

Technologie budowy i utrzymania nawierzchni dróg ruchu naziemnego samolotów lotnisk regionalnych

Antoni Szydło, Piotr Mackiewicz, Robert Wardęga

W artykule zaprezentowano wybrane zagadnienia dotyczące technologii budowy nawierzchni lotniskowych. Przeprowadzono dyskusję nad dwoma typami nawierzchni. Zwrócono uwagę na rodzaje uszkodzeń powstających w konstrukcjach nawierzchni w wyniku różnych oddziaływań zewnętrznych. Opisano klasyczne technologie stosowane przy wzmacnianiu nawierzchni oraz nową skuteczną metodę wykorzystującą warstwy SAMI, zapobiegającą spękanom odbitym.



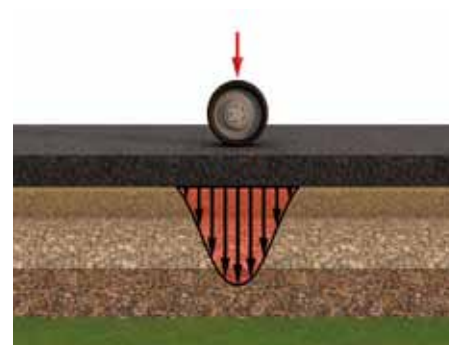
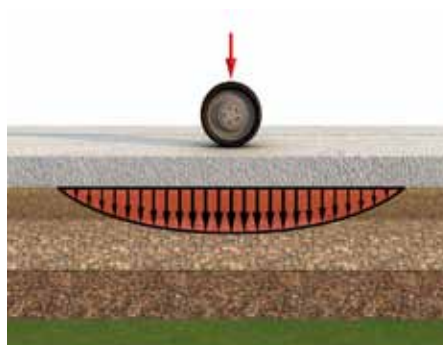
prof. dr hab. inż.
Antoni Szydło
Politechnika Wrocławska
Instytut Inżynierii
Lądowej
Katedra Dróg i Lotnisk



dr inż. Piotr Mackiewicz
Politechnika Wrocławska
Instytut Inżynierii
Lądowej
Katedra Dróg i Lotnisk



dr inż. Robert Wardęga
Politechnika Wrocławska
Instytut Inżynierii
Lądowej
Katedra Dróg i Lotnisk



1. Rozkład nacisku od obciążenia w nawierzchni podatnej i sztywnej

ścieralne. Skuteczną alternatywą stają się coraz częściej stosowane nawierzchnie z betonu cementowego. Niestety, w ciągu założonego okresu eksploatacji zarówno nawierzchnie asfaltowe, jak i betonowe ulegają stopniowej degradacji. Celowe staje się zatem, rozważenie jakiego typu nawierzchni przyjąć dla określonej struktury ruchu samolotów oraz jaką wybrać technologię naprawczą dla różnego typu zniszczeń nawierzchni.

Charakterystyka lotniskowych nawierzchni asfaltowych i betonowych

Nawierzchnia betonowa (sztywna) w porównaniu do nawierzchni asfaltowej (podatnej) lepiej rozkłada naprężenia na podłożu gruntowe. Sztywna płyta betonowa (charakteryzująca się wyższym modułem sztywności) rozkłada obciążenie na większej powierzchni i wywiera mniejsze oddziaływanie na podbudowę niż nawierzchnia podatna (rys. 1). W przypadku zwiększenia grubości płyty betonowej znacznie zwiększa się także zdolność do przenoszenia dużych obciążeń od samolotów – stąd też często stosuje się nawierzchnie sztywne-betonowe w miejscach narażonych na występowanie obciążeń o dużych wartościach. Stanowi to zdecydowaną przewagę nawierzchni betonowych nad asfaltowymi

i powoduje, że nawierzchnie betonowe są tak chętnie stosowane na drogach startowych i kołowania oraz płytach postojowych lotnisk.

Rodzaje uszkodzeń w nawierzchniach

Zarówno nawierzchnie betonowe i asfaltowe są narażone na uszkodzenia w okresie eksploatacji. Na rodzaj uszkodzeń mają główny wpływ: obciążenie, czynniki atmosferyczne oraz stan i warunki podłoża gruntowego.

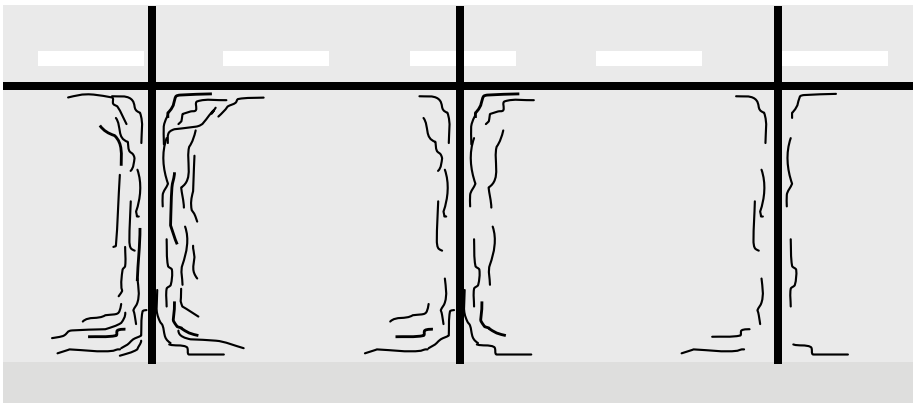
Na każdą konstrukcję nawierzchni lotniskowej działają następujące czynniki zewnętrzne, przyczyniające się do powstawania uszkodzeń:

- obciążenia wywierane na nawierzchnię jezdni przez koła samolotów, poruszających się z różnymi prędkościami (znaczenie ma nie tylko wielkość obciążenia - nacisk goleni, ale także jego powtarzalność),
- temperatura wpływająca na poszczególne warstwy konstrukcji nawierzchni,
- woda powierzchniowa (intensywność opadów) i gruntowa (poziom zwierciadła wody gruntowej oraz występujące grunty rodzime),
- inne czynniki, takie jak np. chemiczne środki zimowego utrzymania.

W aktualnej sytuacji znacznego rozwoju infrastruktury lotniczej istotne staje się zwrócenie szczególnej uwagi na technologie budowy i utrzymania dróg ruchu naziemnego na lotniskach regionalnych w Polsce. Projektant staje przed dylematem wyboru właściwej technologii przy budowie nowych i przebudowie istniejącej infrastruktury lotniskowej. Większość dróg startowych i kołowania w Polsce posiada nawierzchnie asfaltowe, które mają ograniczoną żywotność, zwłaszcza jeżeli chodzi o warstwy



2. Pęknięcie w narożu płyty betonowej



3. Schemat spękań na skutek utraty trwałości i poziom uszkodzeń



4. Pęknięcie podłużne w płycie betonowej



5. Pęknięcie poprzeczne w płycie betonowej

Uszkodzenia nawierzchni betonowych:

- powierzchniowe
 - lejki powstające po wyłuskaniu kruszywa z nawierzchni
 - jamki powstające po otwarciu porów lub rozpuszczeniu zanieczyszczeń
 - złuszczenia nawierzchni
 - pęknięcia włoskowate od góry
 - mechaniczne ścieranie nawierzchni
- strukturalne
 - pęknięcia płyt
 - deformacje szczelin
 - pompowanie w szczelinach
 - wysadziny i osiadania płyt

Pęknięcia mogą powstać w narożu płyty, gdzie zbiegają się szczeliny poprzeczna i podłużna (rys. 2). Najczęściej pod kątem 45 stopni do kierunku ruchu. Propagują od góry do dołu płyty. Istnieje niebezpieczeństwo infiltracji wody do podbudowy, ograniczona jest także równość nawierzchni. Przyczyną są duże naciski od kół pojazdów oraz ograniczona nośność podbudowy i podłoża, a także wpływy termiczne. Odłamanie naroży mogą się pojawiać także przy niewłaściwym ułożeniu dybli.

W narożach mogą się inicjować także inne pęknięcia (rys. 3). Objąć mogą swym obszarem całą szerokość płyty (wzdłuż szczelin poprzecznych). Mają kształt półksiężyca. W zaawansowanym stadium są wielokrotne i powodują ubytki betonu. Spowodowane są wielokrotnymi cyklami zamarzania i odwilży. Uszkodzenia te powodują pogorszoną równość nawierzchni, w zaawansowanym stadium do całkowitego zniszczenia płyty.

Wzdłuż kierunku jazdy mogą powstać pęknięcia podłużne (rys. 4). Przyczyną są spękania termiczne lub skurczowe. W stanie zaawansowanym może dojść do większych wykruszeń w pęknięciu. W tym przypadku może nastąpić ograniczenie równości nawierzchni oraz infiltracja wody do niższych warstw nawierzchni.

Pęknięcia prostopadłe do kierunku jazdy mogą przebiegać na całej szerokości płyty (rys. 5). Najczęstszą przyczyną powstawania tych spękań są wpływy termiczne i skurcz betonu.

Mankamentem nawierzchni betonowych są uszkodzenia wypełnień w szczelinach poprzecznych i podłużnych. Związane są ze zmianą właściwości materiału wypełniającego szczelinę na skutek starzenia i działania czynników atmosferycznych (temperatura, woda). Jest to najczęściej twardnienie i spadek cech sprężystych materiału bitumicznego lub uszczelki z tworzywa. Ponadto może dochodzić do ingerencji środków chemicznych (paliwo, oleje, środki zimowego utrzymania dróg) oraz uszkodzeń mechanicznych (kruszywo, koła pojazdów). W konsekwencji materiał wypełniający szczelinę może utracić szczelność i będzie dochodzić do prze-



6. Uszkodzenia alkaliczne nawierzchni betonowych



7. Spękania zmęczeniowe w układzie siatki spękań w nawierzchni asfaltowej

Tab. 1. Uszkodzenia nawierzchni podatnych i czynniki za nie odpowiedzialne [1]

Rodzaj uszkodzenia		Czynnik odpowiedzialny za powstawanie uszkodzeń		
		Klimat	Ruch pojazdów	Materiał
Deformacje trwałe	lepkoplastyczne		✓	
	strukturalne		✓	
Spękania	zmęczeniowe		✓	
	zmęczeniowe termiczne	✓		
	termiczne	✓		
	odbite			✓
Rodzaj uszkodzenia		Czynnik odpowiedzialny za powstawanie uszkodzeń		
		Klimat	Ruch pojazdów	Materiał
Uszkodzenia powierzchniowe	ubytki lepszczu	✓		
	ubytki ziaren kruszywa	✓	✓	✓
	ubytki warstwy ściernalnej	✓	✓	
	wypolerowanie ziaren kruszywa		✓	
	wypływ (plamy lepszczu)	✓	✓	

siąkania wody i degradacji niższych warstw nawierzchni oraz zjawiska pompowania.

Obłamania krawędzi w szczelinach powstają najczęściej na skutek oddziaływania kół pojazdów w połączeniu z zanieczyszczeniami (grysy), gwałtownych wahań temperatury, złej lokalizacji dybli, uszkodzenia i korozji dybli, złe zagęszczenie betonu.

Innym podstawowym typem uszkodzeń w nawierzchniach betonowych są uszkodzenia powierzchniowe. Może to być seria wielokrotnych spękań występujących na górnej powierzchni. Ukierunkowane w poprzek i wzdłuż, łączą się tworząc kształt siatki. Zwykle nie przebiegają na całej głębokości płyty. Postępują od góry do dołu. Przyczyną jest kurczenie się płyt betonowych przy źle lub zbyt późno wykonanych szczelinach, niewłaściwa pielęgnacja betonu podczas dojrzewania, szybkie oziębianie nawierzchni, parowanie, drgania wywołane ruchem pojazdów.

Na górnej powierzchni płyty betonowej można spodziewać się także wypadania ziaren kruszywa i/lub zaprawy na głębokości od 3 mm do 13 mm. Przyczyną są słabe właściwości wiążące cementu, zanieczyszczone kruszywo, reakcja alkaiczna na kruszywo, oddziaływanie środków zimowego utrzymania dróg, złe wykańczanie nawierzchni podczas teksturowania, wielokrotne cykle zamarzania i odmarzania (rys. 6).

Ograniczenie szczepności z nawierzchnią może powodować wypolerowanie ziaren na skutek zjawiska ścierania ziaren kruszywa do uzyskania połysku.

W nawierzchni betonowej występuje jeszcze szereg innych uszkodzeń, które mogą być związane z ograniczoną nośnością podłoża gruntowego, złym odwodnieniem pobocza gruntowego lub też z elementami łączącymi płyty betonowe.

Uszkodzenia nawierzchni asfaltowych

Również w nawierzchni asfaltowej może wystąpić szereg istotnych uszkodzeń, które w procesie eksploatacji mogą stanowić bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa ruchu dla pojazdów samolotowych.

Należą do nich: spękania (zmęczeniowe, blokowe, krawędziowe, podłużne, odbite, poprzeczne-termiczne), wyboje i ubytki, deformacje nawierzchni, uszkodzenia powierzchni oraz podobne jak w nawierzchni betonowej (tab. 1).

Spękania zmęczeniowe powstają w obszarach zależnych od działania obciążeń powtarzalnych. We wczesnym etapie są to pojedyncze pęknięcia. Pod wpływem kolejnych obciążeń łączą się tworząc większe powierzchnie o wyglądzie skóry aligatora (rys. 7). Najczęściej pojawiają się w śladach kół pojazdów. W cienkich warstwach nawierzchni propagują od dołu warstwy do góry.

Spękania zmęczeniowe mogą być też zainicjowane niskimi temperaturami lub siłami ścinającymi na krawędziach opon o dużym ciśnieniu. Ograniczają równość nawierzchni, ułatwiają infiltrację wody do podbudowy, w końcowym stadium powstają wyboje i wykruszenia nawierzchni.

Wzór spękań blokowych, na które podzielona jest nawierzchnia w przybliżeniu mają kształt prostokątny. Prostokątne bloki sięgają w przybliżeniu 0,1 m² do 10 m². Spękania mogą wystąpić na całych obszarach jezdni lub tylko na obszarach ruchu. W konsekwencji spękania umożliwiają infiltrację wody oraz ograniczają równość nawierzchni. Główną przyczyną ich powstawania jest skurcz mieszanki mineralno-asfaltowej, dobowe zmiany temperatury, brak odporności asfaltu na zmiany gwałtowne temperatury oraz starzejące się lepiszcze.

Na skutek osłabienia górnych warstwy nawierzchni lub nawodnionej podbudowy i podłoża, mogą pojawić się w nawierzchni asfaltowej spękania podłużne (rys. 8). Występują równoległe do osi jezdni w śladach kół pojazdów lub poza nimi. Umożliwiają infiltrację wody. W konsekwencji dalszej degradacji mogą stanowić początek spękań zmęczeniowych („skóra aligatora”) oraz zniszczenia strukturalnego nawierzchni.

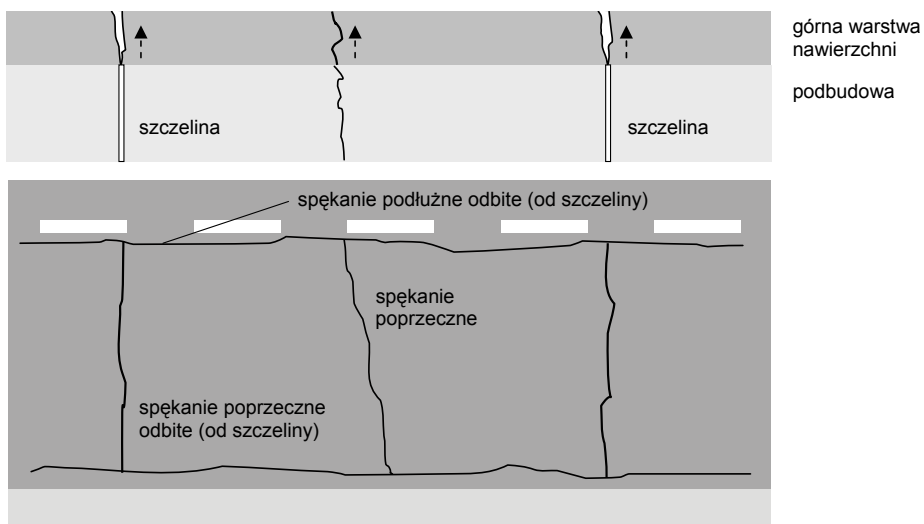
Spękania odbite pojawiają się w górnych warstwach nawierzchni nad szczelinami lub spękaniami poprzecznymi/podłużnymi pochodzącymi od sztywnej podbudowy. Nieciągłość struktury pod górnymi warstwami powoduje powstanie zjawiska karbu ze znaczną koncentracją naprężeń. Naprężenie rozciągające w warstwie asfaltowej pod istniejącym pęknięciem jest wielokrotnie większe niż naprężenie poza obszarem pęknięcia (rys. 9). W rzeczywistości zjawisku pęknięcia odbitego może towarzyszyć zjawisko spękania niskotemperaturowego. W efekcie może dochodzić do infiltracji wody w głąb nawierzchni oraz ograniczenia równości.

Na skutek niskiej temperatury lub gwałtownego jej spadku dochodzi do kurczenia się warstw nawierzchni. Przekroczenie dopuszczalnych naprężeń rozciągających powoduje powstawanie poprzecznych do osi jezdni - spękań termicznych. Propagacja spękań postępuje od góry do dołu aż do podbudowy. Mogą towarzyszyć spękanom odbitym.

Mała stabilność materiału w górnych warstwach nawierzchni lub w podbudowie, brak spójności między kruszywem i lepiszczem, powodują powstawanie ubytków. Szczególnie aktywnie proces tworzenia się wybojów rozwija się wiosną. Zachodzi wtedy znaczna zmiana temperatur oraz zwiększona ingerencja wody w porach materiału. Woda przenika w rowki i mikro-pęknięcia rozklinowując i osłabiając wiąza-



8. Spękanie podłużne w nawierzchni asfaltowej



9. Schemat spękań odbitych podłużnych i poprzecznych w nawierzchni asfaltowej

nie. Sprzyja też temu zamarzanie oraz dynamiczne działanie obciążenia. Wielkości dziur, jam mogą dojść nawet do podbudowy. Najczęściej powstają w nawierzchniach o cienkich warstwach ścieralnych.

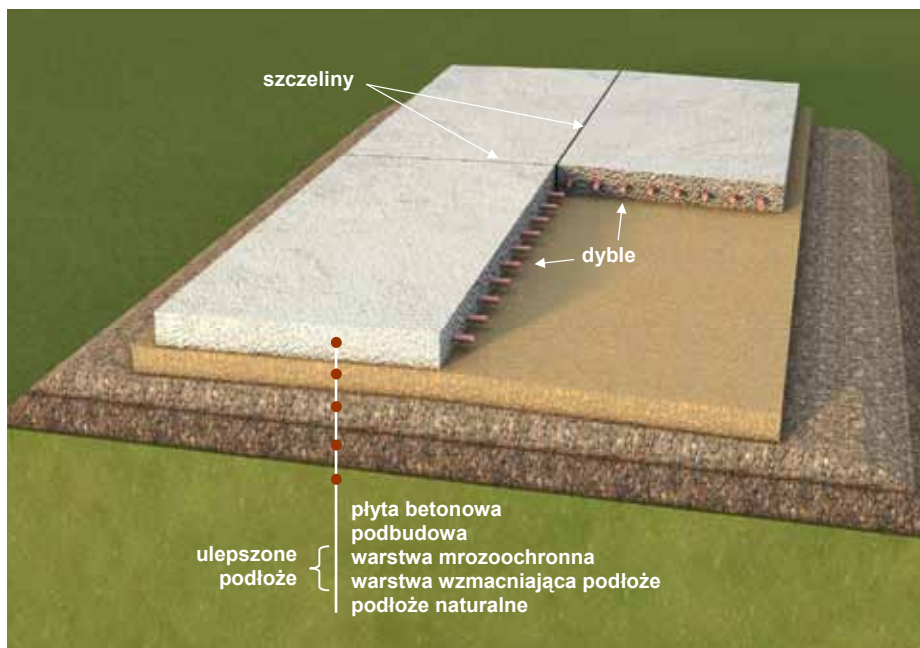
Najslabszym punktem nawierzchni asfaltowych jest mała odporność na deformacje trwałe. Najbardziej znane są deformacje w postaci: kolein, sfalowań lub zapadnięć.

Z zestawienia uszkodzeń obu typów nawierzchni można stwierdzić, że nawierzchnie asfaltowe posiadają większą różnorodność uszkodzeń oraz są bardziej narażone na ich rozwój w wyniku oddziaływania obciążeń, temperatury i warunków wodnych w podłożu. Opisane rodzaje uszkodzeń mogą wystąpić na różnych etapach eksploatacji nawierzchni.

Nowe technologie w budowie nawierzchni lotniskowych

Dotychczasowe doświadczenia krajowe w projektowaniu i budowie betonowych nawierzchni lotniskowych są takie, że projektowano je i wykonywano bez dybli i kotew. Dlatego większość uszkodzeń nawierzchni pojawiająca się w narożach i krawędziach jest skutkiem braku dybli. W ostatnim okresie projektanci oraz inwestorzy decydują się na wstawianie dybli w szczeliny. Zabieg ten zapewnia współpracę pomiędzy płytami oraz zmniejsza naprężenia występujące na krawędzi. Na rys. 10 pokazano schemat lokalizacji dybli. W przepisach różnych krajów stosuje się średnice i długości dybli w zależności od grubości płyty. Dla płyt o grubości powyżej 0,2 m, średnica dybli wynosi od 25 do 45 mm; długości od 0,4 do 0,8 m.

Na kilku lotniskach w Belgii zastosowano nawierzchnię betonową o ciągłym zbroje-



10. Lokalizacja dybli w nawierzchni betonowej



11. Nawierzchnia płyty postojowej o ciętym zbrojeniu na lotnisku w Lublinku

niu bez szczelin poprzecznych. W Polsce na lotnisku Lublinek k/Łodzi zaprojektowano i wykonano eksperymentalną nawierzchnię z betonu o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych. Na rys. 11 pokazano widok zbrojenia tej nawierzchni.

W przypadku nawierzchni asfaltowych również pojawiają się nowe technologie. Dotychczas stosowane były typowe mieszanki mineralno-asfaltowe z betonu asfaltowego. Na kilkunastu lotniskach w kraju zastosowano na drogach startowych i kołowania do warstw ścieralnych mieszankę typu SMA. Mieszanka ta ma zalety ze względu na zwiększoną zawartość asfaltu w stosunku do betonów asfaltowych, co jest korzystne biorąc pod uwagę proces starzenia. Jednak na kilku lotniskach zanotowano niepowodzenia w stosowaniu mieszanki SMA ze względu na niedogęszczenie i występowanie zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni. Związane jest to inną spe-

cyfiką układania nawierzchni w porównaniu z nawierzchniami drogowymi. Nawierzchnie lotniskowe są kilkakrotnie szersze od drogowych, co ma wpływ na technologię wykonania i pracę walców zagęszczających. Niezbędne jest tutaj duże doświadczenie operatorów walców drogowych.

W ostatnim okresie w budownictwie drogowym pojawiły się betony asfaltowe o wysokim module sztywności (AC WMS). Są to mieszanki mineralno-asfaltowe o podwyższonej odporności na spękania zmęczeniowe oraz koleinowanie i posiadające moduły sztywności zbliżone do betonów cementowych. Zaletą tych mieszanek jest znacznie większa zawartość asfaltu w porównaniu z mieszankami z betonów asfaltowych tradycyjnych. Zwiększona zawartość asfaltu przeciwdziała starzeniu się tych mieszanek, co jest istotne w przypadku nawierzchni lotniskowych obciążanych mniej intensywnie niż nawierzchnie drogowe.

Metody napraw i wzmacniania istniejącej nawierzchni

Uszkodzenia nawierzchni świadczą o jej „kondycji” i trwałości na przyszłość. W celu oceny stanu nawierzchni należy zinventaryzować istniejące uszkodzenia oraz przeprowadzić badania nośności nawierzchni. Badania nośności wskazują nam na rodzaj i zasięg uszkodzeń nawierzchni. W wyniku badań nośności określa się pozostałą trwałość zmęczeniową nawierzchni i wybiera się technologie i strategię modernizacji. Wyróżnia się następujące strategie modernizacji:

- remont (odnowa) – wykonywanie robót remontowych przywracających pierwotny stan nawierzchni,
- przebudowa (modernizacja) – wykonywanie robót, w wyniku których następuje podwyższenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych nawierzchni.

Wielkość uszkodzeń oraz nośność stanowi podstawę do zaprojektowania wzmocnienia oraz wyboru strategii modernizacji. W zależności od nośności i rodzaju dominującego parametru techniczno-eksploatacyjnego (tab. 2), planowane są się zabiegi modernizacyjne.

Istotne jest, aby we właściwym czasie podjąć odpowiednie interwencje modernizacyjne pozwalające zapewnić właściwy stan eksploatacyjny nawierzchni - bezpieczne użytkowanie drogi powinno trwać do końca założonego-projektowanego okresu eksploatacji. Ważne jest, ażeby wskaźnik klasyfikacyjny nawierzchni PCN (Pavement Classification Number) był większy od oddziaływania samolotu na nawierzchnie ACN (Aircraft Classification Number) dla założonej liczby obciążeń.

Zabiegi modernizacyjne podejmowane na nawierzchniach asfaltowych i betonowych różnią się istotnie. Znacznie łatwiej jest podejmować zabiegi na nawierzchniach asfaltowych. W przypadku remontu tych nawierzchni (utrata równości lub właściwości poślizgowych) wystarczy zastosować warstwę profilującą i ścieralną. Zabieg ten nie zmienia nośności. W przypadku remontu (wzmocnienia) stosuje się nowe warstwy asfaltowe lub nakładki z betonu cementowego (whitetopping).

W przypadku nawierzchni betonowych ich remont może polegać na zastosowaniu warstw ścieralnych z betonu asfaltowego. Zabieg ten w przypadku płyt klawiszujących na krawędziach (bez dybli) nie zawsze jest skuteczny ze względu na kopiowanie się szczelin do warstw asfaltowych. W przypadku płyt nieklawiszujących istnieje możliwość zastosowania warstwy typu SAMI oraz warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego lub SMA. Przebudowa natomiast nawierzchni betonowych polega na ułożeniu na istniejących płytach warstwy SAMI i nowych płyt

betonowych lub odprężeniu istniejących płyt betonowych. Odprężenie możliwe jest za pomocą spadających młotów, które powodują pękanie płyt na powierzchni 1-0,5 m², które następnie są wałowane i osadzone na podłożu za pomocą ciężkich walców wi-
bracyjnych. Na tak odprężone płyty układa się warstwy SAMI i nośne warstwy z betonu asfaltowego lub cementowego. Możliwe jest odprężenie płyt za pomocą ultradźwięków i następnie wzmocnienie warstwami z betonu asfaltowego lub cementowego. Na rys. 12 pokazano odprężanie płyt za pomocą ultradźwięków.

Ciekawym rozwiązaniem jest stosowanie przy remontach nawierzchni betonowych oraz sztywno-podatnych warstw typu SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer - warstwa pośrednia o właściwościach membrany adsorbującej naprężenia). Warstwa SAMI jest to warstwa zapobiegająca spękanom odbitym. Dzięki cechom lepkością warstwa SAMI przejmuje naprężenia występujące w sąsiedztwie spękań w niższej warstwie, odkształcając się w czasie i rozkładając naprężenia na większej powierzchni. Efektem tych działań jest zastąpienie jednego dużego pęknięcia, szeregiem mikrospeknięć o znikomej szkodliwości. Często podczas wzmocniania stosuje się układ kilku warstw SAMI.

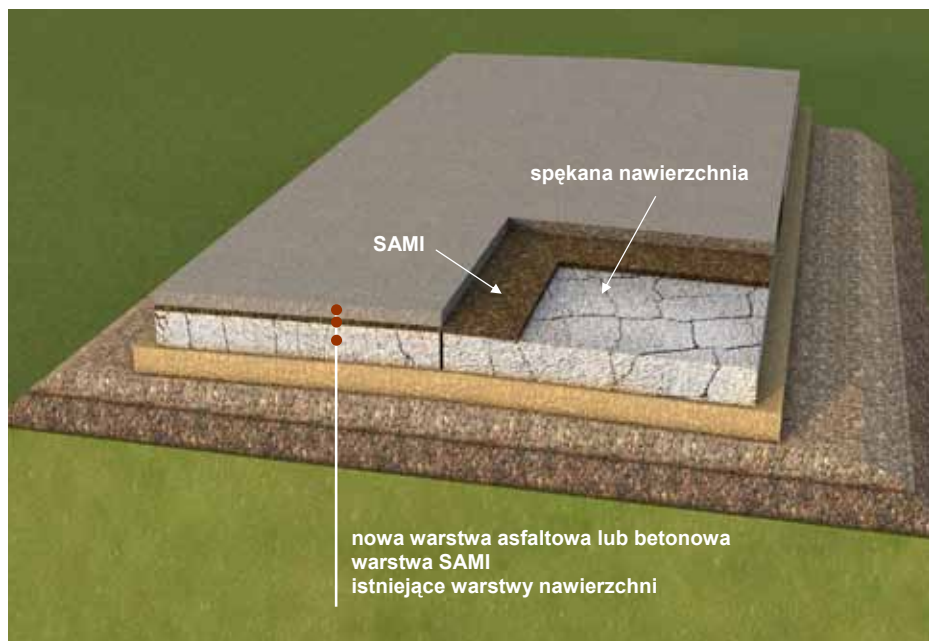
Doświadczenia krajowe wskazują na dużą efektywność zastosowania do warstw typu SAMI asfaltu modyfikowanego miazgą gumowym. Warstwa taka jest bardzo elastyczna i znacznie lepiej rozprasza naprężenia pochodzące od spękań. Na rys. 13 pokazano schemat zastosowania warstwy SAMI.

Podsumowanie

Z doświadczeń wynika, że nawierzchnie betonowe w długim okresie eksploatacji (30-40 lat) charakteryzują się niższymi kosztami utrzymania niż nawierzchnie asfaltowe. W tak długim okresie eksploatacji, możemy się również spodziewać wystąpienia mniejszej różnorodności uszkodzeń nawierzchni betonowych w porównaniu do nawierzchni asfaltowych, których planowany okres eksploatacji często nie przekracza 20 lat. W przypadku dobrze wykonanej nawierzchni betonowej najsłabszym punktem jest jedynie kontrola i pielęgnacja wypełnień w szczelinach podłużnych i poprzecznych. Na dalszą uwagę zasługuje rozwój klasycznych nawierzchni betonowych w kierunku „wiecznych” nawierzchni o ciągłym zbrojeniu. Jeżeli chodzi o zabiegi modernizacyjne to znacznie mniej problemów niosą ze sobą nawierzchnie asfaltowe, których remont i przebudowa może odbywać się poprzez frezowanie istniejących warstw lub wzmocnianie (układanie) nowych warstw. W przypadku nawierzchni betonowych należy



12. Odprężanie płyt za pomocą ultradźwięków



13. Zastosowanie warstwy SAMI

Tab.2. Planowane zabiegi modernizacyjne w zależności od dominującego parametru techniczno-eksploatacyjnego [1]

Grupa zabiegów	Dominujący parametr
Przebudowa (wzmocnienie)	Stan spękań, obniżona nośność i trwałość zmęczeniowa
Remont (wyrównanie + warstwa ścierna)	Równość podłoża, koleiny, stan powierzchni lub właściwości przeciwpoślizgowe

stosować bardziej złożone technologie modernizacji. Jednakże rozwój nowoczesnych technologii w budownictwie drogowo-lotniskowym umożliwia wykorzystanie ich do modernizacji nawierzchni betonowych. Przykładem jest technologia warstwy SAMI z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego miazgą gumowym. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych IBDiM, Warszawa 2001r.
- [2] Szydło A. Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego: teoria, wymiarowanie, realizacja, Polski Cement, 2004