



ANDRZEJ JANOWSKI

TPA sp. z o.o.
andrzej.janowski@tpaqi.com



KAROLINA PELCZYŃSKA

TPA sp. z o.o.
karolina.pelczynska@tpaqi.com

Skuteczność przenoszenia obciążeń – jak mierzyć, jak wykorzystywać na nawierzchniach podatnych i półsztywnych

Pęknięcia pojedyncze nawierzchni asfaltowych i ich naprawy stanowią poważny problem w utrzymaniu dróg, problem który będzie narastał w miarę starzenia się nawierzchni obecnie rozbudowywanej sieci dróg szybkiego ruchu. Waga problemu wynika z różnic kosztów technologii napraw pęknięć, sięgających nawet dziesięciokrotnych ich wielkości, istotny jest więc precyzyjny ich dobór. Istniejące katalogi (np. [4]¹) nie dają w tym względzie precyzyjnych wskazówek. W kolejnych rozdziałach zaproponowano kierunki działań zmierzające do:

- poprawy dokładności wyznaczenia poprzez uwzględnienie:
 - geometrycznej charakterystyki pomiaru,
 - wpływu temperatury na współpracę fragmentów nawierzchni;
- racjonalizacji wyboru technologii naprawy poprzez odpowiedni dobór i klasyfikację parametrów sterujących, tj. współczynnika przenoszenia obciążenia i ekstrapolowanego ugięcia na krawędzi pęknięcia / szczeliny.

Pojęcie skuteczności przenoszenia obciążenia

Niniejszy artykuł poświęcony jest nawierzchniom asfaltowym, tym niemniej początki rozważań na temat przenoszenia obciążenia między fragmentami nawierzchni dotyczyły nawierzchni betonowych. Ponieważ spękane nawierzchnie asfaltowe są mozaiką sztywnych elementów przedzielonych losowo powstałymi pęknięciami, można oczekiwać, że pewne koncepcje i zjawiska odnoszące się do nawierzchni betonowych znajdują zastosowanie na nawierzchniach podatnych i półsztywnych pociętych pęknięciami pojedynczymi.

Analizy nawierzchni sztywnych prowadzone przez Westergaarda w pierwszej połowie XX w. uświadomiły, że jeżeli obciążenie jednego elementu rozkładane jest na sąsiadujące, wówczas odkształcenia i naprężenia na krawędziach

współpracujących są znacznie mniejsze niż na krawędziach swobodnych. Ważna jest również lepsza ochrona znajdujących się poniżej warstw: podbudowy i podłoża. Westergaard zaproponował współczynnik efektywności przenoszenia obciążenia, j , zdefiniowany równaniem (1), które najlepiej ze wszystkich oddaje ideę tego pojęcia [6]:

$$d_l - d_u = (1 - j) \cdot (d_l^* - d_u^*) \quad (1)$$

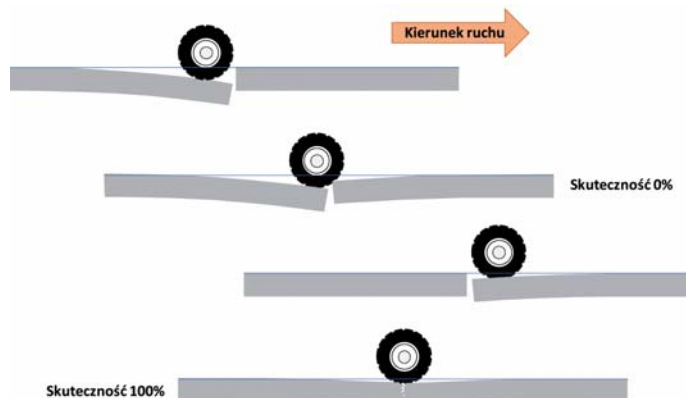
w którym:

d_l i d_u – ugięcia przylegających krawędzi obciążonego i nie-obciążonego fragmentu nawierzchni,

d_l^* i d_u^* – ugięcia jakie pojawiłyby się, gdyby przenoszenie obciążenia nie występowało,

j – współczynnik efektywności przenoszenia obciążenia.

Sytuację poglądowo przedstawiono na rysunku 1. Przy braku skutecznej współpracy koło zaczyna oddziaływać na fragment nawierzchni dopiero wówczas, gdy na niego najedzie, odwrotnie, jeśli skuteczność przenoszenia obciążenia jest całkowita, fragmenty zachowują się jak jeden i oddziaływanie koła sięga poza krawędź fragmentu, na którym się ono znajduje.



Rys. 1. Skrajne warunki oddziaływania koła na przylegające fragmenty nawierzchni

Współczynnik j oznaczany jest też jako LTE^2 , który będziemy nazywali współczynnikiem przenoszenia obciążenia.

² LTE – Load Transfer Efficiency w literaturze anglojęzycznej, w literaturze polskiej: współczynnik współpracy (k co jest o tyle nieszczerliwe, że tym samym symbolem oznacza się moduł reakcji podłoża przy czym obydwie pojęcia wykorzystuje się w tym samym obszarze inżynierii drogowej), współczynnik przekazywania lub przenoszenia obciążeń.

¹ Zalecane jest określanie współczynnika współpracy k oraz współczynnika wpływu punktu przyłożenia obciążenia s , na których przede wszystkim mają być oparte decyzje o sposobie napraw pęknięć.

W praktyce przyjmuje się postać opisaną wzorem (2), który jest wykorzystywany w polskim Katalogu Przebudów i Remontów, projekt 2014 r. [4]

$$LTE_{\delta}^* = \frac{2d_u}{d_l + d_u} \cdot 100\% \quad (2)$$

Inną stosowaną postać, rekomendowaną np. przez amerykańską i angielską administrację drogową przedstawia wzór (3) [3], [8]

$$LTE_{\delta} = \frac{d_u}{d_l} \cdot 100\% \quad (3)$$

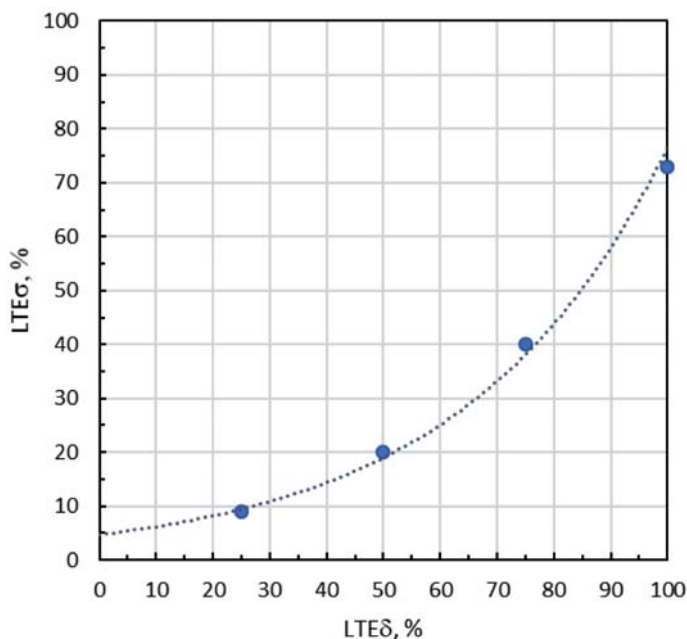
przy czym obydwa wskaźniki są wzajemnie jednoznacznie powiązane, (4) i nie ma znaczenia który jest wykorzystywany dopóki stosuje się właściwe dla każdego z nich progi decyzyjne.

$$LTE_{\delta} = \frac{LTE_{\delta}^*}{2 - LTE_{\delta}^*} \quad (4)$$

Do oceny skuteczności przenoszenia obciążenia można wykorzystać wielkości naprężenia na krawędzi nieobciążonego (σ_u) i obciążonego fragmentu nawierzchni (σ_l) opisane równaniem (5). Tak zdefiniowany wskaźnik określa redukcję naprężenia przy zginaniu przy szczelinie na skutek istnienia mechanizmów przenoszenia obciążenia (naturalnych lub sztucznych).

$$LTE_{\sigma} = \frac{\sigma_u}{\sigma_l} \cdot 100\% \quad (5)$$

Badania [3] wykazały, że nie ma prostej relacji między obydwoimi rodzajami wskaźników LTE, co obrazuje rysunek 2. Wyniki przeliczania jednego na drugi raczej nie budzą zaufania ze względu na znaczną propagację błędu przy wysokich wartościach i odwrotnie, praktyczną niezależność wskaźników przy małej efektywności przenoszenia.



Rys. 2. Związek między wskaźnikami opartymi na naprężeniach LTE_{σ} i ugięciach LTE_{δ}

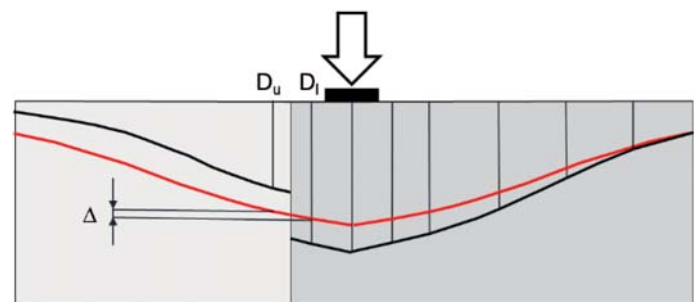
Z powodu trudności wykonywania pomiaru naprężeń oraz nieuniknionego wpływu konfiguracji obciążenia, jak też kształtu fragmentu nawierzchni, jedynie wskaźnik oparty na pomiarze ugięć ma praktyczne znaczenie poza teoretyczno-obliczeniowymi rozważaniami.

Źródła niedokładności oceny przenoszenia obciążenia

Proste pojęcie skuteczności przenoszenia obciążenia obarczone jest jednak wieloma czynnikami towarzyszącymi pomiarowi, które sprawiają, że wynik może być zafałszowany, istotnie rzutując na oceny i podejmowane decyzje.

Najbardziej oczywistym jest fakt, że rzeczywisty pomiar nie spełnia warunków definicji LTE. Mierzone jest ugięcie nie krawędzi fragmentu nawierzchni przy pęknięciu, punkty pomiaru są rozseparowane nie o milimetry a o 10–20 cm (fot. 1).

Pomiar ugięcia w dwóch odległych punktach wprowadza niedoszacowanie do obliczeń wykonywanych wg wzorów (2) lub (3) z powodu oczywistych różnic głębokości czaszy ugięcia w różnych odległościach od miejsca przyłożenia obciążenia, także przy braku nieciągłości w nawierzchni. Sytuację rzeczywistego pomiaru zilustrowano na rysunku 3.



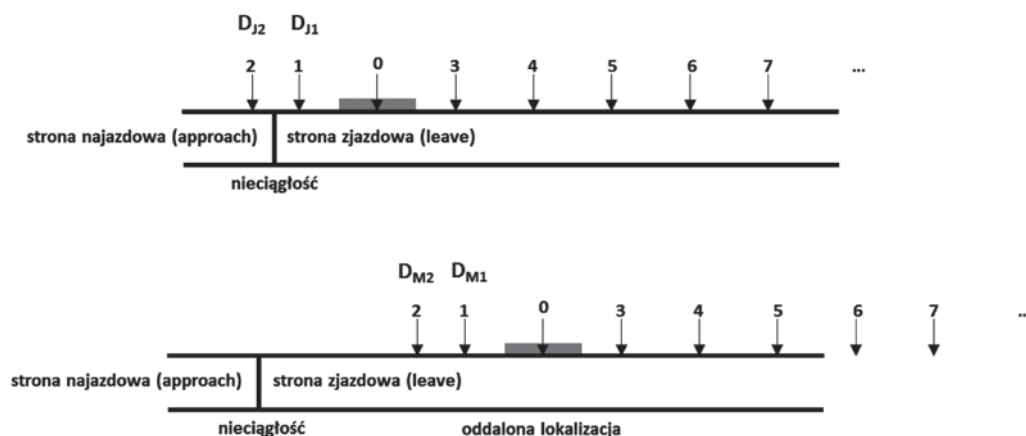
Rys. 3. Kształt czaszy ugięcia przy obciążeniu nawierzchni w pobliżu pęknięcia (Czerwona linia obrazuje czaszę ugięcia przy całkowitej skuteczności przenoszenia obciążenia. Δ jest dodatkową różnicą mierzonego ugięcia, wynikającą z pomiaru w oddalonych od siebie miejscach.)

Zaistniałe źródło błędu stosunkowo łatwo zminimalizować, po pierwsze wykorzystując pomiar z dwóch jak najbardziej zbliżonych do siebie czujników i po drugie, wykonując pomiar dodatkowy, pozwalający na skorygowanie, przynajmniej do pewnego stopnia, wyniku obliczeń. Należy zatem wykonać pomiar po obydwóch stronach pęknięcia przy maksymalnie zbliżonych czujnikach oraz w pewnym oddaleniu (2–3 m) od krawędzi fragmentu nawierzchni – chodzi o wykonanie pomiaru w miejscu, gdzie już nie ma wpływu swobodnej krawędzi (rys. 4).

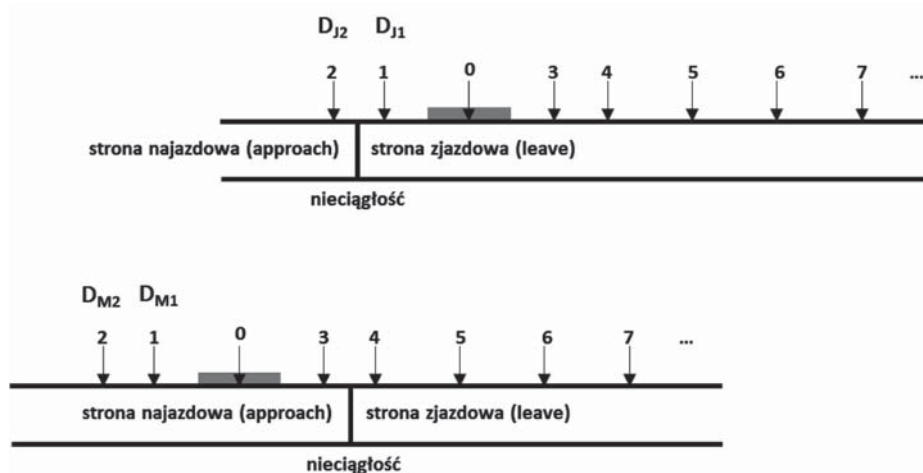
Wynik pomiaru z pewnej odległości od pęknięcia wykorzystywany jest do korekty przybliżenia LTE_D , jakim jest iloraz odczytów ugięć przy szczelinie, zgodnie z wzorami (6) lub (7) [2]:

$$LTE_D = \frac{D_{J2}}{D_{J1}} \cdot \frac{D_{M1}}{D_{M2}} \cdot 100\% , \quad (6)$$

Fot. 1. Praktyczna realizacja pomiaru LTE (fot. TPA)



Rys. 4. Prawidłowy sposób wykonania pomiaru ugięć przy ocenie efektywności przenoszenia obciążenia. D_{J2} , D_{J1} są pomiarowymi odpowiednikami wielkości d_u i d_l z wzorów (2) i (3)



Rys. 5. Alternatywny schemat pomiaru ugięć w celu określenia współczynnika przenoszenia obciążenia LTE

$$LTE_D^* = \frac{2 \cdot D_{J2}}{D_{J1} + D_{J2}} \cdot \frac{D_{M1}}{D_{M2}} \cdot 100\% , \quad (7)$$

oznaczenia symboli zgodnie z rysunkiem 4.

rzystuje się odczyt z czujników umieszczonych symetrycznie względem płyty naciskowej [9]. LTE jest wyznaczone ze wzoru (8):

Projekt Katalog przebudów i remontów [4] w sposób nadmiernie uproszczony podaje zarówno sposób pomiaru, jak i sposób interpretacji wyników do określenia przenoszenia obciążenia między dwoma fragmentami nawierzchni. Brak uwzględnienia korekty geometrycznej może spowodować błąd wielkości nawet kilkunastu procent, jest on zależny od lokalnych warunków – konstrukcji nawierzchni i temperatury.

Program analityczny ELMOD, firmy Dynatest, oblicza LTE w wybranej wersji już z poprawką na krzywiznę czaszy ugięć. Warunkiem jest jednak wykonanie dodatkowego pomiaru w pewnej odległości (2–3 m) od pęknięcia.

Na drogach, gdzie asfaltowe warstwy nawierzchni są mało sztywne i wpływ swobodnej krawędzi szybko zanika można zastosować alternatywny układ pomiarowy, skracający czas wykonywania pomiaru (rys. 5).

Przy takim podejściu, do korekty geometrycznej wy-

$$LTE = \frac{D'_{300}}{D'_{200}} \cdot \frac{D_{200}}{D_{300}} \cdot 100\% \quad (8)$$

w którym:

D'_i – ugięcie przy pęknięciu w odległości i od środka płyty naciskowej,

D_i – ugięcie w punktach położonych symetrycznie do D'_i względem płyty naciskowej.

Należy jednak mieć świadomość występowania dwóch czynników, które mogą pogarszać jakość korekty geometrycznej:

- bliskość (około 0,5 m) punktów pomiaru referencyjnego D_i od pęknięcia,
- możliwy błąd systematyczny (stała różnica) w pomiarach odpowiadających sobie czujników (na rysunku 5 będą to pary czujników 1 i 3 oraz 2 i 4).

Oprócz specyfiki urządzenia pomiarowego, na wyznaczoną wartość LTE mają wpływ również warunki, w których przeprowadzany jest pomiar. Jednym z zagadnień analizowanych w ramach szeroko zakrojonych długoterminowych badań stanu nawierzchni LTPP³, realizowanych w USA, był związek współczynnika skuteczności przenoszenia obciążenia z różnymi parametrami nawierzchni oraz otoczenia drogi [1]. Przenoszenie obciążenia między fragmentami nawierzchni podatnej lub półsztywnej odbywa się poprzez zazębające ziarna kruszywa w pęknięciu, a także podbudowę i podłoże. LTE może zmieniać się w ciągu roku i w ciągu doby wskutek zmian temperatury (ew. zawilgocenia). Przy zmniejszającej się temperaturze szczeliny otwierają się osłabiając kontakt między fragmentami⁴. Zestawienie najważniejszych wyników badań na nawierzchniach betonowych zamieszczono w tabeli 1.

Jak można zauważyć, należy zwrócić szczególną uwagę na temperaturę, w której pomiar jest wykonywany oraz kierunek najazdu na ocenianą nieciągłość nawierzchni. Ponieważ część mechanizmów wpływających na przenoszenie obciążeń przez nieciągłości nawierzchni jest podobna we wszystkich rodzajach nawierzchni, można oczekiwać, że wnioski

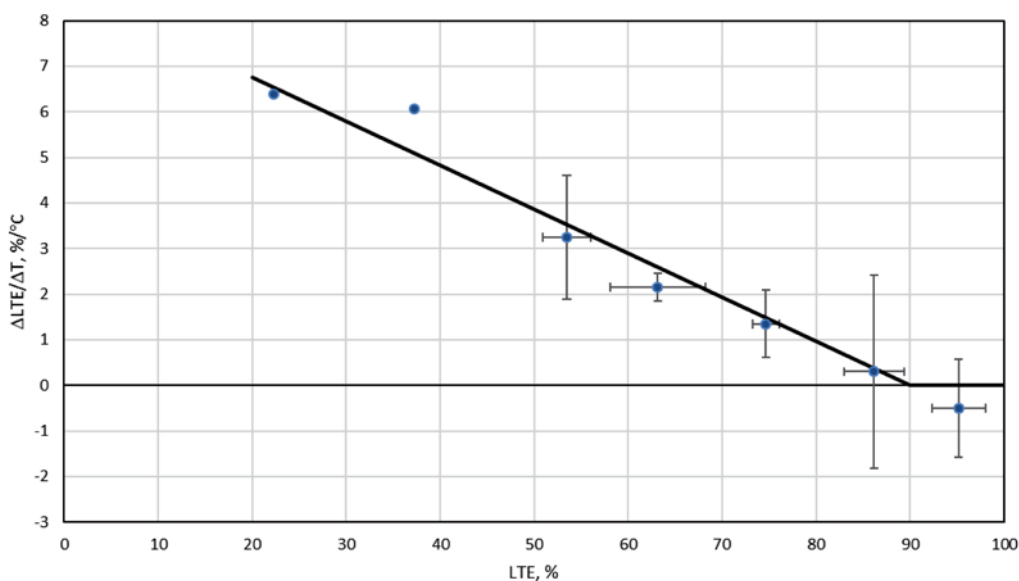
³ Long Term Pavement Performance – program badawczy realizowany od 1986 r. przez amerykańską administrację drogową (FHWA), obejmujący ponad 2500 odcinków testowych, służący badaniu szczegółów związanych z nawierzchniami, które są istotne w przypadku długookresowej ewolucji stanu technicznego nawierzchni.

⁴ W przypadku nawierzchni betonowych do czynników wpływających na współpracę dochodzi także paczenie się płyt, zmieniając kontakt z podbudową, wpływa na indukowane obciążeniem ugięcia.

z tabeli 1 w dużej mierze odnoszą się do nawierzchni będących przedmiotem niniejszego artykułu.

Analizując dane z pomiarów wykonanych w różnych temperaturach na tych samych pęknięciach stwierdzono, że po pierwsze istnieje zależność, o której mówią pozycje 10 i 11 z tabeli 1, po drugie wielkość efektu zależy, czego również można się spodziewać, od stopnia wadliwości szczeliny, tzn. wartości LTE. Wynik analizy przedstawiono na rysunku 6, a widoczna na nim zależność opisana jest równaniem (9).

$$\frac{\Delta LTE}{\Delta T} = \begin{cases} 8,6940 - 0,0966 \cdot LTE_T & LTE_T < 90\% \\ 0 & LTE_T \geq 90\% \end{cases} \quad (9)$$

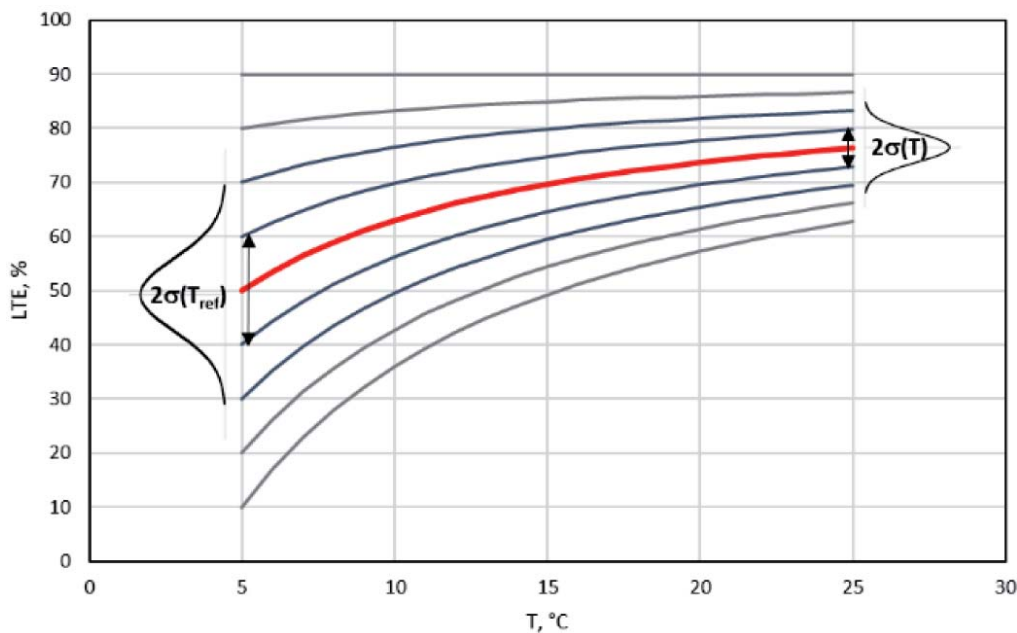


Rys. 6. Wpływ zmian temperatury na zmiany LTE (DLTE) w zależności od wielkości LTE

Tabela 1. Wpływ różnych parametrów na skuteczność przenoszenia obciążenia

Parametr	Wielkość wpływu	Komentarz
1. Wielkość obciążenia	*	
2. Średnica dybli	0	
3. Rodzaj podbudowy	*	
4. Rodzaj podłoża	*	Drobnoziarniste / gruboziarniste
5. Grubość nawierzchni	0	
6. Wytrzymałość na ściskanie	0	
7. Czynniki klimatyczne	0	Suma opadów, średnia temperatura, wskaźnik mrozowy, liczba cykli zamrzania – rozmrażania
8. Stopień uzbrojenia	0	
9. Kierunek najazdu	**	
10. Pora roku	***	Raczej związane z temperaturą
11. Pora dnia	***	Raczej związane z temperaturą

*** – duży, ** – przeciętny, * – mały, 0 – brak [1].



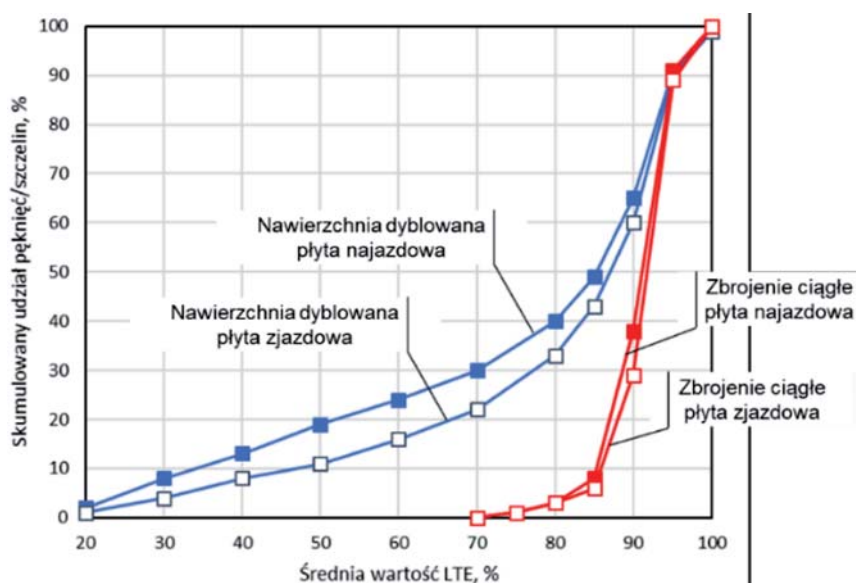
Rys. 7. Propagacja błędu (odchylenie standardowe σ) przy korekcie temperaturowej

Powyższy wynik wskazuje sposób przeliczania wartości wskaźnika LTE w różnych temperaturach. Korektę temperaturową należy wykonywać zgodnie z wzorem:

$$LTE = \max [0, LTE_T + \alpha \cdot (T_{ref} - T)] \quad (10)$$

w którym:

- LTE_T – jest wskaźnikiem określonym z pomiaru w temperaturze T ,
- T_{ref} – jest temperaturą referencyjną, do której sprowadza się wartości LTE, służące następnie do oceny i kwalifikacji pęknięć / szczelin,
- α – jest zależną od LTE funkcją opisaną wzorem (9).



Rys. 8. Asymetria w przenoszeniu obciążenia stwierdzona w badaniach LTPP [1]

Temperaturowa korekta wskaźnika przenoszenia obciążenia pozwala ujednoznaczyć ocenę współpracy fragmentów nawierzchni i tym samym poszerzyć przedział temperatur, w których można dokonywać wiarygodnych pomiarów.

Należy podkreślić, że przedstawione wyniki, podobnie jak uprzednio, są wstępne i pokazują jedynie kierunek badań.

Ponieważ temperatura referencyjna powinna być zbliżona do najmniej korzystnych warunków badania (np. 5°C), zazwyczaj korekta będzie wykonywana z wyższej do niższej temperatury, tj. w kierunku niekorzystnym z punktu widzenia dokładności. Błąd popełniony przy określeniu LTE będzie kilkukrotnie większy po sprowa-

dzeniu do temperatury referencyjnej (rys. 7). Przykładowo przy różnicy temperatur 20°C będzie to trzykrotny wzrost wartości.

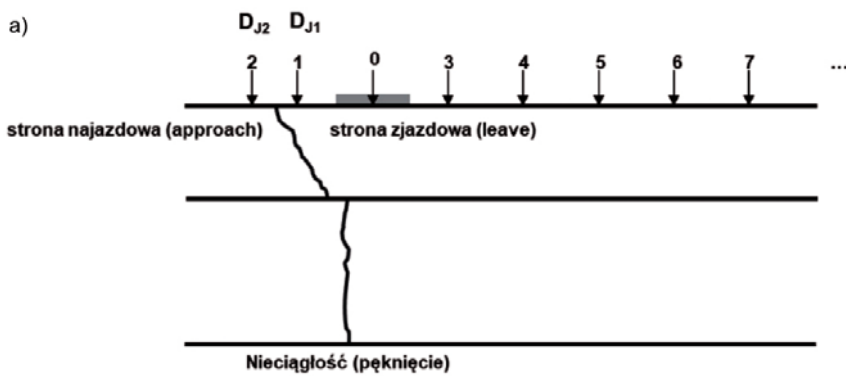
Jak pokazały badania w ramach LTPP [1], wartość wyznaczonego wskaźnika LTE może różnić się w zależności od tego, do której strony szczeliny zostanie przyłożone obciążenie. Efekt stwierdzony na płytach betonowych zilustrowano na rysunku 8.

Nie badano tego efektu na nawierzchniach podatnych i półsztywnych, nie ma jednak powodu, żeby on nie wystąpił, tym bardziej że pęknięcia bywają asymetryczne (rys. 9). Stwierdzono, że pęknięcia mogą być skośne, jak też może występować przesunięcie między powiązаныmi pęknięciami podbudowy i warstwy wiążącej oraz ścieralnej.

Wielkość pustek przy szczelinach

Pęknięciami, które ocenia się i naprawia indywidualnie, są pęknięcia pojedyncze, dzielące nawierzchnię na fragmenty o różnym stopniu współpracy. Źródła powstających pęknięć pojedynczych mogą znajdować się w głębi nawierzchni – są to przeniesienia z pęknięć niżej położonych warstw sztywnych (fot. 2b) albo w pobliżu powierzchni, ich przyczyną mogą być nadmierne naprężenia w warstwie ścieralnej (szczególnie przy krawędzi styku koła i nawierzchni), jak też naprężenia i zmęczenie termiczne (fot. 2a) [4], [5].

Ocena wizualna i współczynnik skuteczności przenoszenia obciążenia to zbyt mało przesłanek by zdecydować o wyborze optymalnej technologii naprawy pęknięć. Sytuacje poprawi wiedza o istnieniu i wielkości pustych przestrzeni w pobliżu krawędzi płyt nawierzchni.



$$d_{ex} = \frac{-a_0}{a_1} \quad (11)$$

Wyznaczona w ten sposób ekstrapolowana wartość ugięcia d_{ex} jest miarą obecności i wielkości pustych przestrzeni.

Ekstrapolacja do 0 nie oznacza oczywiście, że w rzeczywistości pojawia się ugięcie bez przyłożonej siły, ale jest świadectwem, że do chwili dogęszczenia podbudowy ugięcie postępuje znacznie szybciej niż przy pełnym podparciu fragmentu nawierzchni.

Aby przedstawione kryterium było użyteczne muszą być ściśle spełnione warunki pomiaru, gdyż w odróżnieniu od LTE, mamy do czynienia z wartościami bezwzględными a ewentualne korekty geometryczne byłyby zbyt przybliżone. Przyszłe wytyczne muszą zatem liczbowo określić pozycję płyty naciśkowej i czujników przy pęknięciu na obciążonym fragmencie nawierzchni. Co więcej wymagania te muszą być ściśle przestrzegane.

Mierzone ugięcia powinny być skorygowane ze względu na temperaturę nawierzchni zgodnie z zaleceniami [4].

Ponieważ podobny efekt mogą dawać przestrzenie wypełnione powietrzem, wodą jak też materiałami plastycznymi (gliny, niezwiązane zaprawy) [7], należałoby mówić raczej o nieprawidłowym podparciu niż o pustce. Z tego względu zaleca się również weryfikację obecności pustek przy szczelinach za pomocą innych metod nieniszczących np. metodą georadarową, która jednocześnie pozwala na oszacowanie wielkości wady.

Należy również pamiętać o możliwości wykorzystania do detekcji pustek innych wskaźników opartych na kształcie czaszy ugięcia [7].

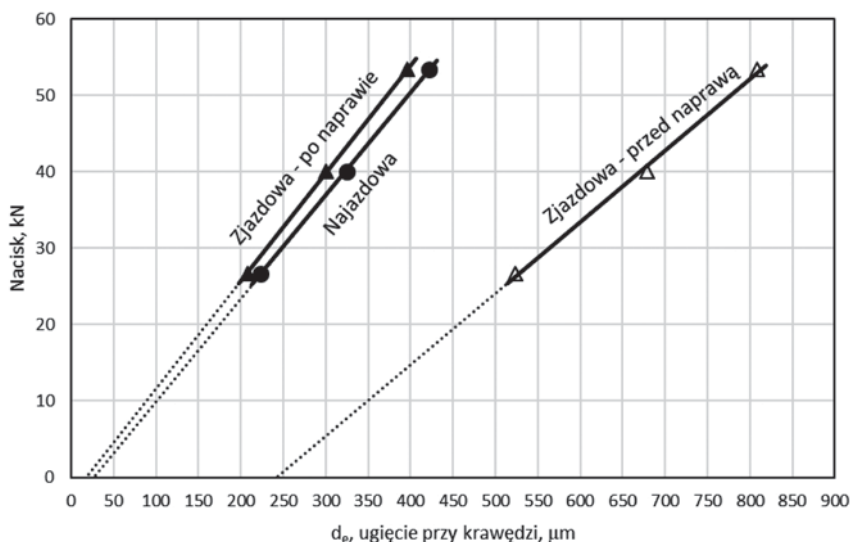


Rys. 9. Obserwowane niekiedy w nawierzchniach podatnych i półsztywnych pęknięcia asymetryczne, a) schemat, b) przykład pęknięć skośnych i przesuniętych

Standardowe badania przenoszenia obciążenia przez nieciągłości nawierzchni można łatwo zmodyfikować sprawiając, aby pomiary były wykonywane przy różnych obciążeniach. Zestawienie wielkości ugięcia przy krawędzi (d_e) z siłą nacisku (N), tak jak na rysunku 10, pozwala na wykonanie ekstrapolacji zależności d - N do zerowej wartości nacisku [3]. Jeśli a_1 i a_0 są parametrami liniowej regresji wyników pomiaru, jak na rysunku 10, to ugięcie ekstrapolowane dane jest wzorem:



Fot. 2. Przykłady pęknięć pojedynczych: a) „z góry na dół”, b) źródło pęknięć odbitych (fot. TPA)



Rys. 10. Wykrywanie pękań przy szczelinach za pomocą pomiaru ugięć nawierzchni [3]

Naprawa pęknięć nawierzchni

Katalog przebudów i remontów [4] zawiera siedem proponowanych metod napraw pęknięć wraz z opisem techniki wykonawczej oraz ograniczeniami ich stosowania (tabela 2).

Tabela 2. Technologie napraw pęknięć pojedynczych [4]

Numer technologii	Opis
I	Wypełnienie pęknięcia metodą pasmową bez rozfrezowania
II	Wypełnienie pęknięcia poszerzonego przez frezowanie
III	Przykrycie pęknięcia taśmą uszczelniającą
IV	Naprawa poprzecznego pęknięcia odbitego z zastosowaniem geosyntetyków – naprawa płytka
V	Naprawa pęknięcia z zastosowaniem geosyntetyków – iniekcja zaprawą cementową lub geopolimerem
VI	Naprawa pęknięcia odbitego z zastosowaniem geosyntetyków – naprawa głęboka
VII	Naprawa pęknięć odbitych z zastosowaniem geosyntetyków – naprawa powierzchniowa pod nowe warstwy bitumiczne

W tabeli 3 przedstawiono propozycję warunków stosowania zalecanych zabiegów w zależności od wartości parametrów LTE i ugięcia ekstrapolowanego d_{ex} . Dalszych wskazówek wyboru technologii dostarcza m.in. gęstość występujących pęknięć, ew. kontekst remontu (naprawa pęknięć jako zabieg przygotowawczy).

Tabela 3. Kryteria wyboru technologii naprawy pęknięć pojedynczych

Nr technologii		LTE ^{*)}		
		Pełna współpraca: $\geq L_A$	Częściowa współpraca: $L_A - L_B$	Brak współpracy: $< L_B$
d_{ex}	Dostateczne podparcie: $\leq L_d$	I / III / VII	II / IV / VII	IV / VI
	Niedostateczne podparcie: $> L_d$	V	V	VI

*) W temperaturze referencyjnej 5°C.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione wyniki analiz pochodzą z niewielkiego zasobu danych eksperymentalnych i ze wszech miar wskazane byłoby przeprowadzenie szerszych badań nad temperaturową korektą wskaźnika LTE, asymetrią LTE oraz relacją LTE – ugięcie przy krawędzi w kontekście szybkiej detekcji i rozpoznania wielkości pustych przestrzeni w rejonie pęknięć. Wraz z pomiarami na nawierzchniach o różnorodnych konstrukcjach, powinny być wykonywane odwierty i badania radarowe, umożliwiające ocenę zasięgu i szkodliwości pęknięć. Jest to niezbędny element do opracowania progów decyzyjnych przy doborze technologii napraw.

Oznaczając LTE należy przestrzegać poniższych zaleceń:

1. Pomiar w dwóch kierunkach (zgodnie z kierunkiem ruchu pojazdów i przeciwnie) – wybór wyniku gorszego.
2. Pomiar ugięć z dala od krawędzi pęknięcia w celu umożliwienia korekty geometrycznej ze względu na krzywiznę czaszy ugięcia.
3. Przy pomiarach ugięcia przy pęknięciach należy stosować co najmniej trzy wielkości obciążenia (np. 25 kN, 40 kN, 55 kN).
4. Należy mierzyć rzeczywistą temperaturę nawierzchni, w miarę możliwości w połowie grubości warstwy przenoszącej obciążenie.
5. Korekty nigdy nie są doskonałe i powinny być stosowane jedynie w ostateczności, a więc:
 - a) czujniki urządzenia pomiarowego muszą być umieszczone jak najbliżej siebie,
 - b) należy wykonywać pomiary w temperaturach, które możliwie najmniej różnią się od temperatury referencyjnej (a więc np. w nocy lub rano, w dni pochmurne).

Rzeczywista wartość wskaźnika współpracy obszarów nawierzchni (płyt) powinna być wyznaczana zgodnie z wzorem:

$$LTE = \max [0, LTE_T \cdot \beta + \alpha \cdot (T_{ref} - T)] \quad (12)$$

w którym:

$$\alpha = \begin{cases} 8,6940 - 0,0966 \cdot LTE_T \cdot \beta & LTE_T < 90\% \\ 0 & LTE_T \geq 90\% \end{cases}$$

$$\beta = \frac{D_{M1}}{D_{M2}}$$

W powyższych wzorach LTE_T jest standardowo, tj. wg [4], obliczaną wartością wskaźnika współpracy z pomiaru w temperaturze T. W pierwszej kolejności należy wykonać korektę geometryczną o czynnik β , będący ilorazem odczytów D przy pomiarze w odległości ok 2 m od krawędzi fragmentu nawierzchni, z tych samych czujników, które były wykorzystywane do obliczenia LTE_T (D_{M1} – na płycie obciążanej, D_{M2} na płycie nieobciążanej). W następnym kroku uzyskaną

wartość wskaźnika sprowadza się do temperatury referencyjnej wykorzystując parametr α .

W ostatecznej wersji Katalogu przebudów i remontów [4] należy uszczegółowić zarówno sposób pomiaru, jak i sposób interpretacji wyników dla określenia przenoszenia obciążenia między dwoma fragmentami nawierzchni. Brak uwzględnienia korekty geometrycznej może spowodować błąd wielkości nawet kilkunastu procent, który jest zależny od lokalnych warunków – konstrukcji nawierzchni i temperatury. Trzeba również podkreślić, że uszczegółowienia powinny być poprzedzone gruntownymi analizami, gdyż informacje podane w artykule oparte są na niewielkim materiale eksperymentalnym.

Bibliografia

[1] L. Khazanovich, A. Gotlif, *Evaluation of Joint and Crack Load Transfer*, Office of Infrastructure R&D Federal Highway Administration, McLean, VA, FHWA-RD-02-088, 2003.

- [2] S. N. Shoukry, G. W. William, *Evaluation of Load Transfer Efficiency Measurement*, West Virginia University Report No. WVU-2002-04, 2005.
- [3] AASHTO Guide for Design of Pavements Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1993. ISBN 1-56051-055-2.
- [4] Projekt Katalogu Przebudów i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDKiA, IBDiM, 2014.
- [5] J. Judycki, *Modele spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w mechanistyczno-empirycznej metodzie AASHTO 2004*, „Drogownictwo” 11, 2011.
- [6] P. Ullidtz, *Pavement Analysis*, Development in Civil Engineering 19, Elsevier, 1987.
- [7] J. Uzan, S. Kodavali, T. Scullion, *Rigid Pavement Evaluation System: Implementation of RMODS*. Texas Transportation Institute The Texas A&M University System, Research Report 1939-3F, 1995.
- [8] Design Manual for Road and Bridges, Volume 7 Pavement Design and Maintenance, Section 3 Pavement Maintenance Assessment, Part 2 Data for Pavement Assessment, HD 29/08, The Highway Agency, 2008.
- [9] D. St-Laurent, G. Bergeron, *Interventions pour reduire la fissuration des chaussees*, Proceedings of the 4th International RILEM Conference, Ottawa, Ontario, Canada, 2000.

Z serwisu GDDKiA

Waloryzacja kontraktów budowlanych

Nowe zasady waloryzacji kontraktów budowlanych stanowią odpowiedź Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad na sygnały o nieadekwatności dotychczasowych zasad waloryzacji, które nie oddawały faktycznego tempa wzrostu cen robót budowlanych. Nowe zasady polegają na zastosowaniu tzw. koszyka waloryzacyjnego i są efektem kilkumiesięcznej współpracy administracji publicznej z branżą budowlaną. Działanie to wpisuje się w szerszą politykę nakierowaną na zwiększenie stabilności rynku budowlanego.

Po szczegółowym przeanalizowaniu oczekiwań i propozycji branży na początku stycznia 2019 roku przedstawiliśmy nowy system waloryzacji kontraktów budowlanych, który odpowiada potrzebom rynku. Dotychczasowe zapisy dotyczące zasad waloryzacji okazały się niewystarczająco skuteczne w świetle obecnej sytuacji rynkowej. GDDKiA niezwłocznie podjęła decyzję o zmianie tych zapisów i ustaleniu takich, które uwzględniają realia rynkowe.

Wprowadzany jest nowy mechanizm waloryzacji, który opiera się o tzw. „koszyk waloryzacyjny”. W skład „koszyka”, składającego się z głównych elementów cenotwórczych wpływających na ostateczny bilans kosztowy kontraktu, wchodzi ceny produkcyjne: paliwa, cementu, asfaltu, stali, kruszywa oraz średnie wynagrodzenia pracowników branży (wszystkie z ustalonymi stałymi wagami). Dodatkowo pod uwagę brany będzie indeks zmiany cen towarów i usług konsumpcyjnych – wskaźnik inflacyjny (CPI), który odzwierciedla pozostałe elementy cenotwórcze, które nie zostały wyodrębnione w „koszyku” (np. produkty spożywcze, usługi edukacyjne, usługi hotelowe). Zaproponowane obecnie przez GDDKiA wskaźniki znacznie dynamiczniej reagują na sytuację rynkową niż dotychczas stosowane.

Celem wprowadzenia transparentnej i automatycznej waloryzacji cen jest zwiększenie płynności i stabilności finansowej firm budowlanych, oraz co ważne kreowanie przewidywalności na rynku budowlanym

w Polsce, a zatem poprawę rentowności kontraktów i ograniczenie ryzyka związanego z wzrostem cen towarów i usług. Liczymy, że dzięki wprowadzeniu nowego mechanizmu branża budowlana zyska większe zaufanie sektora bankowego, a co za tym idzie spadną koszty gwarancji bankowych ponoszonych przez branżę.

Nowy system waloryzacji kontraktów umożliwi skuteczną reakcję na zmiany kosztów na rynku budowlanym. Mechanizm waloryzacyjny zakłada comiesięczną waloryzację kwot należnych wykonawcy za wykonane prace. Czynniki wpływające na waloryzację obliczane będą na podstawie wskaźników makroekonomicznych publikowanych przez GUS.

Waloryzacja będzie dotyczyć wszystkich nowych kontraktów na roboty budowlane, zawartych na okres dłuższy niż 12 miesięcy. Nowe zasady obejmą zarówno generalnych wykonawców, jak również podwykonawców wykonujących roboty budowlane i będą stanowiły narzędzie ochrony tych drugich. Zmiana będzie dotyczyła umów zawartych zarówno pomiędzy wykonawcą a podwykonawcą, jak również pomiędzy podwykonawcą a dalszymi podwykonawcami. W przypadku kontynuowania współpracy pomiędzy stronami umowy obowiązek stosowania nowych zasad waloryzacji powstaje z chwilą przekroczenia sumy okresu 12 miesięcy łącznie dla wszystkich umów o podwykonawstwo.

Jednym z głównych założeń nowych zasad waloryzacyjnych jest to, że jedną połowę ryzyka związanego ze wzrostem kosztów realizacji kontraktów przejmują wykonawcy a drugą połowę zamawiający. Przyjęto, że 50% wartości kontraktu podlega waloryzacji. Takie podejście ma zapobiec sytuacji niekontrolowanego i nieograniczonego wzrostu kosztów inwestycji drogowych. Nowe zasady nie spowodują ponadto konieczności angażowania dodatkowych środków budżetowych.

12.01.2019