

KAROL J. KOWALSKI<sup>1)</sup>

## PORÓWNANIE DROGOWYCH TORÓW BADAWCZYCH DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

**STRESZCZENIE.** Podczas eksploatacji nawierzchnie drogowe narażone są na oddziaływanie zmiennych czynników środowiska i obciążeń od ruchu pojazdów. W celu dokładnego opisu zjawisk zachodzących w drogach konieczne są badania laboratoryjne i terenowe charakteryzujące zarówno właściwości materiałów użytych w nawierzchni, jak i zachowanie całej konstrukcji w czasie eksploatacji. Sposobem na przyspieszenie zużycia nawierzchni i skrócenie czasu badania jest poddanie zamkniętego dla ruchu publicznego toru badawczego cyklicznym obciążeniom symulującym ruch pojazdów. W artykule scharakteryzowano główne zalety i ograniczenia związane z przyspieszoną oceną nawierzchni wykonywaną na tego rodzaju obiektach. Porównano znajdujące się w USA i w innych krajach wybrane tory badawcze, w tym kołowroty, urządzenia liniowe, drogi badawcze i urządzenia mobilne. Zestawiono ponadto doświadczenia w zakresie wykorzystania drogowych torów badawczych do przyspieszonej oceny wpływu obciążeń ruchem i warunków klimatycznych na powstawanie zniszczeń nawierzchni drogowych.

### 1. WSTĘP

Drogi, podobnie jak inne obiekty inżynierskie, w wyniku eksploatacji podlegają zniszczeniu. Dwa najbardziej typowe zniszczenia nawierzchni wykonanych z mieszanek mineralno asfaltowych (MMA) to spękania zmęczeniowe i odkształcenia trwałe. W celu przedłużenia trwałości wykonanego odcinka drogowego, konieczne są

---

<sup>1)</sup> mgr inż. – asystent, Purdue University, IN, USA oraz Politechnika Warszawska

właściwe przygotowanie podłoża, dobór materiałów oraz zaprojektowanie i wykonanie nawierzchni. Z uwagi na złożoność układu mechanicznego, jaki stanowi nawierzchnia (np. odmienna grubość, zróżnicowane moduły sprężystości i współczynniki Poissona poszczególnych warstw: ścieralnej, wiążącej i podbudowy), modelowanie pracy nawierzchni w wyniku obciążeń od ruchu pojazdów jest zwykle obarczone dużym błędem. W celu dokładnego opisu zjawisk zachodzących w nawierzchni konieczne są badania laboratoryjne i terenowe charakteryzujące zarówno właściwości materiałów użytych w nawierzchni, jak i zachowania całej konstrukcji w wyniku oddziaływania czynników niszczących, jak np. ruch samochodowy czy oddziaływanie środowiska (jak np. woda czy niskie lub podwyższone temperatury).

## 2. CEL PRACY

Głównym celem pracy była analiza porównawcza istniejących torów badawczych do przyspieszonej oceny stanu nawierzchni. Analiza taka pomóc może w wyborze najbardziej efektywnej metody badań oraz przyczynić się do oceny zalet przyspieszonych badań nawierzchni w porównaniu do długotrwałych badań prowadzonych na drogach publicznych. Przyspieszone badania mogą być przydatne do relatywnie szybkiej weryfikacji prawidłowości metod projektowania grubości warstw konstrukcyjnych nawierzchni oraz w pracach badawczych z dziedziny nowych materiałów i nowych technologii wykonywania nawierzchni drogowych.

## 3. HISTORIA OBIEKTÓW PRZEZNACZONYCH DO PRZYSPIESZONEJ OCENY STANU NAWIERZCHNI

Zniszczenie nawierzchni następuje zwykle po 15-20 latach eksploatacji; taki okres prowadzenia badań jest zbyt długi dla większości projektów badawczych. Pierwsze amerykańskie przyspieszone badanie nawierzchni, prowadzone w pełnej skali, miało miejsce w Arlington (stan Wirginia) w 1919 roku. W następnych latach przeprowadzono inne badania, w tym również i na zamkniętych dla ruchu publicznego odcinkach drogowych: Bates Road Test w stanie Illinois (1920 r.), projekt Hybla Valley Non Rigid Pavement (1944 do 1954 r.), Road Test One w stanie Maryland (1949 r.), program drogowy WASHO (*Western Association of State Highway Officials Road Test*) realizowany w latach 1952-1954. W wyniku tych i innych badań prowadzonych w latach 1940-1960, opracowano główne założenia projektowania nawierzchni podatnych i sztywnych, jak na przykład grubości warstw nawierzchni [1].

Obiekt do przyspieszonego badania właściwości nawierzchni (ang. *Accelerated Performance Test Facility, APT facility*) zdefiniowany może być jako „doświadczalny lub istniejący warstwowy odcinek drogowy poddany kontrolowanemu, przyspieszonemu zniszczeniu nawierzchni w wyniku ruchu pojazdów (symulowanemu poprzez ruch koła badawczego) w celu określenia reakcji i odporności nawierzchni na obciążenia” [2]. Za pierwsze współczesne badanie tego typu uważa się program badawczy o nazwie

AASHO Road Test (*American Association of State Highway Officials*, obecnie znane jako *American Association of State Highway and Transportation Officials*, AASHTO) realizowany na zamkniętym dla ruchu publicznego torze doświadczalnym zlokalizowanym w Ottawie w stanie Illinois. Pierwsze prace koncepcyjne przy budowie toru wykonano w 1951 roku. Zespół pod kierunkiem prof. Kenneth B. Woods z Uniwersytetu Purdue w stanie Indiana opracował założenia programowe powstającego toru, w tym [3]:

- określenia związku pomiędzy obciążeniem osi pojazdu i nośnością nawierzchni (nawierzchnie sztywne i podatne o różnej grubości),
- określenia wpływu konfiguracji osi, rozstawu kół, wielkości i ciśnienia opony pojazdu na odkształcenie i zniszczenie nawierzchni,
- opracowania urządzeń i metod pomiarowych służących do projektowania nawierzchni na przewidywaną wielkość obciążeń,
- wyznaczenie granicznej ilości obciążeń powyżej której stan nawierzchni spadnie poniżej minimalnego dopuszczalnego poziomu użyteczności (nawierzchnia ulegnie zniszczeniu).

Budowa toru przebiegała od sierpnia 1956 do września 1958 roku. Wykonanych zostało 6 niezależnych torów (o dwóch pasach ruchu na każdym z torów). Na 468 odcinkach analizowano pracę nawierzchni podatnych, na 368 zaś pracę nawierzchni sztywnych.

W testach drogowych rozpoczętych w październiku 1958 r. brało udział 126 pojazdów ciężarowych (od lekkich samochodów dostawczych po ciężkie pojazdy ciężarowe) o różnej konfiguracji osi. Pojazdy jeździły przez około 19 godzin każdego dnia ze średnią prędkością 60 km/h. W czasie badań nastąpiło 141 wypadków drogowych, w tym 2 ze skutkiem śmiertelnym. Do czasu zakończenia testów w listopadzie 1960 po każdym z 5 torów przejechało w sumie 1 113 760 osi [3].

W czasie trwania programu okresowo (co 1 – 2 tygodnie) kontrolowano odkształcenia trwałe i inne uszkodzenia nawierzchni podatnych i sztywnych. Ponadto, okresowo mierzone były temperatura i odkształcenia nawierzchni oraz podłoża. Wspomnieć należy, że jednym z inżynierów pracujących przy projekcie AASHO Road Test był Alvin C. Benkelman, znany jako pomysłodawca belki do pomiaru ugięć nawierzchni.

Wynikiem badań AASHO Road Test było opracowanie [3 - 4]:

- wskaźnika zdolności użytkowej nawierzchni PSI (ang. *Present Serviceability Index*) do oceny stanu nawierzchni,
- wzorów i nomogramów do projektowania konstrukcji nawierzchni podatnych i sztywnych,
- wskaźnika przeliczeniowego pojazdów o różnych naciskach na oś i różnej konfiguracji kół i osi: pojedyncza oś obliczeniowa ESAL (ang. *Equivalent Single Axel Load*).

Ponadto, opracowane w badaniu AASHO Road Test kryteria projektowe nawierzchni stanowiły podstawę do opublikowanych w latach późniejszych (po drobnych zmianach) następujących wytycznych projektowych [5]:

- "AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements" (1961 r.),
- "AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures" (1972 r.); część wytycznych dotycząca projektowania nawierzchni betonowych została zmodyfikowana w 1982 r.,
- "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" (1993 r.): wytyczne te stosowane są w większości stanów USA; nowa, mechanistyczno-empiryczna metoda projektowania nawierzchni [6] nie jest jeszcze powszechnie stosowana.

Zaznaczyć należy, że również i w Polsce w latach 60-tych prowadzono badania na torze doświadczalnym (kołowrocie) do przyspieszonej oceny nawierzchni. Tor ten został jednak zlikwidowany i obecnie tego typu badania nie są w Polsce wykonywane.

## 4. CHARAKTERYSTYKA ISTNIEJĄCYCH OBIEKTÓW DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

### 4.1. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Współczesne badania przyspieszonej oceny nawierzchni (APT) nie są prowadzone na tak dużą skalę jak AASHO Road Test. Obiekty do przyspieszonej oceny nawierzchni (APT) podzielić można na tory laboratoryjne (ang. *test track*) i drogowe odcinki badawcze (ang. *test road*). Nawierzchnia badana na torach laboratoryjnych obciążana jest najczęściej za pomocą koła badawczego. Ruch koła po torach laboratoryjnych odbywa się albo liniowo (ang. *linear test track*) albo po okręgu (kołowrót, ang. *circular test track*). W przypadku odcinków drogowych nawierzchnia obciążana jest albo za pomocą powtarzalnych przejazdów samochodów ciężarowych albo za pomocą mobilnego urządzenia symulującego ruch pojazdów ciężarowych.

W ciągu ostatniej dekady zaobserwować można wzrost zainteresowania obiektami do przyspieszonej oceny nawierzchni. W 1996 roku istniało na świecie 35 tego rodzaju obiektów, w 19 prowadzono w tym czasie badania. W roku 2004 zanotowano w Europie i w USA 33 obiekty do przyspieszonej oceny, w tym 18 obiektów prowadzących badania również w roku 1996 [7]. W tablicy 1 porównano wybrane obiekty do przyspieszonej oceny nawierzchni. Stwierdzić można, że najwięcej obiektów do przyspieszonych badań nawierzchni zlokalizowanych jest w USA i w Europie.

Tablica 1. Porównanie wybranych torów i urządzeń laboratoryjnych do przyspieszonej oceny nawierzchni [2, 8 - 9]

Table 1. Comparison between selected test tracks and laboratory facilities related to accelerated pavement testing [2, 8 - 9]

Lokalizacja	Akronim	Rok budowy	Koszt budowy (\$)
Tory laboratoryjne: kołowroty			
Nowa Zelandia	CAPTIF	1987	300 000
Japonia	JHPC	1979	
Francja	LCPC	1978	5 000 000
Rumunia	RRT	1982	420 000
Słowacja	S-KSD	1994	
Floryda (USA)	UCF	1988	250 000
Meksyk	UNAM	1970	480 000
Tory laboratoryjne: urządzenia liniowe			
Australia	ALF	1984	1 000 000
Washington D.C (USA)	FHWA-PTF	1986	1 100 000
Chiny	RIOH-ALF	1990	1 000 000
Louisiana (USA)	PRF-LA	1995	1 800 000
Dania	DRTM	1973	200 000
Holandia	LINTRACK	1991	1 000 000
Wielka Brytania	PTF	1984	1 700 000
Indiana (USA)	INDOT/PURDUE	1992	140 000
Hiszpania	CEDEX	1987	2 100 000
Drogi badawcze			
Minnesota (USA)	MnROAD	1993	2 500 000
Włochy	NARDO	1979	
Alabama (USA)	NCAT	2000	14 000 000
Japonia	PWRI	1979	500 000
Nevada (USA)	WesTrack	1995	
Urządzenia mobilne			
RPA	HVS	1971	
RPA	MLS	1998	
Kalifornia (USA)	CAL-APT	1994	1 700 000
Teksas (USA)	MLS	1995	2 500 000

## 4.2. TORY LABORATORYJNE DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

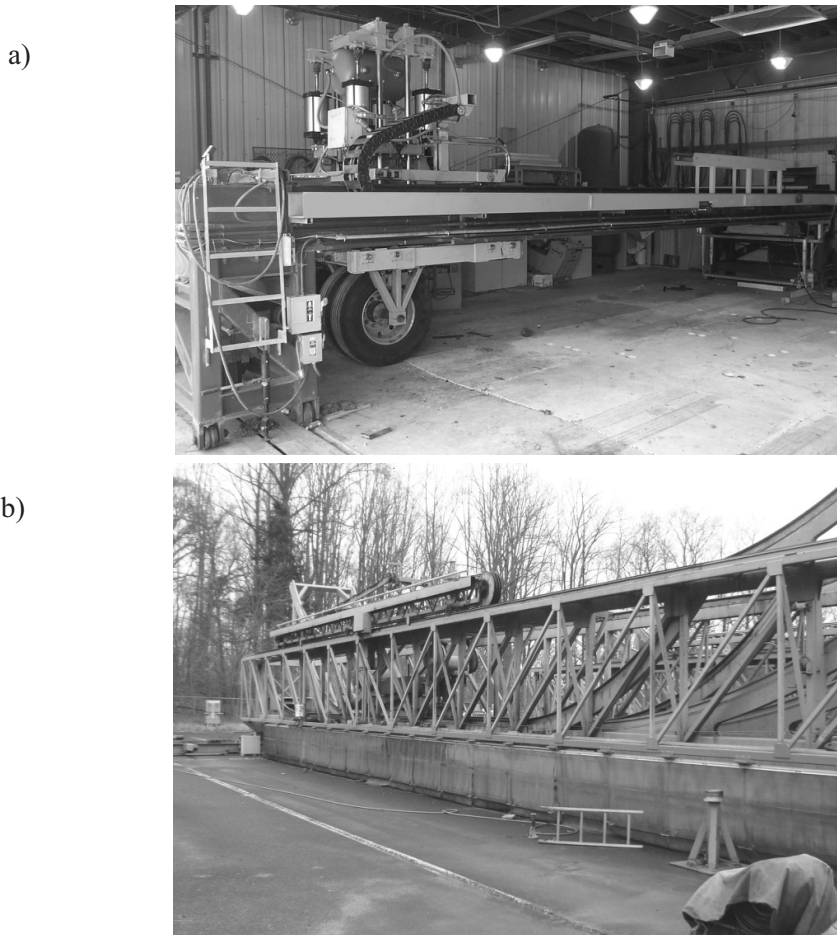
Wśród torów laboratoryjnych do przyspieszonej oceny nawierzchni wyróżnić można dwie główne grupy: odcinki liniowe i kołowroty. Tory laboratoryjne charakteryzują się możliwością przeprowadzenia badania w ściśle kontrolowanych warunkach: wilgotności, temperatury, obciążenia i prędkości przesuwu koła badawczego oraz ciśnienia opony.

Przykładem obiektu do przyspieszonej oceny nawierzchni prowadzonej za pomocą liniowego toru laboratoryjnego jest urządzenie zlokalizowane w West Lafayette, w stanie Indiana (USA). Program badawczy rozpoczęty został w 1992 roku i jest wciąż kontynuowany (w październiku 2007 roku wykonano na torze nową nawierzchnię do kolejnego cyklu badań). W obiekcie badawczym wykonana została żelbetowa niecka o głębokości 183 cm. W czasie badania niecka ta wypełniona jest zagęszczonym gruntem (pełniącym funkcję podłoża), na którym następnie ułożona jest nawierzchnia (składająca się z warstw: ścieralnej, wiążącej oraz z podbudowy). W czasie badania poziom wód gruntowych jest kontrolowany i może zostać zmodyfikowany aż do osiągnięcia (w skrajnych przypadkach) stanu maksymalnego nasycenia parą wodną.

Urządzenie (rys. 1a) składa się z koła badawczego zamocowanego do suwnicy i z nawierzchni po której odbywa się ruch. W czasie badania koło, obciążone za pomocą pneumatycznych siłowników (maksymalna siła obciążenia: 91 kN), przesuwane jest po badanej nawierzchni z prędkością 10 km/h. Po przejściu koła po badanej nawierzchni (długość toru wynosi około 6,1 m), koło wraca do pozycji początkowej i kolejny cykl może zostać rozpoczęty. W czasie powrotu koła do początkowej pozycji koło może pozostać wciąż obciążone (praca koła odbywa się w obu kierunkach) lub też może ono zostać uniesione ponad badaną nawierzchnię (praca koła w jednym kierunku). W ciągu godziny zestaw badawczy wykonać może 300-500 cykli. Ciśnienie w kole badawczym może być regulowane aż do maksymalnej wartości 0,84 MPa. W zależności od programu badawczego, koło może zostać zastąpione zestawem dwóch bliźniaczych kół badawczych. Wspomnieć należy również o możliwości zwiększenia temperatury, w której prowadzone jest badanie, aż do maksymalnej temperatury równej 60°C [10].

Innym przykładem liniowego toru laboratoryjnego do przyspieszonej oceny nawierzchni jest urządzenie PRF-LA zlokalizowane w stanie Louisiana (USA), przedstawione na rys. 1 b. Urządzenie długości 30,5 m nie jest umieszczone w budynku (jak ma to miejsce w przypadku urządzenia INDOT/PURDUE APT), wyposażone jest natomiast w komorę umożliwiającą kontrolowanie temperatury w czasie badania. Podczas jednego dnia badań dwa poruszające się bliźniacze koła badawcze obciążone siłą 43-85 kN symulują ruch odpowiadający przejściu 11 200 do 160 000 (w zależności od obciążenia koła) osi obliczeniowych ESAL [11 - 12].





Rys.1. Urządzenia liniowe do przyspieszonej oceny nawierzchni:

a) INDOT/PURDUE (fot. autor,

b) PRF-LA (fot. E. Levenberg)

Fig.1. Linear accelerated pavement testing facility:

a) INDOT/PURDUE (photo author),

b) PRF-LA (photo E. Levenberg)

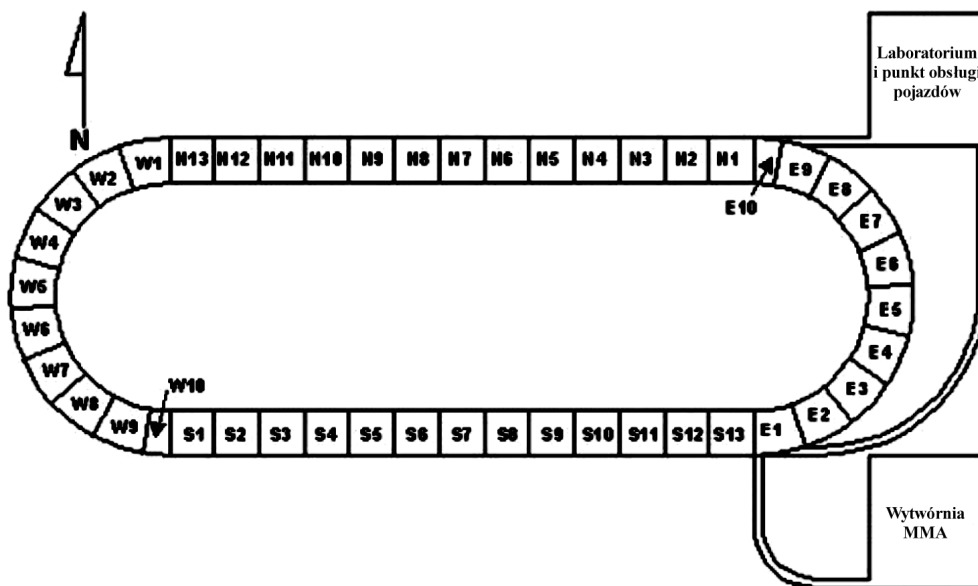
Za największe liniowe urządzenie laboratoryjne do przyspieszonej oceny nawierzchni uważa się obiekt zlokalizowany w pobliżu Atlantic City (New Jersey, USA). Urządzenie należące do Federalnej Administracji ds. Ruchu Powietrznego (*Federal Aviation Administration*, FAA), skonstruowane w 1999 roku we współpracy z firmą Boeing, służy głównie do badań dróg startowych. Ze względu na charakterystykę obciążeń takich nawierzchni, urządzenie wyróżnia się wyjątkowo dużym obciążeniem (5340 kN) i długością toru (300 m). Konfiguracja kół pozwala symulować obciążenia występujące w największych eksploatowanych obecnie samolotach pasażerskich i transportowych [13].

W celu zapewnienia warunków badania zbliżonych do rzeczywistych, w przypadku urządzeń laboratoryjnych typu kołowrót, konieczne jest zapewnienie odpowiednio dużego promienia okręgu, po którym toczy się koło badawcze.

### 4.3. ODCINKI DROGOWE DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

Odcinki drogowe do przyspieszonej oceny nawierzchni charakteryzują się zwykle znacznie większą długością niż ma to miejsce w przypadku torów laboratoryjnych. Odcinki drogowe są ponadto wystawione na oddziaływanie środowiska, jak np. deszcz, słońce czy też zmienna temperatura. Warunki ruchu pojazdów po odcinkach badawczych są ściśle kontrolowane, głównie poprzez pomiar: prędkości pojazdów, obciążenia osi pojazdów i ciśnienia powietrza w oponach. W większości przypadków pojazdami są typowe ciągniki siodłowe z naczepą oraz jedną lub więcej przyczepami. W czasie programu badawczego WesTrack realizowanego w Nevadzie (USA) w nawierzchni umieszczone zostały specjalne czujniki a pojazdy wyposażone były w urządzenia umożliwiające ruch pojazdów bez udziału kierowcy [14].

Torem badawczym, na którym prowadzone są obecnie badania na najszerszą skalę, wydaje się być tor w Opeliku, Alabama (USA), należący do Narodowego Centrum Badań Asfaltów (*National Center for Asphalt Technology*, NCAT). Przedstawiony na rysunku 2 tor składający się z 46 różnych odcinków (sekcji) został oddany do użytku w 2000 roku.



Rys. 2. Schemat toru badawczego NCAT Test Track [15].  
Fig.2. Schematic of the NCAT Test Track [15]



Całkowita długość toru wynosi 2,8 km a każdy z wykonanych odcinków (o długości 61 m) charakteryzuje się odrębnie zaprojektowaną mieszanką mineralno asfaltowej (MMA). W czasie budowy toru zastosowano mieszanki zaprojektowane metodą Superpave oraz mieszanki typu SMA i drenażowe.

Pojazdy badawcze poruszają się po torze z prędkością 72 km/h przez 17 godzin każdego dnia, 6 dni w tygodniu. Pojazd badawczy o całkowitej masie około 68.9 ton składa się z ciągnika siodłowego z naczepą oraz dwoma przyczepami, jak przedstawiono na rys. 3. Konfiguracja obciążeń osiowych i natężenie ruchu pojazdów pozwala w ciągu dwóch lat uzyskać liczbę przejazdów osi obliczeniowych równą 10 000 000 ESAL.



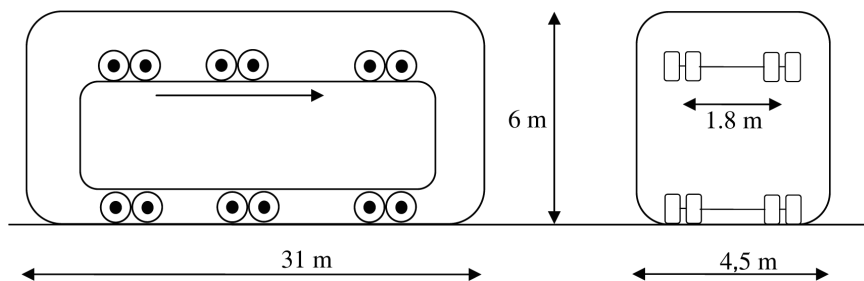
Rys.3. Pojazd w czasie przejazdu po torze badawczym NCAT Test Track [16]  
Fig.3. Test truck in operation on the NCAT Test Track [16]

W 2002 roku zakończono pierwszą część badań na torze NCAT Test Track. W 2003 roku część z odcinków poddano remontowi, na niektórych wykonano nowe nawierzchnie i badania zostały wznowione. W październiku 2006 zakończona została kolejna przebudowa nawierzchni toru i rozpoczęto trzeci cykl badań. Na koniec 2008 roku planowane jest zakończenie tego cyklu badań (uzyskanie liczby osi obliczeniowych równej 10 000 000 ESAL).

#### 4.4. URZĄDZENIA MOBILNE DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

Konstrukcja urządzeń mobilnych do przyspieszonej oceny nawierzchni podobna jest do laboratoryjnych urządzeń liniowych. Główna różnica polega na możliwości transportu urządzenia. Ta cecha pozwala na możliwość poddania badaniu praktycznie dowolnego odcinka drogowego.

Urządzenie składa się zwykle z obciążonych kół poruszających się po nawierzchni, podobnie jak zostało to opisane powyżej dla urządzenia liniowego. W celu przyspieszenia badania urządzenie może być wyposażone w wiele osi, do których zamocowane są koła, np. w przedstawionym na rys. 4 urządzeniu Texas Mobile Load Simulator (TxMLS), istnieje sześć zestawów osi z zamocowanymi kołami. Każdy zestaw (obciążenie zestawu wynosi 190 kN) składa się z dwóch osi, ma więc w sumie 8 kół (układ dwóch osi z ośmioma kołami jest najczęstszym układem jezdny stosowanym w naczepach samochodów ciężarowych w USA). W czasie badania koła poruszają się po badanej nawierzchni (długości 11 m) z prędkością do 20 km/h. W ciągu godziny urządzenie symulować może ruch odpowiadający przejściu 8 800 osi obliczeniowych ESAL. W czasie badania w urządzeniu tym można uzyskać i kontrolować żądane warunki temperaturowe. Po przetransportowaniu urządzenia w miejsce prowadzenia badań tylko jeden dzień potrzebny jest do przygotowania urządzenia do rozpoczęcia testów [8, 17]



Rys.4. Urządzenie mobilne TxMLS do przyspieszonej oceny nawierzchni (rysunek nie w skali) [17]

Fig.4. Schematic of a mobile version of the accelerated pavement testing facility TxMLS (figure not to scale) [17]

#### 5. PORÓWNANIE ZALET I OGRANICZEŃ RÓŻNYCH RODZAJÓW URZĄDZEŃ DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

Porównanie zalet i ograniczeń różnych rodzajów urządzeń do przyspieszonej oceny nawierzchni przedstawiono w tabelicy 2. Ogólnie stwierdzić można, że najbardziej zbliżone do rzeczywistych konstrukcji drogowych są drogi badawcze. Badania na drogach badawczych są jednak najdroższe. Ponadto, na drogach badawczych nie jest możliwe pełne kontrolowanie warunków atmosferycznych. Badania są również dłuższe (kilkuletnie) - w celu przyspieszenia badania stosować można cieńsze nawierzchnie, powoduje to jednak znaczącą zmianę układu mechanicznego nawierzchni.

Tablica 2. Porównanie zalet i ograniczeń różnych rodzajów urządzeń do przyspieszonej oceny nawierzchni [2]  
 Table 2. Benefits and limitations of the various accelerated pavement testing facilities [2]

Zalety	Ograniczenia
Tory laboratoryjne: kołowroty	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysoka prędkość</li> <li>– w pełni kontrolowane obciążenia</li> <li>– urządzenie nie skomplikowane mechanicznie</li> <li>– możliwość badania kilku różnych odcinków jednocześnie</li> <li>– możliwość kontroli temperatury</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– w przypadku małego promienia ramienia występowanie obciążeń ścinających</li> <li>– uszkodzenie jednego z odcinków wpływa na pracę innych odcinków</li> <li>– potencjalne problemy przy wykonywaniu badanej nawierzchni</li> </ul>
Tory laboratoryjne: urządzenia liniowe	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– w pełni kontrolowane, jedno lub dwukierunkowe obciążenie</li> <li>– możliwość kontroli temperatury</li> <li>– urządzenie średnio skomplikowane mechanicznie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zwykle brak możliwości badania więcej niż jednego odcinka jednocześnie</li> <li>– niska prędkość</li> <li>– średnio trudne warunki wykonania badanej nawierzchni</li> </ul>
Drogi badawcze	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– warunki obciążenia nawierzchni bardzo zbliżone do rzeczywistych</li> <li>– wiele odcinków badanych jest podczas tego samego programu</li> <li>– możliwość (choć ograniczona) kontroli prędkości i obciążeń pojazdów</li> <li>– standardowe wykonanie nawierzchni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– brak możliwości kontrolowania temperatury</li> <li>– ograniczona możliwość przyspieszenia procesu obciążenia nawierzchni</li> <li>– badanie długotrwałe</li> </ul>
Urządzenia mobilne	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– możliwość wykonania badania na praktycznym dowolnym odcinku drogowym</li> <li>– w pełni kontrolowane obciążenie</li> <li>– możliwość kontroli temperatury</li> <li>– standardowe wykonanie nawierzchni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skomplikowana konstrukcja urządzenia</li> </ul>

Porównując opisane powyżej przyspieszone badania nawierzchni z szeroko stosowanymi na całym świecie długoterminowymi programami badań (odcinki doświadczalne na istniejących drogach publicznych) stwierdzić można, że w przypadku długoterminowych programów badawczych [18]:

- obciążenia (częstotliwość przejazdu osi i obciążenia osiowe pojazdów) nie mogą być przyspieszane, dlatego też przeprowadzenie eksperymentu trwa zwykle kilka do kilkunastu lat,
- z przyczyn praktycznych trudno i niebezpiecznie jest zamykać pasy ruchu w celu przeprowadzenia okresowych pomiarów stanu nawierzchni; użytkownicy dróg protestują zwykle przeciwko opóźnieniom powstałym w wyniku ograniczeń w ruchu,
- z przyczyn bezpieczeństwa ruchu drogowego nie jest możliwe doprowadzenie badanego odcinka do stanu zbyt dużego zniszczenia,
- nie jest możliwa pełna kontrola obciążeń pojazdów poruszających się po badanym odcinku.

## 6. ZASTOSOWANIE URZĄDZEŃ DO PRZYSPIESZONEJ OCENY NAWIERZCHNI

Główne zastosowania prowadzonych obecnie przyspieszonych badań nawierzchni związane są z pracami naukowo-inżynieryjnymi dotyczącymi: wytrzymałości i trwałości nawierzchni, lepkosprężystych reakcji nawierzchni na obciążenia i właściwości mechanicznych materiałów. Modele opisujące zależności naprężeń i odkształceń oraz modele dotyczące zmęczeń i odkształceń trwałych następujących w nawierzchniach tworzone są przy użyciu danych z przeprowadzonych badań. Urządzenia wykorzystywane są ponadto do przyspieszonego badania nowych metod stosowanych w projektowaniu nawierzchni i mieszanek, jak np. oceny metody Superpave, wpływu zmian w wymaganiach dotyczących uziarnienia mieszanek, czy również zmian w wykonawstwie warstw nawierzchni [15, 19 - 21].

Nawierzchnie badawcze są zwykle „uzbrojone” w szereg czujników, głównie do pomiaru naprężeń, odkształceń, temperatury i wilgotności. W czasie badań wykorzystuje się ponadto urządzenia do pomiaru właściwości mechanicznych nawierzchni (jak np. zmiany sztywności nawierzchni badane za pomocą pomiaru ugięć nawierzchni ugięciomierzem dynamicznym FWD (ang. *Falling Weight Deflectometer*) [17, 22 - 24]), urządzenia do pomiaru właściwości użytkowych nawierzchni (tekstura, właściwości przeciwpoślizgowe i hałaśliwość nawierzchni) oraz urządzenia laboratoryjne. Za pomocą urządzeń laboratoryjnych bada się zmiany wskaźnika zagęszczenia nawierzchni oraz zmiany mechaniczne (np. sztywności) badanych próbek.

Zaznaczyć należy, że rozpowszechnione są prace korelujące wyniki badań uzyskiwane za pomocą różnych metod badawczych (np. w opisywanym wcześniej torze NCAT Test Track kilka odcinków badawczych ma swoje odpowiedniki wykonane w innych, liniowych urządzeniach badawczych) [25].

## 7. PODSUMOWANIE

W USA, w krajach europejskich i w wielu innych miejscach na świecie realizuje się obecnie szereg projektów badawczych dotyczących przyspieszonej oceny stanu nawierzchni. W porównaniu do długotrwałych badań prowadzonych na drogach publicznych, badania tego typu pozwalają na relatywnie szybką weryfikację prawidłowości metod projektowania grubości warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Badania tego typu są zwykle kosztowne w prowadzeniu, jednak dzięki nim można uzyskać wiele pożytecznych informacji o charakterze naukowym i praktycznym, z zakresu wpływu środowiska oraz zmiennych obciążeń na pracę nawierzchni oraz z dziedziny nowych materiałów i nowych technologii wykonywania nawierzchni drogowych.

Stwierdzono, że każde ze stosowanych obecnie urządzeń do przyspieszonej oceny nawierzchni (urządzenia liniowe i kołowroty, tory badawcze oraz urządzenia mobilne) posiada szereg zalet i pewne ograniczenia. Nie jest w związku z tym możliwy wybór urządzenia „najlepszego”, ponieważ w zależności od specyfiki prowadzonych badań odmienne właściwości urządzeń wydają się szczególnie pożądane.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] *Metcalf J. B.*: Accelerated Pavement Testing, a Brief Review Directed Towards Asphalt Interests. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, **67**, Boston, Massachusetts, 1998, 553-572
- [2] *Metcalf J. B.*: Application of Full-Scale Accelerated Pavement Testing. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 235, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 1996
- [3] *Smith K. D., Zimmerman K. A., Finn F. N.*: The AASHO Road Test, Living Legacy for Highway Pavements. TR News, **232**, 2004, 14-24
- [4] *S. T., Mahoney J. P., Pierce L. M.*: Materiały ze strony internetowej opracowane przez University of Washington i Washington State Department of Transportation, <http://training.ce.washington.edu/WSDOT>, grudzień 2006
- [5] Praca zbiorowa: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1993
- [6] Praca zbiorowa: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. National Cooperative Highway Research Program 1-37A Final Report, Champaign, Illinois, March 2004
- [7] *Metcalf J. B.*: Full Scale Accelerated Pavement Testing, A North American and European Perspective. 2<sup>nd</sup> International Conference on Accelerated Pavement Testing, Minneapolis, 25-29 September 2004

- [8] Anonim. Materiały ze strony internetowej: Full Scale / Accelerated Pavement Testing (AFD40) Transportation Research Board Committee, [http://www.k-state.edu/pavements/trb/A2B09/index\\_files/US-APTs.html](http://www.k-state.edu/pavements/trb/A2B09/index_files/US-APTs.html), marzec 2007.
- [9] *Hugo F., de Fortier Smit A. i Warren P.*: Report on APT Data Survey. Transportation Research Circular, no. E-C004, February 1999
- [10] *Llenin J. A. i Pellinen T. K.*: Interim Draft Final Report: Validation of NCAT Structural Test Track Experiment Using INDOT APT Facility. Joint Transportation Research Project, December 2004
- [11] *Djakfar L. i Roberts F. L.*: Performance Prediction of Louisiana Accelerated Loading Facility Test Sections. Transportation Research Record, no. 1716, 2000, 108-115
- [12] *Romanoschi S. A., Metcalf J. B., Rasouljian M.*: Assessment of Pavement Life at First Full-Scale Accelerated Pavement Test in Louisiana. Transportation Research Record, no. 1655, 1999, 219-226
- [13] Anonim. Materiały ze strony internetowej: National Airport Test Facility. <http://www.airporttech.tc.faa.gov/NAPTF/>, kwiecień 2007
- [14] *Monismith C. L., Nokes W. A., Coetzee N. F.*: Answers in a Fast Track: Accelerated Pavement Testing in the United States. TR News, **185**, 1996, 2-5.
- [15] *Brown E.R., Cooley L. A. Jr., Hanson D., Lynn C., Powell B., Prowell P., Watson W.,*: NCAT Test Track Design, Construction and Performance. National Center for Asphalt Technology, Report 02-12, Auburn, Alabama, December 2002
- [16] Anonim. Materiały z bazy danych NCAT Pavement Test Track
- [17] *Chen D. i Hugo F.*: Full-Scale Accelerated Testing of Texas Mobile Load Simulator. Journal of Transportation Engineering, **124**, 5, 1998, 479-490

## COMPARISON BETWEEN VARIOUS ACCELERATED PAVEMENT TESTING FACILITIES

### Abstract

During their service life, pavements are influenced by the various environmental and traffic conditions. In order to better characterize the effects of these conditions, both field and lab tests are required. Such a characterization should focus on both pavement material properties, as well as reaction of the pavement structure to the destructive processes that occur during the pavements service life. To accelerate pavement damage and to shorten the test time, pavements are subjected to repeated load applications simulating traffic conditions. This paper presents the benefits and limitations related to the Accelerated Pavement Testing (APT) facilities, including linear and circular track facilities, test roads (tracks) and mobile load simulators. Selected APTs, located in the USA and in other countries are compared. In addition, a brief historical overview is presented in conjunction with the researcher's personal experience.