

PRZYCZYNY POWSTAWANIA RYS PŁYT DROGOWYCH PODCZAS ICH UKŁADANIA

JAROSŁAW BŁYSZKO, e-mail: blyszko@zut.edu.pl

STANISŁAW MAJER

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie: Podczas budowy dróg dojazdowych o nawierzchni z płyt drogowych stwierdzono zarysowania płyt. Zgodnie z wymaganiami inwestora zawartymi w STWiORB „powierzchnie płyt powinny być bez rys, pęknięć i ubytków betonu, o fakturze z formy lub zatartej, zgodnie z wymaganiami”. W związku z powyższym wykonawca zastosował 4 różne płyty od różnych producentów o różnym układzie zbrojenia, rysy występowały jednak na wszystkich rodzajach płyt. Dla analizowanego przypadku wykonano obliczenia naprężeń dla różnych schematów obciążeń i położenia płyt – położone równoległe i prostopadłe do osi przejazdu. Rozpatrzono 6 schematów podarcia płyt stosując różne wartości współczynnika podatności i jego rozmieszczenie pod płytą. Na podstawie obliczeń wykazano że przyczyną wystąpienia zarysowań płyt było zastosowanie nieodpowiedniego sprzętu do montażu. Wykazano jednak iż zarysowania mogą również wystąpić od przeciążonych samochodów ciężarowych.

Słowa kluczowe: zarysowania prefabrykatów, drogi dojazdowe, podłoże sprężyste, obciążenia montażowe

1. Wprowadzenie

W ramach przebudowy jezdni na dziewięciu odcinkach ulic o łącznej długości 4067 m wykonano nawierzchnie z płyt drogowych żelbetowych o łącznej powierzchni 12201 m². Po przystąpieniu do wykonywania robót na pierwszym odcinku wykonawca stwierdził, że na ułożonych płytach zaczęły pojawiać się rysy. Wykonawca oczekiwał od zamawiającego jednoznacznej odpowiedzi czy stwierdzone rysy będą traktowane na odbiorze końcowym jako wada, gdyż zgodnie z materiałami przetargowymi i szczegółową specyfikacją techniczną powierzchnie płyt powinny być bez rys, pęknięć i ubytków betonu, o fakturze z formy lub zatartej, zgodnie z wymaganiami. Krawędzie płyt powinny być równe i proste, nieuszczerbione. Wobec długiego okresu oczekiwania na odpowiedź w sprawie zarysowań wykonawca przewidując trudności z późniejszym odbiorem zlecił wykonanie opinii na temat przyczyn powstawania rys w układanych płytach. Wyniki wykonanej opinii posłużyły jako podstawa do opracowania niniejszego tekstu.

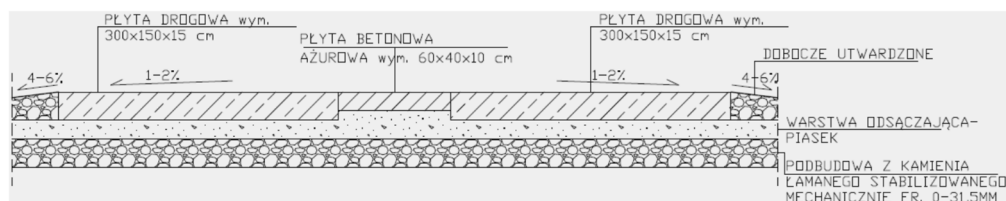
2. Opis konstrukcji i użytych materiałów

W materiałach przetargowych zawarto podstawowe parametry dotyczące nawierzchni wykonanej z płyt drogowych. Zgodnie z zapisami płyty powinny być układane w dwóch rzędach (na długości) na przemian z przesunięciem co ok. pół płyty. Przekrój konstrukcyjny nawierzchni przedstawiono na rysunku 1.

Ponadto płyty powinny charakteryzować się następującymi parametrami:

- wymiary: 3×1,5×0,15 m,
- płyta wykonana z betonu klasy min C25/30,
- zbrojona górą i dołem stałą zbrojeniową,
- dopuszczalny nacisk min. 50 kN na 1 koło,

- wklęsłość lub wypukłość powierzchni górnej, wchrowatość powierzchni i krawędzi – max. 4 mm,
- dopuszczalne odchyłki wymiarów nie powinny przekraczać wartości:
 - długość – ± 10 mm,
 - szerokość – ± 5 mm,
 - grubość – ± 5 mm,
- każda płyta powinna posiadać 4 uchwyty transportowe,
- nasiąkliwość (wg procedury badawczej IBDiM PB/TB-1/23:2008) – ≤ 5 % (m/m),
- odporność na działanie mrozu, stopień mrozoodporności (wg procedury badawczej IBDiM PB/TB-1/23:2008) – $\geq F 150$,
- odporność na ścieranie (wg PN-EN 1339) – 18 000/5 000 mm³/mm².



Rys. 1. Przekrój konstrukcyjny nawierzchni

3. Opis uszkodzeń i badania materiałowe płyt drogowych

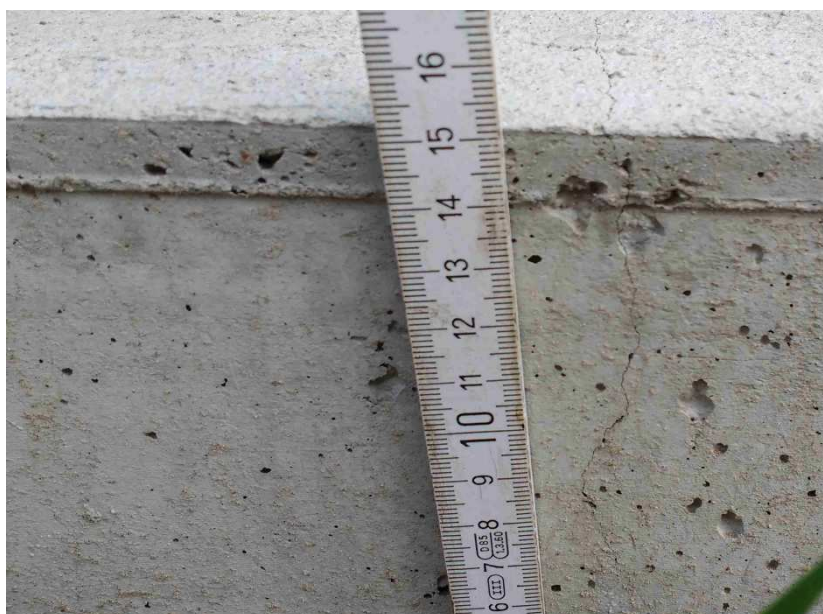
W trakcie wizji lokalnej stwierdzono, że wykonawca użył do wykonywania drogi płyt dostarczonych przez czterech różnych producentów – oznaczone odpowiednio „H”, „AG”, „AR”, „G”. Wszystkie użyte płyty posiadały stosowne atesty i dopuszczenia a ich producent deklarował spełnienie podanych wyżej wymagań dotyczących kształtu, mrozoodporności, ścieralności i dopuszczalnych obciążeń. Widok ułożonego odcinka drogi pokazano na rys. 2. Na płytach wszystkich producentów stwierdzono występowanie rys na górnej powierzchni o rozwarości od 0,05 do ok 0,20 mm. Najczęściej na płycie występowała pojedyncza rysa, zdarzały się płyty z dwiema (rys. 3) oraz trzema rysami. Zlokalizowane były w strefie od 0,5 m od krawędzi płyty aż do jej osi (150 cm od krawędzi). Głębokość rys zmierzona przy bocznej powierzchni płyty sięgała mniej więcej do połowy jej grubości tj. około 75 mm – rysunek 4.



Rys. 2. Widok wykonanej nawierzchni



Rys. 3 Ułożona płyta z dwiema rysami (przebieg rys zaznaczono przerywaną linią)



Rys. 4 Zmierzona głębokość zarysowania – około 75 mm

W ramach wizji lokalnej pobrano odwierty rdzeniowe $\phi 100$ mm z ułożonych płyt. Pobierano po 3 odwierty z płyty dostarczonej przez każdego producenta – 1 w przekroju przez rysę i 2 z części niezarysowanej. W ramach prac laboratoryjnych rdzenie zmierzono, zinwentaryzowano rozmieszczenia prętów zbrojeniowych i ich średnice. W przypadku rdzeni z płyt „H”

stwierdzono występowanie zbrojenia o średnicy $\phi 8$, i $\phi 10$ grubość otuliny wynosiła od 2,3 do 3,3 cm. Rdzenie z płyt „AR” pręty o średnicy $\phi 8$, i $\phi 10$ grubość otuliny od 1,5 do 3,4 cm. Rdzenie z płyt z „AG” pręty o średnicy $\phi 10$ grubość otuliny od 3,0 do 4,5 cm. Rdzenie wycięte z płyt „G” pręty o średnicy $\phi 6$, grubość otuliny od 2,2 do 3,4 cm. Zgodnie z deklaracjami producentów do produkcji płyt zastosowano beton klasy C25/30, a klasę ekspozycji przyjęto jako XC4.

W tablicy 1 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na ściskanie w przypadku płyt produkcji „H” i „G” klasę betonu można oszacować na C30/37 natomiast w przypadku pozostałych dwóch producentów płyt na C25/30. Przy określaniu wytrzymałości pominięto obecność zbrojenia (zbrojenie w rdzeniu obniża wyniki wytrzymałości na ściskanie), oraz fakt zarysowania jednej z badanych próbek co również powinno przełożyć się na niższą wielkość siły niszczącej. Pomimo tego uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że płyty każdego producenta spełniają wymagania odnośnie założonej minimalnej klasy betonu.

Tablica 1. Wyniki badania wytrzymałości rdzeni betonowych

Oznaczenie próbki	Wyso-kość próbki h [cm]	Śred-nica d [cm]	h/d	Siła niszc-ząca [kN]	Wytrzyma-łość [MPa]	Współczyn-nik przeli-czeniowy (h/d)	Wytrzyma-łość skory-gowana [MPa]	wsp. wg PN-EN-13791:2008 1/0,85	Wytrzyma-łość skory-gowana [MPa]
H1	15,2	9,8	1,55	233	30,8	1,12	34,5	1,176	40,6
H2	15,3	9,8	1,56	272	36,0	1,12	40,3	1,176	47,4
H3	15,0	9,8	1,53	245	32,5	1,12	36,4	1,176	42,8
AG1	15,0	9,8	1,53	240	31,9	1,12	35,7	1,176	42,0
AG2	15,4	9,8	1,57	241	32,0	1,12	35,8	1,176	42,1
AG3	14,5	9,8	1,48	212	28,1	1,12	31,5	1,176	37,1
G1	15,8	9,8	1,61	206	27,3	1,13	30,8	1,176	36,2
G2	15,5	9,8	1,58	312	41,3	1,12	46,3	1,176	54,5
G3	15,2	9,8	1,55	288	38,1	1,12	42,7	1,176	50,2
AR1	15,0	9,8	1,53	212	28,1	1,12	31,5	1,176	37,0
AR2	15,5	9,8	1,58	212	28,1	1,12	31,5	1,176	37,0
AR3	9,5	9,8	0,97	262	34,7	0,99	34,4	1,176	40,4

4. Badania podłoża gruntowego i warunków użytkowania płyt

Płyty drogowe układano na podsypce piaskowej i podbudowie. Na podsypce piaskowej wykonano badania płytą dynamiczną osiągając wartości modułu dynamicznego E_{VD} 31,5, 39,8 i 31,9 MPa, natomiast na warstwie podbudowy osiągnięto wartość $E_{VD} = 42,4, 39,2$ i $44,2$ MPa. Na rysunku 5 przedstawiono widok drogi przygotowanej do położenia kolejnej płyty. Na pierwszym planie widoczna jest ułożona płyta i warstwa piasku, a dalej wykonana podbudowa. Ze względu na szerokość pasa drogowego wynoszącego nierzadko ok. 4,0 m (rys. 2) do układania płyt zastosowano koparkę kołową firmy CAT M313D – rys. 6. Według danych producenta masa własna koparki wynosi od 14000 do 16200 kg. Na rysunku widoczne jest usytuowanie kół koparki względem płyty. Wykonane odkrywki losowo wybranych płyt ujawniły również lokalne zmiany zagęszczenia gruntu powstałe najprawdopodobniej na etapie samego układania płyty (rozluźniony grunt na końcu płyty). Zaobserwowane uszkodzenia obejmowały praktycznie wszystkie zamontowane płyty. Trudno uwierzyć, że pod wszystkimi ułożonymi płytami grunt był jednakowo źle zagęszczony.



Rys. 5 Droga przygotowana do ułożenia płyt. Z przodu podsypka piaskowa, dalej podbudowa



Rys. 6. Koparka kołowa CAT M313D podczas jazdy na nawierzchni

5. Analiza obliczeniowa płyt drogowych

Obliczenia naprężeń w płytach drogowych wykonano w programie ABC Płyta. Program ten pozwala w prosty sposób zamodelować, rozwiązać i zaprojektować zgodnie z PN-EN 1992-1-1:2008 lub PN-B-03264:2002 [3, 4] między innymi fundamenty płytowe o stałej i zmiennej grubości, na podłożu sprężystym o obszarowo zmiennych parametrach.

Podstawowym parametrem przyjmowanym w obliczeniach płyt na podłożu sprężystym jest współczynnik podatności podłoża. W obliczeniach przyjęto jednoparametryczny model podłoża Winklera. Na podstawie zależności podanych przez A. Szydło w książce „Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego” [1] obliczono wartości współczynnika podatności

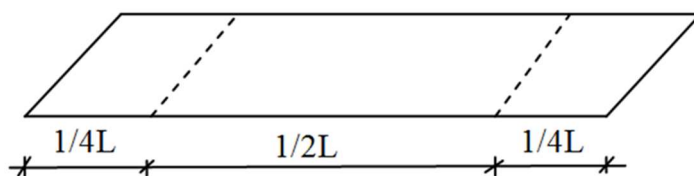
podłoża k na podstawie zależności (1) i (2) oraz uzyskanych na placu budowy wartości dynamicznych modułu odkształcalności podłoża.

$$E_{V2} = 600 \ln \frac{300}{300 - E_{VD}} \quad (1)$$

$$k = \frac{E_{V2}}{0,762(1 - v^2)} \quad (2)$$

Uzyskano wartości współczynnika podatności od 95 do 123 MPa/m. Współczynnik podatności wyznaczono również wg wzorów podanych przez Z. Wiłuna [2] dla obciążeń dynamicznych dla wymiarów płyty drogowej i podstawowego współczynnika dynamicznego dla żwirów 15 i 11 MN/m³ dla piasków drobnych osiągnięto wartość współczynnika C_z 50 i 37 MN/m³.

Zakładając możliwość nierównomiernego zagęszczenia podsypki piaskowej pod konstrukcją płytę podzielono na 3 sekcje obliczeniowe pokazane na rysunku 7. Obliczenia naprężeń w płycie wykonano dla schematów podłoża z odpowiednimi wartościami współczynnika podatności przedstawionymi w tablicy 2.



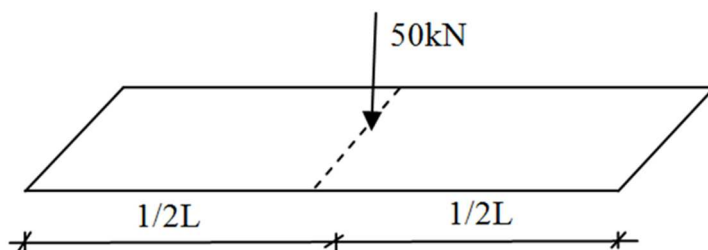
Rys. 7. Podział modelu płyty na sekcje

Tablica 2. Przyjęte schematy podłoża

Nazwa	Sekcja I	Sekcja II	Sekcja III
	Wartość współczynnika k , C_z [MPa/m]		
Schemat A	40	95	40
Schemat B	95	40	95
Schemat C	95	95	95
Schemat D	25	50	25
Schemat E	50	25	50
Schemat F	50	50	50

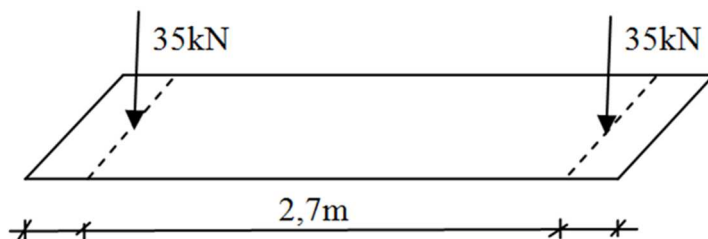
Warianty obciążenia płyty przyjęto następujące:

– wariant 1: płyta drogowa obciążona siłą skupioną 50 kN w środku płyty – rys. 8



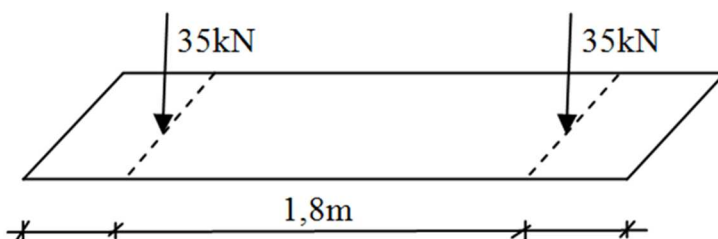
Rys. 8. Schemat obciążenia wg wariantu 1

- wariant 2: płyta drogowa obciążona dwiema siłami po 35 kN (koparka bez obciążenia) – rys. 9



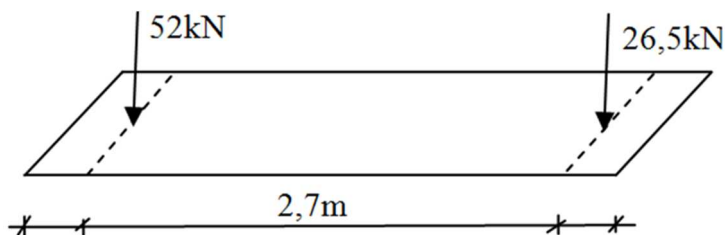
Rys. 9. Schemat obciążenia wg wariantu 2

- wariant 3: płyta drogowa obciążona dwiema siłami po 35 kN płyta ułożona prostopadle do osi drogi (koparka bez obciążenia) – rys. 10



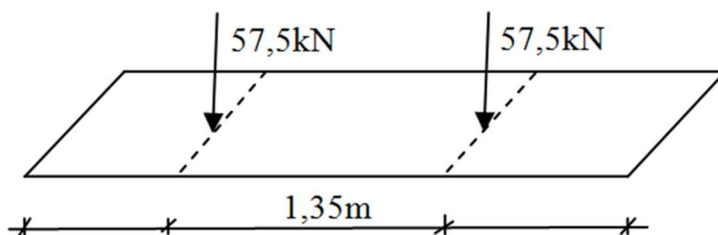
Rys. 10. Schemat obciążenia wg wariantu 3

- wariant 4: płyta drogowa obciążona dwiema siłami po 52 i 26,5 kN (koparka z płytą drogową) – rys. 11



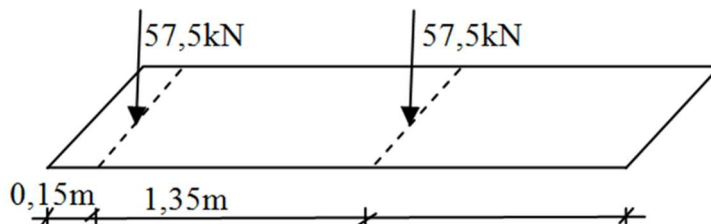
Rys. 11. Schemat obciążenia wg wariantu 4

- wariant 5: płyta drogowa obciążona dwiema siłami po 57,5 kN (przeciążony samochód ciężarowy z dwiema osiami z tyłu) – rys. 12



Rys. 12. Schemat obciążenia wg wariantu 5

- wariant 6: płyta drogowa obciążona dwiema siłami po 57,5 kN (przeciążony samochód ciężarowy z dwiema osiami z tyłu) siły ustawione przy krawędzi płyty – rys. 13



Rys. 13. Schemat obciążenia wg wariantu 6

Dla tak przyjętych założeń wykonano obliczenia naprężeń w programie ABC Płyta. Wyniki maksymalnych naprężeń rozciągających przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Wartości naprężeń w płycie drogowej beton C25/30 $f_{ctk,fl} = 2,56$ MPa

schemat		A	B	C	D	E	F
Wariant 1*	Naprężenia zginające [MPa]	2,54	3,14	2,60	2,80	<u>3,43</u>	2,92
Wariant 2		2,11	1,17	1,22	2,66	<u>1,67</u>	1,79
Wariant 3		1,11	0,22	0,59	1,22	0,28	0,69
Wariant 4		2,73	1,58	1,70	<u>3,21</u>	2,04	2,23
Wariant 5		0,90	0,03	0,33	0,75	0,02	0,11
Wariant 6		2,58	1,48	1,77	2,64	1,57	1,91

*) maksymalne naprężenia rozciągające występują w strefie dolnej płyty

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń należy stwierdzić że największe naprężenia w płytach drogowych wywołuje obciążenie według schematu 1E, ale ze względów estetycznych i trwałościowych jest on korzystny, gdyż naprężenia rozciągające i rysy pojawiają się od spodu płyty niewidocznej dla użytkownika. Największe naprężenia rozciągające na stronie wierzchniej płyty wywołuje koparka poruszająca się z płytą w czasie montażu – wariant 4D. Nie wiele mniejsze naprężenia wywołuje pojazd ciężarowy przeciążony przy krawędzi płyty – wariant 6A i 6D. Wykonane obliczenia wskazują również na bardzo duży wpływ – niezależnie od przyjętych wartości współczynnika sprężystości podłoża – nierównomierności warunków podparcia płyty na wartości uzyskiwanych naprężeń. Przy czym najniekorzystniejsze naprężenia wywołuje układ z przeszywnioną częścią centralną. Biorąc pod uwagę sposób montażu nie można wykluczyć, że właśnie taki układ występuje w początkowej fazie bezpośredniego po ułożeniu płyty, gdzie jej brzegowe strefy spoczywają na gruncie bardziej rozluźnionym.

6. Analiza zbrojenia i zarysowania płyt

Analizując wartości naprężeń wykonano jednocześnie obliczenia zbrojenia wymaganego ze względu na nośność i stan graniczny użytkowania płyt żelbetonowych, a następnie porównano z wielkościami zbrojenia zastosowanego w poszczególnych płytach.

W przypadku przyjętej do sprawdzenia kombinacji 4D wymagane zbrojenie ze względu na nośność wynosi 4 pręty $\phi 10$ na 1 m szerokości płyty, jednak wówczas obliczone rozwarście rys wyniesie 0,5 mm. Ograniczenie szerokości rys do zgodnego z normą [3] poziomu 0,3 mm wymaga zastosowania zbrojenia 5 prętów $\phi 10$ na 1 m szerokości płyty. Schemat obliczeniowy 6D i 6A wymaga zastosowania zbrojenia ze względu na nośność: 3 pręty $\phi 10$ na 1 m szerokości płyty, a szerokość rozwarścia wyniesie wówczas 0,39 mm. Wymagane zbrojenie płyty ze

względnie na ograniczenie rozwarcia rysy do 0,3 mm to 4 pręty $\phi 10$ na 1 m szerokości płyty (rozwarcie 0,23 mm). Jednocześnie zastosowanie 5 prętów $\phi 10$ na 1 m szerokości płyty ograniczy szerokość rozwarcia rysy do 0,16 mm. Powierzchnia zbrojenia dla prętów $\phi 10$ wynosi odpowiednio 3 $\phi 10 - 2,36 \text{ cm}^2$, 4 $\phi 10 - 3,14 \text{ cm}^2$, 5 $\phi 10 - 3,93 \text{ cm}^2$.

Wg danych producentów powierzchnia zbrojenia płyt drogowych wynosi:

- płyty „H” $3,93 \text{ cm}^2/1 \text{ m}$ szerokości,
- płyty „G” $2,67$ lub $3,33 \text{ cm}^2/1 \text{ m}$ szerokości, (w miejscu zaczepów mniejsza liczba prętów w przekroju),
- „AG” $4,71 \text{ cm}^2/1 \text{ m}$ szerokości, lub $3,58 \text{ cm}^2/1 \text{ m}$ szerokości w zależności od zastosowanej wersji zbrojenia.

Należy zatem stwierdzić, że zastosowane zbrojenie jest we wszystkich płytach wystarczające ze względu na wymagania stanu granicznego nośności. Powstawanie zarysowania w zginiętych elementach żelbetonowych jest zjawiskiem normalnym, wręcz charakterystycznym. Zastosowanie zbrojenia nawet bardzo silnego zbrojenia nie eliminuje możliwości powstania rysy, a jedynie ogranicza ich rozwarcie. Na podstawie zaleceń normy PN-EN 1992-1-1 (Eurokod 2) [3] za maksymalną szerokość rozwarcia rysy dla klasy ekspozycji XC4 można przyjąć 0,3 mm.

Obliczone zbrojenie w ilości 4 $\phi 10/\text{m}$ zapewnia szerokość rozwarcia rysy na poziomie 0,26 mm przy obciążeniu jak w schemacie 1E. Aby spełnić wymagania zamawiającego można ograniczyć zarysowanie co wymagałoby znacznie silniejszego zbrojenia – 10 $\phi 10/\text{m}$ dla prognozowanej rysy 0,1 mm. Drugą możliwością byłoby zwiększenie grubości płyty, tak aby nie dochodziło w ogóle do jej zarysowania, to z kolei wiązałoby się z jednoczesnym zwiększeniem ciężaru. Wykonane obliczenia wskazują jednak, że dla betonu klasy C25/30, przy założonych jak wyżej warunkach podparcia wystarczającą byłaby grubość 17–18 cm. Warto zwrócić uwagę, że w schematach podparcia C i F, czyli przy równomiernie zagęszczonym podłożu przy grubości płyty 15 cm naprężenia rozciągające mogą być nieznacznie większe niż wytrzymałość betonu na rozciąganie.

7. Wnioski końcowe i podsumowanie

Powyższa analiza pracy statycznej płyt drogowych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- stwierdzone zarysowania mogły powstawać bezpośrednio w trakcie montażu płyt przy pomocy koparki kołowej, która przewożąc kolejną płytę najeżdżała na końce płyty świeżo ułożonej i spoczywającej na gruncie co powodowało zarysowanie jej górnej powierzchni,
- ilość zastosowanego zbrojenia była odpowiednia do przeniesienia sił w stanie granicznym nośności, jednak ilość zbrojenia ograniczała rozwarcie rysy do wartości ok. 0,3 mm. Jest to wartość odpowiednia z punktu widzenia trwałości normowej, jednak rysy o takim rozwarciu mogą być dobrze widoczne nawet po zdjęciu obciążenia,
- projektowy układ płyt podłużny pod względem powstawania naprężeń rozciągających po stronie górnej płyty jest niekorzystny w stosunku do układu poprzecznego, tym bardziej, że za bardzo ważne kryterium uznano wygląd wierzchniej strony płyty, która przy takim układzie ma tendencję do rysowania się
- wykonane obliczenia wykazały na znaczny wpływ sztywności podłoża i jego zmienności na wartości naprężeń rozciągających, szczególnie niekorzystny jest układ z przeszytnioną strefą środkową, przypadek ten może występować dość często przy układaniu równoległym płyty i najeżdżania samochodu (żurawia, koparki) na świeżo ułożone płyty i powstaniu większego osiadania od tej strony (zjawisko to jest mniejsze w przypadku układania płyt

prostopadle do osi), przyjęcie przez projektanta założenia o pełnej jednorodności i wysokim stopniu zagęszczenia podłoża należy uznać za wielce optymistyczne

- wykonane obliczenia i obserwacje w terenie wskazują że płyty mogą się rysować również podczas fazy użytkowania na skutek przejazdu pojazdów ciężarowych szczególnie z pełnym lub co się często zdarza ponadnormatywnym obciążeniem.

Studium powyższego przypadku pokazało jak ważne z punktu widzenia wykonawcy jest precyzyjne określenie wymagań odbiorowych. Z pozoru błaha i nieskomplikowana konstrukcja drogi dojazdowej okazała się na skutek zbiegu kilku niekorzystnych czynników praktycznie niemożliwa do poprawnego wykonania. Jest to o tyle problematyczny przypadek, że tego typu konstrukcje i płyty są powszechnie stosowane. Warto zaznaczyć, że idea ułożenia płyt podłużnie jak również ich niezarysowana praca zostały zaproponowane przez zamawiającego.

Literatura

1. Szydło A.: Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Polski Cement, Kraków 2004.
2. Wiłun Z.: Zarys geotechniki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2005.
3. PN-EN 1992-1-1Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
4. PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone.

CAUSES OF CRACKING IN CONCRETE PLATES DURING CONSTRUCTION OF ACCESS ROADS

Summary: During the construction of access roads on the surface of the slabs were found scratches. According to the investor's requirements contained in STWiORB „sides of the plates should be no scratches, cracks and cavities in concrete, texture of shape or faded, as required.” The contractor used 4 different plates type from different manufacturers with different reinforcement, but the cracks were on all types of plates. For the analyzed case, the stress calculations for different load patterns and plate positions were performed - parallel and perpendicular to the axis of travel. Six tear patterns were investigated using different values of susceptibility coefficient and its distribution under the plate. On the basis of the calculations it was shown that the main cause of the scratches of the plates was the use of inappropriate assembly equipment. However, it has been shown that scratches can also occur from overloaded trucks.

Keywords: scratches of prefabricates, access roads, a spring substrate, load in the assembly phase