

Reologiczne przyczyny uszkodzeń betonowych posadzek bezspoinowych na przykładzie wielkopowierzchniowej hali magazynowej – diagnostyka i badania

mgr inż. Mariusz Okuń, mgr inż. Wojciech Kręgiel, dr inż. Rafał Dybicz

1. Wprowadzenie

Pęknięcia i rysy są jednymi z częściej występujących uszkodzeń betonowych posadzek bezspoinowych. Uszkodzenia mogą być wywołane błędami projektowymi (najczęściej złym doбором materiałów posadzki, warstw posadzki, złym rozwiązaniem dylatacji), błędami wykonawczymi oraz niewłaściwym użytkowaniem. W artykule zwrócono uwagę na reologiczne aspekty jako przyczynę uszkodzenia betonowej bezspoinowej posadzki utwardzanej powierzchniowo preparatem proszkowym – w technologii DST (*Dry Shake Topping*). Artykuł ma na celu wykazanie znaczenia jakości składników oraz przestrzegania reżimów technologicznych w kontekście możliwości powstawania uszkodzeń pochodzenia reologicznego.

2. Przedmiot badań

Obiekt, w którym prowadzono badania uszkodzeń posadzek, to budynek jednokondygnacyjnej, niepodpiwniczonej hali, wykonanej w konstrukcji szkieletowej żelbetowej, dach płaski o 5% spadku, elewacja z paneli typu sandwich z wypełnieniem PIR. Wysokość budynku od poziomu terenu +0,00 do górnej krawędzi atyki wynosi 12,45 m. Parametry techniczne obiektu:

- układ osi 12,00x22,50 m,
- wysokość do atyki 12,45 m (średniowysoki – „SW”),
- wysokość użytkowa hali, w świetle 10,00 m,
- liczba kondygnacji nadziemnych hali 1,
- liczba kondygnacji podziemnych 0,
- powierzchnia zabudowy 41 983,05 m²,
- powierzchnia użytkowa 39163,85 m²,

W oparciu o informacje zawarte w projekcie wykonawczym posadzki beznacięciowej i dokumentację powykonawczą, posadzkę w przedmiotowej hali wykonano z betonu C25/30 w klasie ekspozycji XC4, grubości 170 mm, zbrojoną zbrojeniem rozproszonym



Rys. 1. Widok ogólny hali

– włóknami stalowymi DRAMIX 3D 100/60 dozowanymi w ilości 15 kg/m³. Przy słupach zaprojektowano dozbrojenia siatkami oraz prętami ze stali żebrowej. Posadzka została wykończona mieszanką mineralną SICON Special 30 FIBRE dozowaną w ilości około 4,0 kg/m². Posadzka została zaimpregnowana preparatem ASHFORD FORMULA aplikowanym w ilości około 0,1 dm³/m². W projekcie posadzki przyjęto do obliczeń wtórny moduł odkształcenia podbudowy stabilizowanego na poziomie większym od 120 MPa, zaś stosunek wtórnego do pierwotnego modułu odkształcenia mniejszy niż 2,5 według pomiarów testem VSS w ilości 1 test na 500 m². Dylatacje zostały zrealizowane zgodnie z projektem, który zakładał maksymalne ich rozmieszczenie w siatce 37,5x36 m.

Dylatacje konstrukcyjne docelowo zostały zabezpieczone żywicą epoksydową oraz zastosowano dyblowanie – zabezpieczone od ruchów pionowych poprzez system „Conecto Dowel”. W początkowej fazie do ok. 2–3 miesięcy dylatacja powstawała poprzez rozsuniecie krawędzi wyznaczonej przez nakładkę plastikową. Po uzyskaniu rozszerzenia do ok. 10 mm nastąpiło brzdowanie

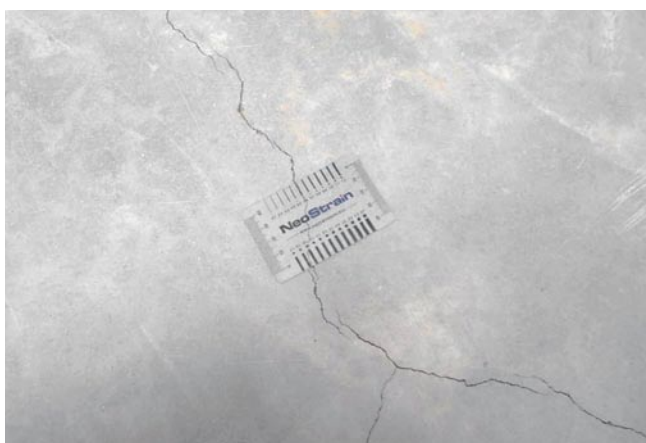
betonu i ułożono twardą żywicę epoksydową oraz wykonano nacięcie na szerokość 3 mm i wypełniono dytatację materiałem Sikaflex.

3. Badania diagnostyczne

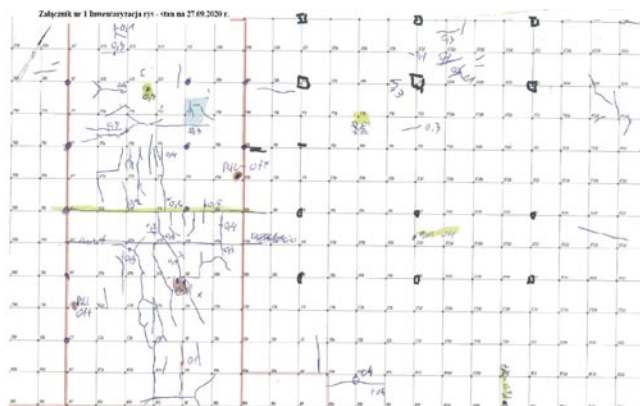
W trakcie oględzin posadzki zaobserwowano rysy na posadzce zarówno o siatce regularnej, jak i nieregularnej. Rysę określa się jako nieciągłość materiału charakteryzującą się tym, że jej trzeci wymiar – szerokość jest znacznie mniejsza niż dwa pozostałe, czyli długość i głębokość. Rysa jest niczym innym jak pierwotnym lub wtórnym brakiem spójności w stykach przylegających do siebie części szkieletu materiałowego. Powszechnie uznaje się, że szerokość rysy dochodzi do 1 mm, uszkodzenia o rozwarciu dochodzącym do 1 cm nazywa się pęknięciami, a przekraczającym 1 cm – szczelinami. Intensyfikacja rys na posadzce obiektu była bardzo zróżnicowana, występowały obszary z małą i dużą ilością rys, jak również całkowicie bez rys. Szerokość rozwarcia rys była również bardzo zróżnicowana. Zaobserwowano i zmierzono rysy o rozwarciu od 0,1 do 0,9 mm.



Rys. 2. Typowe rysy na obiekcie



Rys. 3. Pomiar rozwarości rys w jednym z obszarów; zmierzona rozwarłość od 0,2 do 0,6 mm



Rys. 4. Inwentaryzacja uszkodzeń w sekcji, w której zaobserwowano największą ilość zarysowań

W celu rozpoznania przyczyn powstałych na posadzce rys przygotowano plan badawczy, który obejmował:

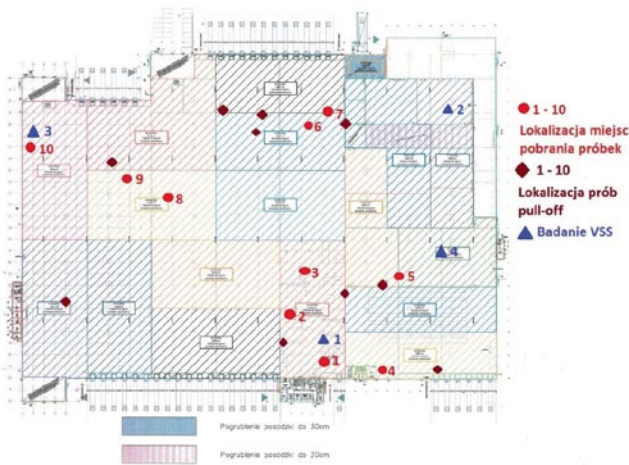
- inwentaryzację i pomiar rozwarości rys szczelinomierzem kartonikowym oraz za pomocą lupy pomiarowej firmy Eschenbach;
- wykonanie szczegółowej analizy sprawozdania z badań geotechnicznych, w których ustalono, że wtórny moduł odkształcenia E2 jest zgodny z projektem i wynosi min. 120 MPa, a wskaźnik odkształcenia: stosunek E2/E1 jest nie większy niż 2,5, co również jest zgodne z założeniami projektowymi;
- wykonanie analizy sprawozdań z badania identyczności betonu i ustalenie, że wbudowany w posadzkę beton spełnia klasę C25/30. W jednym tylko przypadku badania potwierdziły klasę C20/25, jednak nie udało się ostatecznie ustalić, czy mieszanka o klasie C20/25 została wbudowana w posadzkę czy też w inny element;
- pobranie próbek i wykonanie badań niszczących betonu poprzez zgniecenie próbek w prasie oraz badanie oznaczania zawartości zbrojenia rozproszonego w badanych próbkach;
- wykonanie badania wytrzymałości powierzchniowej warstwy posadzki na odrywanie metodą pul-off,
- badanie modułu sprężystości podłoża gruntowego VSS.

Lokalizację oraz liczbę wykonanych badań diagnostycznych przedstawiono na rysunku 5.

Wybrane badania diagnostyczne zaprezentowano na fotografiach (rys. 6–9).

W celu potwierdzenia postawionej tezy łącznie przeprowadzono czynności:

- pobrano 10 próbek betonu,
- wykonano 10 badań odrywania pull-off,
- wykonano badanie płytą VSS,
- wykonano badanie zawartości zbrojenia rozproszonego w badanych próbkach.



Rys. 5. Lokalizacja, liczba oraz rodzaje badań

Na podstawie wykonanych badań diagnostycznych ustalono, że:

- grubość posadzki wynosi od 150 do 180 mm;
- głębokość rys w wykonanych odwiertach jest zróżnicowana – od kilku cm od wierzchu w dół i dochodzi do kilkunastu cm;



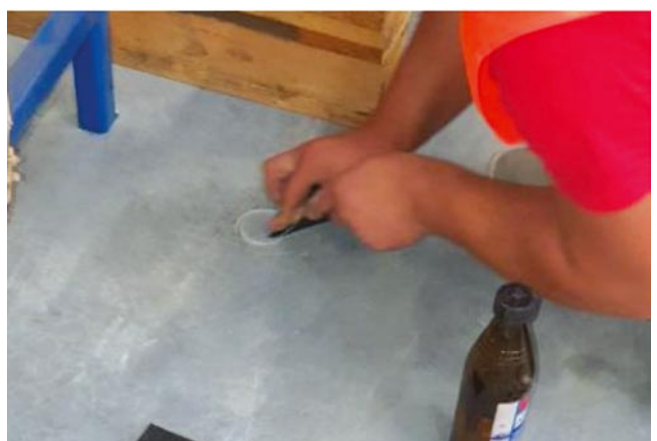
Rys. 6. Badania geotechniczne



Rys. 7. Pobranie próbek betonu do badania niszczącego



Rys. 8. Próbki betonu, odwiert przez rysy



Rys. 9. Przygotowanie do badania wytrzymałości powierzchniowej warstwy posadzki na odrywanie metodą pull-off

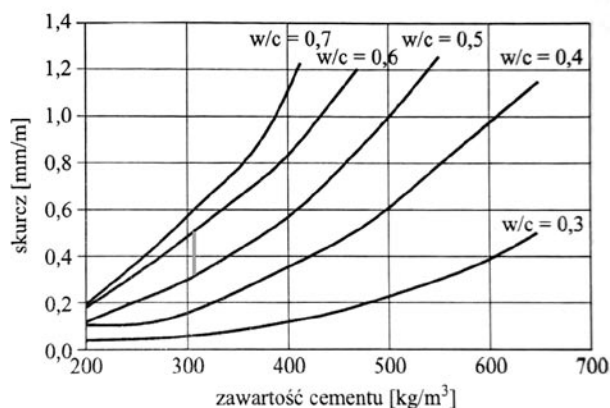
- określone na podstawie badań wytrzymałości betonu na ściskanie wahały się w granicach 31,6–37,5 MPa, przy średniej wartości 36 MPa. Wymagania projektowe w zakresie wytrzymałości betonowej płyty posadzki na ściskanie w klasie C25/30 zostały spełnione – także w przypadku odwiertów wykonanych w miejscach rys w posadzce. Parametry wytrzymałości na ściskanie pobranych próbek odpowiadały klasie betonu C25/30;
- wykonane badania wytrzymałości powierzchniowej warstwy posadzki na odrywanie pull-off pozwoliły określić średnią wytrzymałość na odrywanie 2,9 MPa;
- wykonane badanie oznaczenia zawartości zbrojenia rozproszonego w badanych próbkach wykazało zawartość włókien od 12,6 do 17,4 kg/m³ betonu. Projekt wykonawczy posadzki zakładał ilość zbrojenia rozproszonego – włóknami stalowymi DRAMIX 3D 100/60 dozowanymi w ilości 15 kg/m³. Średnia ilość zawartości włókien zbrojenia rozproszonego w badanych próbkach wynosi 15,1 kg/m³, co pozwala uznać, że założenia projektu są spełnione;

Tabela 1. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie pobranych próbek

Numer próbki	Wysokość mm	Średnica mm	Stosunek długość / średnica	Masa g	Siła niszcząca kN	Gęstość kg/m ³	Wytrzymałość na ściskanie MPa
1	93,1	93,0	1,0	1382	244,2	2,19	36,0
2	93,6	93,0	1,0	1404	254,2	2,21	37,4
3	93,2	93,0	1,0	1417	254,7	2,24	37,5
4	93,3	93,0	1,0	1415	254,7	2,23	37,5
6	93,0	93,0	1,0	1356	214,4	2,15	31,6
niepewność pomiaru*:							±
najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości:					$f_{is,lowest}$	31,6	
średnia wytrzymałość uzyskana dla badanej serii próbek:					$f_{m(n),is}$	36,0	

Tabela 2. Wyniki badania metodą pull-off

Wyniki badań					
Lp.	Punkt pomiarowy nr	Położenie punktu pomiarowego	Wytrzymałość na odrywanie [MPa]	Wymagana wytrzymałość na odrywanie	Typ zniszczenia
1	1A	-	3,4	≥ MPa	A
2	2A	-	3,4		A
3	3A	-	2,1		A
4	4A	-	3,1		A
5	5A	-	3,6		A
6	6A	-	2,6		A
7	7A	-	3,8		A
8	8A	-	3,3		A
9	9A	-	1,7		A
10	10A	-	2,4		A
Wartość średnia:			2,9		



Rys. 10. Wartość skurczu w zależności od zawartości cementu i wskaźnika w/c. Szarą linią pionową zaznaczono zawartość cementu wynikającą z receptury (310 kg/m³) – dla przedziału wskaźnika w/c = 0,5–0,6

• badania podłoża pod posadzką potwierdziły spełnienie założeń projektu wykonawczego posadzki. Receptura mieszanki betonowej, jaka została zastosowana, zakłada wskaźnik w/c = 0,53, a projekt wykonawczy posadzki wartość wskaźnika w/c nie większą niż 0,52 – wartość zbliżona. Betony posadzkowe o w/c mniejszym od 0,5 charakteryzują się stosunkowo niskim skurczem i z tego względu zaleca się do wykonywania posadzek DST stosować mieszankę betonową o wskaźniku w/c nie większym niż 0,5,

gdyż powyżej tej wartości przyrost skurczu zwiększa się. Wzrost projektowanej maksymalnej wartości wskaźnika w/c = 0,52 do wartości określonej w recepturze mieszanki w/c = 0,53 skutkuje zwiększeniem skurczu, ale przyrost skurczu w związku ze zwiększeniem wskaźnika w/c o 0,01 jest nieznaczny. Zawartą w literaturze przedmiotu zależność wartości skurczu od zawartości cementu i wskaźnika w/c zamieszczono na rysunku 10.

Tabela 3. Wyniki badania modułu sprężystości podłoża gruntowego

Obiekt:	-	Element:	Stabilizacja pod posadzkę							
Data badania:	24.09.2020	Godzina:	Model płyty dynamicznej: ZFG01 (ZORN)							
Materiał:	Podłoże ulepszone	Numer zlecenia:	KR/64/09/2020							
Lp	Lokalizacja punktu pomiarowego wg szkicu sytuacyjnego	Określony moduł sprężystości E_{vd} [MPa]	Amplituda osiadania s [mm]			Wartość średnia amplitudy s [mm]	Obliczony moduł wtórny E_{v2} [MPa]	Wymagany moduł odkształcenia wtórego E2 [MPa]	Obliczony wskaźnik zagęszczenia I_s [-]	Wymagany wskaźnik zagęszczenia I_s [-]
1	-	76,8	0,30	0,30	0,28	0,29	177,4	-	1,00	1,00

Uwagi:

Badany materiał spełnia wymagania związane z wartością wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,00$
 Moduł wtórny obliczony jest na podstawie przybliżonej zależności :

$$E_{v2} = \ln \frac{300}{300 - E_d}$$

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych oględzin posadzek w badanym obiekcie, wykonanych czynności diagnostycznych oraz po analizie udostępnionych dokumentów sformułowano następujące wnioski.

- Na posadzce betonowej występują rysy o siatce regularnej i nieregularnej oraz siateczki mikrorysy o genecie reologicznej.
- Przebieg badanych rys wskazuje na to, iż mają one charakter skurczowy. Zjawisko skurczu jest nieodłącznie związane z technologią betonu. Rysy skurczowe w większości przypadków, szczególnie kiedy mają rozwartość, jak w badanych posadzkach, nie wpływają w sposób istotny na stan techniczny posadzki. W tym przypadku wpływają one niekorzystnie jedynie na estetykę posadzki.
- Za podstawową przyczynę powstania rys uznaje się skurcz betonu. Pozostałymi czynnikami mogącymi mieć wpływ na ich powstanie i rozwój są temperatura i możliwe oddziaływania mechaniczne.
- Występujące na płycie betonowej posadzki rysy o szerokości do 0,3 mm są efektem zachowania się konstrukcji płyty posadzki budynku poddanej obciążeniom – wynikają z założeń normowych i nie mają większego wpływu na wymagania użytkowe.

Zarysowania posadzki wynikają przede wszystkim ze skurczu chemicznego, fizycznego i termicznego płyt betonowych. Skurcz chemiczno-fizyczny powstaje w wyniku wiązania wody z cementem w procesie hydratacji i odparowania jej nadmiaru.

Skurcz chemiczny wynika z chemicznego procesu hydratacji cementu. Występuje on podczas wiązania betonu i jest nieodwracalny.

Skurcz fizyczny wynikający z wyparowania nadmiaru wody jest częściowo odwracalny i może ulec redukcji przy ponownym nawilżeniu betonu.

Nadmiar wody wynika z potrzeby uzyskania odpowiedniej urabialności mieszanki betonowej. Dla procesu hydratacji jest potrzebne ok. 25% wody w stosunku do masy cementu, co odpowiada wskaźnikowi $w/c = 0,25$. W praktyce ten wskaźnik jest prawie dwukrotnie większy i aby go obniżyć, stosuje się plastyfikatory.

Skurcz chemiczno-fizyczny narasta z czasem do wartości:

- po miesiącu – 50% wartości maksymalnej,
- po 3 miesiącach – 70% wartości maksymalnej,
- po 1 roku – 90% wartości maksymalnej.

Skurcz termiczny wynika ze zmian temperatury płyty. Zarysowania spowodowane są czasami też drugorzędym skurczem powierzchni i powstaje tak zwana drobna siatka spękań. Są one drobne i lekko widoczne. Kształt

pęknięć przypomina siatkę, która jest lepiej widoczna, gdy zmoczy się powierzchnię posadzki. Chociaż w porach tych pęknięć mogą się gromadzić zanieczyszczenia, nie jest to objaw destrukcji konstrukcyjnej i niekoniecznie wskazuje na dalsze pogarszanie się struktury płyty w jej wnętrzu. Mała wilgotność względna powietrza i jego wysoka temperatura, gorące promienie słoneczne lub wysuszający wiatr mogą spowodować bardzo szybkie wysychanie powierzchni, co powoduje powstanie drobnej siateczki spękań. Aby tego uniknąć, należy natychmiast rozpocząć pielęgnację po zakończeniu prac wykończeniowych, stosując mokre techniki pielęgnacyjne. Należy też unikać naprzemiennego nawilżania i suszenia betonu we wczesnym okresie, nie należy zacierać zbyt mokrej powierzchni, unikać rozpylania suchego cementu na powierzchni w celu przyspieszenia wysychania przed wykończeniem oraz zraszania wodą powierzchni płyty podczas robót wykończeniowych.

Należy zauważyć, że powstanie rys w wielu konstrukcjach jest nieuniknione, zatem na etapie projektowania przeprowadza się obliczeniową kontrolę stanu granicznego zarysowania i ogranicza się rysy do zakresu, który nie wpłynie istotnie na trwałość konstrukcji, jej użytkowanie czy estetykę. Graniczną szerokość rozwarcia rys ustala się w zależności od klas ekspozycji. Dla zaprojektowanej i wykonanej płyty posadzki z betonu zbrojonego w klasie ekspozycji XC4 „PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków” określa graniczną szerokość rozwarcia rys wynoszącą 0,3 mm.

Opisany w niniejszym artykule przykład stanu zachowania się posadzki potwierdza, że w przypadku zgodnej z założeniami projektu nośności podłoża, podstawowymi przyczynami zarysowania posadzki betonowej są przede wszystkim zjawiska skurczowe betonu posadzkowego. Autorzy w tym przypadku nie wykluczają także wpływu na powstanie zarysowań możliwych błędów w trakcie produkcji mieszanki betonowej (wyższy niż projektowany wskaźnik w/c , zawilgocenie kruszyw itp.) oraz w procesie pielęgnacji betonu. Dotyczy to zwłaszcza lokalizacji działek roboczych, gdzie skupiska rys były największe. Intensywność występowania rys na posadzce była zróżnicowana, obszar silnie zarysowanych posadzek ograniczał się do kilku działek, na których proces powstawania rys nie został zakończony. Biorąc pod uwagę fakt, że badania prowadzono na nowym obiekcie to należy stwierdzić, że procesy związane ze skurczem będą jeszcze trwać i należy się spodziewać dalszej propagacji zarysowań skurczowych oraz rys, które mogą pochodzić od oddziaływań mechanicznych związanych ze sposobem użytkowania posadzki. Z praktyki

autorów wynika, że największy przyrost zarysowań skurczowych ma miejsce w ciągu pierwszego roku użytkowania obiektów.

Należy zwrócić uwagę, że najważniejszym aspektem z uwagi na realizację posadzek betonowych jest reologia betonu, a zwłaszcza jego skurcz. Zbyt wysoka jego wartość wręcz uniemożliwia realizację posadzek bezspoinowych i prowadzi do powstania uszkodzeń w przypadku posadzek z dylatacjami pozornymi jak w przedmiotowym przypadku. Prawidłowo zaprojektowany i wykonany beton będzie wykazywał skurcz na poziomie nieprzekraczającym 0,4 mm/m [8]. Biorąc pod uwagę, że na skurcz betonu składa się zarówno skurcz autogeniczny – wywołany procesami hydratacji cementu, jak również skurcz związany z utratą wody, ważne jest w betonach posadzkowych ograniczanie zawartości spoiwa i ograniczanie wartości wskaźnika w/c . Z tego też powodu przyjmuje się, że w przypadku betonu na posadzkę wskaźnik $w/c \leq 0,55$ przy ilości cementu nie większej niż 350 kg/m³.

W przedmiotowym przypadku warunki te zostały spełnione, jednak doszło do wytworzenia dylatacji pozornej. Przykład ten dobitnie pokazuje, jak precyzyjnie muszą być kontrolowane wszystkie aspekty, tj. ilość i rodzaj cementu, współczynnik w/c , jakość i wilgotność kruszywa, aby uzyskać właściwej jakości bezspoinową posadzkę betonową.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych tom 1, 2, 3, 4 – Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1989
- [2] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych część B: Roboty wykończeniowe zeszyt 8: Posadzki betonowe utwardzone powierzchniowo preparatami proszkowymi – instrukcja nr 433/2010 Instytut Techniki Budowlanej, 2010
- [3] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych część B: Roboty wykończeniowe zeszyt 8: Posadzki betonowe utwardzone powierzchniowo preparatami proszkowymi – instrukcja, Instytut Techniki Budowlanej, 2014
- [4] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych część B: Roboty wykończeniowe zeszyt 3: Posadzki mineralne i żywiczne – instrukcja Instytut Techniki Budowlanej, 2013
- [5] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych część A: Roboty ziemne i konstrukcyjne zeszyt 5: Konstrukcje betonowe i żelbetowe – instrukcja ITB nr 431/2008 znowelizowana w 2013
- [6] Hajduk P., Projektowanie podłóg przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, 2013
- [7] Hajduk P., Projektowanie i ocena techniczna podłóg przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2018
- [8] Giergiczyński Z., Sokołowski M., Pużak T., Dziuk D., Beton według normy PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność, Informator Górażdże Cement
- [9] Drobiec Ł., Jasieński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali, tom I, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [10] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, tom II, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2019
- [11] Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A., Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu Komentarz do PN-EN 1504, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017



XVII

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

WARSZTAT PRACY RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO

Kielce - Cedzyna 19-21 października 2022 roku

rzeczoznawstwo2022.tu.kielce.pl

ADRES KOMITETU ORGANIZACYJNEGO

Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury
„Rzeczoznawstwo 2022”
25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel. +48 41 34 24 546 /+48 501621627
fax +48 41 34 43 784
e-mail: rzeczoznawstwo2022@tu.kielce.pl
rzeczoznawstwo2022.tu.kielce.pl

organizatorzy:



Politechnika Świętokrzyska
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I ARCHITEKTURY