

awarie budowlane 2015

PRZYCZYNY USZKODZEŃ NOWEJ NAWIERZCHNI BETONOWEJ SKŁADOWISKA KONTENEROWEGO

ARKADIUSZ KWIECIEŃ, *akwiecie@pk.edu.pl* TADEUSZ TATARA BOGUSŁAW ZAJĄC Instytut Mechaniki Budowli, Politechnika Krakowska

Streszczenie: W pracy zaprezentowano przypadek powstania uszkodzeń w nowo wybudowanej nawierzchni placu kontenerowego. Opisane zostały rodzaje uszkodzeń oraz przyczyny ich powstania. Analizie poddano wyniki badań laboratoryjnych betonu pobranego z nawierzchni oraz wyniki pomiarów tensometrii mechanicznej na bazach zainstalowanych w miejscu uszkodzeń i szczelin dylatacyjnych. Na ich podstawie sporządzono wnioski z analizy, wskazujące zjawisko skurczu, jako główną przyczynę powstania rys i pęknięć, które ulegają powiększaniu podczas występujących obciążeń termicznych.

Słowa kluczowe: nawierzchnie betonowe, przyczyny uszkodzeń, skurcz, praca termiczna.

1. Wstęp

Nawierzchnie betonowe z betonu cementowego są najczęściej użytkowane przy przenoszeniu dużych obciążeń [1], ale ich bezawaryjna eksploatacja zależna jest od prawidłowego zaprojektowania i wykonania. Przyczyny powstawania uszkodzeń w tego rodzaju konstrukcjach były szczegółowo omawiane w wielu pracach [2–9].

Przedmiotem badań diagnostycznych i analiz porównawczych, przedstawionych w niniejszej pracy, jest fragment nowo wybudowanego składowiska kontenerowego, wykonanego z betonu cementowego zbrojonego (drutobeton) w układzie oddylatowanych pól o wymiarach 20×20 m. Nawierzchnia ta została poddana oględzinom pod kątem inwentaryzacji uszkodzeń powstałych zaraz po jej wybudowaniu i identyfikacji przyczyn ich powstania. Przedstawiona praca została opracowana na podstawie badań przeprowadzonych przez akredytowane laboratorium wg właściwych normatywów [10-18] oraz ekspertyzy, wykonanej przez zespół z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej [19].

2. Opis zinwentaryzowanych uszkodzeń

Uszkodzenia nawierzchni betonowej zostały poddane oględzinom w dwóch etapach. W grudniu 2013 r., w niedługim czasie po wykonaniu, stwierdzono występowanie drobnych pojedynczych zarysowań na powierzchni analizowanego obszaru, o długościach 3–8 m. Rysy na powierzchni zbrojonych płyt nawierzchniowych były trudno zauważalne, o rozwartości nieprzekraczającej 0,5 mm, jednak z wyraźnie inicjowanym wykruszaniem krawędzi. Podobny charakter uszkodzeń został zinwentaryzowany na podbudowie betonowej w części placu będącego jeszcze w budowie. Wzdłuż liniowego odwodnienia, wykonanego na całej długości placu, zlokalizowano rysy ułożone po jego obu stronach, prostopadłe do niego i o długości nieprzekraczającej 1 m, ale o stosunkowo dużym zagęszczeniu (występowały co kilkadziesiąt centymetrów).

Oględziny próbek betonu (walce betonowe z odwiertów na pełną głębokość płyt) pobranych w miejscu rys wykazały, że rysy widoczne na powierzchni płyt przebiegają na wskroś grubości płyty. Na rysach zamontowano bazy pomiarowe tensometrii mechanicznej.

W lipcu 2014 r. dokonano ponownych oględzin zinwentaryzowanych uszkodzeń. Po ponad półrocznej eksploatacji stwierdzono pojawienie się wyraźnej siatki uszkodzeń (zarysowań i pęknięć) o zróżnicowanym charakterze, zaprezentowanym na rys. 1 na przykładzie jednego pasma płyt o wymiarach 10×20 m.



Rys. 1. Rysy i pęknięcia zinwentaryzowane w lipcu 2014 r. (podkreślone na czerwono)

Duże skupisko krótkich rys i pęknięć było wyraźnie zauważalne w otoczeniu odwodnienia liniowego (rys. 2). Pęknięcia inicjowane były na krawędzi kanału i zanikały w pewnej odległości od niego. Obraz uszkodzeń wskazywał na postępującą degradację, wynikającą z pracy termicznej rozdzielonych pęknięciami fragmentów betonu. Potwierdzają to wykruszenia na krawędziach pęknięć i odseparowane kawałki betonu (rys. 3), które z czasem wypadają, pozostawiając głębokie ubytki. Uszkodzenia o tym charakterze występują na długich rysach przebiegających w poprzek płyt, dzielących całą płytę na mniejsze fragmenty. Ponad półroczna ekspozycja nawierzchni betonowej na warunki środowiskowe uwidoczniła także uszkodzenia powierzchniowe w postaci mikropęknięć, które inicjowane są w miejscu pęknięć głównych oraz układają się prostopadle do ich krawędzi (obraz przypominający "rzekę z dopływami"). Siatki takich mikropęknięć powierzchniowych są widoczne także w polach poza miejscami występowania pęknięć głównych (rys. 3).

W miejscu dyblowanych szczelin dylatacyjnych rozszerzania, obejmujących także kanał odwadniający z betonu polimerowego (rys. 4), zaobserwowano wypchnięcie uszczelniającej masy bitumicznej w pionie na wysokość około 10 mm ponad płaszczyznę nawierzchni (rys. 5). Wypchnięcie takie nie było obserwowane w miejscu pozornej szczeliny dylatacyjnej (rys. 4), także wypełnionej bitumem. Zjawiskiem niepokojącym są ubytki w uszczelniającej masie bitumicznej (rys. 5), przez które dostaje się woda do podłoża płyty.



Rys. 2. Rysy i pęknięcia wokół odwodnienia liniowego (lipiec 2014)



Rys. 3. Pęknięcia w poprzek płyty: z wykruszeniami na krawędziach i odseparowanymi kawałkami betonu, z promieniście rozchodzącymi się mikropęknięciami (połączone i niepołączone z pęknięciami głównymi) oraz odpryskami (lipiec 2014)



Rys. 4. Dyble oblane betonem w miejscu przerwy technologicznej, dylatacja kanału odwadniającego oraz widok naciętej szczeliny pozornej z brakiem pęknięcia skurczowego – brak swobody przesuwu



Rys. 5. Wyciśnięta oraz uszkodzona masa bitumiczna wypełniająca szczeliny dyblowane (lipiec 2014)

2. Porównanie wartości charakteryzujących beton nawierzchni z wartościami normatywnymi

W akredytowanym Laboratorium Badawczym Materiałów i Konstrukcji Budowlanych WIL PK (L-18) zostały wykonane badania parametrów betonu pobranych próbek walcowych nawierzchni. Porównano je z wartościami podanymi w Specyfikacji Technicznej Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (STWiORB) [10] oraz z właściwymi normami [11–18]. Porównanie wybranych parametrów (wartości normowe w nawiasach):

- wytrzymałość na ściskanie [MPa]: min. 42 (min. 40 [11]);
- wytrzymałość na ściskanie [klasa]: C35/45 (C35/45 [12]);
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu [MPa]: średnia 4,6 / min. 4,1 (średnia –4,5 / min. 3,5 [13]);
- nasiąkliwość [%]: 4,3 (< 5 [14]);</p>
- odporność na wnikanie benzyny i olejów: 24 (< 30 [15]);
- wodoszczelność [-]: W8 (min. W6 [14]);
- mrozoodporność [%]: ubytek masy $\Delta G = 0,07$, spadek wytrzymałości $\Delta R = 14,8$ (F200 [14]);
- zawartość włókien stalowych [kg/m³]: średnia 33,7/ min. 31,1 (min. 30 [16]);
- struktura porowatości:
 - zawartość powietrza A[%]: 4,36 (min. 3,5 [17]);
 - wskaźnik rozmieszczenia <u>*L*</u> [mm]: 0,193 (min. 0,200 [17]);
 - zawartość mikroporów A₃₀₀ [%]: 1,81 (pow. 1,5 [17]);

– gęstość [kg/m³]: w stanie suchym–2356/nasyconym–2459 [18].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry betonu zastosowanego w nawierzchni są wyższe niż były wymagane. Z pomiarów grubości płyt wykonanych z wykorzystaniem odwiertów wynika, że grubość ta w niektórych miejscach nie spełniała wymogów podanych w STWiORB [10]. Maksymalna, minimalna i średnia wartość wynosiły odpowiednio 389, 362 i 368 mm. W rozważanym przypadku grubość projektowana wynosiła 380 mm, a dopuszczalna 374 mm.

3. Badanie i analiza pomiarów zmian rozwartości powstałych rys i istniejących szczelin dylatacyjnych

Praca uszkodzonych płyt była badana przy użyciu tensometrii mechanicznej (z dokładnością pomiaru $\pm 0,1$ mm) [9], z równoczesnym pomiarem temperatury powietrza i betonu. Wyniki pomiarów tensometrycznych posłużyły do określenia zmian rozwartości powstałych rys i istniejących szczelin dylatacyjnych, przedstawionych w sposób graficzny na rys. 6, z podaniem temperatury betonu w środku płyty w trakcie pomiaru.

Analiza wyników pomiarów dotyczyła następujących grup (z podaniem wyników dla przykładowego punktu pomiarowego): rys i pęknięć głównych (punkt 26), szczelin dylatacyjnych



dyblowanych (punkt 55), szczelin pozornych (punkt 45) i rys w otoczeniu kanału odwodnienia liniowego (punkt 17), mierzonych przy temperaturze powietrza, kolejno: +1, +13 i +26°C.

Rys. 6. Zmiany rozwartości baz pomiarowych w wybranych punktach nawierzchni betonowej oraz towarzyszące im zmiany temperatury betonu w środku płyty betonowej

W pierwszym pomiarze, ze wzrostem temperatury betonu, rysy i pęknięcia główne uległy generalnie zamknięciu (punkt 26). W kolejnym pomiarze, z dalszym wzrostem temperatury powietrza, tendencja uległa odwróceniu i rysy zaczęły się otwierać. Zachowanie rys i pęknięć świadczy o termicznej pracy fragmentów płyt rozdzielonych pęknięciami (w początkowej fazie), która uległa następnie zaburzeniu przez wykruszanie betonu wewnątrz rys i pęknięć, powodujące redystrybucję naprężeń i powrót do stanu pierwotnego rozwarcia (brak wyraźnej zależności charakterystycznej dla pracy termicznej).

Szczeliny dylatacyjne dyblowane (punkt 55) ulegały największym zmianom, zgodnym z prawidłami zachowania płyt betonowych pod działającym przyrostem temperatury. W pierwszej fazie szczeliny uległy wyraźnemu zamknięciu o ok. 0,75 mm, a następnie zamknęły się o dalsze 7 mm (wypychając masę bitumiczną na zewnątrz). Zachowanie płyt oraz pomierzone wartości są charakterystyczne dla obciążenia termicznego przy równomiernym i nierównomiernym ogrzewaniu, a skala pomierzonych przemieszczeń odpowiada pracy płyty betonowej swobodnie podpartej o wymiarze 20×20 m².

Szczeliny pozorne (punkt 45) pracują tak jak powstałe rysy i pęknięcia główne, zarówno pod względem charakteru zmian jak i wielkości rozwarcia, co świadczy o braku zachowania charakterystycznego dla szczeliny dylatacyjnej i dla pracy termicznej.

Rysy w otoczeniu kanału odwodnienia liniowego (punkt 40) uległy zamknięciu ze wzrostem temperatury, by następnie powrócić do stanu wyjściowego (charakter pracy podobny jak w przypadku szczelin pozornych).

Zaobserwowany charakter pracy płyt wskazuje na zachowanie nawierzchni odmienne od zakładanego w projekcie (podział na pola o wymiarze 10×10 m²).

4. Przyczyny powstania uszkodzeń nawierzchni betonowej

Nie występuje jedna przyczyna powstania uszkodzeń nowej nawierzchni betonowej składowiska kontenerowego, lecz jest to zbiór przyczyn wynikający z mechaniki zachowania konstrukcji betonowych i żelbetowych. Bezpośrednią przyczyną powstania uszkodzeń głównych jest zjawisko skurczu betonu. Pęknięcia przebiegające przez całą długość pól 10×10 m² (pola wydzielone dylatacjami dyblowanymi i pozornymi), dzielące nawierzchnię na mniejsze pola (o wymiarach boku 3–5 m – rys. 1), były skrośne przez całą grubość płyty, już w początkowej fazie eksploatacji po wybudowaniu. Pekniecia te układają się na granicy pomiędzy strefą wieńca i wolną od prętów zbrojeniowych strefą wypełnioną drutobetonem (w najsłabszym miejscu na granicy obszarów o różnej sztywności), wskazując na oddzielenie od siebie pól silnie i słabo zbrojonych, i zanikają w strefie zbrojonych wieńców żelbetowych (rys. 7). Przy tak dużych powierzchniach, podział skurczowy płyty betonowej na mniejsze fragmenty jest naturalny. Uformowanie dylatacji dyblowanej i pozornej, przy jednoczesnym utworzeniu silnie zbrojonych ram żelbetowych (rys. 7), nie mogło zapewnić swobody przesuwu kurczącej się masy betonowej. Wykonanie nawierzchni z drutobetonu nie było w stanie zapobiec powstaniu pęknięć (bardziej właściwe byłoby zastosowanie siatek zbrojeniowych). W dobie przetargów z kryterium najniższej ceny, oszczędnościowe rozwiązania (jak to zaprezentowane) nie spełniają stawianych wymogów.



Rys. 7. Zbrojenie ram żelbetowych wokół dylatacji dyblowanych (w głębi) i pozornych (pierwszy plan)

Skurczowy charakter pęknięć potwierdza także obraz uszkodzeń w bezpośrednim otoczeniu odwodnienia liniowego (rys. 2). Zostało ono wykonane ze sztywnych kształtek z betonu polimerowego, łączonych na sucho na styk bez elastycznej przekładki (jedynie z dylatacją na wysokości szczeliny dyblowanej – rys. 2). Co więcej, kanały te zostały bezpośrednio zabetonowane w płycie, bez jakiegokolwiek oddylatowania wzdłużnego (kanał zintegrowany z płytą betonową), także w miejscu planowanych szczelin pozornych (rys. 8). Tym sposobem został utworzony sztywny element, niepodlegający odkształceniom wzdłużnym. W procesie kurczenia się betonu, nie pozwalał on na swobodne przemieszczenia betonu wokół kanału, co wymusiło powstanie gęstej siatki pęknięć, inicjowanych na krawędzi kanału i kończących się w strefie silniej zbrojonego podłużnie wieńca żelbetowego (rys. 2). Brak oddylatowania kanału od płyty betonowej w nowej nawierzchni jest odmiennym rozwiązaniem od zastosowanego wcześniej kanału oddylatowanego od płyty betonowej w nawierzchni starej (rys. 9), gdzie nie zaobserwowano tego rodzaju uszkodzeń.

Przedstawione uszkodzenia powstały w początkowej fazie dojrzewania betonu. Początkowo niewielkie (rys. 2), ulegały szybkiemu powiększaniu w wyniku termicznej pracy płyt, aż do powstania widocznych uszkodzeń z wykruszeniami i pojawieniem się odseparowanych fragmentów betonu. Zjawisko to jest charakterystyczne dla pracy termicznej płyt pod wpływem nierównomiernego ogrzewania i wynika z działania koncentracji naprężeń. Przy braku powstrzymania tego procesu, np. sposobami opisanymi w [9], płyty ulegają znaczącej degradacji obserwowanej wielokrotnie w przeszłości [8].



Rys. 8. Monolityczne zespolenie płyty betonowej z kanałem odwadniającym, uniemożliwiające niezależną pracę obu elementów podczas procesu skurczowego nawierzchni betonowej



Rys. 9. Miejsce styku nowej (po lewej) i starej (po prawej) nawierzchni betonowej, z widocznym oddylatowaniem kanału odwadniającego w nawierzchni starej i jego brakiem w nawierzchni nowej

6. Podsumowanie

Przedstawiona analiza wskazała skurcz, jako przyczynę powstania uszkodzeń nawierzchni betonowej nowo wybudowanego placu kontenerowego. Proces degradacji istniejących uszkodzeń (wynikający głównie z odkształceń termicznych) postępuje w dalszym ciągu i wymaga podjęcia interwencji konstrukcyjnej, w celu powstrzymania procesu destrukcji i przywrócenia możliwości długoletniego eksploatowania. Wykazana degradacja nawierzchni betonowej placu kontenerowego wymaga opracowania sposobów naprawy, które pozwolą na bezpieczną eksploatację i pracę termiczną płyt.

Literatura

- 1. Szydło A. Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, Wymiarowanie, Realizacja. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004
- 2 Bissonnette B., Courard L., Fowler D., Granju J.L. Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs and pavements. RILEM STAR Report Volume 3, 193-RLS RILEM TC (Springer, eds), Dordrecht, 2011, 175p.
- 3 Delatte N.J. Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. CRC Press 2014.
- 4. Tracz M., Grzybowska W. Awarie w projektowaniu, budowie i eksploatacji dróg. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane'07, Szczecin-Międzyzdroje 2007.
- Czarnecki L., Chmielewska B. Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych. XXIII Ogólnopolska Konferencja WPPK Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych, t. I, Szczyrk 2008.
- Pająk Z., Drobiec Ł. Uszkodzenia i naprawy betonowych podkładów posadzek przemysłowych. XXIII Ogólnopolska Konferencja WPPK Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych, t. III, Szczyrk 2008.

- 7. Wojtawicki J. Przyczyny powstania uszkodzeń nawierzchni z betonu cementowego. Lotnisko nr 3/2008.
- 8. Kwiecień A. Uszkodzenia betonowych nawierzchni lotniskowych. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna, Awarie Budowlane'09, Szczecin-Międzyzdroje 2009.
- 9. Kwiecień A. 2012: Polimerowe złącza podatne w konstrukcjach murowych i betonowych. Monografia nr 414, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Lądowa, Kraków, s. 250.
- 10. Wyciąg ze Specyfikacji Technicznej Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych- Nawierzchnia kontenerowej (specyfikacja inwestorska).
- 11. Norma PN EN 12504-1 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- 12. Norma PN-EN 13791 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- 13. Norma PN-EN 12390-6:2011. Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania.
- 14. Norma PN-88/B-06250. Beton zwykły.
- 15. Norma PN-EN 13877-2:2007. Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.
- 16. Norma PN-EN 14721:2007. Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym. Pomiary zawartości zbrojenia w świeżym i stwardniałym betonie.
- 17. Norma PN-EN 480-11:2008. Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu Metody badań. Część 11: Oznaczanie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie.
- 18. Norma PN-EN 12390-7:2011. Część 7: Gęstość betonu.
- 19. Opinia techniczna dotycząca powstałych zarysowań i mikropęknięć na płycie placu kontenerowego na terenie Euroterminalu Sławków Sp. z o.o., wraz ze wskazaniem wariantów sposobu naprawy istniejących uszkodzeń (Etap I i II). Politechnika Krakowska 2014.

Podziękowanie: Autorzy składają podziękowania zespołowi Akredytowanego Laboratorium Badania Materiałów i Konstrukcji Budowlanych L-18 WIL PK za pobranie próbek betonu oraz wykonanie i opracowanie wyników badań.

REASONS OF DAMAGES OF A NEWLY CONSTRUCTED CONCRETE PAVEMENT IN CONTAINERS LANDFILL

Abstract: In the paper a case of damages is presented that appeared in a new constructed concrete pavement of a containers landfill. Kinds of damages and reasons of their occurrence were described. Results from laboratory research on concrete specimens collected from the pavement and results from measurements done on cracks using mechanical strain gauges were analyzed. They indicate that a shrinkage phenomenon is responsible for cracks occurrence, which are still enlarging under thermal loads.

Keywords: concrete pavements, damages reasons, shrinkage, thermal loads.