PCV (polichlorekwinylu), powłok żywicznych, a także betonowych posadzek monolitycznych utwardzanych powierzchniowo w technologii DST (z ang. *Dry Shake Topping*). W Tabl. 3 przedstawiono podział posadzek antyelektrostatycznych z uwagi na materiał z podaniem podstawowych parametrów.



Tablica 3. Podział posadzek antyelektrostatycznych z uwagi na materiał [opracowanie własne]

| Parametr wiodący | Rodzaj materiału | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| | wykładziny ESD na bazie PCV | powłoki żywiczne | monolityczne posadzki betonowe |
| Grubość całkowita systemu | 2-20 mm | 2,5-5 mm | od 8-30 cm w przypadku posadzki pływającej od 6 cm w przypadku posadzki na mostku szczepnym |
| Zabudowa | na istniejącym podłożu | na istniejącym podłożu | wykonanie razem z podkładem (płytą konstrukcyjną) |
| Podłoże | podkład betonowy / jastrych | podkład betonowy / jastrych | podłoże / podbudowa |

a)



b)

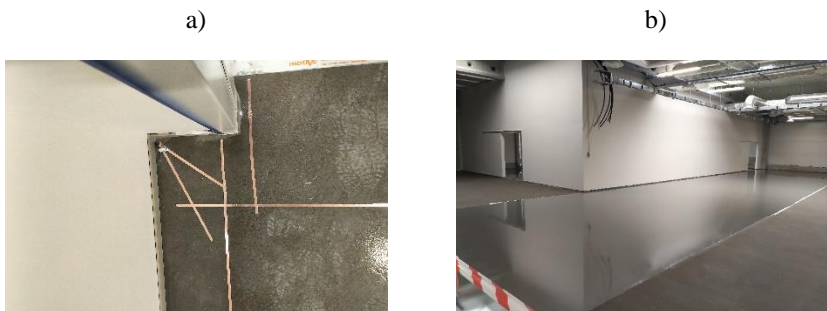


Rys. 1. System antyelektrostatyczny oparty na wykładzinie ESD: a) podkład betonowy z widoczną instalacją uziemiającą, b) warstwa wierzchnia z wykładziny ESD (fot. S. Świątek-Żołyńska)

Systemy oparte na wykładzinach ESD montowane są na uprzednio wykonanych podkładach betonowych (Rys. 1). Do grupy tej możemy zaliczyć dwuwarstwowe wykładziny podłogowe PCV, kauczukowe i dywanowe oraz maty podłogowe. Typowe wykładziny PCV posiadają grubość ~2 mm, natomiast wykładziny kauczukowe od 2 mm do 4 mm. Wierzchnia warstwa wykładziny posiada właściwości elektrostatycznie rozpraszające, a przewodzący spód zapewnia skuteczne odprowadzanie ładunków do uziemienia. Podłogowe maty ESD posiadają zatrzaski do podłączenia uziemienia oraz zaokrąglone narożniki. Maty podłogowe mogą być również uziemiane przy pomocy samoprzylepnej taśmy aluminiowej lub za pośrednictwem specjalistycznych klejów. Antyelektrostatyczne wykładziny dywanowe zapewniają skuteczne odprowadzanie ładunków elektrostatycznych z personelu wyposażonego w obuwie ESD. Rozwiązania tego typu stosuje się często w laboratoriach i biurach objętych ochroną przed ESD. Wykładziny te, charakteryzujące się wysoką estetyką, wykonane są najczęściej z poliamidu z dodatkiem włókna przewodzącego i wymagają przy układaniu użycia kleju przewodzącego oraz specjalnych środków do przygotowania podłoża. Najnowszym rozwiązaniem z tego sektora są prefabrykowane antyelektrostatyczne systemy podłogowe dostarczane w formie przypominającej puzzle, stosowane np. do tworzenia tymczasowych stref EPA (z ang. *Environmental Protection Area*) – obszarów chroniących przed elektrostatycznością statyczną ESD.



W razie konieczności można je łatwo zdemontować i przenieść w inne miejsce. Puzzle ESD najczęściej wykonywane są w formie zbliżonej do kwadratów wykonane są z dwuwarstwowego materiału przewodzącego objętościowo i posiadają pióra do łączenia z sąsiednimi elementami.



Rys. 2. System antyelektrostatyczny oparty na żywicy epoksydowej: a) instalacja uziemiająca w posadzce żywicznej b) widok wykonanej żywicznej posadzki antyelektrostatycznej
(fot. S. Świątek-Żołyńska)

W budownictwie przemysłowym powszechnie stosowanym rozwiązaniem są posadzki antyelektrostatyczne na bazie syntetycznych żywic epoksydowych. Aplikacja posadzki antyelektrostatycznej na podłożu, które stanowi betonowa lub fibrobetonowa płyta konstrukcyjna, wymaga gruntowania podłoża w celu stworzenia warstwy szczepnej z podkładem epoksydowym. W przypadku konieczności uzyskania wymaganych parametrów wytrzymałości betonu na odrywanie poprzez frezowanie lub inne działania mechaniczne należy dokonać wyrównania podłoża zaprawą złożoną z żywicy w połączeniu z piaskiem kwarcowym. Na tak przygotowanym podłożu układana jest przewodząca taśma miedziana, która odpowiada za odprowadzenie ładunków do uziemienia, a następnie aplikowana jest warstwa przewodząca o grubości od 1 mm do 3 mm w postaci warstwy żywicy wymieszanej z dodatkiem przewodzącym którym jest włókno węglowe lub grafit (Rys. 2). W zależności od rozwiązania systemowego aplikacja warstwy przewodzącej może odbywać się w jednej lub kilku warstwach, aż do całkowitego pokrycia taśmy miedzianej. Popularne przemysłowe posadzki epoksydowe nie umożliwiają objętościowego rozpraszania ładunków z uwagi na fakt, że żywica jest izolatorem, a dopiero dodatek włókien lub komponentów przewodzących ładunek elektryczny powoduje uzyskanie właściwości przewodzących.

W obiektach przemysłowych o znacznie wyższych wymaganiach w zakresie trwałości i odporności mechanicznej, alternatywę stanowi betonowa posadzka monolityczna utwardzana powierzchniowo suchą posypką utwardzającą jako tzw. posadzka DST (z ang. *Dry Shake Topping*). Jednakże z uwagi na swoją konstrukcję wykonanie takiej nawierzchni należy przewidzieć na etapie projektowym (Rys.3). W przeciwieństwie do posadzek żywicznych i wykładzin, posadzka betonowa jest z reguły wykonywana bezpośrednio na przygotowanej podbudowie, sama w sobie stanowi konstrukcyjną płytę nośną i odprowadza ładunki elektrostatyczne poprzez zaprojektowane uziemienia. Współcześnie wykonywane płyty posadzkowe są zbrojone zbrojeniem rozproszonym z wykorzystaniem włókien stalowych lub syntetycznych. Ilość zbrojenia dobierana jest stosownie do wielkości zadanych obciążeń np.: regały magazynowe, wózki widłowe, samochody ciężarowe, obciążenia o nieokreślonym rozkładzie. Biorąc pod uwagę pożądane właściwości antyelektrostatyczne projektowanej nawierzchni dobiera się minimalną ilość włókien stalowych, aby zapewnić wymaganą



przewodność posadzki. W celu odprowadzenia ładunków elektryczności statycznej płytę posadzkową łączy się z instalacją uziemiającą. Podczas wykonywania płyty posadzkowej na jej górną powierzchnię rozsypywany jest utwardzacz posadzkowy o właściwościach przewodzących, a całość zacierana mechanicznie przy użyciu zacieraczek. Na zatartą powierzchnię natryskiwany jest preparat pielęgnujący, a zarazem impregnujący nawierzchnię. Kolejnym etapem wykonania posadzki jest nacięcie i wypełnienie szczelin skurczowych oraz szwów roboczych, jeżeli takie zostały zaprojektowane. Posadzki betonowe utwardzane powierzchniowo w większości wykonywane są w klasie posadzek przewodzących o rezystancji elektrycznej na poziomie $R_u < 1 \cdot 10^5 \Omega$.



Rys. 3. Widok posadzki antyelektrostatycznej betonowej DST (fot. S. Świątek-Żołyńska)

3. Metodyka badań i pomiarów posadzek antyelektrostatycznych

Pomiary posadzek antyelektrostatycznych wykonwane są po okresie sezonowania powłok wykończeniowych. Dla systemów wykładzin i posadzek żywicznych zalecany minimalny czas od wykonania posadzki to 7 dni, w przypadku posadzek betonowych okres ten wynosi 28 dni.

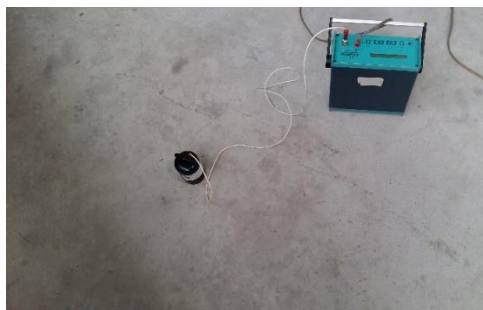
Ocenie podlega pomiar rezystancji elektrycznej (R_u) oraz równoważnej rezystancji mierzonej pomiędzy powierzchnią posadzki, a magistralą uziemienia (R_{gp}), zgodnie z procedurą określoną w [20] oraz [23] ÷ [25].

W celu klasyfikacji jakościowej materiału z którego wykonana jest posadzka pod względem jej właściwości antyelektrostatycznych, zgodnie z [19] wykonuje się pomiar rezystancji elektrycznej powierzchniowej (R_s) i wyznaczenie rezystywności elektrycznej powierzchniowej (ρ_s). Metodyka badań określona jest w [28].

W sprawozdaniu z pomiarów należy określić ilość punktów pomiarowych, stosunek % punktów pomiarowych do m^2 wolnej powierzchni posadzki, a także stosunek % punktów pomiarowych do powierzchni posadzki w badanym obszarze. Należy określić również udział % punktów pomiaru rezystancji powierzchniowej (R_s). Wskazać należy datę wykonania posadzki oraz istotne dane konstrukcyjne i materiałowe oraz datę wykonania pomiarów.

Do wykonywania pomiarów stosowana jest m.in. następująca aparatura pomiarowa: Omomierz o napięciu pomiarowym 10V i 100V (Rys. 4), Termohigrometr z kontrolą parametrów klimatu (temperatura powietrza i wilgotność względna powietrza), Elektroda cylindryczna do pomiaru rezystancji elektrycznej względem elementu uziemiającego przy kontrolowanym nacisku $F=250N$ [20] lub $F=25N$ [23], układ elektrod do pomiaru rezystancji/rezystywności powierzchniowej [28].





Rys. 4. Pomiar rezystancji upływu R_u [Ω] posadzki antyelektrostatycznej przy użyciu przyrządu pomiarowego Tera-Ohm-Meter 6206 (prod. Eltex) oraz elektrody pomiarowej o nacisku $F=25N$
(*fol. S. Świątek-Zołyńska*)

Pomiar rezystancji upływu $R_u < 1 \cdot 10^5 \Omega$ dokonywany jest przy napięciu pomiarowym 10 V, a pomiar rezystancji $R_u \geq 1 \cdot 10^5 \Omega$ przy napięciu pomiarowym 100 V. Odpowiedni dobór napięcia pomiarowego zapewnia prawidłowy pomiar rezystancji. Inne napięcia powodują zafałszowanie wyników pomiarowych.

Kryteria oceny posadzek bez rozróżniania stref zagrożenia wybuchem wg [23], kwalifikują wykonaną posadzkę wg następujących parametrów:

- **podłoga przewodząca** o rezystancji elektrycznej skrośnej (R_v) i/lub upływu (R_u), spełniającej warunki: $R_v < 10^5 \Omega$; $R_u < 10^5 \Omega$, zapewnia pełną ochronę antyelektrostatyczną we wszelkich warunkach, ale nie zapewnia zabezpieczenia przeciwporażeniowego.
- **podłoga rozpraszająca** ładunek elektrostatyczny o rezystancji elektrycznej skrośnej (R_v) i/lub upływu (R_u), spełniających warunki: $10^5 \Omega \leq R_u < 10^8 \Omega$; $10^5 \Omega \leq R_v < 10^8 \Omega$, zapewnia ochronę antyelektrostatyczną we wszelkich przypadkach z wyjątkiem procesów i operacji technologicznych o znacznej dynamice i/lub prowadzonych z udziałem materiałów wybuchowych o dużej zdolności zapłonowej. Podłoga taka gwarantuje również skuteczną ochronę przeciwporażeniową,
- **podłoga izolacyjna** o rezystancji elektrycznej skrośnej (R_v) i/lub upływu (R_u), spełniającej warunki: $R_v \geq 10^8 \Omega$; $R_u \geq 10^8 \Omega$, nie gwarantuje zabezpieczenia antyelektrostatycznego, ale zapewnia ochronę przeciwporażeniową.

4. Diagnostyka, opis usterek sposób naprawy posadzek antyelektrostatycznych

Wykładziny antyelektrostatyczne w trakcie eksploatacji najczęściej ulegają uszkodzeniom mechanicznym na skutek tarcia wywołanego przemieszczaniem kołek wózków paletowych, kołek krzeseł roboczych czy ruchem pieszym w niewłaściwym obuwiu. Spotykane są uszkodzenia chemiczne na skutek rozlania substancji agresywnych, głównie występujące w laboratoriach i warsztatach. Do typowych błędów projektowo-wykonawczych należą przede wszystkim błędy na etapie układania wykładzin i uziemienia, a także niewłaściwy dobór rozwiązań w zakresie odporności na zużycie, rozumiane jako odporność na ścieranie a także przebicie i zniszczenie wywołane np. intensywnym użytkowaniem wózków paletowych wyposażonych w twarde kółka.

Diagnostyka w takim wypadku opiera się na oszacowaniu in-situ miejsc w których wystąpiły usterki.

Zakres prac naprawczych obejmuje najczęściej wycięcie i usunięcie uszkodzonego fragmentu wykładziny w wyznaczonym obszarze oraz ponowny montaż nowej wykładziny.



Posadzki żywiczne, jak łatwo zauważyć z uwagi na stosunkowo płytko montowane taśmy miedziane podatne są na uszkodzenia zarówno zmęczeniowe, wynikające głównie z przetarcia powłok wierzchnich, jak również mechaniczne w przypadku ich odspojenia, złuszczenia czy zniszczenia poprzez przewiercenie instalacji np. w celu wykonania montażu kotew mocujących regały czy urządzenia.

W typowych dla branży elektronicznej warunkach eksploatacji system na bazie żywic syntetycznych [1,3] może okazać się mało skuteczny, szczególnie w przypadku badania w tzw. *walking test*, czyli wykonania pomiarów napięcia gromadzącego się na ciele ludzkim podczas chodzenia. Niewielka ilość komponentów przewodzących bezpośrednio pod podszwami zazwyczaj nie wystarcza do natychmiastowego odprowadzenia ładunków. Znaczący jest również fakt, że jest to tym bardziej widoczne, im bardziej zabrudzona lub zużyta w procesie ścierania jest posadzka. Podobne zależności występują w przypadku krzesel i wózków ESD (wyposażonych w koła z powłoką przewodzącą), biorąc pod uwagę fakt, że powierzchnia styku przewodzących kółek z podłożem jest znacząco mniejsza.

Do typowych błędów projektowo-wykonawczych antyelektrostatycznych powłok żywicznych należą [12]-[16]: nieprawidłowy dobór w zakresie właściwości przewodzących i parametrów technicznych takich jak: odporność na ścieranie i zużycie, wielkość oraz intensywność obciążeń statycznych i dynamicznych, grubość systemu, wielkość obciążeń chemicznych (rodzaj, temperatura i stężenie substancji chemicznych, a także czas oddziaływania na posadzkę). Na etapie realizacyjnym najczęściej spotykanymi błędami jest nieprawidłowo przygotowane podłoże pod ułożenie systemu, a także nieprawidłowe wykonanie instalacji uziemiającej, nieprawidłowe wykonanie powłok żywicznych.

Diagnostyka opiera się na pomiarach przewodności powłok wykończeniowych z wykorzystaniem aparatury pomiarowej i osób posiadających odpowiednie uprawnienia i kwalifikacje zawodowe. Równolegle w przypadku stwierdzenia braku przewodności prowadzona jest diagnostyka w kierunkach diagnozowania usterek charakterystycznych dla posadzek żywicznych takich jak: uszkodzenie mechaniczne lub chemiczne powłoki, odspojenie – rozwarstwienie z warstwą podkładu oraz zarysowanie powłoki wykończeniowej [6,7,8]. Zakres prac naprawczych obejmuje najczęściej usunięcie uszkodzonego fragmentu powłoki wykończeniowej i jej poprawne odtworzenie z wuzględnieniem instalacji przewodzącej [5,6,9].

Do typowych błędów na etapie projektowania i wykonywania monolitycznych betonowych posadzek antyelektrostatycznych w technologii DST należą [17]: nieodpowiednie przygotowanie podłoża/podbudowy; mogące skutkować osiadaniami konstrukcji płyty i zarysowaniem elementu, a także klawiszowaniem płyt; nieprawidłowy dobór i montaż instalacji uziemiającej, niewłaściwy dobór zbrojenia i wykończenia płyty. Błędy wykonawcze charakterystyczne dla wykonywania tego rodzaju posadzek jak i nieumiejętne rozłożenie utwardzacza, zatarcie nawierzchni, brak właściwej lub spóźniona pielęgnacja posadzki, nieodpowiednie zagęszczenie mieszanki betonowej., dolewanie wody do betonu, brak kontroli jakości mieszanki betonowej, zbyt późne wejście na dojrzewający beton itp. [11] ÷[16].

Diagnostyka opiera się na pomiarach przewodności systemu z wykorzystaniem aparatury pomiarowej. W przypadku prawidłowo wykonanej instalacji uziemiającej w konstrukcji płyty i zastosowaniu się do instrukcji producenta w zakresie wykończenia oraz serwisowania posadzki, spadek właściwości przewodzących obserwowany jest jedynie w przypadku zabrudzonej lub pokrytej dodatkowymi powłokami warstwy wykończeniowej posadzki. W celu przywrócenia właściwości posadzka powinna być dokładnie oczyszczona, powłoki nieprzewodzące usunięte, a całość ponownie zaimpregnowana odpowiednim preparatem.



W przypadku występowania w płytach posadzkowych usterek konstrukcyjnych [5,10,11,12,16], takich jak: zarysowania skurczowe powierzchniowe i wskrośne, nie jest obserwowany znaczący spadek właściwości przewodzących. W celu utrzymania parametrów przewodzących w płycie, naprawa winna być wykonana z zastosowaniem materiałów typu PCC lub żywic z zastosowaniem komponentów przewodzących [17].

Wady powierzchniowe posadzki takie jak lokalne złuszczenia, odpryski i ubytki nie powodują znaczącego spadku właściwości przewodzących, które w przypadku usunięcia przewodzącej powłoki wierzchniej, zapewnione są poprzez system sieciowania i odprowadzania ładunków z powierzchni płyty za pomocą włókien zbrojeniowych. Ze względów technologicznych i użytkowych miejsca z powstałymi ubytkami należy uzupełnić zaprawami na bazie PCC lub z zastosowaniem żywic syntetycznych o właściwościach przewodzących. W przypadku rozległych uszkodzeń powierzchniowych, w tym np. delaminacji strukturalnej warstwy utwardzonej lub żywicznej konieczne jest podjęcie naprawy posadzki przez usunięcie uszkodzonej warstwy wierzchniej i ułożenie nowej warstwy wierzchniej w technologii dostosowanej do wymagań w zakresie ochrony antyelektrostatycznej.

5. Przykłady błędów w betonowych posadzkach w technologii DST w aspekcie ich antyelektostyczności

Poniżej zamieszczono przykłady błędów popełnionych na etapie projektowania, a także realizacji posadzek betonowych z suchą posypką utwardzającą DST, które wpłynęły na pogorszenie parametrów antyelektostycznych posadzki.

Przykład 1

Posadzka pływająca o grubości 22 cm zaprojektowana została z betonu C25/30 XC2 na podobudowie górnej w postaci stabilizacji $R_m=2,5$ MPa o grubości 20 cm. Posadzka zaprojektowana została jako zbrojona włóknami stalowymi wraz z lokalnymi dozbrojeniami. Dokumentacja projektowa przewidywała wykonanie posadzki betonowej antyelektrostatycznej monolitycznej w technologii *Bautech Antistatic DST System* [32] wraz z montażem instalacji uziemiającej w płycie konstrukcyjnej.



Rys. 5. Instalacja uziemiająca rozmieszczona na górnej powierzchni podbudowy (fot. S. Świątek-Żołyńska)

Na etapie realizacji wykonano montaż instalacji uziemiającej bezpośrednio na warstwach podbudowy górnej, przed warstwą poślizgową w postaci folii PE, analogicznie jak dla systemów instalacji odgromowej budynku (Rys. 5). Warstwa poślizgowa stanowi skuteczną



warstwę separacyjną pomiędzy przewodzącą konstrukcją płyty, a instalacją uziemiającą, dlatego łądunek nie zostaje w pełni odprowadzony z konstrukcji płyty.

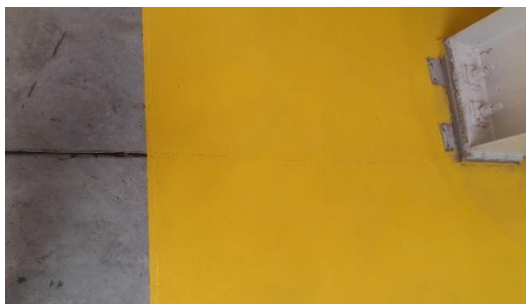
Jako rozwiązanie zaistniałego problemu zaproponowano rozebranie wykonanej instalacji, wyrównanie wykonanej podbudowy, ułożenie warstwy poślizgowej, a następnie poprawne wykonanie instalacji odprowadzającej łądunki na wysokości $\sim 1/3$ od dołu posadzki [32].

Przykład 2

Posadzka o grubości 20 cm zaprojektowana została z betonu C25/30 zbrojonego zbrojeniem rozproszonym wraz z wykończeniem w systemie atyelektrostatycznym *Bautech Antistatic DST System* [32]. Posadzka pływająca ułożona na warstwie poślizgowej w postaci folii PE oraz podobudowie o grubości 10 cm z betonu klasy C8/10. Dokumentacja projektowa przewidywała wykonanie oznaczeń na posadzce, między innymi odnoszących się do wydzielonych stref ruchu oraz stref postojowych w postaci malowania farbami przewodzącymi z odpowiednimi parametrami i atestami. Powierzchnia przeznaczona do wykonania powłok malarskich miała wynosić nie więcej jak 5% całkowitej powierzchni użytkowej.

Oznaczenia posadzki zostały zrealizowane z zastosowaniem powłok nieprzewodzących z przykryciem $\sim 8\%$ powierzchni (Rys. 6), a wykonane po zakończeniu róbót pomiary sprawdzające w zakresie odprowadzenia łądunków z posadzki wykazały, że w strefach gdzie wykonano oznaczenie posadzek występuje lokalne zjawisko akumulacji łądunków na powierzchni posadzki. Po sprawdzeniu okazało się, że materiały zastosowane do wykonania powłok nie posiadały odpowiednich parametrów przewodzących oraz atestów.

Jako rozwiązanie zaistniałego problemu zaproponowano usunięcie wadliwych powłok malarskich i wykonanie nowych oznaczeń.



Rys. 6. Malowane oznaczenia na górnej powierzchni posadzki betonowej
(fot. S. Świątek-Żołyńska)

Przykład 3

Posadzka o grubości 18 cm zaprojektowana została z betonu C25/30, na podobudowie o grubości 10 cm z betonu klasy C8/10. Dokumentacja projektowa przewidywała realizację posadzki betonowej antyelektrostatycznej z warstwą utwardzającą w postaci suchej posypki utwardzającej DST.

W wyniku błędu polegającego na nieprawidłowo przygotowanej mieszance betonowej, na całej powierzchni posadzki ~ 3000 m² wystąpiły wady w postaci licznych zarysowań powierzchniowych oraz wskrośnych oraz odspojenia wierzchniej warstwy utwardzającej (Fot.7). Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu zostały osiągnięte uwzględniając średnią pulę wyników, jednak zdarzały się próbki w których wytrzymałość minimalna nie została osiągnięta. Badania przyczepności metodą pull-off wykazały, że wytrzymałość na odrywanie



w serii badań nie przekraczała wartości 1,0 MPa, przy wymaganej wartości 1,5 MPa [12,17]. Zerwanie próbki występowało zarówno w warstwie utwardzonej, jak i przypowierzchniowej warstwie betonu płyty posadzki. Powstała sytuacja spowodowała, że posadzka nie nadawała się do odbioru i eksploatacji, a także całkowicie utraciła właściwości antyelektrostatyczne.

Jako rozwiązanie zaistniałego problemu zaproponowano usunięcie zdegradowanych warstw wierzchnich oraz dalszą diagnostykę pod kątem osiągnięcia parametrów wytrzymałościowo-eksploatacyjnych przez płytę konstrukcyjną. Z uwagi na terminy oddania obiektu do eksploatacji podjęto decyzję o dosączeniu podkładu betonowego żywicą głębokopenetracją, a następnie wykonaniu wierzchnich warstw wykończeniowych w postaci żywicy.



Rys. 7. Widok odspojenia warstwy z suchej posypki utwardzającej DST od podkładu betonowego
(*fol. S. Świątek-Żołyńska*)

6. Wnioski

Właściwie dobrana podłoga antyelektrostatyczna jest ważnym elementem każdego systemu ochrony przed elektrycznością statyczną. Stosowanie ochrony antyelektrostatycznej w pomieszczeniach oraz przestrzeniach nie zagrożonych pożarem ani wybuchem jest konieczne gdy zjawisko elektrostatyczności statycznej stwarza zagrożenie dla personelu, wywołuje istotne zaburzenia w przebiegu procesów produkcji, wpływa na pogorszenie jakości wyrobów lub powoduje zakłócenia w elektronicznych układach pomiarowych, kontrolno-regulacyjnych oraz w systemach elektronicznego przetwarzania danych. Dane wyjściowe do projektowania ochrony antyelektrostatycznej powinny obejmować: analizę technologii i warunków przebiegu procesu produkcji, ocenę zdolności do elektryzacji mediów uczestniczących w procesie produkcyjnym z uwzględnieniem materiałów z jakich wykonane zostały aparaty i urządzenia technologiczne, wskazanie miejsc spodziewanego powstawania ładunku elektrostatycznego, ewentualne wyniki pomiarów stopnia naelektryzowania materiałów i natężenia pola elektrostatycznego w rozpatrywanych instalacjach produkcyjnych, określenie występujących lub przewidywanych zakłuceń.

Właściwie zaprojektowana i wykonana posadzka antyelektrostatyczna, stanowi efektywne uziemienie dla personelu wyposażonego w obuwie ESD, maszyn i urządzeń oraz wózków transportowych i krzeseł mających przewodzące kółka. Do najbardziej popularnych posadzek, których rozwiązania technologiczne umożliwiają ich wykorzystanie do ochrony przed elektrycznością statyczną należą posadzki betonowe z warstwą użytkową w postaci: wykładzin ESD, z syntetycznych żywic epoksydowych, a także posiadające utwardzoną powierzchniowo górną powierzchnię suchą posypką DST.

W przypadku posadzek DST do najczęstszych błędów projektowych należy pominięcie istotnych aspektów technologicznych i różnic wynikających ze stosowania standardowych



rozwiązań DST i antyelektrostatycznych systemów DST. Do najczęstszych błędów wykonawczych należą: niewłaściwe przygotowanie podłoża, podkładu, podbudowy, niewłaściwie zaprojektowana receptura mieszanki betonowej oraz błędna pielęgnacja posadzki.

Należy również zwrócić uwagę, że krajowe wytyczne w zakresie ochrony przed elektrostatycznością statyczną, dotyczące materiałów wybuchowych i klasyfikacji stref zagrożenia wybuchem nie mają odpowiednika w przepisach europejskich. Aktualne przepisy krajowe znacznie wyprzedzają pod względem formalno-prawnym wytyczne zagraniczne, a co za tym idzie na budowach powstają problemy natury formalno-prawnej w przypadku adaptacji projektów opracowywanych przez biura projektowe niezaznajomione z przepisami krajowymi.

Realizacja posadzek w obiektach gdzie wymagana jest ich antyelektrostatyczność generuje konieczność ich realizacji w oparciu o podwyższone standardy zarówno projektowe, ja również wykonawcze. Ponadto dla obiektów w których przewidziane są do realizacji tego typu posadzki wymagane jest opracowanie *Zakładowych Programów Ochrony przed Elektrostatycznością Statyczną*.

Literatura

1. Chmielewska B., Czarnecki L.: Materiały i wymagania dotyczące posadzek. XXVI Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, tom I: 239 – 279, 2011.
2. Czarnecki L., Mierzwa J.: Wybrane przyczyny materiałowe uszkodzeń posadzek betonowych”. *Materiały Budowlane* 385 (9): 32 ÷ 34, 2004.
3. Kowalski J. M.: Ocena materiałów podłogowych w aspekcie ochrony przed elektrycznością statyczną. *Podłoga*, 3, 10-, Warszawa, 2000.
4. Chmielewska B., Czarnecki L.: Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych”. *Materiały Budowlane* 474 (2): 5 – 9. 2012.
5. Drobiec Ł.: Diagnostyka posadzek przemysłowych, *Materiały Budowlane* 10/2021.
6. Ryżyński W.: Naprawa posadzek betonowych za pomocą powłok żywicznych. *Materiały Budowlane* 505 (9): 16 – 18, 2014.
7. Ryżyński Wł.; Naprawa posadzek betonowych za pomocą elastycznych powłok żywicznych, *Materiały Budowlane* 10/2016, s. 44-46.
8. Ryżyński W., Świątek-Żołyńska S.: Posadzki antyelektrostatyczne w obiektach przemysłowych, *Materiały Budowlane* 10/2021
9. Świątek-Żołyńska, S., Majewski, T., Niedostatkiewicz, M.: Posadzki antyelektrostatyczne kluczowym elementem ochrony przed elektrycznością statyczną - wybrane wymagania techniczne. *Builder*, 275, 40-42, Warszawa, 2020.
10. Świątek-Żołyńska, S., Majewski, T., Niedostatkiewicz, M.: Wybrane zagadnienia projektowania, wykonawstwa oraz użytkowania betonowych posadzek przemysłowych w aspekcie ich ścieralności. *Przegląd Budowlany*, 24-31, Warszawa, 2020.
11. Świątek-Żołyńska, S., & Piotrowski, T. (2017). Beton posadzkowy - wymagania i odpowiedzialność za jakość zgodnie z PN-EN 206. *Materiały Budowlane*, 5-8.
12. Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Ocena techniczna podłóg przemysłowych-błędy wykonawcze i eksploatacyjne. *Izolacje*, 6, 2-6, Warszawa, 2020.
13. Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Uwarunkowania użytkowania podłóg przemysłowych-błędy projektowe. *Inżynier Budownictwa*, 183, 46-50, Warszawa, 2020.
14. Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Uwarunkowania użytkowania podłóg przemysłowych-błędy wykonawcze. *Inżynier Budownictwa*, 186, 62-65, Warszawa, 2020.



15. Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Wpływ błędów projektowych, wykonawczych oraz sposobu eksploatacji na trwałość podłóg przemysłowych. Izolacje, 3, 2-7, Warszawa, 2020.
16. Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Wpływ błędów projektowych, wykonawczych oraz sposobu eksploatacji na trwałość podłóg przemysłowych. XXXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2020, Szczyrk 2020.
17. Pająk Z., Drobiec Ł.: Uszkodzenia i naprawy betonowych podkładów posadzek przemysłowych. XXIII Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji WPPK-2008, Szczyrk, 2008.
18. PN-EN 13318:2002 *Podkłady podłogowe oraz materiały do ich wykonania. Terminologia.*
19. PN-E-05200:1992 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Terminologia.*
20. PN-E-05203:1992 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem. Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu*
21. PN-E-05204:1994 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń. Wymagania.*
22. PN-E-05205:1994 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Ochrona przed elektrycznością statyczną w produkcji i stosowaniu materiałów wybuchowych. Wymagania.*
23. PN-EN-61340-4-1:2006/A1:2015 *Elektryczność statyczna. Część 4 - 1: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań. Rezystancja elektrostatyczna wykładzin podłogowych i gotowych podłóg.*
24. PN-EN 61340-4-5:2006 *Elektryczność statyczna. Część 4 - 5: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań. Metody oceny skuteczności ochrony przed elektrycznością statyczną, zapewnianej przez obuwie i podłogę w układzie z udziałem człowieka.*
25. PN-EN 1127-1:2011 *Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: pojęcia podstawowe i metodyka.*
26. PN-EN 61340-5-1:2017 *Elektryczność statyczna. Część 5 - 1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną. Wymagania ogólne.*
27. IEC/TS 60079-32-1:2013+A1:2017 *Explosive atmospheres.*
28. PN-EN 61340-2-3:2016-11 *Elektryczność statyczna -- Część 2-3: Metody badań stosowane do wyznaczania rezystancji i rezystywności materiałów stałych, używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego*
29. Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. Dz.U. 2003 nr 121 poz. 1137.
30. Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dz.U. 2003 nr 169 poz. 1650.
31. Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 16 grudnia 1999r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (piętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG).
32. Bautech® Antistatic System: Karta Techniczna systemu posadzki antyelektrostatycznej.

