

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

Sprawozdanie z realizacji tematu D – 652
pt.

**„Ocena stanu technicznego oraz dobór technologii naprawy
nawierzchni betonowych na terenie Placów Poboru Opłat w
Balicach (PPO Balice) oraz w Mysłowicach (PPO Brzęczkowie),
zlokalizowanych w pasie drogowym koncesyjnego odcinka
autostrady A4 Katowice – Kraków”**

(ETAP I Balice)

Zleceniodawca: Stalexport Autostrada Małopolska S.A. - Umowa o dzieło
z dnia 14.04.2021 r.

Opracowali:

Prof. IBDiM. dr hab. inż. Mirosław Graczyk

Dr inż. Cezary Kraszewski

Mgr inż. Danuta Beblacz

Inż. Jacek Krzysztofowicz

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, lipiec 2021 r.

Spis treści

1.	Podstawa pracy	3
2.	Dokumenty wykorzystane w pracy	3
3.	Analiza materiałów wyjściowych.	5
4.	Inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni.	9
5.	Wykonanie pomiarów i badań nawierzchni z opracowaniem wyników.	95
6.	Wnioski z badań i inwentaryzacji.	119
7.	Propozycje napraw i remontu nawierzchni	124
8.	Kosztorys	126
9.	Porównanie kosztów wykonania napraw dla Wariantu 1 i 2	129

Załączniki:

Zleceniodawca

STALEXPORT AUTOSTRADA MAŁOPOLSKA S.A.

ul. Piaskowa 20, 41-404 Mysłowice

NIP: 634-22-62-054, REGON: 273796214

1. Podstawa pracy

Niniejsza praca została wykonana w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów, w Zakładzie Diagnostyki Nawierzchni, na podstawie Umowy o dzieło z dnia 14 kwietnia 2021 r. z firmą STALEXPORT AUTOSTRADA MAŁOPOLSKA S.A. Pracy nadano symbol IBDiM D - 652. Praca dotyczyła „Oceny stanu technicznego oraz doboru technologii naprawy nawierzchni betonowych na terenie Placów Poboru Opłat w Balicach (PPO Balice) oraz w Mysłowicach (PPO Brzęczkowice), zlokalizowanych w pasie drogowym koncesyjnego odcinka autostrady A4 Katowice – Kraków.” Etap I - PPO Balice linie od 1S do 17”.

2. Dokumenty wykorzystane w pracy

Dokumenty wykorzystane:

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych
- Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych; Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych; Załącznik do zarządzenia Nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- PN-B-04452 Geotechnika– Badania Polowe
- Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 2. Załącznik, IBDiM, 1998
- PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania
- PN-EN 12504-1:2011 Badania betonu w konstrukcjach - Część 1: Próbki rdzeniowe – Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ścislenie
- PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ścislenie w konstrukcjach i

prefabrykowanych wyrobach betonowych

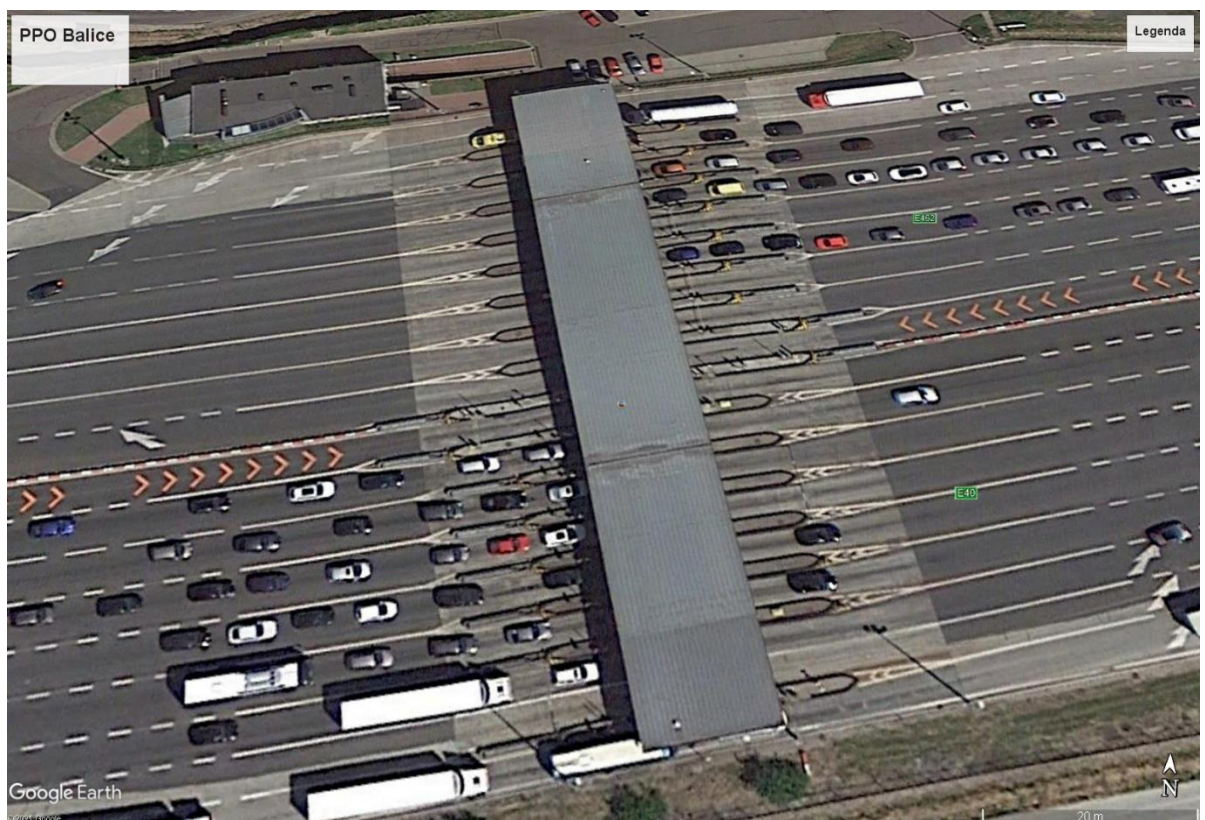
- PN-EN 12390-6:2011 Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań
- PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- M. Graczyk, J. Rafa, A. Zofka, The Selected Problems of Multi-Layer Pavements - Influence of Composite Impacts Vehicles and Climatic Factors on the Behavior of Roads Pavements, 6th Transport Research Arena April 18-21, 2016, Transportation Research Procedia 14 (2016) 2487 – 2496
- M. Graczyk, Diagnostyka betonowych nawierzchni drogowych a komfort podróżowania, Magazyn Autostrady 10/2019
- M. Graczyk, Czy nawierzchnie betonowe są trwałe?, Magazyn Autostrady 10/2019
- M. Graczyk, A. Zofka, J. Rafa, Modelowanie nawierzchni z wykorzystaniem metod homogenizacji mechanicznej i termicznej układów warstwowych. (Pavement modelling using mechanical and thermal homogenization of layered systems), Roads and Bridges 2/2018 (17) s. 141-157, Warsaw
- A. Zbiciak, M. Graczyk, K. Józefiak, K. Brzeziński, R. Michalczyk, Ocena wpływu parametrów geometrycznych płyty betonowej na rozkład naprężeń w konstrukcji nawierzchni drogowej (Assessment of the impact of a concrete slab geometrical parameters on the distribution of stresses in the road pavement structure), Roads and Bridges 3/2019, Warsaw
- A. Zbiciak, M. Graczyk, K. Józefiak, R. Michalczyk, K. Brzeziński, Rozdział Monografii "Badania naukowe w Instytucie Dróg i Mostów", Część II - Referaty naukowe, Modelowanie Zagadnienia Przyczepności Koła Ogumionego do Nawierzchni Drogowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019
- A. Zbiciak, M. Graczyk, K. Józefiak, R. Michalczyk, K. Brzeziński, Rozdział Monografii "Badania naukowe w Instytucie Dróg i Mostów", Część II - Referaty naukowe, MES W Projektowaniu Konstrukcji Nawierzchni Betonowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019
- Dokumentacja projektowa dostarczona przez Zleceniodawcę

3. Analiza materiałów wyjściowych.

Plac poboru opłat PPO Balice ma przekrój drogowy dwujezdniowy, jezdnia północna w kierunku Katowic o szerokości 46 m i jezdnia południowa w kierunku Krakowa o szerokości 40 m. Na placu PPO Balice usytuowanych jest 19 stanowisk do poboru opłat, które znajdują się na dwóch jezdniach o łącznej szerokości ok. 86 m, w tym 10 stanowisk w kierunku Katowic i 9 stanowisk w kierunku Krakowa. W bezpośrednim rejonie PPO na długości ok 50 m znajduje się nawierzchnia sztywna z warstwą jezdnią betonową. Linie mają następującą szerokość: linie od 2 do 15 - 4,80 m, linie podwójne od Północy 1S z 1 - 6,90 m oraz od Południa linie 16 z 17 - 7,80 m i pas 18 - 3,90 m, a wewnętrzna szerokość pasów ruchu wynosi 3,00 m. Linie rozdzielone są wysepkami o szerokości 1,80 m i długości 30 m. Kioski poboru opłat o szerokości 1,20 m i długości 3,20 m są umieszczone na środku wysepek nad tunelem serwisowym.

Odwodnienie realizowane jest poprzez spadki poprzeczne i podłużne nawierzchni oraz odwodnienie liniowe odprowadzana do kanalizacji deszczowej. Pętle indukcyjne wbudowane są w nawierzchnię betonową i uszczelnione masą zalewową.

Na Rysunku 1 przedstawiono widok ogólny PPO Balice z nawierzchnią betonową .



Rys. 1 Widok PPO Balice z nawierzchnią betonową

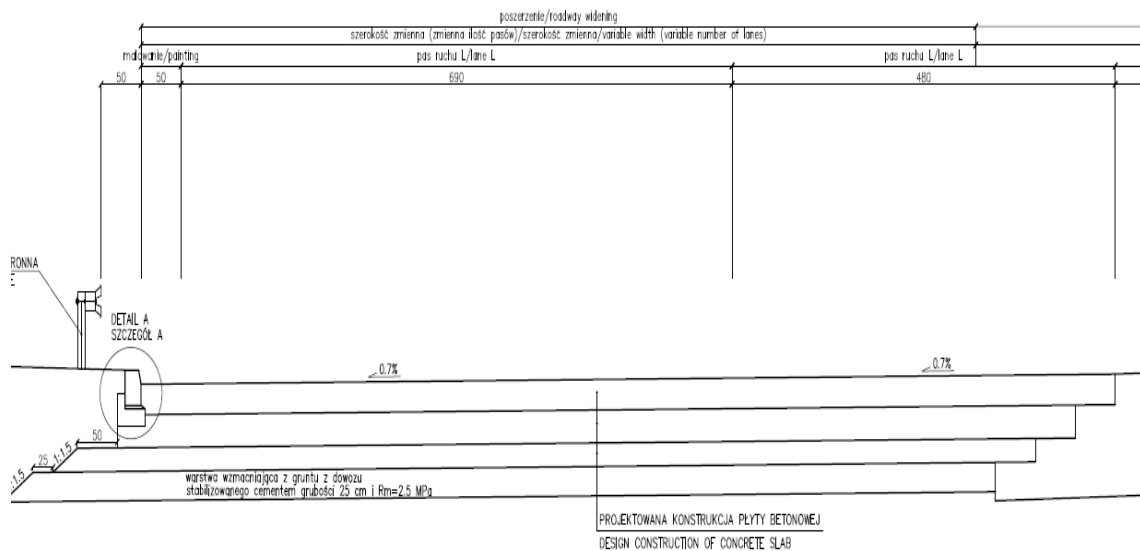
Rodzaje konstrukcji istniejących i wymagania dla obszaru objętego niniejszą pracą tj. linie od 1S do 17 przedstawiono poniżej.

Nawierzchni betonowa PPO Balice według dokumentacji projektowej ma następującą konstrukcję:

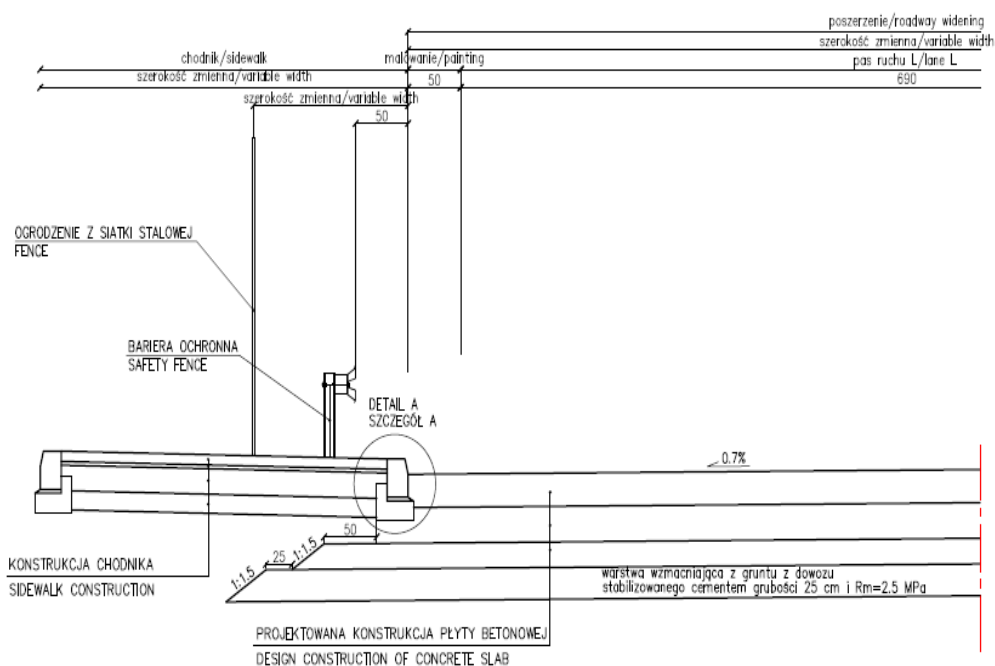
- Na liniach 1S, 1 i 2 w kierunku Katowic i 17 w kierunku Krakowa o spadku poprzecznym jezdni 0,7%
 - 26 cm beton cementowy klasy C35/45
 - 28 cm chudy beton o wytrzymałości 6 – 9 MPa
 - 20 cm kruszywo stabilizowane cementem $R_m=2,5$ MPa
 - 25 cm warstwa wzmacniająca z gruntu stabilizowanego cementem z dowozu $R_m=2,5$ MPa
 - Grunt nasypowyŁączna grubość 99 cm

- Na liniach 3 do 9 w kierunku Katowic o spadku poprzecznym jezdni 2,5 % i na liniach od 10 do 16 w kierunku Krakowa o zmiennym spadku poprzecznym jezdni.
 - 26 cm beton cementowy klasy B40
 - 28 cm chudy beton o wytrzymałości 6 – 9 MPa
 - 20 cm kruszywo stabilizowane cementem $R_m=2,5$ MPa
 - 30 cm warstwa mrozoochronnaŁączna grubość 104 cm

Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 1S, 1 i 2 w kierunku Katowic przedstawiono na Rysunkach 2 i 3.

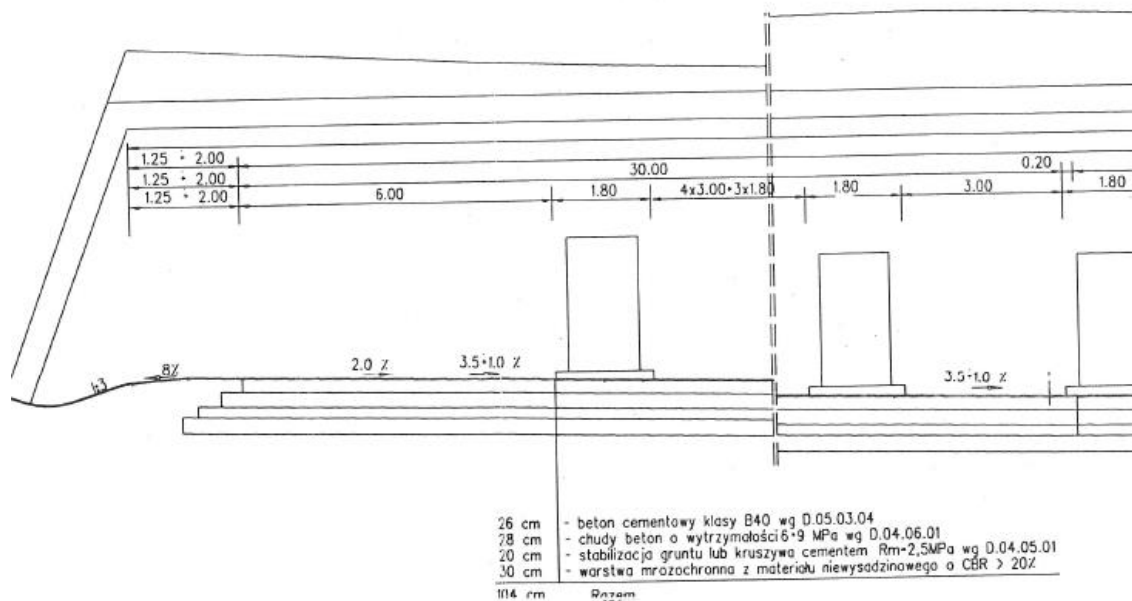


Rys. 2 Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 1S, 1 i 2 w kierunku Katowic

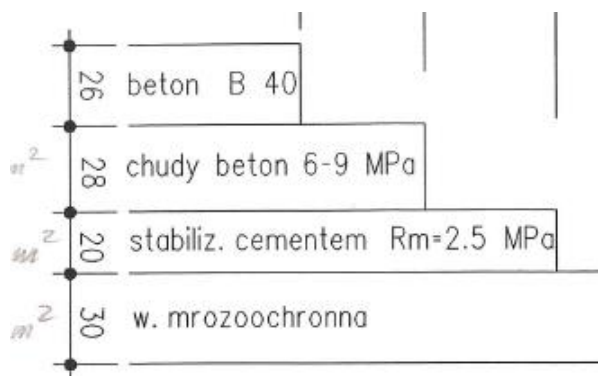


Rys. 3 Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 1S , 1 2 w kierunku Katowic

Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 3 do 9 w kierunku Katowic i na liniach od 10 do 17 w kierunku Krakowa przedstawiono na Rysunkach 4 i 5.



Rys. 4 Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 3 do 9 w kierunku Katowic i na liniach od 10 do 17 w kierunku Krakowa:



Rys. 5 Schemat konstrukcji nawierzchni betonowej na liniach 3 do 9 w kierunku Katowic i na liniach od 10 do 17 w kierunku Krakowa:

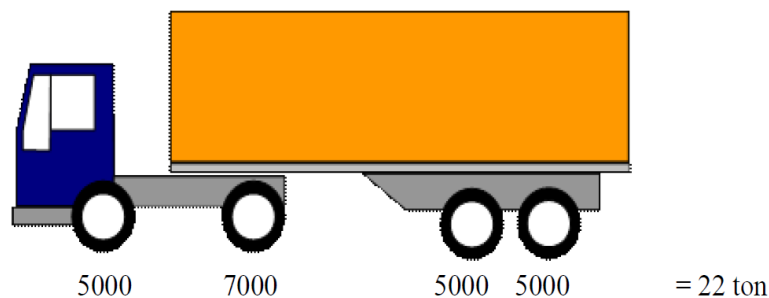
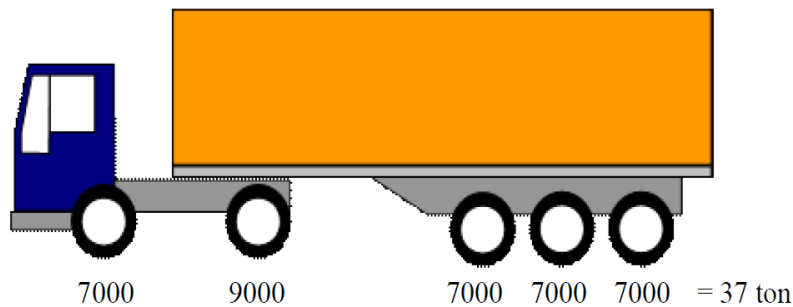
4. Inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni.

Oddziaływania na nawierzchnię.

Na konstrukcję nawierzchni drogowej oddziałują zespólone obciążenia od:

- Pojazdów:
 - od obciążenia masowego
 - od ciśnienia w oponach
 - od układu osi
 - od drgań pojazdu
 - od dynamiki ruchu
 - od rodzaju zawieszenia (tłumienia)
- Czynników klimatycznych,
- Zmian nośności konstrukcji,
- Fal generowane w warstwach nawierzchni od ruchu pojazdów i zmian temperatury.

Na Rysunku 6 pokazano sylwetki typowych pojazdów ciężkich z rozkładem obciążeń na poszczególne osie.



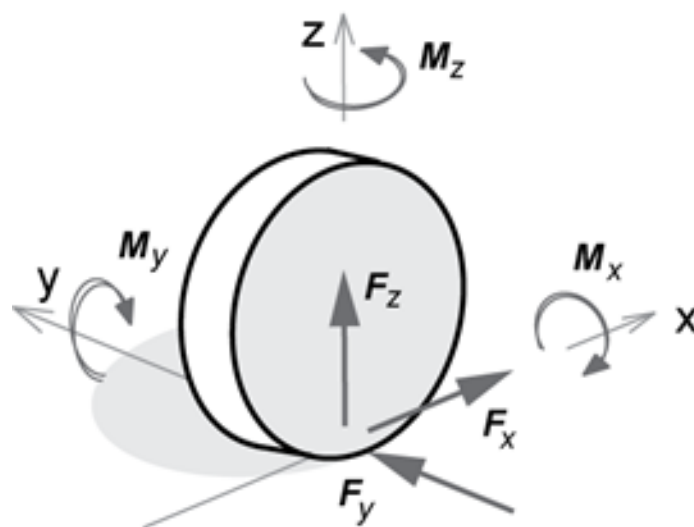
Rys. 6 Sylwetki typowych pojazdów ciężkich z rozkładem obciążeń na poszczególne osie.

Na jadący pojazd działają różnego rodzaju siły zewnętrzne, np. ciężar, siły aerodynamiczne oraz siły wewnętrzne, takie jak moment napędowy lub hamujący albo moment sił na kierownicy. Siły te wywołują reakcje w miejscach przylegania kół do nawierzchni. Reakcje te są określone naprężeniami kontaktowymi powstającymi na powierzchniach styku ogumionego koła z nawierzchnią

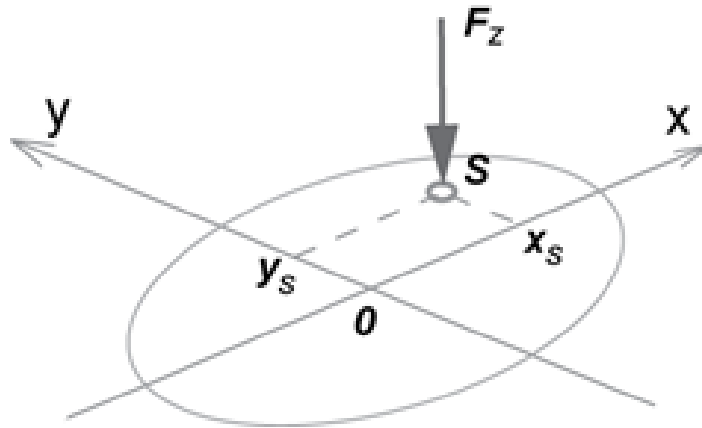
Naprężeniom tym można przyporządkować wypadkowe siły reakcji działające na koła pojazdu. Schematyczną ilustrację tych sił pokazano na Rysunkach 7 i 8

Ze względu na kontaktowy charakter oddziaływania koła na nawierzchnię oraz na występujące między nimi tarcie, siły reakcji pokazane na Rysunkach 7 i 8 spełniają szereg warunków:

- siły styczne są siłami tarcia, charakteryzując tarcie między kołem (bieżnikiem opony) a nawierzchnią i są nazywane współczynnikiem przyczepności;
- zbiór punktów nawierzchni, w których koło – a właściwie bieżnik opony – przylega do nawierzchni, jest określany śladem opony; wewnątrz śladu znajduje się punkt – nazywany środkiem nacisku – na który działa siła; punkt O jest środkiem nacisku koła nieruchomego, a punkt S – koła toczącego się; stąd można określić wartości dwóch momentów sił działających na koło (rys. 7);
- moment jest określony jako wypadkowy moment naprężeń stycznych działających na powierzchni przylegania koła do nawierzchni, gdzie jest wymiarem charakteryzującym rozkład naprężeń stycznych na śladzie opony, np. w przypadku śladu w postaci koła o określonym promieniu.



Rys. 7. Schemat siły oddziaływujących na koło pojazdu i na nawierzchnię



Rys 8. Schematy siły oddziaływujących od koła pojazdu na nawierzchnię

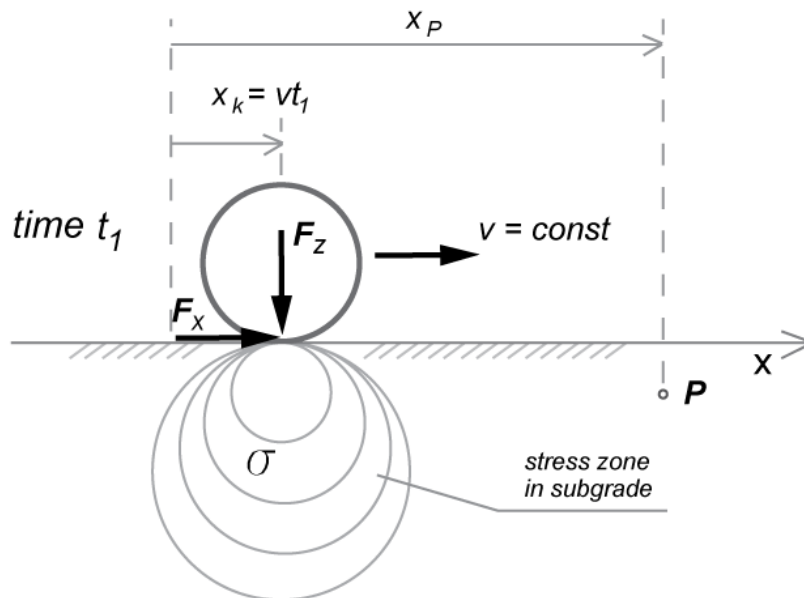
Składowe naprężenia i odkształcenia w ustalonym punkcie nawierzchni i ogumienia są zmienne i mają krótkotrwały charakter, co schematycznie pokazano na Rysunkach 9 i 10, na przykładzie punktu P, w którym naprężenia zmieniają się i zależą od odległości tego punktu od koła i są określone następującym wzorem:

$$\sigma_P(t) = \sigma(x_P - vt)$$

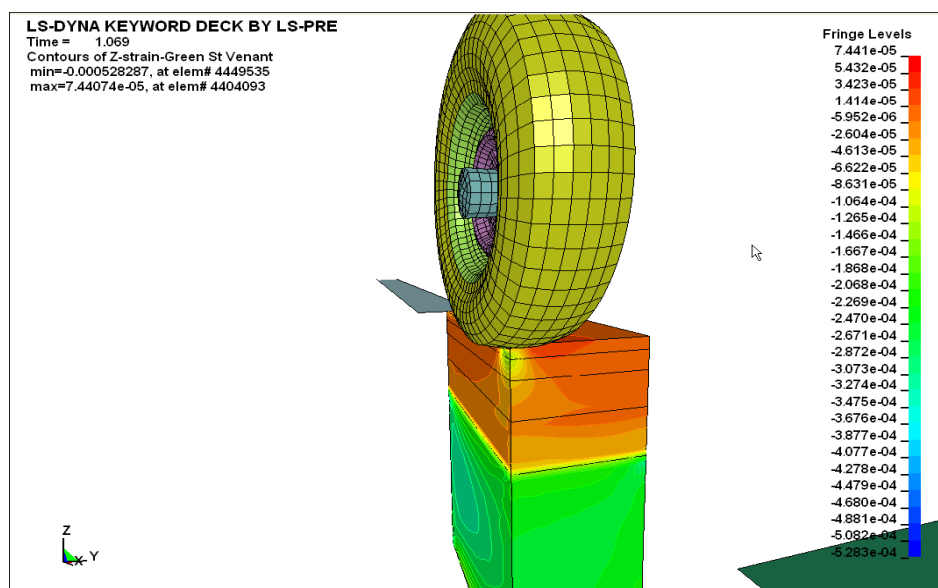
gdzie: x_P - współrzędna określająca położenie punktu P,

v - prędkość poruszania się pojazdu,

σ - funkcja opisująca składową naprężenia w strefie naprężeń przemieszczającej się razem z obciążeniem.

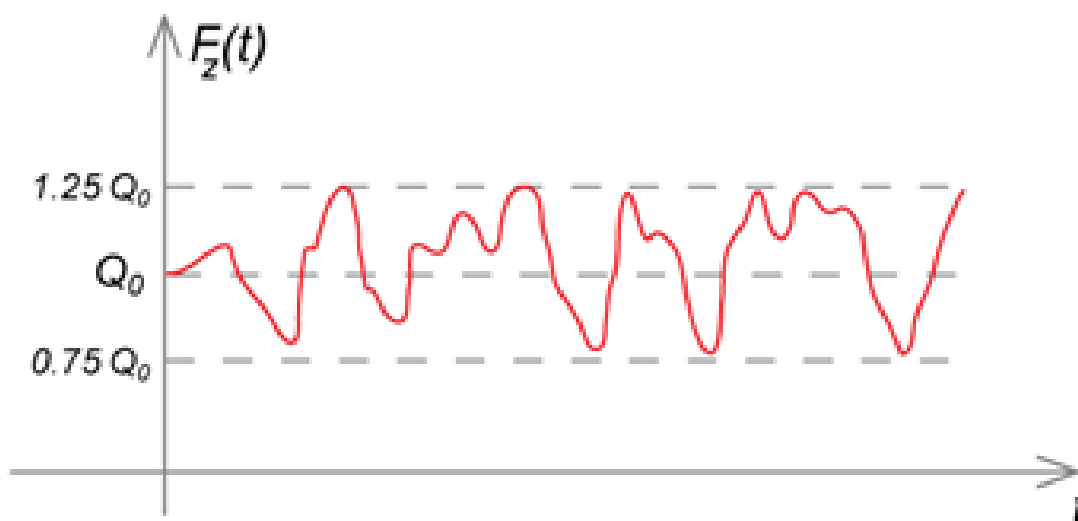


Rys 9. Składowe naprężenia i odkształcenia w ustalonym punkcie nawierzchni i ogumienia



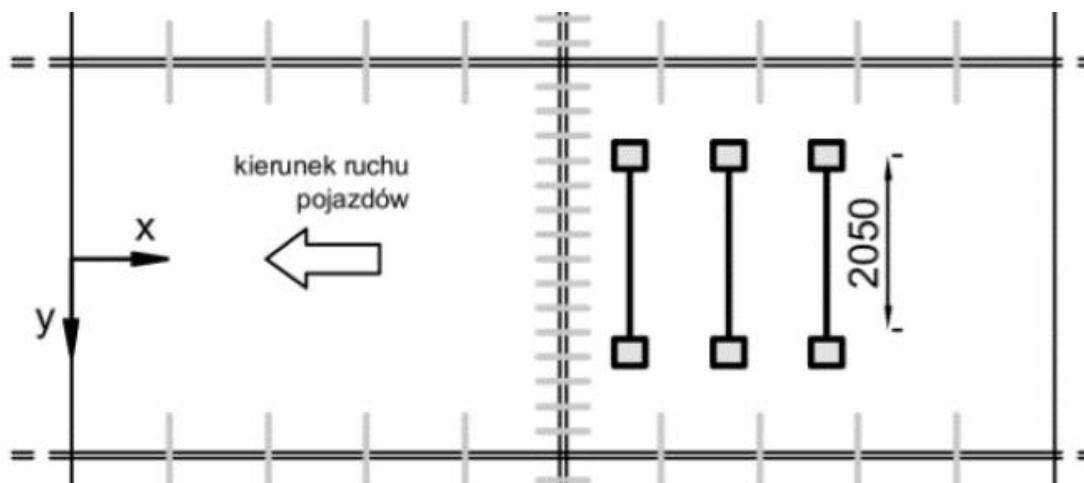
Rys. 10 Przykładowy rozkład naprężeń w nawierzchni od obciążenia kołem pojazdu.

Siła nacisku wyznacza podstawowe obciążenie nawierzchni. Jej wartość w czasie poruszania się pojazdu nie jest stała, lecz zmienia się wokół wartości określającej statyczny nacisk koła (Rysunek 11). Przyczynami zmian wartości siły w czasie jazdy są drgania pojazdu (np. w czasie postoju) lub siły bezwładności działające na pojazd podczas przyspieszania lub hamowania albo podczas jazdy.



Rys. 11 Zmienność siły nacisku koła na nawierzchnię od pojazdu

Na Rysunku 12 przedstawiono typowy rozkład obciążeń od pojazdów ciężkich oddziałujących na nawierzchnię.



Rys. 12 Rozkład obciążeń od pojazdów ciężkich oddziałujących na nawierzchnię.

Inwentaryzacja uszkodzeń występujących na nawierzchni betonowej PPO Balice

Inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni betonowej płaszczyzny poboru opłat „Balice” wykonano w dniach 5-6 05. 2021 r. W trakcie inwentaryzacji wykonano zdjęcia obrazujące stan powierzchniowy nawierzchni oraz dokonano klasyfikacji i zwymiarowania występujących uszkodzeń nawierzchni betonowej na liniach od 1S do 17. Zdjęcia z inwentaryzacji uszkodzeń zostały zamieszczone w pliku na nośniku w formie elektronicznej. Lokalizacja uszkodzeń została przedstawiona na rysunkach w załączniku.

Uszkodzenia nawierzchni betonowej PPO Balice linie 1S-17

Linia 1S

Na Zdjęciu 1 pokazano widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 1S.

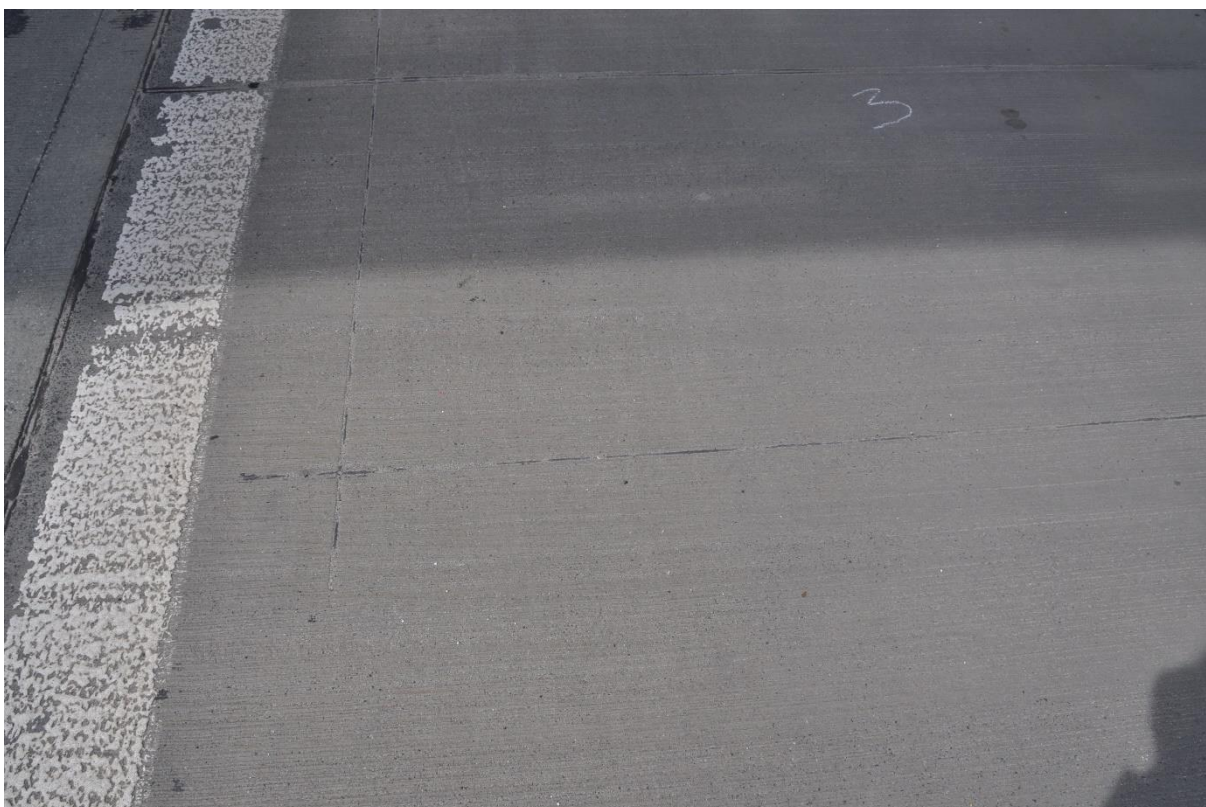


Zdj. 1 Widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 1S

Na Zdjęciach 2-5 pokazano typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 1S, do których należą odłamania naroży, pęknięcia płyt, rozszczelnienie połączeń między płytowych i miejsc ułożenia pętli indukcyjnych.



Zdj. 2 Odłamania naroży w śladzie przejścia kół pojazdów ciężkich



Zdj. 3 Rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych



Zdj. 4 Pęknięcia płyt



Zdj. 5 Rozszczelnienie szczelin między płytami betonowymi i wykruszenia betonu przy szczelinach

Linia 1

Na Zdjęciu 6 pokazano widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 1.



Zdj. 6 Widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 1

Na Zdjęciach 7-11 pokazano typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 1, do których należą pęknięcia płyt, rozszczelnienie połączeń między płytowych z największą intensywnością w szczelinie podłużnej usytuowanej na ścieżce przejazdu kół pojazdów ciężkich i rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych oraz połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową oraz wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół .



Zdj.7 Rozszczelnienie połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową (całość).



Zdj.8 Rozszczelnienie szczelin między płytami betonowymi z wykruszeniami betonu na krawędziach płyt (całość)



Zdj.9 Rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych



Zdj.10 Pęknięcia płyt



Zdj. 11 Wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół

Linia 2

Na Zdjęciu 12 pokazano widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 2.



Zdj. 12 Widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 2

Na Zdjęciach 13-20 pokazano typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 2, do których należą pęknięcia płyt, rozszczerzenie połączeń między płytowych z największą intensywnością w szczelinie podłużnej usytuowanej na ścieżce przejazdu kół pojazdów ciężkich i rozszczerzenie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych oraz połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową, odłamania naroży oraz wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół i pęknięcia.



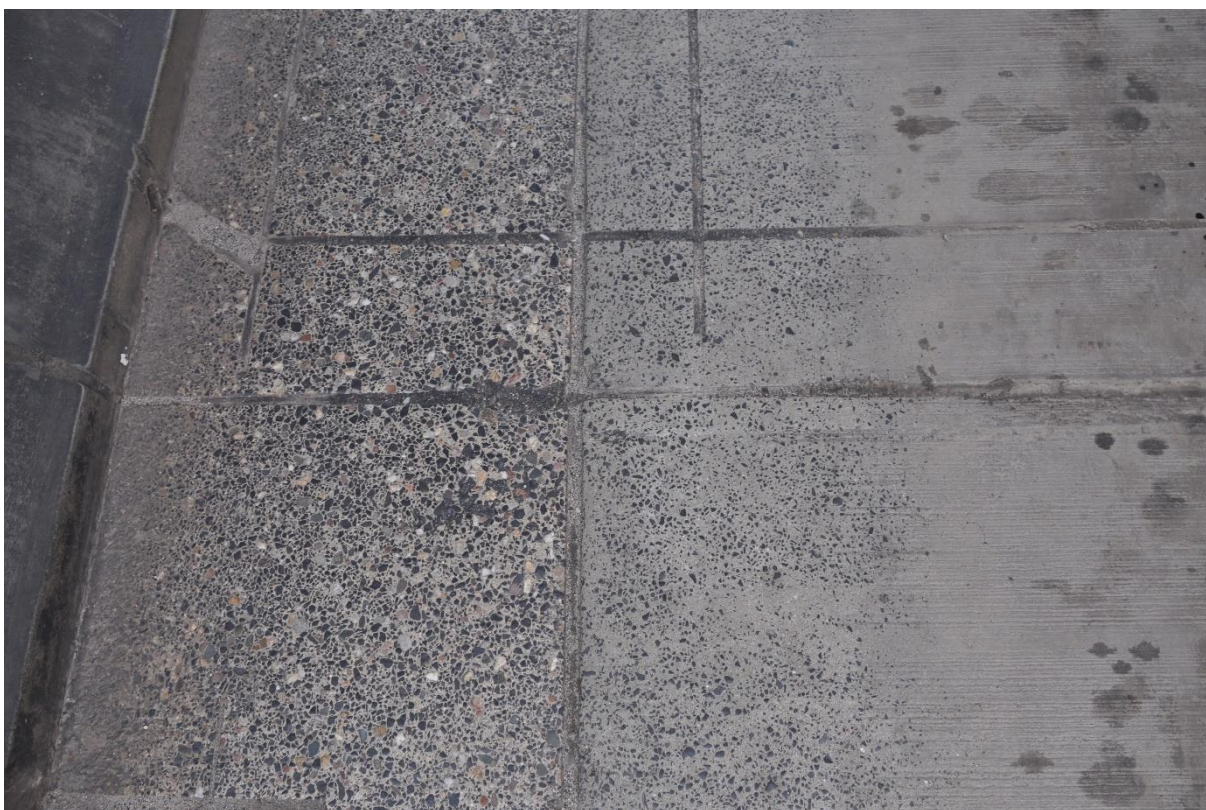
Zdj.13 Rozszczelnienie szczeliny podłużnej w nawierzchni betonowej w ścieżce przejazdu kół.



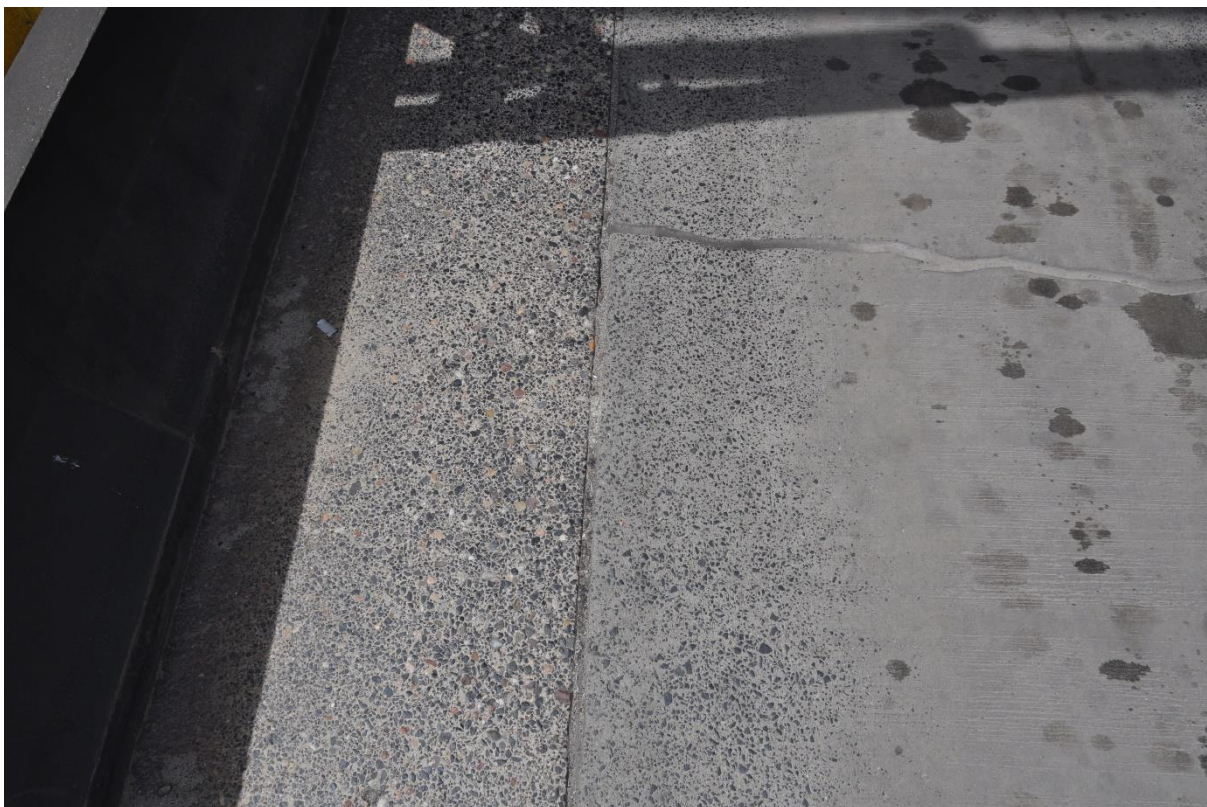
Zdj. 14 Odlamania naroży z naprawami w śladzie przejścia kół pojazdów ciężkich



Zdj.15 Rozszczelnienie szczelin między płytami betonowymi z wykruszeniami betonu na krawędziach płyt



Zdj.16 Rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych



Zdj. 17 Wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół z pęknięciem poprzecznym płyty



Zdj. 18 Spękania siatkowe na powierzchni betonu



Zdj. 19 Pęknięcia płyt betonowej poprzeczne i podłużne.



Zdj. 20 Odłamania w narożach płyt betonowych z przemieszczeniem betonu.

Linia 16

Na Zdjęciu 118 pokazano widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 16.



Zdj. 118 Widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 16 i 17

Na Zdjęciach 119-126 pokazano typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 16, do których należą przykrawędziowe pęknięcia płyt, rozszczelnienie połączeń między płytowych, rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych oraz połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową oraz wyłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół i pęknięcia wielokrotne, a także liczne naprawy lokalne oraz niefunkcjonujący ściek podłużny.



Zdj. 119 Pęknięcia wielokrotne z przemieszczaniami w płycie betonowej



Zdj. 120 Rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych



Zdj. 121 Wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół, pęknięcia i uszkodzenie ścieku podłużnego



Zdj. 122 Spękania siatkowe na powierzchni betonu



Zdj. 123 Rozszczelnienie szczelin między płytami betonowymi oraz przy połączeniu z powierzchnią asfaltową z wykruszeniami i pęknięciami



Zdj. 124 Uszkodzenie ścieku poprzecznego w nawierzchni betonowej z wykruszeniami na krawędziach płyty



Zdj. 125 Pęknięcia poprzeczne i podłużne z naprawami płyty betonowej



Zdj. 126 Pęknięcia wielokrotne z przemieszczaniami w płycie betonowej w ścieżce przejazdu kół pojazdów ciężkich

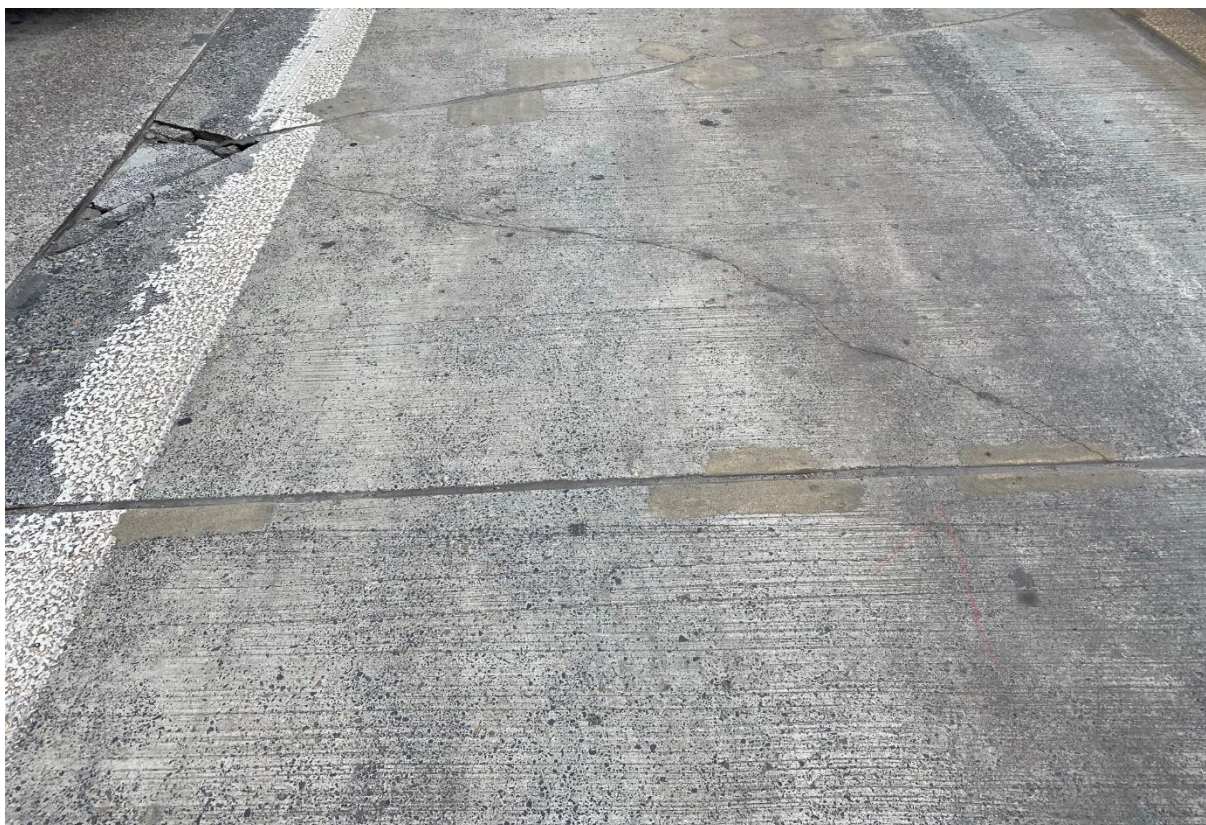
Linia 17

Na Zdjęciu 127 pokazano widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 17.



Zdj. 127 Widok ogólny nawierzchni betonowej na linii 17

Na Zdjęciach 128-133 pokazano typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 17, do których należą przykrawędziowe pęknięcia płyt, rozszczelnienie połączeń między płytowych, rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych oraz połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową oraz wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół i pęknięcia, a także liczne naprawy lokalne oraz niefunkcjonujący ściek podłużny.



Zdj. 128 Pęknięcia wielokrotne z przemieszczaniami w płycie betonowej



Zdj. 129 Rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych



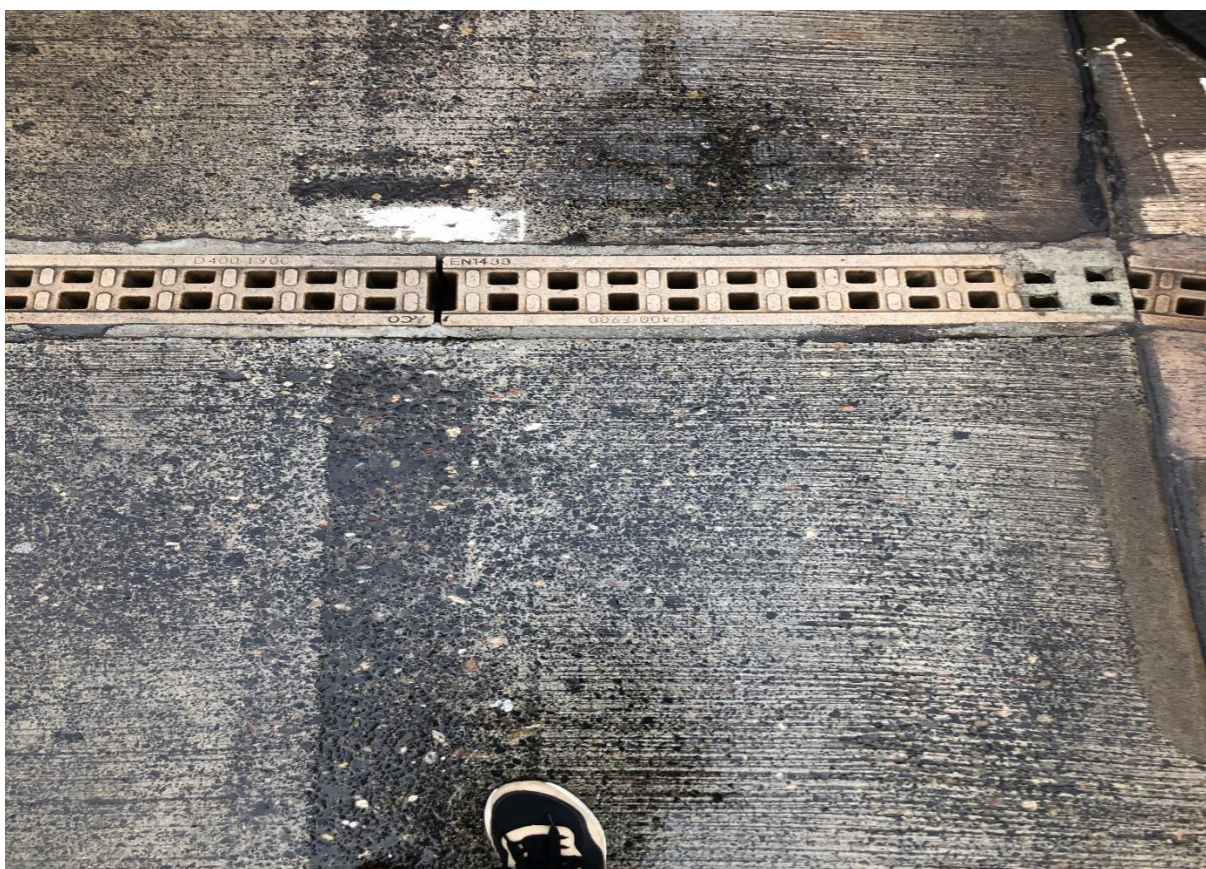
Zdj. 130 Wyżłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół



Zdj.131 Spękania siatkowe na powierzchni betonu



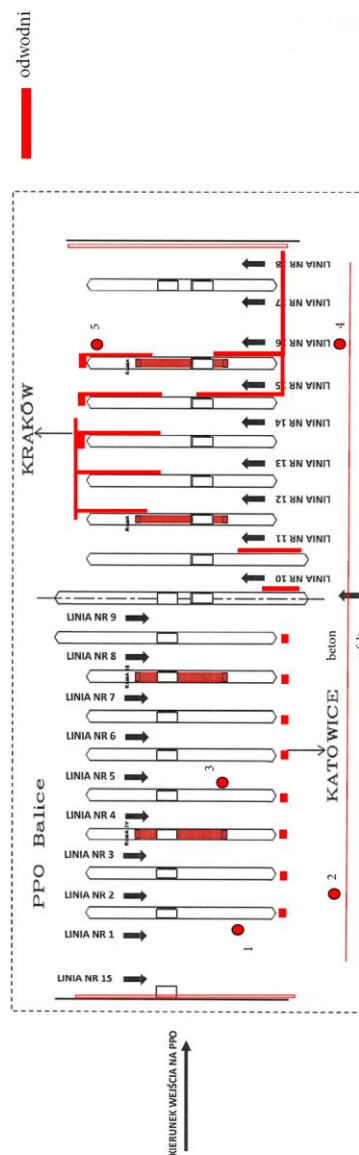
Zdj. 132 Rozszczelnienie szczelin między płytami betonowymi z naprawami krawędzi płyt



Zdj.133 Rozszczelnienie ścieku poprzecznego płyty betonowej

Inwentaryzacja odwodnienia i miejsc ułożenia pętli indukcyjnych

Odwodnienie nawierzchni PPO Balice realizowane jest poprzez kanalizację deszczową: wpusty deszczowe, odwodnienia liniowe typu ACO, odwodnienia szczelinowe przy krawężnikowe. Szczegółową inwentaryzację odwodnienia przedstawiono na Rysunku 13 i w dokumentacji fotograficznej oraz w załączniku pt. „Raport z badań wraz z oceną podłoża gruntowego PPO Balice: kier. Kraków i kierunek Katowice na autostradzie A4.



Rys. 13 Plan rozmieszczenia odwodnienia

PPO w stronę Katowic (linie 1-9) odwodnienie stanowi szczelina przy krawężnikowa usytuowana w linii 1s oraz wpusty deszczowe umiejscowione w liniach 1-9 przy każdym elemencie betonowego odboju od str. Katowic. Stan odwodnienia po ocenie wizualnej tego obszaru pokazuje przede wszystkim rozszczelnienie nawierzchni w szczelinach między płytami, gdzie woda może infiltrować w konstrukcję nawierzchni, poza tym odwodnienie jest na poziomie wystarczającym.

Na obszarze PPO w stronę Krakowa (linie 10-18) odwodnienie jest realizowane poprzez odwodnienia liniowe (podłużne i poprzeczne) w stosunku do kierunku jazdy. Stan techniczny odwodnienia jest zły. Popękane i pozapadane pokrycia odwodnień, całkowicie i częściowo pozapychane i niedrożne kratki pokrywowe oraz nieszczelności na styku koryt ściekowych i nawierzchni. Odwodnienie wzdłuż linii 12, 13 i 14 są sprawne, natomiast ich obudowy wykazują lokalne uszkodzenia.

Infrastruktura odwodnienia na tej części PPO kwalifikuje się do kapitalnego remontu, tj. wymiany na nową z wykorzystaniem odwodnienia wzdłuż linii 12, 13 i 14. Po deszczach widoczne są problemy z odprowadzeniem wody. Brak szybkiego i sprawnego odprowadzenia wody skutkuje jej infiltracją w nieszczelne szczeliny między płytowe.

W zakresie inwentaryzacji stanu miejsc instalowania pętli indukcyjnych, generalnie na wszystkich badanych liniach tj. od 1S do 17 występuje rozszczelnienie masy zalewowej w brzdach instalacji, co może prowadzić w konsekwencji do uszkodzeń samych pętli indukcyjnych.

6. Wnioski z badań i inwentaryzacji.

Podsumowanie odniesienia się do dokumentacji

Nawierzchnia betonowa PPO Balice była wykonana dwuetapowo: I etap budowa 14 linii i II etap (2012 r.) poszerzenie nawierzchni do obecnego stanu. Konstrukcje nawierzchni są podobne lecz nieco się różnią w układzie dolnych warstw konstrukcji.

Rodzaje konstrukcji istniejących na liniach od 1S do 17 :

Nawierzchni betonowa PPO Balice według dokumentacji projektowej ma następującą konstrukcję:

- Na liniach 1S, 1 i 2 w kierunku Katowic i 17 w kierunku Krakowa o spadku poprzecznym jezdni 0,7%
 - 26 cm beton cementowy klasy C35/45
 - 28 cm chudy beton o wytrzymałości 6 – 9 MPa
 - 20 cm kruszywo stabilizowane cementem $R_m=2,5$ MPa
 - 25 cm warstwa wzmacniająca z gruntu stabilizowanego cementem z dowozu $R_m=2,5$ MPa
 - Grunt nasypowy
 - Łączna grubość 99cm

- Na liniach 3 do 9 w kierunku Katowic o spadku poprzecznym jezdni 2,5 % i na liniach od 10 do 16 w kierunku Krakowa o zmiennym spadku poprzecznym jezdni.
 - 26 cm beton cementowy klasy B40
 - 28 cm chudy beton o wytrzymałości 6 – 9 MPa
 - 20 cm kruszywo stabilizowane cementem $R_m=2,5$ MPa
 - 30 cm warstwa mrozoochronna
 - Łączna grubość 104cm

W obu konstrukcjach nie występuje warstwa poślizgowa, która oprócz funkcji podstawowej daje efekt uszczelnienia konstrukcji, co zapobiega poziomemu przepływowi wody pod betonowymi płytami nawierzchniowymi.

Podsumowanie inwentaryzacji uszkodzeń

Typowe uszkodzenia nawierzchni betonowej na linii 1S-17 to przede wszystkim: krawędziowe poprzeczne i podłużne pęknięcia płyt o szerokości szczelin $>3\text{mm}$ (duża szkodliwość), rozszczelnienie połączeń między płytowych, rozszczelnienie miejsc ułożenia pętli indukcyjnych oraz połączenia nawierzchni asfaltowej z betonową oraz wyłobienia w powierzchni betonu w śladach przejazdu kół i pęknięcia, a także liczne naprawy lokalne oraz niefunkcjonujące ścieki podłużne i poprzeczne.

Główne uszkodzenia nawierzchni betonowej wskazują na wyczerpanie trwałości warstwy powierzchniowej, objawiające się gęstymi siatkowymi spękaniem generowanymi od góry do dołu płyt betonowych oraz na rozszczelnienie konstrukcji nawierzchni, co skutkuje infiltracją wody w głąb szczelin i pod płyty betonowe i dalej pęknięciami tych płyt.

Zdjęcia z inwentaryzacji uszkodzeń zostały zamieszczone w pliku na nośniku w formie elektronicznej. Lokalizacja uszkodzeń została przedstawiona na rysunkach w załączniku.

Podsumowanie pomiarów ugięć za pomocą ugięciomierza HWD - LTE, moduł zastępczy)

Pomiar Load Transfer Efficiency – współczynnika przenoszenia obciążeń LTE

Z pomiarów urządzeniem HWD współpracy połączeń między płytami betonowymi LTE Uzyskane wyniki na poszczególnych punktach pomiarowych linii wykazały, że nie wszędzie spełniony jest warunek $\text{LTE} > 80\%$. Szczególnie słaba współpraca między płytami występuje na liniach 1S, 1, 2, 4,5,16 najniższa uzyskana wartość LTE wyniosła - 36,2% na linii 1S.

Przyjmuje się, że kryterium dobrej współpracy jest spełnione, gdy $\text{LTE} > 80\%$

Takie wyniki mogą wskazywać, że na skutek oddziaływania wody infiltrującej w strukturę nawierzchni występuje erozja podbudowy i są osłabione połączenia dyblowane.

Nośność nawierzchni wyrażona zastępczym modułem sprężystości nawierzchni

Wartość średnia miarodajnego zastępczego modułu sprężystości dla wszystkich linii wynosi 3713 MPa a odchylenie standardowe 945 MPa. Natomiast wartości średnie miarodajnego zastępczego modułu sprężystości dla linii od 1S do 9 wyniosła 4182 MPa a odchylenie standardowe 819 MPa a dla linii od 10 do 17 wyniosła 3128 MPa a odchylenie standardowe

745 MPa. Najwyższa wartość miarodajnego zastępczego modułu sprężystości obliczono dla linii 7 – 5504 MPa a najniższą dla linii 17 – 2195 MPa.

Uzyskane wartości miarodajnego zastępczego modułu sprężystości E dla każdej linii, zgodnie z Rozporządzeniem MI z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych, kwalifikują nośność nawierzchni do klasy O ($E > 1200$ MPa).

Należy jednak mieć na uwadze, że kryteria przyjęte w rozporządzeniu odnoszą się do nawierzchni podatnych czyli asfaltowych (bitumicznych). Kryteria przyjęte w Rozporządzeniu nie są właściwe do oceny nawierzchni sztywnych betonowych.

Podsumowanie badań georadarowych GPR konstrukcji nawierzchni

We wszystkich przejazdach widać wyraźnie granicę między górną warstwą nawierzchniową betonu cementowego, a betonem podbudowy na stabilnej głębokości 26 cm. Miejscami na tej granicy zaobserwowano pojedynczy refleks ujemny, który może oznaczać wypełnione wodą rozwarstwienie. Na linii 2 taki refleks zaobserwowano również poniżej spągu pierwszej warstwy na całej długości płyty. W trakcie pomiarów zaobserwowano strefy natężonej liczby pęknięć siatkowych, szczególnie widocznych tuż pod powierzchnią generujące się w dół warstwy jezdnej betonowej. W dużej liczbie połączeń płyt zaobserwowano nierówno ułożone dyble.

W zapisie elektronicznym w formacie .mp4 zostały załączone filmy z echogramów z badań konstrukcji nawierzchni na liniach 1S-17.

Podsumowanie badań podłoża do 2.0 m i badania wytrzymałościowe próbek podbudowy i podłoża

Na podstawie badań ustalono warunki gruntowo-wodne, ustalono grupę nośności G_i , określono charakterystykę podłoża pod względem nośności (wskaźnik CBR). Szczegółowe karty badań przedstawiono w załącznikach.

Na podstawie wierceń rdzeniowych ustalono, że konstrukcję nawierzchni stanowią:

- beton cementowy nawierzchniowy gr. 22 – 28 cm ($f_{ct}=4.12$ MPa, $f_c=61.84$ MPa)

- podbudowa betonowa gr. 21-29 cm ($f_{ct}=2.24$ MPa, $f_c=27.8$)

beton nawierzchniowy i podbudowa betonowa w przekroju w ocenie wizualnej są w stanie bardzo dobrym, jednak widoczne są w śladach kół płytkie i gęste mikro spękania siatkowe w nawierzchni propagowane od góry (wpływ ciśnienia kontaktowego koło/nawierzchnia oraz hamowanie i przyspieszanie) oraz wytarcia w wierzchniej warstwy betonu przejawiające się wżerami w betonie oraz wyeksponowanym i wypolerowanym kruszywem.

- warstwy związane hydraulicznie (stabilizacje) ($f_{ct}=0.45$ MPa, $f_c=4.2-6.7$ MPa) i warstwy niezwiązane, przy czym w pkt. 1 i 2 brak jest warstw niezwiązanych i całą konstrukcję stanowią warstwy związane hydraulicznie. Natomiast w pkt. 3 pod podbudową betonową występuje warstwa (18-45cm) z kruszywa naturalnego i mieszanki naturalnego z kruszywem łamanym a poniżej tej warstwy znajdują się warstwy stabilizacji słabszej jakości (pokruszona). Bezpośrednie podłoże gruntowe tworzą nasypy budowlane z rumoszy skalnych pylastych, miejscami z doziarnieniem żwirami lub kruszywem łamanym. Na podstawie sondowań i wierceń ustalono, że podłoże jest zagęszczone i nośne ($CBR \gg 10$). W trzech lokalizacjach nie można było przeprowadzić sondowań ze względu na dużą zawartość materiału grubo okruchowego, ilość uderzeń sondy $SD10 > 60$. Ze względu na zawartość frakcji pylastej w materiale skalistym, podłoże zakwalifikowano do grupy gruntów wątpliwych. Uwzględniając brak występowania wody gruntowej podłoże zakwalifikowano do grupy nośności G2. Ze względu na przemarzanie G2, $H_z=1.0m$, KR6/7 konstrukcja spełnia wymagania odnośnie ochrony mrozowej podłoża gruntowego.

Szczegółowe dane z badań zamieszczono w załączniku: „Raport z badań wraz z oceną podłoża gruntowego PPO Balice: kier. Kraków i kierunek Katowice na autostradzie A4.”

Podsumowanie wyników badań wytrzymałościowych

Na podstawie oględzin odwierconych próbek z betonu nawierzchniowego można zauważyć, że betony nawierzchniowe na bramkach nr 1, nr 9 i nr 16 różnią się m.in. rodzajem zastosowanego kruszywa (Rys. 1 w Sprawozdaniu z badań Nr TB-1/34/21-3). Stwierdzono zależność, że im w przekroju próbki jest mniej kruszywa grubego, tym mniejsza jest wytrzymałość betonu zarówno na ściskanie jak i na rozciąganie przy rozłupywanie. Stwierdzono zależność pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywanie dla każdego rodzaju betonu. Pomimo różnic w wytrzymałości na ściskanie, w najsłabszym miejscu (bramka nr 1) beton osiągnął klasę C40/50.

Najniższą wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu charakteryzuje się beton na bramce nr 1 – średnia 3,6 MPa. Wartość tę należy uznać za wystarczającą.

Wytrzymałość na odrywanie w najsłabszym miejscu (bramka nr 1) wyniosła 2,2 MPa. Wytrzymałość powyżej 2,0 MPa należy uznać za wystarczającą .

Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych betonu nawierzchniowego nie odzwierciedlają rzeczywistego stanu nawierzchni na PPO Balice. Zaobserwowane uszkodzenia nawierzchni nie wynikają z parametrów betonu ale z pracy całej konstrukcji nawierzchni.

Rekapitulacja

Podsumowując należy stwierdzić, że:

1. Dominujące zniszczenia nawierzchni betonowej to:
 - Spękania siatkowe generowane od góry
 - Rozszczelnienie połączeń między-płytowych - infiltracja wody pod płyty
 - Częściowa erozja podbudowy oraz osłabienie połączenia dyblowanego - zmniejszona współpraca płyt LTE
 - Brak warstwy poślizgowej - uszczelniającej
2. W dużej części niesprawny system odwodnienia nawierzchni
3. Rozszczelnienie miejsca lokalizacji pętli indukcyjnych
4. Istotne obniżenie współczynnika tarcia (duża śliskość)

Główne przyczyny zachodzącej degradacji nawierzchni betonowej to:

- Infiltracja wody opadowej w konstrukcję nawierzchni:
 - ✓ Brak warstwy uszczelniająco - poślizgowej.
 - ✓ Rozszczelnienie połączeń międzypłytowych.
- Oddziaływania eksploatacyjne
- Połączenie podłużne płyt betonowych w ścieżce przejść pojazdów ciężkich z brakiem możliwości uszczelnienia połączeń między płytowych
- Niewłaściwe połączenie konstrukcji nawierzchni asfaltowej z betonową
- Niedrożne odwodnienie.

Przeprowadzona inwentaryzacja nawierzchni betonowej PPO Balice oraz badania: wykazały stan techniczny nawierzchni o poważnych uszkodzeniach, które to uszkodzenia w

konsekwencji będą prowadziły do przyspieszonej destrukcji całej konstrukcji. Nawierzchnia w takim stanie będzie powodowała zakłócenia w normalnej eksploatacji i w ruchu pojazdów na punkcie poboru opłat.

7. Propozycje napraw i remontu nawierzchni

Ze względu na stan techniczny nawierzchni betonowej PPO Balice możliwe są do zastosowania następujące technologie naprawy:

- Naprawa poprzez wymianę popękanych płyt, wykonanie „grindingu” powierzchni, uszczelnienie połączeń płyt betonowych i miejsc lokalizacji pętli indukcyjnych oraz udrożnienie z częściową wymianą systemu odwodnienia – trwałość ok. 3lat, wykonanie w kilka dni.
- Zastosowanie nowej wierzchniej jezdnej warstwy z betonu cementowego szybkozrędnego, z grindingiem oraz wymiana systemu odwodnienia – trwałość ok. 15 - 20 lat, wykonanie każdej linii (bramki) ok. 20 dni.
- Zastosowanie nowej wierzchniej jezdnej warstwy betonowej o zbrojeniu ciągłym (nawierzchnia bezszczelinowa) oraz wymiana systemu odwodnienia – trwałość ok. 20 - 25 lat, wykonanie każdej linii (bramki) ponad miesiąc.
- Zastosowanie nowej wierzchniej jezdnej warstwy z płyt prefabrykowanych wraz z wymianą systemu odwodnienia – trwałość ok. 15 – 20 (25) lat, nawierzchnia łatwa w utrzymaniu, szybkość montażu – kilka dni na każdej linii.

Uwzględniając trwałość, ograniczenia czasowe i organizację robót budowlanych na PPO Balice oraz uwzględniając zapewnienie odpowiedniej przepustowości punktu poboru opłat należy rozpatrzyć dwie z możliwych technologii napraw konstrukcji nawierzchni betonowej tj.:

- Zastosowanie nowej wierzchniej jezdnej warstwy o grubości 26 cm ułożonej na warstwie poślizgowej (uszczelniającej) z betonu cementowego szybkozrędnego z dodatkiem włókien polimerowych wzmacniających strukturę betonu, z grindingiem powierzchni oraz wymiana systemu odwodnienia – trwałość ok. 15 - 20 lat, wykonanie każdej linii (bramki) ok. 20 dni.
- Zastosowanie nowej wierzchniej jezdnej warstwy z płyt prefabrykowanych na warstwie uszczelniającej wraz z wymianą systemu odwodnienia – trwałość ok. 15 – 20 (25) lat, nawierzchnia łatwa w utrzymaniu, szybkość montażu – kilka dni na każdej linii.

Technologia betonu szybkostrawnego.

Technologia wymiany betonowych płyt nawierzchni komunikacyjnej z wykorzystaniem betonu szybkostrawnego polega na zastosowaniu mieszanki betonowej, która w krótkim czasie uzyskuje wysoką wytrzymałość (ok. 30 MPa po 24 h) i pozwala przywrócić ruch pojazdów na remontowanym odcinku w krótkim czasie. Mieszanka betonu szybkostrawnego może być produkowana w tradycyjnej wytwórni betonu i dostarczana w miejsce wbudowania lub w mobilnej wytwórni betonu bezpośrednio w miejscu wbudowania.

Do wykonania płyty należy zastosować beton o klasie min. C35/45 (zalecany C40/50), spełniający wymagane parametry wytrzymałościowe, trwałościowe (odpowiednią mrozoodporność i odporność na działanie środków odladzających) i eksploatacyjne (równość, właściwości przeciwpoślizgowe, ścieralność abrazyjna). Wymagane kryteria dla betonu: XA3, XD3, XF4, XM3.

Mieszankę należy wbudować w miejsce po wyburzeniu starej płyty lub jej części. Z badań wynika, że lokalnie grubość płyty jest niższa niż założona w projekcie tj. 26 cm, w związku z niezbędnym będzie sfrezowanie podbudowy do odpowiedniej rzędnej wysokościowej.

W celu zapewnienia współpracy z sąsiednimi płytami istniejącej nawierzchni należy zamontować dyble i kotwy.

Na podbudowie należy ułożyć warstwę poślizgową z włókniny nasączonej asfaltem (emulsją) lub asfaltu lanego o grubości 2 cm.

Technologia płyt prefabrykowanych.

Technologia ma na celu wymianę zdegradowanych nawierzchniowych płyt betonowych i zastąpienie ich nowymi z elementów prefabrykowanych. W zależności od wymiarów płyty, jej grubości, długości i szerokości wykonywany jest indywidualny projekt płyty nawierzchniowej prefabrykowanej, która jest następnie produkowana w zakładzie prefabrykacji.

W zależności od konkretnych potrzeb płyta prefabrykowana może być wyposażona w różne elementy wyposażenia nawierzchni takie jak: kanały kablowe, studzienki rewizyjne, otwory pod lampy sygnalizacyjne itp.)

Ograniczeniem w wymiarowaniu płyt jest późniejsza możliwość ich swobodnego transportu bez konieczności przekraczania nadgabarytu (płyty o szerokości do 2,5 m).

Do produkcji płyt należy zastosować beton o klasie min. C35/45 (zalecany C40/50) spełniający wymagane parametry wytrzymałościowe, trwałościowe (odpowiednią mrozoodporność i

odporność na działanie środków odladzających) i eksploatacyjne (równość, właściwości przeciwpoślizgowe, ścieralność abrazyjna). Wymagane kryteria dla betonu: XA3, XD3, XF4, XM3.

Płyta posadowiona jest na wyrównanym i oczyszczonym podłożu (istniejąca podbudowa). Po zamontowaniu płyty konieczna jest jej iniekcja przez specjalne otwory iniekcyjne. Ma to na celu pełne podparcie płyty (między jej spodem a podbudową) na całej jej powierzchni.

Wykorzystywana jest do tego iniekcja z użyciem np. żywic silikatowych.

Zaletą rekomendowanej technologii jest możliwość udostępnienia nawierzchni użytkownikom w ciągu kilku dni. Z punktu widzenia organizacji terenu budowy, technologia umożliwia ograniczenie powierzchni placu budowy do jednej linii (bramki) PPO Balice.