



SPECYFIKA NAPRAW USZKODZEŃ NAWIERZCHNI BETONOWYCH

WIOLETTA JACKIEWICZ-REK, *w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl*

KAMIL ZAŁĘGOWSKI

ANDRZEJ GARBACZ

Politechnika Warszawska

MAŁGORZATA KONOPSKA-PIECHURSKA

TPA Sp. z o.o.

Streszczenie: Nawierzchnie betonowe są rozwiązaniem zapewniającym wyższą trwałość konstrukcjom drogowym niż nawierzchnie z mieszanki mineralno-asfaltowej, jednak są znacznie bardziej wrażliwe na błędy. Konieczne jest dołożenie wszelkich starań aby zapewnić prawidłowe ich wykonanie i użytkowanie. W referacie przedstawiono klasyfikację uszkodzeń nawierzchni betonowych wraz z podaniem czynników destrukcyjnych i ich genezy, która może wynikać z błędów projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych, popełnianych w trakcie realizacji nawierzchni betonowej oraz w trakcie cyklu jej życia. Omówiono ocenę uszkodzeń według Systemu Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN), jak również przeanalizowano możliwości wykorzystania metod nieniszczących do detekcji uszkodzeń nawierzchni. Pokazano również wybrane sposoby naprawy uszkodzeń powierzchniowych i strukturalnych nawierzchni betonowych.

Słowa kluczowe: nawierzchnie betonowe, uszkodzenia nawierzchni, naprawy nawierzchni betonowych.

1. Wstęp

Nawierzchnie betonowe w Polsce projektowane są na okres eksploatacji nie krótszy niż 30 lat zgodnie z wymaganiami zawartymi w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych z 2001 [1] oraz jego aktualizacji z 2014 [2]. W pierwszych latach eksploatacji nawierzchni betonowych zakres prac związanych z ich utrzymaniem ogranicza się głównie do przeglądu, oceny i wypełniania szczelin dylatacyjnych. Stan szczelin jest bardzo ważny, ze względu na konieczność zapewnienia ich szczelności i powinien być stale monitorowany. W kolejnych latach użytkowania mogą pojawić się pęknięcia krawędzi płyt w rejonie dylatacji. Po około 10 latach eksploatacji należy wykonać pierwsze zabiegi związane z poprawą szorstkości nawierzchni. Po około 20-30 latach mogą pojawić się spękania siatkowe oraz pęknięcia w narożach i krawędziach płyt, które wymagają wzmocnienia nawierzchni lub wymiany na nową [3]. Wszystkie wady i uszkodzenia nawierzchni betonowych mogą wystąpić we wcześniejszym okresie użytkowania niż to zakładano. Związane to może być z popełnieniem błędów na poszczególnych etapach powstawania nawierzchni: projektowania (nieodpowiedni dobór jakościowy i ilościowy użytych składników do mieszanki betonowej), wbudowywania (nieprzestrzeganie wymaganego reżimu technologicznego), utrzymania (niewłaściwe lub zbyt późno rozpoczęte zabiegi utrzymaniowe) [4]. Błędy na każdym z powyższych etapów przekładają się bezpośrednio na obniżenie parametrów nawierzchni oraz całej konstrukcji, które wpływają na jej trwałość, bezpieczeństwo oraz komfort użytkowania. W zależności od rodzaju i specyfiki uszkodzeń podejmuje się prace naprawcze. Metody naprawy uszkodzeń nawierzchni betonowych powinny być dobrane na podstawie odpowiednio dobranych metod diagnostycznych służących ocenie właściwości użytkowych nawierzchni. System Oceny

Stanu Nawierzchni – SOSN [5], wykorzystywany przez GDDKiA stanowi przykład usystematyzowanego podejścia do oceny stanu nawierzchni drogowych.

2. Ocena uszkodzeń nawierzchni według SOSN-B

Uszkodzenia mają negatywny wpływ nie tylko cechy estetyczne, ale przede wszystkim na właściwości użytkowe nawierzchni. W nawierzchniach, w których nie zostaną w porę zdiagnozowane uszkodzenia, dochodzi do ich degradacji i obniżenia bezpieczeństwa eksploatacyjnego drogi. Ocena stanu nawierzchni wymaga okresowych przeglądów z odnotowaniem występujących uszkodzeń. Całość prac musi być wykonana na tyle szybko, żeby dane nie uległy dezaktualizacji.

Drogi krajowe objęte są Systemem Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN) [6] dotyczącego: oceny nawierzchni asfaltowych oraz SOSN-B [5] dotyczącego oceny nawierzchni betonowych. Stan techniczny nawierzchni betonowej określają następujące cechy techniczno-eksploatacyjne: spękania, równość podłużna, koleiny, stan powierzchni, właściwości przeciwpoślizgowe. Parametry te wyznaczone są na podstawie pomiarów automatycznych i półautomatycznej oceny wizualnej odnoszone do czterostopniowej klasyfikacji:

- klasa A – nawierzchnie w stanie dobrym,
- klasa B – nawierzchnie w stanie zadowalającym,
- klasa C – nawierzchnie w stanie niezadowalającym
- klasa D – w stanie złym.

W założeniach systemu stosuje się zasadę dominującego typu uszkodzenia oraz kryterium o hierarchii zabiegów. Dla ustalenia parametru dominującego przyjmuje się hierarchię priorytetów (od najwyższego do najniższego):

- Stan spękań (N);
- Równość podłużna (R);
- Koleiny (K);
- Stan powierzchni (Sp);
- Właściwości przeciwpoślizgowe (S).

W zależności od dominującego parametru i kategorii natężenia ruchu wyznacza się zabieg remontowy, należący do jednej z trzech grup [5]:

- wzmocnienie: grupa zabiegów poprawiających wszystkie oceniane cechy techniczno-eksploatacyjne nawierzchni; gdy parametr dominujący N;
- wyrównanie z warstwą ścieralną: grupa zabiegów poprawiających równość podłużną, likwidująca koleiny, polepszająca stan powierzchni i właściwości przeciwpoślizgowe; gdy parametr dominujący R lub K;
- zabieg powierzchniowy: grupa zabiegów polepszająca stan powierzchni i właściwości przeciwpoślizgowe; gdy parametr dominujący Sp lub S.

W SOSN-B podano również przykładowe propozycje remontów w zależności od uzyskiwanych wyników poszczególnych parametrów: wymiana płyt (N), naprawa przenoszenia obciążenia (N), uszczelnianie szczelin (N), naprawa na całą lub część grubości (N), podniesienie płyt (R), nakładka (Sp, R, K), szlifowanie (K, S).

3. Klasyfikacja uszkodzeń nawierzchni

Uszkodzenia nawierzchni betonowych mogą być rozpatrywane ze względu na różne kryteria:

- ze względu na element, którego dotyczą (beton, zbrojenie, wypełnienie szczelin dylatacyjnych);

- ze względu na kształt, wielkość i zakres uszkodzenia (punktowe, liniowe, płaszczyznowe);
- ze względu na charakter i wpływ na konstrukcję (powierzchniowe, wgłębne, strukturalne).

Wszystkie wymienione powyżej rodzaje uszkodzeń mogą występować w dowolnej konfiguracji. W artykule skoncentrowano się na dwóch podstawowych grupach uszkodzeń [3]: powierzchniowych i strukturalnych.

3.1. Uszkodzenia powierzchniowe

Uszkodzenia powierzchniowe, to grupa wad nawierzchni, które dotyczą powierzchni betonu. Mają one znaczenie dla estetyki, komfortu jazdy i trwałości nawierzchni, ale nie mają bezpośredniego, istotnego wpływu na parametry mechaniczne płyt betonowych. Należą do nich ubytki powstające w wyniku wyłuskania ziarna kruszywa z powierzchni betonu. Najbardziej narażone na wyłuskanie są ziarna otoczakowe ze względu na małe rozwinięcie powierzchni, zwłaszcza jeśli są mocno zapylone [7]. Innym przykładem uszkodzeń powierzchniowych są odpryski ziarna kruszywa (ang. *popout*), czyli niewielkie zagłębienie w powierzchni betonu o kształcie zbliżonym do stożka. Na jego dnie najczęściej widać fragment rozłupanego ziarna kruszywa. Uszkodzenie tego typu powstaje, gdy ziarna kruszywa grubego zlokalizowane blisko powierzchni pęcznieją, niszczą się i odspajają, wraz z fragmentami przyległej zaprawy. Najczęstszą przyczyną tego zjawiska jest brak mrozoodporności kruszywa. Opryski często spowodowane są przez lekkie ziarna, które występują w żwirach polodowcowych i są traktowane jako zanieczyszczenia. Mają one wysoką porowatość i znikomą mrozoodporność. Ze względu na małą gęstość wypływają do wierzchu podczas wibrowania mieszanki betonowej. Znajdując się przy powierzchni chłoną wodę i szybko ulegają zniszczeniu w wyniku zamrażania. Gdy atomy glinu reagują z wodorotlenkiem wapnia, który jest produktem hydratacji cementu wydziela się lotny wodór, który pozostawia krater z białymi wykwitami [8]. Podstawową przyczyną powstawania pęknięć włoskowatych jest skurcz plastyczny. Jest to zjawisko polegające na zmniejszeniu objętości wiążącego betonu znajdującego się jeszcze w stanie plastycznym. Kiedy odparowywanie wody z powierzchni świeżego betonu następuje szybciej niż jej sączenie z niższych warstw ku powierzchni następuje duży skurcz przypowierzchniowy i powstają rysy. Geometria elementów nawierzchniowych sprzyja temu zjawisku, gdyż mają one duży stosunek pola powierzchni eksponowanej do objętości. W tym przypadku kluczowa jest pielęgnacja wilgotnościowa świeżego betonu. Jeśli jest ona prowadzona nieadekwatnie do użytych materiałów i warunków pogodowych, to może doprowadzić do szybkiej utraty wody z powierzchni betonu i w konsekwencji do szybkiego skurczu i spękania jego powierzchni [8, 9]. Podobne zjawisko może występować przy betonowaniu w niskiej temperaturze. Siatka spękań włoskowatych (ang. *crazing*) może powstać również na skutek drgań wywołanych ruchem. Takie uszkodzenia może spowodować ruch technologiczny wprowadzony zanim beton osiągnie odpowiednią wytrzymałość. Kolejną przyczyną występowania tego rodzaju uszkodzeń jest zbyt intensywne prowadzenie zabiegów wykończeniowych [9], takich jak np. zacieranie. Nawierzchnia w kontakcie z kołami pojazdów poddawana jest ścieraniu. Ścieranie się (ang. *wearing*) nawierzchni powoduje utratę antypoślizgowej tekstury, a w skrajnych przypadkach koleinowanie. Pojawiają się drobne zagłębienia w których zbiera się woda, co sprzyja występowaniu zjawiska aquaplaningu. W pierwszej kolejności ściera się zaprawa i zostaje wyeksponowane kruszywo grube, które zaczyna ulegać polerowaniu powodując śliskość nawierzchni [9]. Nadmierne ścieranie się nawierzchni jest związane przede wszystkim z zastosowaniem nieodpowiedniego kruszywa. Zasadnicze znaczenie dla odporności zaprawy ma piasek – jego ścieralność i przyczepność do zaczynu. Ważne jest także, aby kruszywo grube miało odpowiednią odporność na polerowanie [3].

Złuszczenie (ang. *scaling*) jest jedną z najpoważniejszych wad powierzchniowych betonu. Polega ono na odpajaniu fragmentów zaprawy i kruszywa grubego z powierzchni płyty betonowej. Prowadzi to do powstawania zagłębień, nierówności i obniżenia trwałości nawierzchni. Beton łuszczy się pod wpływem działania mrozu i środków odladzających [9].

Odpryskiwanie betonu (ang. *spalling*) polega na odrywaniu się pojedynczych, większych fragmentów materiału z powierzchni płyty. Zjawisko ma podobne podłoże jak złuszczenie. Zazwyczaj spowodowane jest działaniem mrozu i środków odladzających [9]. Odpryski betonu zdarzają się również jako efekt korozji elektrochemicznej stali zbrojeniowej (dotyczy jedynie płyt zbrojonych). Rdzawe plamy występują tylko w płytach zbrojonych (JRCP, CRCP) i spowodowane są korozją zbrojenia. Pojawienie się odbarwień często poprzedza odpryskiwanie betonu. Wystąpieniu odbarwień i odprysków sprzyja zbyt płytko umieszczona siatka zbrojeniowa [9].

Jeśli nawierzchnia posiada fragmentami niedostatecznie rozwiniętą teksturę (niedostateczna szorstkość powierzchni), to zmniejszona jest przyczepność kół pojazdów, co ma wpływ na bezpieczeństwo jazdy. Wada ta może być spowodowana błędem wykonawczym – wadliwym teksturowaniem lub nadmiernym ścieraniem się powierzchni betonu w czasie eksploatacji.

3.2. Uszkodzenia strukturalne

Do grupy uszkodzeń strukturalnych należą takie wady, które znacząco wpływają na geometrię i pracę betonowych elementów nawierzchni, w szczególności te, które zaburzają ciągłość płyt i osłabiają przekrój elementu.

Poważną wadą strukturalną są pęknięcia płyt. Przebiegają one przez całą grubość warstwy betonowej dzieląc płytę na mniejsze fragmenty, które zaczynają pracować niezależnie. Pojawiają się progi w nawierzchni obniżające komfort jazdy lub mogące przyczynić się do awarii zawieszenia pojazdów. Powstaje szczelina, do której dostają się zanieczyszczenia, które wraz z wodą mają swobodę penetracji aż do warstwy podbudowy. Dodatkowo, jej krawędzie są podatne na obrywanie co potęguje efekt niszczenia nawierzchni. Istnieją dwa podstawowe typy pęknięć – pęknięcia w narożach i pęknięcia poprzeczne. Przyczyną pęknięcia płyt jest kilka zjawisk. Pierwsze z nich to występowanie odkształceń i naprężeń termicznych związanych z dobowym i rocznym cyklem zmian temperatury. Kolejnym zjawiskiem prowadzącym do pęknięcia płyt są naprężenia termiczne wynikające z ograniczonej swobody podłużnego odkształcania się płyt. Następną z możliwych przyczyn pęknięcia płyt betonowych jest wadliwe podparcie płyty spowodowane niejednorodnością podbudowy związaną z nierównym zagęszczeniem lub działaniem wody.

Klawiszowanie (ang. *faulting*) występuje często w przypadku konstrukcji niedyblowanych. Powoduje ono powstanie poprzecznego progu w nawierzchni [9]. Zjawisko to wpływa negatywnie na komfort jazdy i trwałość zawieszenia pojazdów, a w przypadku różnic poziomu sięgających kilku centymetrów może spowodować awarię pojazdu. Klawiszowanie pociąga za sobą dodatkowe konsekwencje dla trwałości nawierzchni. Zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia spękań płyt, podatność krawędzi na obrywanie i przyczynia się do degradacji wypełnienia szczeliny dylatacyjnej. Klawiszowanie występuje na skutek nierównego podparcia płyt przy krawędziach. Może ono być spowodowane niedbałym zagęszczeniem podbudowy, która na skutek obciążenia eksploatacyjnego osiada nierównomiernie. Najczęstszą jednak przyczyną nierównego podparcia jest zjawisko „pompowania” hydrodynamicznego [10]. Polega ono na tym, że woda gromadząca się pod dylatacją, na skutek dynamicznego obciążenia kołami pojazdów jest pompowana przez szczelinę dylatacyjną wypłukując drobne

frakcje z podbudowy. Następuje erozja materiału podbudowy w okolicy szczeliny poprzecznej, a płyty zaczynają klawiszować [9].

Degradacja szczelin dylatacyjnych, np. zmiana geometrii dylatacji, może być spowodowana nadmiernym klawiszowaniem lub poziomym przemieszczeniem krawędzi płyt. Prowadzi to do powstania progów, uskoków i nieciągłości. Zmniejsza komfort i bezpieczeństwo jazdy, a także powoduje pogorszenie współpracy krawędzi płyt z materiałem uszczelniającym, co prowadzi do penetracji wody i zanieczyszczeń w głąb dylatacji i do warstwy podbudowy. Kiedy dylatacja wypełnia się materiałem obcym, takim jak okruszywo, pyły, gleba, przestaje ona prawidłowo pracować. Płyty betonowe zostają pozbawione swobody odkształceń, co powoduje występowanie naprężeń termicznych. Zanieczyszczone szczeliny, zwłaszcza zarośnięte drobną roślinnością, utrzymują wysoką wilgotność, co przyspiesza korozję mrozu betonu i reakcję alkalia – krzemionka.

Wysadzina (ang. *blowup*) w przypadku nawierzchni betonowej skutkuje najczęściej klawiszowaniem lub pękaniem płyty ze względu na zmianę warunków podparcia. Takie uszkodzenie jest spowodowane wadliwym działaniem dylatacji. Płyty nie mają swobody odkształceń termicznych. Jeśli nie popękają to w pewnych miejscach zostają wysadzone do góry [11].

Degradacja wgłębna to poważne uszkodzenie struktury płyty betonowej. Jest to lokalne lub globalne obniżenie parametrów wytrzymałościowych materiału. Zjawisko to występuje, gdy mieszanka betonowa jest układana po rozpoczęciu procesu wiązania. Układanie i zagęszczanie niszczy powstającą strukturę hydratów.

Obrywanie krawędzi (ang. *edge spalling*) jest uszkodzeniem, charakterystycznym dla poprzecznych szczelin dylatacyjnych. Polega na odspajaniu się materiału z obrzeża płyty. Krawędzie są narażone na duże obciążenia bezpośrednie od kół pojazdów. Ze względu na ostry kształt stanowią też strefę lokalnej koncentracji naprężeń. Są więc one miejscem szczególnie podatnym na uszkodzenia. Degradacja betonu na krawędziach płyt może być spowodowana korozją lub błędami wykonawczymi (zbyt wczesne nacięcie dylatacji, przed uzyskaniem przez beton odpowiedniej wytrzymałości) [8].

Rozwarstwienia są to wady polegające na niejednorodności betonu na grubości płyty. Są one skutkiem segregacji mieszanki betonowej. Segregację może powodować niewłaściwe zaprojektowanie betonu, „poprawianie” konsystencji przez dodawanie wody lub złe zagęszczanie – „przewibrowanie” mieszanki [7].

Pustki wewnętrzne, czyli duże pęcherze powietrza zamknięte w betonie stanowią poważną wadę, gdyż istotnie zmniejszają wytrzymałość materiału. Ich obecność wskazuje na źle przeprowadzone zagęszczanie, podczas którego mieszanka betonowa nie została prawidłowo odpowietrzona [7]. Zdarzają się również wtrącenia obce, czyli materiały nieprzewidziane w składzie betonu, które lokalnie pogarszają jego właściwości – głównie wytrzymałość. Zazwyczaj pochodzą z zanieczyszczeń kruszywa (np. grudki gliny, części organiczne lub śmieci), mogą się też dostać do betonu w czasie układania, w konsekwencji niskiej kultury wykonywania nawierzchni.

Tabela 1. Zestawienie uszkodzeń powierzchniowych i ich przyczyny

Przykład uszkodzenia						
Uszkodzenie	Wyluskanie ziarna kruszywa		Odprysk ziaren kruszywa (popout)		Krater z białymi wykwitami	
Czynnik destrukcyjny	Mała przyczepność ziarna do zaczynu		Korozyjność wewnętrzna		Reakcja aluminium z wodorem	
Przyczyna	Nadmierne zapyłone kruszywo		Korozyjność kruszywa		Skurcz plastyczny	
			Mała mrozoodporność kruszywa		Odształcenia termiczne	
			Zanieczyszczenia w kruszywie		Wysokokolorowy cement	
					Zła pielęgnacja	
					Ruch technologiczny	
					Wykończenie powierzchni	
					Polerowalność kruszywa	

Tabela 2. Zestawienie uszkodzeń strukturalnych ich przyczyny

Przykład uszkodzenia				
Uszkodzenie	Pęknięcia płyt		Klawiszowanie	
Czynnik destrukcyjny	Napięcia termiczne		Nierówne podparcie	
Przyczyna	Złe utrzymanie szczeliny		Degradacja podbudowy	
	Betonowanie w niższej temperaturze niż projektowana		Degradacja podbudowy	
	Nadmierne obciążenia		Klawiszowanie, ubytki, przemieszczenia	
			Zmiana geometrii, ubytki wypełnienia	
			Dobór wypełnienia	
			Degradacja dylatacji	
			Wysadziny	
			Przemieszczenia pionowe nawierzchni	
			Degradacja podbudowy	

Spękania przyszczelinowe (ang. *D-cracking*) jest postępującym defektem strukturalnym. Występuje jako spękania w okolicy szczeliny dylatacyjnej, równoległe do niej oraz towarzyszy im zabarwienie betonu na ciemny szaro-brunatny kolor [9, 12]. Powodują je nasiąkliwe ziarna kruszywa grubego, poddane wielokrotnemu cyklowi zamrażania-rozmrażania, które pęczniejąc i pękając powodują powstanie drobnych rys w zaczynie cementowym [12]. Pęknięcia powstają w dolnej części płyty, przy krawędziach, i propagują do góry. Po kilku latach na powierzchni zaczyna pojawiać się układ drobnych rys, a beton zabarwia się na ciemny kolor. Najpierw są one widoczne w narożach, następnie pojawiają się wzdłuż całej szczeliny dylatacyjnej. Najczęściej występujące uszkodzenia nawierzchni oraz potencjalne ich przyczyny zestawiono w tab. 1 i 2.

4. Metody nieniszczące jako narzędzie oceny nawierzchni

Konstrukcja nawierzchni betonowych podlega ciągłemu procesowi degradacji, który jest powolny i stabilny, ale w przypadku zaistnienia różnego rodzaju zjawisk, może dojść do jego gwałtownego przyspieszenia i w efekcie do zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Z tego względu wymagana jest ciągła obserwacja nawierzchni drogowej oraz okresowe badania diagnostyczne, obejmujące ocenę jej zdolności operacyjnej i nośności na podstawie pomiarów zmiennych parametrów drogi. Gromadzone dane diagnostyczne stanowią główne źródło informacji wejściowych do analizy stanu drogi i opracowania planu jej konserwacji, naprawy lub renowacji, czego wynikiem ma być wydłużenie czasu eksploatacji nawierzchni drogowej i podniesienie jej zdolności operacyjnej.

Odpowiednio wysoką jakość danych o infrastrukturze drogowej mogą dostarczyć wysoko wydajne, zautomatyzowane i ciągle rozwijane nieniszczące systemy pomiarowe NDT (ang. *Non Destructive Testing*). Usystematyzowany przegląd tych metod przedstawił Hoła J. i inn. [13]. W badaniach nawierzchni obecnie stosowane są szeroko systemy radarowe GPR (ang. *Ground Penetrating Radar*), umożliwiające identyfikację struktur warstwowych konstrukcji drogi, a w szczególności wyznaczenie grubości poszczególnych warstw, śledzenie ich zmian na długości odcinka drogi, a także lokalizację miejsc zmiany układu konstrukcyjnego nawierzchni drogowej (rys. 1a) [14]. Jest to urządzenie bezkontaktowe, wyposażone w antenę nadawczo-odbiorczą typu air-coupled o częstotliwości centralnej około 1 GHz i średniej głębokości penetracji 60 cm [15], która poruszając się bezpośrednio nad badaną powierzchnią emituje fale elektromagnetyczne i rejestruje sygnały odbite od granicy pomiędzy obszarami o różnej stałej dielektrycznej [16]. Badania radarem GPR pozwalają na monitorowanie konstrukcji nawierzchni betonowej w sposób ciągły, ocenę rozwarstwień oraz ubytków powierzchniowych, identyfikację spękań i pustek, a także pomiar stopnia zawilgocenia [17].

Popularną metodą badania nawierzchni betonowej jest metoda ultradźwiękowa [18]. W badaniach tego typu wykorzystuje się ultradźwięki, będące drganiami mechanicznymi o częstotliwości powyżej 20 kHz. Zastosowanie drgań o wyższej częstotliwości umożliwia dokonanie dokładniejszego pomiaru, ale jednocześnie mniejsza jest energia impulsu i większe jego tłumienie. Dlatego w badaniach betonu, z racji jego naturalnej niejednorodności, używa się głowice o niższej częstotliwości. W przypadku nawierzchni betonowej możliwy jest dostęp jedynie z jednej strony, z tego względu wykorzystuje się ułożenie głowicy nadawczej i odbiorczej na tej samej powierzchni (metoda ultradźwiękowa pośrednia). W celu wyznaczenia prędkości fali norma PN-EN 12504-4 zaleca wykonanie serii pomiarów, w których głowice będą znajdowały się w różnych odległościach od siebie. Odczytane wtedy czasy przejścia przedstawia się w postaci punktów na wykresie, ilustrującym ich związek z odległością pomiędzy głowicami pomiarowymi, zaś prędkość fali jest równa wartości współczynnika kierunkowego

prostej (tangens kąta nachylenia tej prostej do osi czasu) poprowadzonej możliwie najdokładniej przez te punkty. Metoda pomiaru prędkości fali podłużnej w praktyce inżynierskiej stosowana jest, przede wszystkim, do szacowania wytrzymałości nawierzchni betonowej na ściskanie i monitorowania jej zmian w czasie [19]. Obecnie rozwijane są systemy tomografii ultradźwiękowej. Coraz szerokie zastosowanie w ocenie stanu nawierzchni znajdują inne metody NDT: impact-echo, spektralna analiza fal powierzchniowych czy emisja akustyczna [13].

W zakresie pomiarów ugięć najnowszym osiągnięciem jest ugięciomierz laserowy TSD (ang. *Traffic Speed Deflectometer*) (rys. 1b), skonstruowany do prowadzenia sieciowych badań nośności nawierzchni, a w szczególności do lokalizacji miejsc o obniżonej trwałości [18]. Oparty na zaawansowanej technologii laserowej ugięciomierz TSD szybko i bezinwazyjnie mierzy pionowe przemieszczenia powierzchni nawierzchni wywołanych przez poruszającą się ciężarówkę. Specjalne czujniki laserowe dokonują pomiaru różnicy przemieszczeń pomiędzy punktem obciążonym i nieobciążonym, będących odzwierciedleniem aktualnego ruchu nawierzchni wywołanego przez ciężarówkę o znanej masie. Natomiast zastosowanie techniki Dopplera pozwala na określenie prędkości ugięcia. W celu zapewnienia optymalnych warunków pomiarowych urządzenie wykorzystuje systemy kontroli umożliwiające monitorowanie pozycji czujników laserowych. Zautomatyzowane pomiary przy prędkości dochodzącej do 95 km/h umożliwia zbieranie danych w krótkim czasie, nie powodując przy tym zakłóceń w ruchu drogowym. Niewątpliwą zaletą ugięciomierza TSD jest budowa oparta na samochodzie ciężarowym z naczepą, którego ruch odpowiada rzeczywistemu zachowaniu pojazdu na drodze w przeciwieństwie do pozostałych urządzeń, symulujących taki sposób ruchu i wymagających przyjęcia pewnych założeń.



Rys. 1. System pomiarowy GPR [<http://www.scopus.com.pl/uslugi/uslugi-dla-zarzadcow-drog/diagnostyka-nawierzchni/>] i ugięciomierz laserowy TSD [<http://www.ndtoolbox.org/content/pavement/d-physical-principle>]

5. Technologie naprawy nawierzchni

5.1. Naprawy powierzchniowe

Uzupełnianie ubytków powierzchniowych, miejscowych złuszczeń, czy wykruszeń, można wykonywać punktowo poprzez:

- usunięcie uszkodzonego miejsca (najczęściej poprzez skucie lub wycięcie);
- dokładne oczyszczenie powierzchni oraz jej odpowiednie zagruntowanie;
- zastosowanie materiału naprawczego (zgodnie z wytycznymi producenta); posiadającego odpowiednią przyczepność, wytrzymałość, barwę;
- wykończenie powierzchni (pielęgnacja, teksturowanie powierzchni).

Uszorstnianie nawierzchni konieczne jest wtedy, kiedy w wyniku błędów wykonawczych nie uzyskano właściwej szorstkości nawierzchni. Cechę tę można poprawić poprzez:

- piaskowanie lub śrutowanie powierzchni wykonywane poprzez wystrzeliwanie z dużą prędkością piasku lub śrutu stalowego;

- Gridding wodą wykonywany jest poprzez natrysk wody pod wysokim ciśnieniem;
- Gridding tarczami – wykonywany maszyną wyposażoną w głowice z tarczami diamentowymi;
- rowkowanie (grooving) – wykonywane mechaniczne za pomocą diamentowych tarcz.

5.2. Wyrównanie poziomu płyt i stabilizacja

W wyniku osiadania lub podnoszenia płyt powstaje różnica poziomów płyt. Jedną z metod wyrównania poziomu płyt i stabilizacji jest podnoszenie i stabilizacja płyt poprzez iniekcję zaczynem cementowym lub spienionym poliuretanem. W tym celu w płycie nawiercane są otwory technologiczne, przez które wpompowywany jest zaczyn cementowy lub spieniony poliuretan (rys. 2). Otwory powinny być tak umiejscowione w płycie, aby zapewnić prawidłowe wypełnienie ewentualnych pustek lub uzyskanie oczekiwanego wyrównania poziomu płyty.

Zaczyn należy wpompowywać równomiernie, aby zminimalizować naprężenia mogące doprowadzić do pęknięcia płyty w trakcie jej podnoszenia oraz kontrolować ich położenie względem płyt sąsiednich. Po wypełnieniu pustek pod płytą, wyrównaniu poziomu płyty i stabilizacji, otwory technologiczne wypełniane są specjalnymi masami lub żywicami epoksydowymi przeznaczonymi do napraw betonu.

Dyblowanie pionowe ma na celu polepszenie współpracy oraz przenoszenia obciążeń sąsiadujących płyt, ponadto ogranicza przemieszczanie się płyt. Zaś dyblowanie poziome ma na celu przywrócenie odpowiedniej współpracy sąsiednich płyt oraz ograniczenie przemieszczeń pionowych tych płyt względem siebie. Frezowanie płyt stosuje się w celu wyrównania poziomu płyt poprzez sfrezowanie, czyli usunięcie części betonu.



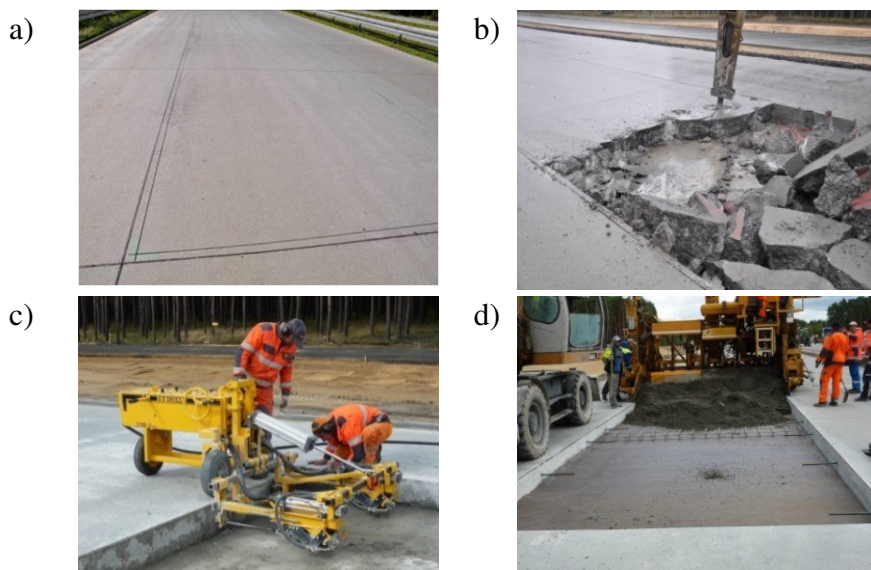
Rys. 2. Wtłaczanie zaczynu cementowego (<http://precast.org/2011/05/precast-concrete-paving-slabs-built-to-last-and-install-fast>)

5.2. Wymiana płyt

Wymiana płyt jest konieczna jeżeli żadna z wcześniejszych metod naprawy nie zagwarantuje uzyskania i spełnienia pożądanych właściwości trwałościowych i eksploatacyjnych. Wymiana może dotyczyć całości płyt bądź fragmentów. Wymiana całych płyt betonowych składa się z następujących etapów:

- nacięcie piłą uszkodzonej płyty betonowej wraz z dyblami i kotwami po jej wewnętrznej stronie z wyznaczeniem bezpiecznej strefy skuwania w celu uniknięcia uszkodzeń sąsiednich płyt (rys. 3a);
- usunięcie uszkodzonej płyty poprzez: mechaniczne kucie wyciętego uszkodzonego fragmentu płyty oraz ręczne usuwanie pozostałego betonu w strefie dylatacyjnej, sąsiadującej z innymi płytami w celu uniknięcia uszkodzeń tych płyt (rys. 3b);
- usunięcie wypełnień szczelin dylatacyjnych oraz oczyszczenie krawędzi sąsiadujących płyt;

- wywiercenie nowych otworów w sąsiadujących płytach na kotwy i dyble oraz ich montaż (rys. 3c);
- ułożenie warstwy separacyjnej zapobiegającej przed spękaniami odbitymi oraz odprowadzającej wodę;
- wbudowanie, zagęszczenie i wyrównanie mieszanki betonowej spełniającej wszystkie wymagania związane z trwałością betonu stawiane wcześniej usuniętej płycie (rys. 3d);
- teksturowanie wymienionej powierzchni płyty w celu ujednolicenia z pozostałą częścią nawierzchni i spełniała wymagania eksploatacyjne;
- pielęgnacja;
- odnowienie szczelin dylatacyjnych oraz ich wypełnienie.



Rys. 3. Wymiana płyty betonowej nawierzchni: a) nacięcie uszkodzonej płyty; b) mechaniczne usuwanie betonu; c) wiercenie otworów pod kotwy i dyble; d) wbudowywanie mieszanki betonowej (archiwum TPA)

Wymiana fragmentów płyt jest możliwa w przypadku uszkodzenia tylko fragmentu płyty – pęknięcia, uszkodzenia jej krawędzi lub głębokiego uszkodzenia szczeliny dylatacyjnej. Nie musi być wtedy wymieniana cała płyta, a jedynie jej fragment, który może być wymieniony na gotowy element prefabrykowany lub ponownie wykonany w miejsce usuniętego fragmentu płyty betonowej (rys. 4). W referacie pokazano jedynie wybrane, typowe rodzaje napraw nawierzchni betonowych. Oprócz wymienionych często stosuje się powierzchniowe utrwalenie i odnowę za pomocą cienkich dywaników – zmiana powierzchni wierzchniej warstwy nawierzchni.



Rys. 4. Montaż płyty prefabrykowanej (<http://www.advanceconcreteproducts.com>)

6. Podsumowanie

Celem pracy było zebranie najczęściej występujących uszkodzeń nawierzchni betonowych i wskazanie ich potencjalnych przyczyn. Wiedza ta jest użyteczna do oceny i diagnostyki stanu nawierzchni, np. za pomocą metod nieniszczących, w celu doboru odpowiedniej techniki naprawy. Naprawy konstrukcji nawierzchni betonowych mogą przysparzać wiele trudności, szczególnie być uciążliwe dla użytkowników dróg, gdyż zazwyczaj wymagają wyłączenia z ruchu naprawianych odcinków przez dłuższy czas. Wiedza na temat uszkodzeń nawierzchni betonowych, procesów, które do nich prowadzą i czynników, które te procesy wywołują lub wzmacniają, powinna być powszechna wśród inżynierów zajmujących się tymi konstrukcjami. Świadomość zagrożeń na jakie narażona jest nawierzchnia i sposobów radzenia sobie z nimi pozwala podejmować przemyślane, kompleksowe działania w tym zakresie. Znajomość przyczyn uszkodzeń pozwala na stopniowe udoskonalanie specyfikacji oraz procedur wykonawstwa i konserwacji, co spowoduje, że w przyszłości będą wykonywane i eksploatowane nawierzchnie trwalsze i tańsze w całym cyklu życia produktu, przy jednoczesnej racjonalizacji wykorzystania surowców potrzebnych do ich wytworzenia.

Literatura

1. Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych, IBDiM 2001.
2. Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych, Politechnika Wrocławska 2013.
3. Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja, Polski Cement, 2004.
4. Jackiewicz-Rek W., Konopska-Piechurska M., Dudziec P., Nawierzchnie betonowe – klasyfikacja i przyczyny powstawania uszkodzeń, Concrete pavements – classification and causes of damage, Dni Betonu 2015.
5. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Wytyczne stosowania „Systemu Oceny Stanu Nawierzchni Betonowych – (SOSN-B)”, 2007.
6. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych Biuro Studiów Sieci Drogowej, Załącznik do Zarządzenia Nr 9 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 4 marca 2002 r. System Oceny Stanu Nawierzchni SOSN Wytyczne Stosowania, Warszawa, 2002.
7. Urbański M., Typowe uszkodzenia nawierzchni betonowych, Zeszyty naukowe Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
8. Wojtawicki J., Przyczyny powstawania uszkodzeń nawierzchni z betonu cementowego, Lotnisko nr 3/2008.
9. Pavement Surface Evaluation and Rating (PASER) Manual, Concrete Roads, Transportation Information Center, University of Wisconsin-Madison, 2002.
10. Kwiecień A., Uszkodzenia betonowych nawierzchni lotniskowych, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Szczecin-Międzyzdroje 2009 Awarie Budowlane.
11. Bautista F., Basheer I., Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP): Preservation and Rehabilitation Design Guide, California Department of Transportation, 2008.
12. O'Doherty J., D-cracking of Concrete Pavements; Materials and Technology Engineering and Science, Michigan Department of Transportation, May 1987.
13. Hoła J., Bień J., Sadowski Ł., Schabowicz K. Non-destructive and minor-destructive diagnostics of concrete structures in assessment of their durability, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 63/2015.
14. Sztukiewicz R. Badania nieniszczące konstrukcji nawierzchni drogowej, 34 KKBN, Zakopane, 2005, s. 202–209.
15. Sudyka J., Mechowski T., Harasim P. Nowoczesne metody oceny stanu nawierzchni drogowej, 4th International Conference Modern Technologies in Highway Engineering, Poznań, 2009, s. 206–214.
16. Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Tom 1, PWN, 2010.
17. Saarenketo T., Scullion T. Road evaluation with Ground Penetrating Radar, Journal of Applied Geophysics 43, s. 119–138.

18. Sudyka J., Mechowski T. Pilotażowe badania porównawcze ugięciomierzy TSD i FWD, *Drogownictwo* 2012, 5, s. 207–209.
19. Sztukiewicz R., Rydzewski P. Obserwacje zmian charakterystyk ultradźwiękowych w nawierzchni z betonu cementowego, Konferencja Naukowa „Aktualne problemy nawierzchni lotniskowych”, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, 1992, s. 148–152.
20. Jasiczak J., Ślosarczyk A., Koput P., Kasprzyk M. Ultradźwiękowe badania betonów wiaduktów drogowych w ocenie stopnia ich mrozoodporności, *Dni betonu*, Wisła, 2014, s. 861–870.

Referat przygotowano w ramach pracy statutowej nr 504P/1088/1407.

THE SPECIFICITY OF REPAIR DAMAGE OF THE CONCRETE PAVEMENTS

Abstract: Concrete pavements are a solution ensuring significantly higher durability than asphalt pavements, but are much more sensitive to errors. It is necessary to make every effort to ensure the correct construction and use. The paper presents the classification of concrete pavements damages together with the destructive factors and their origins, which may result from the design errors, regulations and exploitation, committed during the execution concrete pavement and during its lifecycle. The assessment of damages by Pavement Condition Assessment System (SOSN) were discussed as well as the possibility of using non-destructive methods for the detection of surface defects. Also the chosen methods of repairing the surface damage and structural of concrete pavements are shown.

Keywords: concrete pavements, concrete pavements damages, repair of concrete pavements damages.