

Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KWRNPP-2012

Opracowała Grupa Robocza w składzie:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

przewodniczący Grupy Roboczej

dr inż. Wojciech Bańkowski, mgr inż. Maciej Maliszewski, dr inż. Marcin Gajewski, mgr inż. Renata Horodecka, mgr inż. Andrzej Wróbel, Krzysztof Mirski, mgr inż. Tomasz Mechowski, mgr inż. Jacek Sudyka, dr inż. Mirosław Graczyk, dr inż. Lech Krysiński, dr inż. Cezary Kraszewski, mgr inż. Beata Gajewska, dr inż. Bożena J. Wilczek, prof. dr hab. inż. Kazimierz Kłosek, dr inż. Marcin Grygierek

Warszawa, listopad 2012

Spis treści

Przedmowa	5
1 Wprowadzenie	7
2 Określenia.....	7
3 Klasyfikacja techniczna dróg i obciążenie ruchem	8
3.1 Klasyfikacja funkcjonalna dróg	8
3.2 Klasyfikacja ruchu	8
4 Metodyka badań i kryteria oceny stanu nawierzchni asfaltowej w celu przygotowania jej naprawy.....	9
4.1 Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej	9
4.2 Ocena stanu istniejącej nawierzchni	10
4.2.1 Cel i zakres oceny stanu istniejącej nawierzchni	10
4.2.2 Zestawienie badań i czynności rozpoznawczych	13
4.2.3 Rozpoznanie wizualne	14
4.2.4 Ocena stanu podłoża istniejącej nawierzchni	14
4.2.5 Metodyka oceny stanu istniejącej nawierzchni	17
5 Wybór sposobu i zakresu naprawy nawierzchni z uwzględnieniem rodzaju uszkodzenia.....	19
6 Remont nawierzchni.....	21
6.1 Sposoby remontu nawierzchni	21
6.2 Remont nawierzchni w celu naprawy uszkodzeń powierzchniowych	21
6.3 Remont w celu naprawy trwałych odkształceń lepkoplastycznych warstw asfaltowych	21
6.4 Remont w celu naprawy spękań (pęknięć) nawierzchni	22
7 Przebudowa nawierzchni	24
7.1 Sposoby przebudowy nawierzchni	24
7.2 Projektowanie konstrukcji przebudowanej nawierzchni	24
7.3 Metody projektowania wzmocnień nawierzchni asfaltowych.....	24
7.4 Metoda ugięć.....	25
7.4.1 Ogólna koncepcja metody ugięć i jej ograniczenia	25
7.4.2 Ugięcie obliczeniowe	26
7.4.3 Ruch całkowity w okresie obliczeniowym	29
7.4.4 Określenie grubości zastępczej nakładki wzmacniającej.....	29
7.4.5 Określenie rzeczywistej grubości nakładki wzmacniającej.....	29
7.4.6 Przykład projektowania grubości nakładki wzmacniającej według metody ugięć.....	32

7.5	Metoda mechanistyczna	34
7.5.1	Ogólna koncepcja metody mechanistycznej	34
7.5.2	Procedura postępowania przy projektowaniu wzmocnienia metodą mechanistyczną	35
7.5.3	Wykonanie odwiertów i pobranie próbek z nawierzchni przeznaczonej do wzmocnienia.....	36
7.5.4	Określenie grubości warstw i rodzaju materiałów w istniejącej nawierzchni.....	36
7.5.5	Badania modułów i innych cech materiałów pobranych z nawierzchni niezbędnych do projektowania grubości nakładki wzmacniającej	37
7.5.6	Ocena istniejących warstw nawierzchni i wybór sposobu przebudowy	41
7.5.7	Przyjęcie wstępnej propozycji wzmocnienia nawierzchni.....	41
7.5.8	Określenie charakterystyki układu wielowarstwowego wzmacnianej konstrukcji nawierzchni	41
7.5.9	Określenie stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni.....	43
7.5.10	Określenie trwałości zmęczeniowej wzmacnianej konstrukcji nawierzchni	43
7.5.11	Przykład obliczania wzmocnienia konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczną... ..	47
8	Mrozoodporność podłoża	54
9	Poszerzenie jezdni i utwardzone pobocze	54
10	Zalecenia technologiczne doboru materiałów i warstw remontu lub przebudowy	55
10.1	Zalecenia poprawy warunków gruntowo-wodnych.....	55
10.2	Podstawowe zalecenia wykonania remontu lub przebudowy asfaltowej nawierzchni drogowej.....	56
10.3	Wykonanie nawierzchni asfaltowej.....	58
10.3.1	Materiały do wykonania nawierzchni asfaltowej.....	58
10.3.2	Materiały do uszczelnienia połączeń i krawędzi	59
10.3.3	Lepiszczą do skropienia podłoża	59
10.3.4	Podłoże pod warstwę asfaltową.....	60
10.4	Połączenie międzywarstwowe	61
10.5	Połączenia technologiczne	63
10.5.1	Uwagi ogólne	63
10.5.2	Złącza	63
10.5.3	Spoiny	64
10.5.4	Krawędzie	64
10.6	Grubość warstw nawierzchni	65
10.7	Zalecenia wyboru materiałów	66

10.8	Zalecenia wyboru techniki remontu.....	67
10.9	Zalecenia wyboru konstrukcji nawierzchni w specjalnych warunkach obciążenia	70
10.10	Zalecenia wyboru konstrukcji nawierzchni o zmniejszonej emisji hałasu.....	70
10.11	Zalecenia remontu lub przebudowy nawierzchni z lepiskiem smołowym.....	70
11	Naprawa nawierzchni na terenach górniczych	71
11.1	Wprowadzenie	71
11.2	Ważniejsze definicje	73
11.3	Podstawy prawne	78
11.4	Klasyfikacja terenów górniczych	78
11.5	Dane o planowanej eksploatacji górniczej	81
11.6	Ocena odporności nawierzchni drogowej na wpływy planowanej i dokonanej eksploatacji górniczej	82
11.7	Zasady monitoringu dróg na terenach górniczych i pogórnich	85
11.7.1	Wpływy deformacji ciągłych.....	85
11.7.2	Wpływy deformacji nieciągłych.....	85
11.7.3	Tereny pogórnice	86
11.8	Naprawa dróg na terenach górniczych i pogórnich	86
11.8.1	Ustalenia ogólne.....	86
11.8.2	Naprawa w obszarze wpływów deformacji ciągłych.....	87
11.8.3	Naprawa w obszarze wpływów deformacji nieciągłych i terenu pogórnicego.....	88
12	Przepisy i normy związane.....	88
	Załącznik A: Wyznaczenie ruchu całkowitego	94
	Załącznik B: Sposób wyznaczania poszczególnych frakcji oraz definicje rodzajów gruntów	94
	Załącznik C: Procedury pomiarowe i badawcze	94
	Załącznik D: Metody analityczne obliczania modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej.....	94
	Załącznik E: Zestawienie programów komputerowych wspomagających metody mechanistyczne projektowania konstrukcji nawierzchni	94
	Załącznik F: Karty technik napraw	94
13	Literatura	94

Przedmowa

Prezentujemy Państwu zaktualizowaną wersję Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KWRNPP wydanego w 2001 r. Obecny Katalog jest także uzupełnieniem zaktualizowanego Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KTKNPP wydanego w 2012 r. Trzeba przyznać, że jest uzupełnieniem bardzo potrzebnym i oczekiwanym, wzięwszy pod uwagę, że nawierzchnie naszych dróg są przede wszystkim remontowane lub przebudowywane, a budowanych nowych dróg jest stosunkowo niewiele. Trzeba też przyznać, że zaprojektowanie i wykonanie remontu, bądź przebudowy nawierzchni drogi jest trudniejsze niż nowej konstrukcji. Tak też jest z opracowaniem niniejszego Katalogu Wzmocnień i Remontów w porównaniu do katalogu typowych konstrukcji.

Nawierzchnia drogowa ulega uszkodzeniu pod wpływem rozmaitych czynników i w różny sposób. Najczęściej czynniki te oddziałują równocześnie, powodując wzajemne nakładanie się wpływu. Utrata nośności nawierzchni jest jednym z rodzajów uszkodzenia, lecz często towarzyszą jej spękania poprzeczne, zmęczeniowe, deformacje trwałe lepkoplastyczne warstw asfaltowych. Przedstawiany katalog nie ogranicza się jedynie do podania sposobu wzmocnienia nawierzchni, czyli wyznaczenia grubości nakładki nawierzchni. Przedstawia też zestaw zalecanych typowych technik naprawy nawierzchni wykazującej poszczególne rodzaje uszkodzeń.

W nowym KWRNPP uwzględniono zmiany obowiązujących norm i przepisów technicznych oraz nowe materiały i technologie wdrożone w ostatnich latach. Uwzględniono także nowe problemy polskiego drogownictwa – redukcja hałasu drogowego, stosowanie materiałów alternatywnych, w tym destruktu (granulatu) asfaltowego.

Szczególne uwagę zwrócono na właściwe rozpoznanie stanu nawierzchni – diagnozę. Decyzja o zakresie naprawy, remontu (bez wzmocnienia), czy przebudowy (ze wzmocnieniem), musi być oparta o rozpoznanie stanu nawierzchni, którego zakres powinien uwzględniać klasę drogi i kategorię ruchu (ograniczając zakres prac do niezbędnego minimum z objęciem diagnostyką wszystkich potencjalnych rodzajów uszkodzenia). Katalog podaje metodykę i zakres badań diagnostycznych. W ocenie stanu nawierzchni dróg o niższej kategorii ruchu wystarczająca jest ocena wizualna, wspomagana pomiarami ugięć sprężystych nawierzchni, jako narzędzia do projektowania konstrukcji nawierzchni. Ocena stanu nawierzchni dróg o wyższej kategorii ruchu wymaga zastosowania zmechanizowanych metod oceny. Wynika to z dwóch powodów. Po pierwsze metody te są obiektywne, w znacznym stopniu niezależne od operatora, a wobec tego dokładniejsze. Po drugie wobec zwiększenia natężenia ruchu na drogach jakakolwiek czynność wykonywana przez operatora w sposób tradycyjny, wymagający wejścia człowieka na drogę, staje się zbyt ryzykowne. Jeśli jest to możliwe, to czynności te należy automatyzować i wyposażać operatora w narzędzia oceny zautomatyzowanej.

Ocena stanu nawierzchni jest podstawą do podjęcia decyzji o sposobie i zakresie zabiegu: czy wystarczające jest przywrócenie pierwotnych parametrów nawierzchni, czyli remont (odnowa), czy też konieczne jest podniesienie parametrów nawierzchni na wyższy poziom wraz ze zwiększeniem nośności, czyli przebudowa (modernizacja). Kolejną decyzją jest określenie: czy można pozostawić istniejące warstwy nawierzchni i zastosować sposób w górę, czy też konieczna jest ich wymiana i trzeba wybrać sposób w głąb, bądź też sposób mieszany.

Opisano dwie metody wymiarowania konstrukcji nawierzchni.

Pierwsza z nich, prostsza i opisana szczegółowo, to metoda ugięć, znana i stosowana już wcześniej powszechnie w naszym kraju. Metoda ta może być stosowana w projektowaniu nawierzchni poddanych lżejszemu obciążeniu ruchem. Metodę tę zmodyfikowano w niniejszym Katalogu.

Druga z metod, trudniejsza i rzadziej stosowana, jest określana ogólnym terminem metody mechanistycznej. W istocie jest to grupa metod wykorzystujących analizę stanu naprężenia i odkształcenia w nawierzchni wraz z parametrami mechanicznymi oceny właściwości podłoża i materiałów warstw nawierzchni. Metody te polegają na wyznaczeniu stanu naprężenia i odkształcenia w konstrukcji nawierzchni i ich porównaniu do przyjętych kryteriów trwałości nawierzchni. Obliczenia te wykonywane są z użyciem programów komputerowych opracowanych na podstawie różnych przyjmowanych modeli reologicznych materiałów nawierzchni. Metody mechanistyczne wymagają indywidualnego projektowania konstrukcji nawierzchni wspomagane szczegółowym określeniem cech materiałów w istniejącej nawierzchni i w projektowanych owych warstwach.

W projektowaniu można stosować metody mechanistyczne według AASHTO, 1983 [1] lub nowej metody projektowania konstrukcji nawierzchni AASHTO-MEPDG [2] (metoda MEPDG podlega jednak ciągłemu doskonaleniu). Mogą być stosowane inne metody mechanistyczne z wykorzystaniem programów komputerowych, np. SPDM Shell, NOAH Nynas.

W wypadku mniej odpowiedzialnych konstrukcji nawierzchni (np. KR1-4) można posłużyć się typowymi danymi lub uproszczonymi pośrednimi metodami wyznaczenia potrzebnych właściwości materiałowych. Sposób taki jest z konieczności przybliżony i rozwiązanie daje mniejszy poziom niezawodności. Zaleca się zatem wykonanie szczegółowych badań terenowych i laboratoryjnych. W wypadku dróg o wyższej kategorii ruchu KR5-7 badania takie są konieczne.

W Katalogu podano przykłady stosowanych programów komputerowych oraz ogólne zasady stosowania metod mechanistycznych projektowania konstrukcji nawierzchni wraz z podaniem zestawu danych materiałowych, które są potrzebne do ich stosowania.

Mechanistycznych metod wymiarowania nie można oddzielić od zaawansowanych metod badawczych i pomiarowych materiałów i nawierzchni. Konieczny staje się rozwój technik badań laboratoryjnych w celu określenia parametrów materiałów, będących danymi wejściowymi do analizy mechanistycznej nawierzchni. Z drugiej strony niezbędna jest weryfikacja w postaci badania wykonanej nawierzchni, jak też badanie istniejącej nawierzchni w celu oceny jej pozostałej trwałości zmęczeniowej. Pomiary te wykonywane są ugięciomierzami z zastosowaniem analizy obliczeń odwrotnych (back-calculation analysis).

Każdemu z rodzajów uszkodzenia może być przypisany zestaw technik naprawy danego uszkodzenia. Inaczej należy naprawiać deformacje trwałe w podłożu, a inaczej spękania niskotemperaturowe, powstające na powierzchni nawierzchni. Techniki naprawcze w każdym zestawie różnią się istotnie między sobą, wykazując wady i zalety, które powinny decydować o wyborze w konkretnej sytuacji. Katalog podaje techniki z określeniem kryteriów doboru do konkretnych warunków, a także z podaniem szacunkowej, przeciętnej trwałości niektórych z nich. Pozwala to na uwzględnienie analizy efektywności kosztowej zabiegu w całym okresie eksploatacji (Whole Life Cost Analysis).

1 Wprowadzenie

Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych zawiera zalecenia wykonywania remontu i przebudowy istniejących nawierzchni dróg. Podano w nim podstawowe zalecenia dokonywania oceny stanu istniejącej nawierzchni i podejmowania decyzji o sposobie i zakresie naprawy.

Katalog ma na celu:

- uporządkowanie procesu projektowania napraw nawierzchni asfaltowych drogowych podatnych i półsztywnych
- upowszechnienie racjonalnych metod oceny (diagnozy) stanu istniejącej nawierzchni
- upowszechnienie metod mechanistycznych projektowania konstrukcji nawierzchni i jej wzmocnień
- wskazanie typowych racjonalnych technik naprawy nawierzchni – podanie ich zalecanych zastosowań.

Wyróżniono dwa sposoby naprawy: remont (bez konieczności wzmocnienia konstrukcji nawierzchni) i przebudowę (z koniecznością wzmocnienia konstrukcji nawierzchni).

Podano metody projektowania wzmocnienia konstrukcji nawierzchni: metodę ugięć i metodę mechanistyczną.

Metoda ugięć przeznaczona jest do projektowania konstrukcji nawierzchni dróg o mniejszym obciążeniu ruchu – o kategorii ruchu KR1-KR4.

Metoda mechanistyczna przeznaczona jest do projektowania konstrukcji nawierzchni dróg o większym obciążeniu ruchem – o kategorii ruchu KR5-KR7.

Uwzględniono zróżnicowanie zakresu stosowania metod projektowania wzmocnienia ze względu na obciążenie drogi ruchem – kategorię ruchu.

Katalog ma zastosowanie do dróg publicznych, które pod względem obciążenia ruchem mieszczą się w zakresie objętym w klasyfikacji Katalogu.

Pod względem klasyfikacji ruchu Katalog niniejszy jest zgodny z Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Pojazdy są klasyfikowane w trzech grupach, a obciążenie ruchem jest przeliczane na oś obliczeniową 100 kN. Podobnie jak w KTKNPP uwzględniono pojazdy o obciążeniu osi 115 kN. W razie potrzeby liczba osi obliczeniowych 100 kN może być przeliczona na liczbę innych osi obliczeniowych, np. 115 kN, według prawa czwartej potęgi.

2 Określenia

Remont (odnowa) drogi - wykonywanie robót remontowych przywracających pierwotny stan drogi, z wyłączeniem robót konserwacyjnych, porządkowych i innych zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa i wygody ruchu, w tym także odśnieżanie i zwalczanie śliskości zimowej.

Przebudowa (modernizacja) drogi - wykonywanie robót, w których wyniku następuje podwyższenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych istniejącej drogi.

Kontrola i ocena stanu nawierzchni - bieżące obserwacje stanu nawierzchni i okresowe oceny jej stanu.

Czasza ugięć nawierzchni – ugięcia nawierzchni pod zadaniem obciążeniem, zarejestrowane w osi działania obciążenia oraz w kilku punktach położonych w określonych odległościach od osi.

Odcinek jednorodny – odcinek drogi jednorodny pod względem konstrukcji nawierzchni, natężenia ruchu i wielkości ugięć oraz ewentualnie innych cech istotnych z punktu widzenia projektanta.

Moduł sprężystości – stała charakteryzująca materiał sprężysty. Moduł sprężystości jest stosunkiem naprężenia do odkształcenia. Rozróżnia się:

- moduł sprężystości wzdłużnej (w rozciąganiu i ściskaniu), E – moduł Younga
- moduł sprężystości postaciowej (w ścinaniu i skręcaniu), G – moduł postaciowy Kirchhoffa
- moduł sprężystości objętościowej (w sprężaniu wszechstronnym - ciśnieniu), K – moduł objętościowy Kirchhoffa.

Moduł zespolony – liczba zespolona równa stosunkowi zespolonego naprężenia do zespolonego odkształcenia w badaniach ośrodków liniowo lepkosprężystych pod obciążeniem dynamicznym lub powtarzalnym.

Moduł sztywności – przeniesienie pojęcia modułu sprężystości do charakterystyki asfaltu lub mieszanki mineralno-asfaltowej, które są materiałami lepkosprężystymi i wobec których pojęcie modułu sprężystego nie ma zastosowania [3]. Moduł sztywności asfaltu lub mieszanki mineralno-asfaltowej jest terminem używanym zwyczajowo jako zastępczy wobec bezwzględnej wartości modułu zespolonego (ang. norm of complex modulus) lub modułu sztywności sprężystej (ang. resilient modulus of elasticity lub elastic stiffness modulus).

Inne określenia zgodne z obowiązującymi normami, Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (GDDKiA, Politechnika Gdańska 2012) [4] oraz [5].

3 Klasyfikacja techniczna dróg i obciążenie ruchem

3.1 Klasyfikacja funkcjonalna dróg

Klasę drogi określa się według zasad podanych w Rozporządzeniu MTiGM [6]. Wyróżnia się następujące klasy dróg:

A	autostrady
S	ekspresowe
GP	główne ruchu przyspieszonego
G	główne
Z	zbiorcze
L	lokalne
D	dojazdowe.

3.2 Klasyfikacja ruchu

Do projektowania przebudowy nawierzchni przyjmuje się klasyfikację dróg według kategorii ruchu jak w katalogu KTKNPP.

Przebudowa nawierzchni projektowana jest na okres 20 lat. Do projektowania przyjmuje się prognozowaną sumaryczną liczbę równoważnych osi standardowych 100 kN (N_{100}) w całym okresie projektowym przypadającą na najbardziej obciążony pas ruchu. Zasadę wyznaczania wartości N_{100} podano w KTKNPP oraz w Załączniku A.

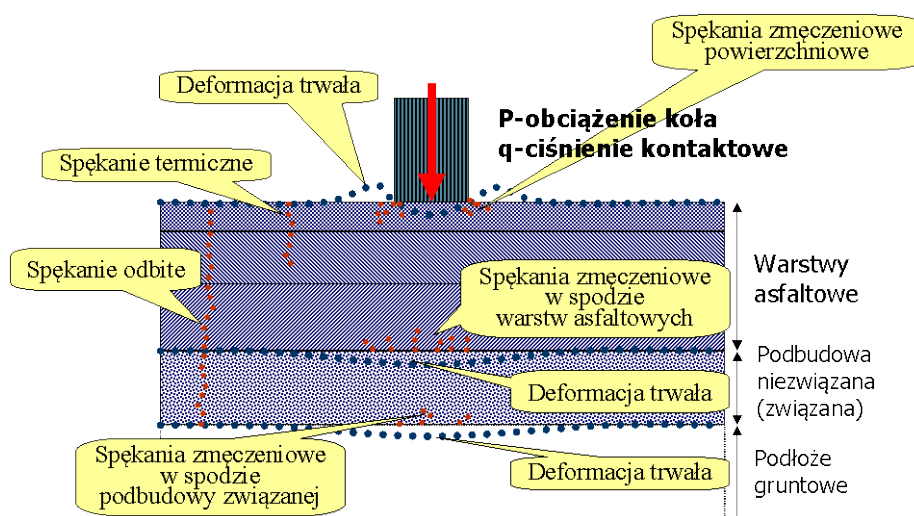
Przyjmuje się, że remont nawierzchni, gdy nie zachodzi potrzeba projektowania wzmocnienia konstrukcji nawierzchni, nie zwiększa trwałości zmęczeniowej nawierzchni w stosunku do założonej w chwili oddania nawierzchni do eksploatacji. W wypadku projektowania przebudowy nawierzchni i wzmocnienia konstrukcji następuje przedłużenie trwałości zmęczeniowej nawierzchni, a wówczas zachodzi konieczność weryfikacji wcześniej ustalonej kategorii ruchu i wyznaczenia nowej kategorii ruchu drogi na okres eksploatacji po przebudowie.

4 Metodyka badań i kryteria oceny stanu nawierzchni asfaltowej w celu przygotowania jej naprawy

4.1 Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej

Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej mogą być następujące (rys. 1):

- deformacje trwałe
 - o lepkoplastyczne warstw asfaltowych (koleiny lub tarki)
 - o strukturalne - odkształcenie podłoża
- spękania
 - o zmęczeniowe (ruch pojazdów)
 - o zmęczeniowe termiczne (cykle termiczne)
 - o termiczne (niska temperatura)
 - o odbite (z niższych warstw)
- uszkodzenia powierzchniowe.



Rysunek 1. Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej podatnej (na podbudowie niezwiązanej) lub półsztywnej (na podbudowie związanej spoiwem hydraulicznym)

Uszkodzenie nawierzchni może być generowane czynnikami klimatycznymi, ruchem pojazdów oraz specyficznymi właściwościami materiałów (tablica 1).

Tablica 1. Czynniki generujące uszkodzenia nawierzchni asfaltowych podatnych i półsztywnych

Rodzaj uszkodzenia		Czynnik generujący		
		Klimat	Ruch pojazdów	Materiał
Deformacje trwałe	Lepkoplastyczne		✓	
	Strukturalne		✓	
Spękania	Zmęczeniowe		✓	
	Zmęczeniowe termiczne	✓		
	Termiczne	✓		
	Odbite			✓
Uszkodzenia powierzchniowe	Ubytki lepiszcza	✓		
	Ubytki ziaren kruszywa	✓	✓	✓
	Ubytki warstwy ścieralnej	✓	✓	
	Wypolerowanie ziaren kruszywa		✓	
	Wypływ (plamy) lepiszcza	✓	✓	

Niektóre rodzaje uszkodzenia ograniczają się do powierzchni (deformacje warstw asfaltowych, uszkodzenia powierzchniowe), inne sięgają w głąb konstrukcji, bądź ich przyczyna leży głęboko pod powierzchnią (spękania odbite, deformacje strukturalne). Wybór sposobu i zakresu naprawy nawierzchni musi być oparty o prawidłową ocenę stanu nawierzchni i ustalenie rodzaju i przyczyny uszkodzeń.

4.2 Ocena stanu istniejącej nawierzchni

4.2.1 Cel i zakres oceny stanu istniejącej nawierzchni

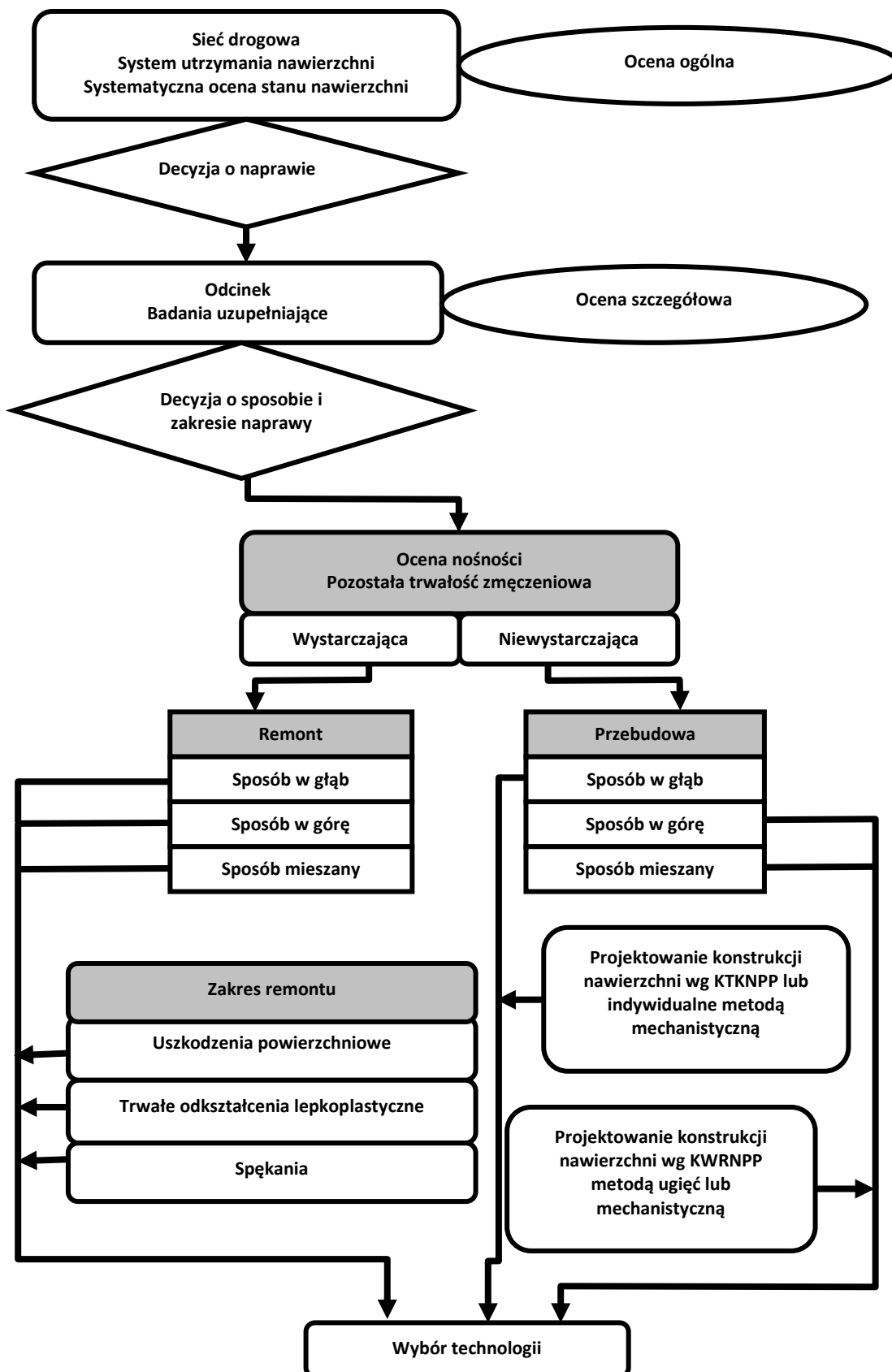
Stan nawierzchni określają następujące parametry:

- nośność
- równość
- koleiny
- stan powierzchni
- właściwości przeciwpoślizgowe.

Parametry te powinny podlegać systematycznej ocenie administratora drogi (sieci dróg) w ramach codziennej praktyki, w której należy posługiwać się systemem zarządzania drog lub co najmniej

systemem utrzymania nawierzchni i systemem oceny stanu nawierzchni. Zakres systematycznej oceny stanu nawierzchni określany jest przez organ zarządzający drogą. W ustalaniu tego zakresu i metod oceny należy uwzględnić klasę drogi i kategorię ruchu. W wypadku dróg najniższej klasy i kategorii ruchu wystarczająca jest na ogół ocena wizualna, a w ocenie dróg wyższej klasy i kategorii należy posługiwać się bardziej skomplikowanymi, lecz wiarygodniejszymi metodami oceny stanu cech nawierzchni.

Jeśli na podstawie systematycznej oceny stanu nawierzchni zostaną wskazane odcinki nawierzchni do naprawy, to należy przeprowadzić dodatkowe badania uzupełniające o zwiększonej częstotliwości i obejmujące badania materiałowe, które wskażą sposób i zakres naprawy, oraz na podstawie których będzie można zaprojektować wzmocnienie nawierzchni i wybrać technologie naprawy. Schemat postępowania pokazano na rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat postępowania w celu wyboru sposobu i zakresu naprawy

4.2.2 Zestawienie badań i czynności rozpoznawczych

W ramach rozpoznawczej oceny stanu nawierzchni odcinka drogi wytypowanego przez zarządcę do naprawy należy przeprowadzić badania i czynności według tablicy 2. W tej ocenie należy wykorzystać dane zgromadzone w ramach systematycznej oceny stanu, a w razie ich braku należy je uzupełnić.

Tablica 2. Badania i czynności rozpoznawcze do przygotowania naprawy nawierzchni

Rodzaj badania lub czynności rozpoznawczej	Kategoria ruchu		
	KR 1÷2	KR 3÷4	KR 5÷7
Rejestracja uszkodzeń nawierzchni	+	+	+
Rejestracja uszkodzeń poboczy	+	+	+
Przegląd wizualny stanu rowów	+	+	+
Przegląd wizualny odwodnienia powierzchniowego nawierzchni	+	+	+
Kwalifikacja gruntu w podłożu	+	+	+
Ugięcie sprężyste nawierzchni	+	+	+
Moduł sprężystości warstw		+	+
Ustalenie grubości i układu warstw konstrukcji nawierzchni	+	+	+
Rejestracja i ocena spękań poprzecznych nawierzchni	+	+	+
Równość podłużna	+	+	+
Równość poprzeczna	+	+	+
Właściwości przeciwpoślizgowe	+	+	+
Kategoria ruchu i klasa drogi	+	+	+
Wpływy górnicze	+	+	+

Wymienione badania i czynności mają charakter rozpoznawczy i powinny być wykonane w roku kalendarzowym poprzedzającym remont nawierzchni. Na podstawie tych badań i czynności należy podejmować decyzję o przeznaczeniu drogi (nawierzchni) do naprawy. Po podjęciu takiej decyzji powinny być wykonane badania uzupełniające które pozwolą sformułować sposób i zakres naprawy (remontu lub przebudowy) oraz szczegółowe zalecenia technologiczne przyjętej techniki remontu lub przebudowy.

Do badań uzupełniających należą m.in.:

- pomiar ugięć sprężystych nawierzchni dróg KR1-2
- szczegółowy pomiar (ze zwiększoną częstotliwością) ugięć sprężystych i czaszy ugięć wraz z oceną modułu sprężystości warstw nawierzchni dróg KR3-7
- laboratoryjna ocena właściwości materiałów warstw nawierzchni:
 - wskaźnika CBR podłoża
 - uziarnienia gruntu podłoża
 - modułu sprężystości warstw sztywnych
 - modułu sztywności warstw asfaltowych
 - odporności na koleinowanie warstw asfaltowych
 - składu mieszanek mineralno-asfaltowych
- szczegółowa ocena spękań nawierzchni:
 - indeks spękań
 - warunki podparcia krawędzi
 - współpracy płyt.

Zakres i częstotliwość badań powinny uwzględniać klasę i kategorię ruchu drogi oraz warunki lokalne. Powinny być przy tym wzięte pod uwagę szczegółowe zalecenia podane w niniejszym Katalogu.

Procedury pomiarowe i badawcze opisano w załączniku C.

4.2.3 Rozpoznanie wizualne

Celem rozpoznania wizualnego odcinka drogi przeznaczonego do remontu jest uzyskanie podstawowych informacji o stanie nawierzchni, poboczy i warunkach odwodnienia.

Rozpoznanie wizualne drogi przed jej remontem wykonuje się w każdym przypadku, bez względu na kategorię ruchu, do której została zakwalifikowana. Rozpoznanie to polega na wizualnym przeglądzie następujących elementów drogi:

- nawierzchni
- poboczy
- rowów.

4.2.4 Ocena stanu podłoża istniejącej nawierzchni

4.2.4.1 Cel i zakres oceny

W celu określenia grupy nośności podłoża drogi należy wykonać otwory badawcze w nawierzchni i rozpoznać rodzaj i stan gruntów do głębokości 2,0 m poniżej spodu konstrukcji nawierzchni. Sposób wykonania otworów powinien umożliwić pobranie próbek do badań oraz określenia swobodnego zwierciadła wody gruntowej. Lokalizację i ilość otworów badawczych należy ustalać w zależności od kategorii ruchu z uwzględnieniem miejsc najbardziej uszkodzonych oraz miejsc o obniżonej nośności, jak również przewidywanej zmienności konstrukcji w przekroju poprzecznym. Należy przy tym uwzględnić dane archiwalne o historii zmian konstrukcji nawierzchni, poszerzeniach drogi, korektach przebiegu trasy itp.

Otwory badawcze nie powinny być rozmieszczone rzadziej niż co 0,5 km.

4.2.4.2 Warunki wodne

W zależności od poziomu występowania zwierciadła wody gruntowej oraz charakterystyki korpusu drogowego warunki wodne podłoża konstrukcji nawierzchni należy ustalać wg tablicy 3.

Tablica 3. Klasyfikacja warunków wodnych podłoża konstrukcji nawierzchni

Lp.	Charakterystyka korpusu drogowego		Warunki wodne, gdy poziom swobodnego zwierciadła wody gruntowej występuje na głębokości poniżej spodu konstrukcji nawierzchni		
			< 1 m	1 ÷ 2	> 2 m
1	Wykopy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	złe	przeciętne	dobre
2	Nasypy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	przeciętne	przeciętne	dobre
3	Wykopy > 1 m	a	złe	przeciętne	przeciętne
		b	złe	przeciętne	dobre
4	Nasypy > 1 m	a	złe	przeciętne	dobre
		b	przeciętne	dobre	dobre

a pobocza nieutwardzone

b pobocza utwardzone i szczelne oraz dobre odprowadzenie wód powierzchniowych.

4.2.4.3 Klasyfikacja gruntu

Podział gruntów na grupy pod względem wysadzinowości przedstawiono w tablicy 4. Cechy gruntu powinny być określone na podstawie badań laboratoryjnych właściwości wymienionych w tablicy 4. Podstawowym kryterium klasyfikacji gruntu do odpowiedniej grupy jest zawartość drobnych cząstek gruntu, a dodatkowymi, stosowanymi w wypadkach wątpliwych: wskaźnik piaskowy SE_4 . Jeżeli ocena na podstawie badania różnymi metodami jest rozbieżna, to decyduje wynik najmniej korzystny.

Tablica 4. Podział gruntów pod względem wysadzinowości

Właściwość	Grupa gruntów (*)		
	Niewysadzinowy	Wątpliwy	Wysadzinowy
Rodzaj gruntu	Grunty kamieniste, gruboziarniste i drobnoziarniste, zawierające: $f'_i (*) \leq 2\%$ oraz $f'_{\pi} \leq 10\%$ (dawniej stosowane nazwy i symbole (**): rumosz niegliniasty (KR), żwir (Ż), pospółka (Po), piasek gruby (Pr), piasek średni (Ps), piasek drobny (Pd), żużel nierozpadowy)	Grunty kamieniste i gruboziarniste, zawierające: $f'_i > 2\%$ oraz grunt drobnoziarnisty zawierający: $f'_i \geq 0\%$ i $f'_{\pi} \leq 2\%$ $f'_{\pi} \geq 10\%$ i $f'_{\pi} < 30\%$ $f'_p > 68\%$ i $f'_p \leq 90\%$ (dawniej stosowane nazwy i symbole (**): piasek pylasty (P _π), zwietrzelina gliniasta (KWg), rumosz gliniasty (KRg), żwir gliniasty (Żg), pospółka gliniasta (Pog))	Grunty mało wysadzinowe <u>grunty zawierające</u> : $f'_i > 20$ i $f'_i \leq 100\%$ $f'_{\pi} \geq 0$ i $f'_{\pi} \leq 100\%$ $f'_p \geq 0$ i $f'_p < 80\%$ (dawniej stosowane nazwy i symbole (**): glina piaszczysta zwięzła (Gpz), glina zwięzła (Gz), glina pylasta zwięzła (G _{πz}), ił (I), ił piaszczysty (Ip), ił pylasty (I _π)) Grunty bardzo wysadzinowe: <u>grunty zawierające</u> : $f'_i \geq 2\%$ i $f'_i \leq 20\%$ $f'_{\pi} \geq 0\%$ i $f'_{\pi} \leq 100\%$ $f'_p \geq 0\%$ i $f'_p \leq 98\%$ oraz grunty zawierające: $f'_i \geq 0\%$ i $f'_i < 2\%$ $f'_{\pi} \geq 30\%$ i $f'_{\pi} \leq 100\%$ $f'_p \geq 68\%$ i $f'_p \leq 100\%$ (dawniej stosowane nazwy i symbole (**): piasek gliniasty (Pg), pył piaszczysty (πp), pył (π), glina piaszczysta (Gp), glina (G), glina pylasta (G _π), ił warwowy)
Zawartość cząstek wg PKN-CEN, ISO/TS 17892-4, [%] $\leq 0,063$ mm $\leq 0,02$ mm	< 15 < 3	$15 \div 30$ $3 \div 10$	> 30 > 10
Wskaźnik piaskowy SE4, wg PN-EN 933-8 (**), [%]	> 35	$25 \div 35$	< 25

(dawniej stosowane nazwy i symbole (**): piasek gliniasty (Pg), pył piaszczysty (πp), pył (π), glina piaszczysta (Gp), glina (G), glina pylasta (G_π), ił warwowy)

(*) Sposób wyznaczania poszczególnych frakcji oraz definicje rodzajów gruntów zawiera Załącznik Y

(**) Rodzaj gruntu wg PN-B-02480

(***) Warunki badania przyjęte wg Załącznika A do normy PN-EN 933-8

4.2.4.4 Grupa nośności podłoża

Ustalenie grupy nośności podłoża gruntowego wymaga określenia rodzaju i cech gruntu zalegającego do głębokości 1 m od spodu konstrukcji nawierzchni. Jeżeli w tej strefie występują warstwy różnych gruntów o miąższości poniżej 1 m, to do projektowania należy przyjąć warunki gruntowe wynikające z rodzaju i cech gorszego gruntu.

Grupę nośności podłoża G_i należy ustalać według tablicy 5. Grupę nośności podłoża G_i z gruntów antropogenicznych lub gruntów organicznych należy ustalać na podstawie indywidualnej oceny opartej o badania laboratoryjne gruntów.

W wypadku występowania bezpośrednio pod nawierzchnią warstw niezwiązanych (mrozoochronnych, odcinających lub odsączających) lub związanych spoiwem hydraulicznym o wytrzymałości $R_c \min=0.5$ MPa o grubości co najmniej 15cm, należy je zaliczyć do ulepszanego podłoża. Podstawowym kryterium oceny gruntów i kruszyw niezwiązanych występujących w tych warstwach jest ustalenie ich niewysadzinowego charakteru na podstawie właściwości podanych w tablicy 4 oraz wskaźnika nośności CBR, którego wartość powinna wynosić min. 10%.

Tablica 5. Grupy nośności podłoża G_i w zależności od warunków wodnych

Lp.	Rodzaj gruntów podłoża	Grupa nośności podłoża nawierzchni G_i , gdy warunki wodne są		
		dobrze	przeciętne	złe
1	Grunty niewysadzinowe	G1	G1	G1
2	Grunty wątpliwe	G1	G2	G3
3	Grunty mało wysadzinowe ^{x)}	G2	G3	G4
4	Grunty bardzo wysadzinowe ^{x)}	G3	G4	G4
^{x)} w stanie zwartym, półzwartym lub twardoplastycznym ($I_L \leq 0,25$ lub $I_c \geq 0,75$ wg PN-EN ISO 14688-2/Ap2: 2012); grunty w stanie miękkoplastycznym lub plastycznym wymagają indywidualnej oceny				

4.2.5 Metodyka oceny stanu istniejącej nawierzchni

4.2.5.1 Ocena cech powierzchniowych nawierzchni

Ocena powinna obejmować cechy nawierzchni podane wcześniej w p. 4.2.2. Metody badań wymieniono i opisano w Załączniku C.

4.2.5.2 Ocena rodzaju i jakości materiału warstw istniejącej nawierzchni

Celem oceny rodzaju i jakości warstw istniejącej nawierzchni jest ustalenie, czy warstwy te mogą spełnić funkcje, jakie im będą przypisane w nowej, przebudowanej nawierzchni. Warunkowane jest to właściwościami materiału warstwy oraz stanem naprężeń i odkształceń w nowej nawierzchni oraz wymaganiami wobec trwałości zmęczeniowej nawierzchni pod przewidywanym obciążeniem ruchem. Przykładowo dobra warstwa ścierna może nie spełnić wymagań stawianych warstwie wiążącej ze względu na większe naprężenia ścinające pod obciążeniem.

Ocena warstw istniejącej konstrukcji nawierzchni powinna określić w szczególności:

- rodzaj materiału w poszczególnych warstwach, w tym typ znajdującego się w nich lepiszcza, zwłaszcza z określeniem, czy znajdują się w nim składniki smołowe (jeśli tak, to

warstwy asfaltowe powinny być przetwarzane na miejscu w technologii recyklingu na zimno)

- grubość oraz jakość warstw asfaltowych (właściwości fizyczne i mechaniczne warstw, np. struktura, moduł sztywności)
- połączenie międzywarstwowe
- grubość oraz jakość warstw podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym (rodzaj spoiwa, właściwości fizyczne i mechaniczne, np. struktura, moduł sprężystości, wytrzymałość na ściskanie)
- grubość i jakość warstw podbudowy niezwiązanej (materiał, właściwości fizyczne, np. wskaźnik CBR, mrozoodporność, uziarnienie, wysadzinowość)
- rodzaj i jakość podłoża gruntowego ulepszanego i nie ulepszanego (materiał, wodoprzepuszczalność, wysadzinowość, wskaźnik CBR, mrozoodporność)
- warunki odwodnienia i poziom wody gruntowej.

Rodzaj i jakość warstw nawierzchni może być określona badaniami laboratoryjnymi z wykorzystaniem doświadczenia materiałowo-technologicznego i konstrukcyjnego projektanta.

4.2.5.3 ***Ocena odporności na deformacje trwałe lepkoplastyczne warstw asfaltowych nawierzchni (procedura ?, załącznik C)***

Istniejące warstwy nawierzchni zaleca się poddać ocenie odporności na deformacje trwałe lepkoplastyczne, jeśli mają być pozostawione w nowej konstrukcji nawierzchni. Zaleca się dokonać oceny na podstawie wyników badań laboratoryjnych próbek pobranych z warstw nawierzchni metodą badania koleinowania wg WT-2 2010 (norma PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu).

Procedurę pomiarową opisano w Załączniku C.

Zaleca się, aby odrębnej ocenie poddać:

- każdy pas jezdni, a zwłaszcza wydzielić skrajny prawy pas jezdni (i ewentualnie inne pasy obciążone ciężkim ruchem)
- każdą warstwę nawierzchni, a zwłaszcza warstwę ścieralną.

4.2.5.4 ***Ocena spękań nawierzchni***

Ocena spękań nawierzchni powinna mieć na celu określenie:

- przyczyny spękań i stopnia ich szkodliwości
- zasięgu spękań w głąb konstrukcji nawierzchni
- zakresu spękań (udziału powierzchni spękanej).

W celu dokonania szczegółowej oceny spękań nawierzchni należy dodatkowo określić:

- indeks spękań, będący miarą intensywności spękań (procedura ?, załącznik C)
- współpracę krawędzi płyt w pęknięciu (procedura ?, załącznik C)
- warunki podparcia krawędzi pęknięcia (procedura ?, załącznik C).

Przyjęto następującą klasyfikację odcinków nawierzchni pod względem indeksu spękań:

- $IS \leq 1$ odcinki nie spękane
- $1 < IS \leq 3$ odcinki średnio spękane
- $IS > 3$ odcinki bardzo spękane.

Na podstawie tego podziału zaleca się podejmować decyzję o całkowitej, powierzchniowej naprawie spękań, bądź pojedynczych spękań.

5 Wybór sposobu i zakresu naprawy nawierzchni z uwzględnieniem rodzaju uszkodzenia

Wybór sposobu i zakresu naprawy powinien być dokonany na podstawie:

- istniejącego i przewidywanego obciążenia ruchem drogowym
- oceny stanu technicznego nawierzchni na podstawie wyników przeprowadzonych oględzin i badań
- dostosowania nośności istniejącej nawierzchni do warunków przewidywanego obciążenia ruchem
- konieczności naprawy uszkodzeń nawierzchni w zależności od ich rodzaju i genezy.

Oceniając stan istniejącej nawierzchni i decydując o zakresie i sposobie naprawy, należy też rozważyć ewentualne poszerzenie przekroju poprzecznego drogi.

Przed podjęciem wyboru o sposobie naprawy konieczne jest określenie, czy naprawa nawierzchni powinna być wykonana jako:

- remont (bez wzmocnienia, czyli bez zwiększenia nośności nawierzchni), czy
- przebudowa (ze wzmocnieniem, czyli ze zwiększeniem nośności nawierzchni).

Kryterium oceny jest stwierdzenie na podstawie oceny obciążenia ruchem i oceny stanu nawierzchni, czy remont obecnej konstrukcji nawierzchni bez jej wzmocnienia jest wystarczający, aby przenieść przewidywany ruch pojazdów w projektowanym czasie eksploatacji tej nawierzchni, czy też konieczna jest jej przebudowa, zapewniająca zwiększenie jej nośności.

Ocena nośności nawierzchni dróg powinna być dokonywana na podstawie pomiarów ugięć miarodajnych. Ocena ta powinna uwzględniać analizę trwałości zmęczeniowej istniejącej konstrukcji nawierzchni. Należy przy tym mieć świadomość, że wymiana warstwy (lub warstw) stanowi również wzmocnienie, jeśli nowe warstwy nawierzchni mają większą trwałość zmęczeniową niż warstwy istniejące.

Sposób remontu lub przebudowy powinien być wybrany z uwzględnieniem:

- ograniczeń wysokościowych, np. krawężniki, skrajnia obiektów
- obciążenia urządzeń podziemnych
- ujednolodzenia przekroju poprzecznego i podłużnego nawierzchni
- poprawy przekroju poprzecznego i podłużnego nawierzchni
- poprawy niwelety drogi
- projektowanego poszerzenia jezdni
- przydatności pozostawionych warstw do spełnienia nowej funkcji w nawierzchni (np. obecna warstwa ścieralna może nie spełnić funkcji warstwy wiążącej ze względu na inne warunki naprężenia i odkształcenia pod obciążeniem)
- poprawy odwodnienia
- poprawy warstwy odsączającej
- poprawy warstwy wzmacniającej podłoże
- poprawy warunków gruntowo-wodnych podłoża

- dostępności materiałów
- możliwości organizacji ruchu i ewentualnych objazdów podczas robót
- przyszłych planów przebiegu i funkcji drogi oraz przewidywanego obciążenia ruchem.

Ze względów ekonomicznych i technicznych należy dążyć do ujednoludnienia konstrukcji nawierzchni w przekroju poprzecznym i podłużnym. Niejednorodność konstrukcji nawierzchni powoduje zróżnicowanie warunków pracy nawierzchni i szybkie powstawanie lokalnych nierówności w przekroju poprzecznym lub podłużnym. Nierówności takie powodują potęgują efekt obciążenia dynamicznego nawierzchni i jej przyspieszone niszczenie. Nadmierne zróżnicowanie i rozdrobnienie robót stanowi również niepotrzebne i zbyt kosztowne utrudnienie ich wykonania. W projektowanym remoncie nawierzchni należy zatem dążyć do jak najmniejszego zróżnicowania sposobów i zakresu remontu.

Decydując o pozostawieniu istniejących warstw nawierzchni, należy upewnić się, że nie pozostaną w konstrukcji warstwy słabe, mogące zmniejszyć odporność na deformacje lepkoplastyczne naprawionej nawierzchni (syndrom tortu).

6 Remont nawierzchni

6.1 Sposoby remontu nawierzchni

Sposób remontu nawierzchni może być:

- w głąb
- w górę
- mieszany.

Sposób w głąb – remont nawierzchni polegający na wymianie warstw istniejącej nawierzchni bez podnoszenia niwelety drogi (może jedynie zachodzić konieczność nieznacznej korekty).

Sposób w górę – remont nawierzchni polegający na wykonaniu nakładki (jednej lub kilku warstw) o łącznej grubości nie większej niż 5 cm.

Sposób mieszany – remont nawierzchni polegający na połączeniu wymiany istniejących warstw z podniesieniem niwelety drogi o nie więcej niż 5 cm.

6.2 Remont nawierzchni w celu naprawy uszkodzeń powierzchniowych

W podejmowaniu decyzji o remoncie nawierzchni w celu naprawy uszkodzeń powierzchniowych należy kierować się kryteriami oceny wizualnej, współczynnika tarcia, równości podłużnej i poprzecznej.

Decyzję o zakresie naprawy uszkodzeń nawierzchni zaleca się podejmować według następującego kryterium uszkodzonej powierzchni:

- częściowa, jeśli co najwyżej 10% powierzchni nawierzchni wykazuje uszkodzenia
- całkowita, jeśli więcej niż 10% powierzchni nawierzchni wykazuje uszkodzenia.

6.3 Remont w celu naprawy trwałych odkształceń lepkoplastycznych warstw asfaltowych

Jeśli ocena stanu nawierzchni (badanie ugięć sprężystych i ocena pozostałej trwałości zmęczeniowej) nie wskazują na konieczność wzmocnienia nawierzchni, a nawierzchnia wykazuje deformacje lepkoplastyczne, to należy naprawić warstwy asfaltowe wykazujące zbyt małą odporność na odkształcenia.

W takim wypadku należy zastosować technikę gwarantującą eliminację wady materiałowej warstw asfaltowych. Zaleca się wymienić warstwy asfaltowe, jako najbardziej skuteczny sposób zwiększenia odporności na deformacje nawierzchni. Należy w takim wypadku wykorzystać w jak największym zakresie usunięte warstwy asfaltowe, np. stosując recykling w otaczarce. Destrukt asfaltowy uzyskany z usuniętych warstw asfaltowych należy przetworzyć na granulát asfaltowy, który należy selekcionować i wykorzystać w nowych mieszankach mineralno-asfaltowych (zgodnie z zapisami w WT-2 2010).

W uzasadnionych wypadkach można zastosować recykling na gorąco na miejscu, jeśli materiał wymienianych warstw jest jednorodny i istnieje możliwość wyraźnej poprawy składu mieszanki mineralno-asfaltowej.

Zasięg wymiany warstw powinien być ustalony na podstawie badania koleinowania próbek pobranych z nawierzchni według opisu w załączniku Y. Ocena powinna uwzględniać warunki lokalne, rozkład obciążenia na pasach jezdni, układ warstw.

6.4 Remont w celu naprawy spękań (pęknięć) nawierzchni

W podejmowaniu decyzji o remoncie nawierzchni w celu naprawy uszkodzeń powierzchniowych należy kierować się kryteriami oceny wizualnej oraz oceny indeksu spękań (intensywności spękań), współpracy w obrębie pęknięcia oraz warunków podparcia według załącznika Y.

Na podstawie indeksu spękań (p. 4.2.5.4) należy decydować, czy naprawiać pojedynczo pęknięcia, czy wykonać naprawę całej powierzchni w postaci membrany przeciwspekaniowej.

Jeśli odcinek nawierzchni jest nie spękany lub średnio spękany według powyższej klasyfikacji, to zaleca się naprawę pojedynczych pęknięć.

Jeśli odcinek nawierzchni jest bardzo spękany według powyższej klasyfikacji, to zaleca się wykonanie ciągłej naprawy całej spękanej powierzchni, np. wykonanie membrany przeciwspekaniowej na całej powierzchni.

W każdym wypadku ostateczną decyzję należy podjąć po wnikliwej, indywidualnej analizie, biorąc pod uwagę także przewidywaną propagację pęknięć i zwiększanie indeksu spękań w czasie.

W podjęciu decyzji o wyborze techniki naprawy pęknięć nawierzchni zaleca się kierować wskazówkami według tablicy 6.

Tablica 6. Wskazówki doboru techniki naprawy powierzchniowej spękań nawierzchni (bez wzmocnienia nawierzchni)

Rodzaj spękania	Przyczyna spękania	Sposób naprawy					
		Uszczelnienie*)	Remixing	Naprawa płytka	Naprawa z zastosowaniem geosyntetyków		
					Naprawa głęboka (stabilizacja podparcia krawędzi)		Naprawa powierzchniowa pod nowe warstwy asfaltowe
					Wycięcie warstw do podłoża	Iniekcja	
Spękania niskotemperaturowe poprzeczne	Skurcz termiczny warstw asfaltowych	+		+		+	
Spękania odbite poprzeczne (dobre podparcie krawędzi)	Skurcz termiczny podbudowy związanej (sztywnej)	+		+		+	
Spękania odbite poprzeczne (brak podparcia krawędzi)	Skurcz termiczny podbudowy i ścinanie od obciążenia ruchem, prostopadle do krawędzi				+		+
Spękania odbite podłużne	Ścinanie od obciążenia ruchem, równoległe do pęknięcia	+		+		+	
Spękania w spoinie technologicznej	Niestaranność wykonania	+	+			+	
Spękania podłużne w śladzie koleiny	Niewystarczająca nośność	++)				+	
Spękania siatkowe	Niewystarczająca nośność	++)				+	
Spękania blokowe	Skurcz termiczny zmęczeniowy	+				+	

Uwagi: *) uszczelnienie spękania zbyt duże w wypadku recyklingu warstw nawierzchni

**) uszczelnienie spękania poprzedzające ułożenie warstw wzmacniających

7 Przebudowa nawierzchni

7.1 Sposoby przebudowy nawierzchni

Sposób przebudowy nawierzchni może być:

- w głąb
- w górę
- mieszany.

Sposób w głąb – przebudowa nawierzchni polegająca na wymianie warstw istniejącej nawierzchni ze wzmocnieniem konstrukcji bez podnoszenia niwelety drogi (może jedynie zachodzić konieczność nieznacznej korekty).

Sposób w górę – przebudowa nawierzchni polegająca na wykonaniu nakładki (jednej lub kilku warstw) o grubości wynikającej z koniecznego wzmocnienia konstrukcji.

Sposób mieszany – przebudowa nawierzchni polegająca na połączeniu wymiany istniejących warstw ze wzmocnieniem konstrukcji i z podniesieniem niwelety drogi.

7.2 Projektowanie konstrukcji przebudowanej nawierzchni

W wypadku przebudowy w głąb lub przebudowy mieszanej z wymianą istniejącej nawierzchni nową konstrukcję nawierzchni należy projektować zgodnie z katalogiem KTKNPP. Możliwe jest indywidualne projektowanie konstrukcji nawierzchni z wykorzystaniem metod mechanistycznych (mechanistyczno-empirycznych), zwłaszcza gdy zachodzi konieczność rozwiązania nietypowych problemów lub zastosowania indywidualnych i nowatorskich rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych.

W wypadku przebudowy w górę lub mieszanej z pozostawieniem wszystkich lub części istniejących warstw należy posłużyć się jedną z metod wymiarowania wzmocnień nawierzchni podanych w p. 7.3.

Decyzja o pozostawieniu istniejących warstw nawierzchni powinna być podjęta na podstawie analizy wyników badań stanu nawierzchni i oceny przydatności warstw w konstrukcji.

Przebudowę nawierzchni należy projektować przy założeniu 20-letniego okresu obliczeniowego eksploatacji nawierzchni po wykonaniu jej wzmocnienia.

W uzasadnionych wypadkach administrator drogi może zmniejszyć założony okres obliczeniowy z 20 lat na okres nie krótszy od 10 lat, po uzyskaniu prawem przewidzianej decyzji. Przyczyną zmniejszenia okresu obliczeniowego poniżej 20 lat może być brak wystarczających funduszy na roboty remontowe albo przewidywane częstsze nakładki w ramach kolejnych robót utrzymaniowych. Wówczas należy jednak obliczyć grubość wzmocnienia w obu wariantach: na okres 20 lat i na przyjęty krótszy okres obliczeniowy oraz przeprowadzić analizę kosztów budowy, utrzymania i użytkownika w całym okresie eksploatacji.

7.3 Metody projektowania wzmocnień nawierzchni asfaltowych

Do projektowania wzmocnień nawierzchni asfaltowych przyjęto dwie metody:

- metodę ugięć, opartą o badania belką Benkelmana albo inną równorzędną metodą
- metodę mechanistyczną.

Wybór metody projektowania powinien być zależny od dwóch czynników:

- konstrukcji nawierzchni - podatna lub półsztywna
- kategorii ruchu - od KR1 do KR7.

W wyborze metody projektowania należy kierować się zasadami określonymi w tablicy 7.

Tablica 7. Wybór metody projektowania wzmocnienia w zależności od kategorii ruchu i typu konstrukcji nawierzchni

Kategoria ruchu	Typ konstrukcji nawierzchni	
	Podatna	Półsztywna
KR1 i KR2	Metoda ugięć	Metoda ugięć (metoda mechanistyczna)
KR3 i KR4	Metoda mechanistyczna (metoda ugięć)	
KR5 i KR7	Metoda mechanistyczna na podstawie badań ugięciomierzem dynamicznym FWD i laboratoryjnych badań materiałowych	

Uwagi:

metodę mechanistyczną zaleca się stosować w razie wątpliwości co do poprawności rozwiązania uzyskanego metodą ugięć, dotyczy to zwłaszcza konstrukcji półsztywnej

- jako nawierzchnię półsztywną należy rozumieć taką, w której pod warstwami asfaltowymi jest warstwa związana spoiwem hydraulicznym, np.: cementem, żużlem granulowanym, popiołami lotnymi lub ich mieszaniną
- jeżeli warstwa związana spoiwem hydraulicznym jest oddzielona od warstw asfaltowych warstwą z kruszywa niezwiązanego, to nawierzchnię należy traktować jako podatną
- w wymiarowaniu wzmocnień nawierzchni podatnych i półsztywnych kategorii ruchu od KR5 do KR7 należy stosować dokładną analizę mechanistyczną z wykorzystaniem badań konstrukcji nawierzchni metodą ugięciomierza udarowego FWD i laboratoryjne badania materiałów pobranych z nawierzchni (metoda ugięć belką Benkelmana nie jest w tym przypadku obowiązkowa, ponieważ brak jest doświadczeń przy jej stosowaniu w nawierzchniach do bardzo ciężkiego ruchu).

Jeśli dwie stosowane metody (ugięć i mechanistyczna) dają rozbieżne wyniki, to projektant powinien dokonać wyboru rozwiązania projektowego w zależności od własnego doświadczenia i od analizy trafności zastosowania każdej z metod w konkretnym wypadku.

7.4 Metoda ugięć

7.4.1 Ogólna koncepcja metody ugięć i jej ograniczenia

Metoda ugięć opiera się na założeniu, że trwałość nawierzchni asfaltowej jest zależna od maksymalnego ugięcia sprężystego nawierzchni, występującego bezpośrednio pod punktem obciążenia. Wyniki badań na odcinkach doświadczalnych i na istniejących nawierzchniach wykazały, że generalnie biorąc, im większe maksymalne ugięcie sprężyste nawierzchni, tym niższa trwałość zmęczeniowa, czyli mniejsza ilość obciążeń, jaką może przenieść nawierzchnia do jej uszkodzenia. Przyjmuje się założenie, że dla określonego obciążenia ruchem istnieje takie ugięcie dopuszczalne, które zapewnia prawidłową pracę nawierzchni w ustalonym okresie obliczeniowym. Jeżeli zmierzone ugięcie jest większe od dopuszczalnego, to należy wykonać nakładkę o takiej grubości, aby zmniejszyć ugięcie do wartości dopuszczalnej. Koncepcja ta była i jest stosowana do projektowania grubości wymaganych nakładek wzmacniających.

Należy jednak zdawać sobie sprawę z ograniczeń metody ugięć. Wymienić można kilka istotnych ograniczeń.

Pierwsze ograniczenie wiąże się z faktem, że maksymalne ugięcie sprężyste, zmierzone bezpośrednio pod punktem obciążenia, nie daje obrazu o kształcie czaszy ugięcia, czyli inaczej mówiąc o promieniu

krzywizny ugięcia. Przy tym samym ugięciu maksymalnym promień krzywizny może być mniejszy lub większy i zależy on w głównej mierze od typu konstrukcji nawierzchni i od konfiguracji jej warstw. Przy takim samym ugięciu maksymalnym, ale przy mniejszym promieniu krzywizny występują większe odkształcenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych i w konsekwencji mniejsza jest trwałość zmęczeniowa nawierzchni. I odwrotnie, przy takim samym ugięciu maksymalnym, ale przy większym promieniu krzywizny, mniejsze będą odkształcenia rozciągające i większa będzie trwałość zmęczeniowa.

Drugie ograniczenie metody ugięć wiąże się z faktem, że proces zmian ugięć nawierzchni w miarę upływu lat eksploatacji jest bardzo złożony. Co najmniej dwa czynniki wpływają na ten proces. Starzenie warstw asfaltowych powoduje wzrost ich sztywności i zmniejszenie ugięć sprężystych w miarę upływu czasu. Z drugiej strony oddziaływanie intensywnego ruchu i czynników atmosferycznych prowadzi do zmian destrukcyjnych w nawierzchni i do zwiększenia jej ugięć. Zmierzone ugięcia są wypadkową co najmniej tych dwóch procesów. Proces zmian ugięć w czasie przebiega w różnorodny sposób, w zależności od konstrukcji nawierzchni i właściwości materiałów w jej warstwach.

Trzecie ograniczenie wynika z dużego wpływu czynników lokalnych na mierzone ugięcia. Ugięcia ulegają zmianom wraz z porą roku, wilgotnością podłoża, warunkami odwodnienia drogi, temperaturą warstw asfaltowych i z innymi czynnikami.

Czwarte ograniczenie dotyczy projektowania wzmocnień nawierzchni półsztywnych (na podbudowach związanych spoiwem hydraulicznym). W pierwszej fazie pracy tych nawierzchni występują stosunkowo małe ugięcia ze względu na dużą sztywność podbudowy. Ugięcia tych nawierzchni znacznie rosną wtedy, gdy wystąpią spękania podbudów związanych cementem. Charakter ugięć nawierzchni półsztywnych jest inny niż podatnych, ale nie ma dotychczas możliwości dokładnego uwzględnienia tego zjawiska w metodzie ugięć.

Maksymalne ugięcia sprężyste są skorelowane z trwałością nawierzchni, ale zależność ta jest bardzo złożona i może być różna dla różnych typów konstrukcji nawierzchni. Stosując metodę ugięć, należy zdawać sobie sprawę z jej ograniczeń, które w naturalny sposób wpływają na wyniki projektowania. Podstawowe założenie metody ugięć o tym, że istnieje ścisła empiryczna zależność pomiędzy ugięciem maksymalnym a trwałością nawierzchni nie zawsze jest bowiem w pełni zachowane.

7.4.2 Ugięcie obliczeniowe

Ugięcie obliczeniowe jest to ugięcie sprężyste nawierzchni przyjęte do projektowania grubości nakładki na danym odcinku jednorodnym drogi.

Pomiary ugięć sprężystych powinny być wykonane według procedury opisanej w załączniku C. Drogę przeznaczoną do wzmocnienia należy podzielić na odcinki jednorodne o zbliżonej wielkości ugięć sprężystych.

Ugięcie obliczeniowe należy obliczyć dla każdego odcinka jednorodnego z następującego wzoru:

$$U_{obl} = U_m \cdot f_T \cdot f_S \cdot f_P \quad \text{Równanie 1}$$

w którym:

U_{obl} ugięcie obliczeniowe

U_m miarodajne ugięcie sprężyste obliczone ze wzoru:

$$U_m = U_{sred} + 2S_U \quad \text{Równanie 2}$$

f_T współczynnik temperaturowy, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na temperaturę pomiaru ugięć

f_S współczynnik sezonowości, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na porę roku, w której wykonano pomiary ugięć

f_P współczynnik podbudowy, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na rodzaj podbudowy występującej na danym odcinku jednorodnym

U_{sred} średnie ugięcie sprężyste dla danego odcinka jednorodnego

S_U odchylenie standardowe ugięć sprężystych dla danego odcinka jednorodnego.

Ugięcie miarodajne U_m , określone wzorem (3), obliczane jest przy poziomie ufności równym 98%. Oznacza to, że prawdopodobieństwo wystąpienia ugięć większych niż miarodajne jest równe 2%. Wówczas nakładka wzmacniająca nawierzchnię będzie niedowymiarowana tylko na 2% długości odcinka jednorodnego. Taki poziom ufności został przyjęty w metodzie ugięć według Instytutu Asfaltowego [7].

Współczynnik temperaturowy f_T koryguje wyniki pomiarów ugięć sprężystych wykonanych w różnej temperaturze warstw asfaltowych i sprowadza je do wartości równoważnych odpowiadających temperaturze miarodajnej, czyli średniej temperaturze warstw asfaltowych w okresie wiosennym. Do wyznaczenia współczynnika temperaturowego należy wyznaczyć temperaturę warstw asfaltowych w czasie pomiaru ugięć zgodnie z procedurą podaną w Załączniku C. Jako temperaturę równoważną warstw asfaltowych przyjęto +20°C. Współczynnik temperaturowy f_T określa się na podstawie wzoru:

$$f_T = 1 + 0,02(20 - T) \quad \text{Równanie 3}$$

w którym:

T temperatura warstw asfaltowych, w której wykonano badanie, °C.

Wzór ten ustalono w IBDiM na podstawie badań wykonanych na Długoterminowych Odcinkach Testowych w Polsce.

Współczynnik sezonowości f_S zależy od okresu przeprowadzania pomiarów. Jest on równy jedności ($f_S=1$), jeżeli pomiary zostały wykonane w porze roku najbardziej krytycznej ze względu na nośność nawierzchni. W metodzie Instytutu Asfaltowego podano, że w Kanadzie przy przeliczaniu ugięć zmierzonych jesienią na ugięcia wiosenne stosuje się współczynnik wzrostu $f_S = 1,8$. W Polsce przyjmuje się na ogół, że najbardziej krytycznym okresem, w którym występują największe ugięcia, jest okres wiosenny bezpośrednio po rozmarznięciu podłoża gruntowego. Znanie są jednak doniesienia, że największe ugięcia stwierdzono nie wiosną, ale w okresie deszczowej jesieni. Duże ugięcia wystąpić mogą również latem, gdy warstwy asfaltowe charakteryzują się małą sztywnością w wysokiej temperaturze. Zaleca się prowadzenie pomiarów w okresie wiosennym. Należy unikać wykonywania pomiarów poza okresem krytycznym. Do wyników pomiarów ugięć wykonanych w innym okresie należy podchodzić z dużą ostrożnością. Jeżeli projektant zamierza uwzględnić pomiary wykonane poza okresem krytycznym, to powinien przyjąć następujący współczynnik korygujący:

- marzec 1,00
- kwiecień 1,04

- maj 1,08
- czerwiec 1,12
- lipiec 1,15
- sierpień 1,17
- wrzesień 1,20
- październik 1,22
- listopad 1,25
- grudzień 1,28

Podane wartości współczynnika f_s ustalono na podstawie wyników pracy [8].

Współczynnik podbudowy f_p wprowadzono, aby uwzględnić inne zachowanie się nawierzchni podatnych niż nawierzchni półsztywnych pod obciążeniem. Pod takim samym obciążeniem ruchem nawierzchnie półsztywne (na podbudowach z kruszyw związanych spoiwami hydraulicznymi) charakteryzują się mniejszymi dopuszczalnymi ugięciami niż nawierzchnie podatne (na podbudowach z kruszyw niezwiązanych). Nawierzchnia podatna może przenieść większy ruch niż nawierzchnia sztywna, wykazująca takie same ugięcia. Wynika to ze znacznie większej sztywności podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi od podbudów podatnych.

Zmiany ugięć w czasie przebiegają też inaczej w zależności od rodzaju podbudowy. Nawierzchnie półsztywne pracują w dwóch fazach, w fazie pierwszej - do czasu wystąpienia spękań zmęczeniowych - i w fazie drugiej - po wystąpieniu spękań zmęczeniowych. W nawierzchniach półsztywnych ugięcia są z reguły małe w początkowym czasie eksploatacji drogi, ale występuje wzrost ugięć wtedy, gdy podbudowa ulega spękanom zmęczeniowym pod działaniem ruchu.

Kierując się danymi z badań brytyjskich [9] i ich porównaniem z ugięciami dopuszczalnymi, określonymi w polskiej metodzie ugięć zawartej w katalogu [10], oraz na podstawie wyników pracy [11], wprowadzono następujące wartości współczynnika podbudowy f_p :

- nawierzchnie podatne: 1,0
- nawierzchnie z podbudową z kruszywa lub gruntu stabilizowanego cementem: od 1,0 do 1,1
- nawierzchnie z podbudową z chudego betonu: od 1,1 do 1,2
- nawierzchnie z podbudową z betonu cementowego: >1,2.

Wartość współczynnika f_p nawierzchni półsztywnych należy traktować jako orientacyjną. Większą wartość współczynnika podbudowy f_p zaleca się przyjmować, gdy ugięcia sprężyste nawierzchni są mniejsze, a podbudowa jest sztywniejsza.

Jeżeli podbudowa związana spoiwem hydraulicznym uległa bardzo znacznym spękanom zmęczeniowym, to pracuje ona w sposób podobny do podbudowy podatnej, a wówczas współczynnik podbudowy f_p jest bliski 1,0.

Wskazówką do przyjmowania wartości współczynnika f_p mogą być wyniki analizy teoretycznej półsztywnych konstrukcji nawierzchni [12]. Obliczenia oparte o teorię układów wielowarstwowych wykazały, że po wystąpieniu spękań podbudów stabilizowanych cementem, przy temperaturze warstw asfaltowych równej około 20°C, ugięcia analizowanych nawierzchni pod kołem 50 kN są rzędu od 0,80 mm do 1,4 mm. Mniejsze wartości ugięć (0,80 mm), przy których można oczekiwać, że podbudowa związana spoiwem hydraulicznym jest spękana, występują w konstrukcjach dla ruchu ciężkiego z warstwami asfaltowymi o grubości rzędu 20 cm. Większe wartości ugięć (1,4 mm)

występują po spełnieniu podbudów w konstrukcjach dla ruchu lekkiego z cienkimi warstwami asfaltowymi o grubości 5 cm.

Aby oszacować współczynnik f_p , konieczna jest znajomość wzmacnianej konstrukcji nawierzchni i ocena stanu podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym. W tym celu zalecane jest wykonanie odwiertów w nawierzchni.

7.4.3 Ruch całkowity w okresie obliczeniowym

Obciążenie drogi różnymi pojazdami powinno być przeliczone na obciążenie wyrażone liczbą równoważnych osi standardowych o nacisku 100 kN, na jeden pas ruchu w okresie obliczeniowym. Metodę ustalenia ruchu obliczeniowego podano w p. 3.3 i 3.4 niniejszego Katalogu i Załączniku A.

7.4.4 Określenie grubości zastępczej nakładki wzmacniającej

Grubość zastępcza nakładki wzmacniającej H_{zast} jest to grubość w przeliczeniu na tłuć standardowy. Aby wyznaczyć wymaganą grubość zastępczą nakładki wzmacniającej H_{zast} , należy określić:

- ugięcie obliczeniowe U_{obl}
- całkowity ruch w okresie obliczeniowym N_{100} wyrażony liczbą równoważnych osi standardowych 100 kN na pas ruchu.

Wymaganą grubość zastępczą nakładki należy określić z dokładnością do 1 cm z nomogramu podanego na rys. 3, w razie potrzeby interpolując odpowiednio pomiędzy krzywymi.

7.4.5 Określenie rzeczywistej grubości nakładki wzmacniającej

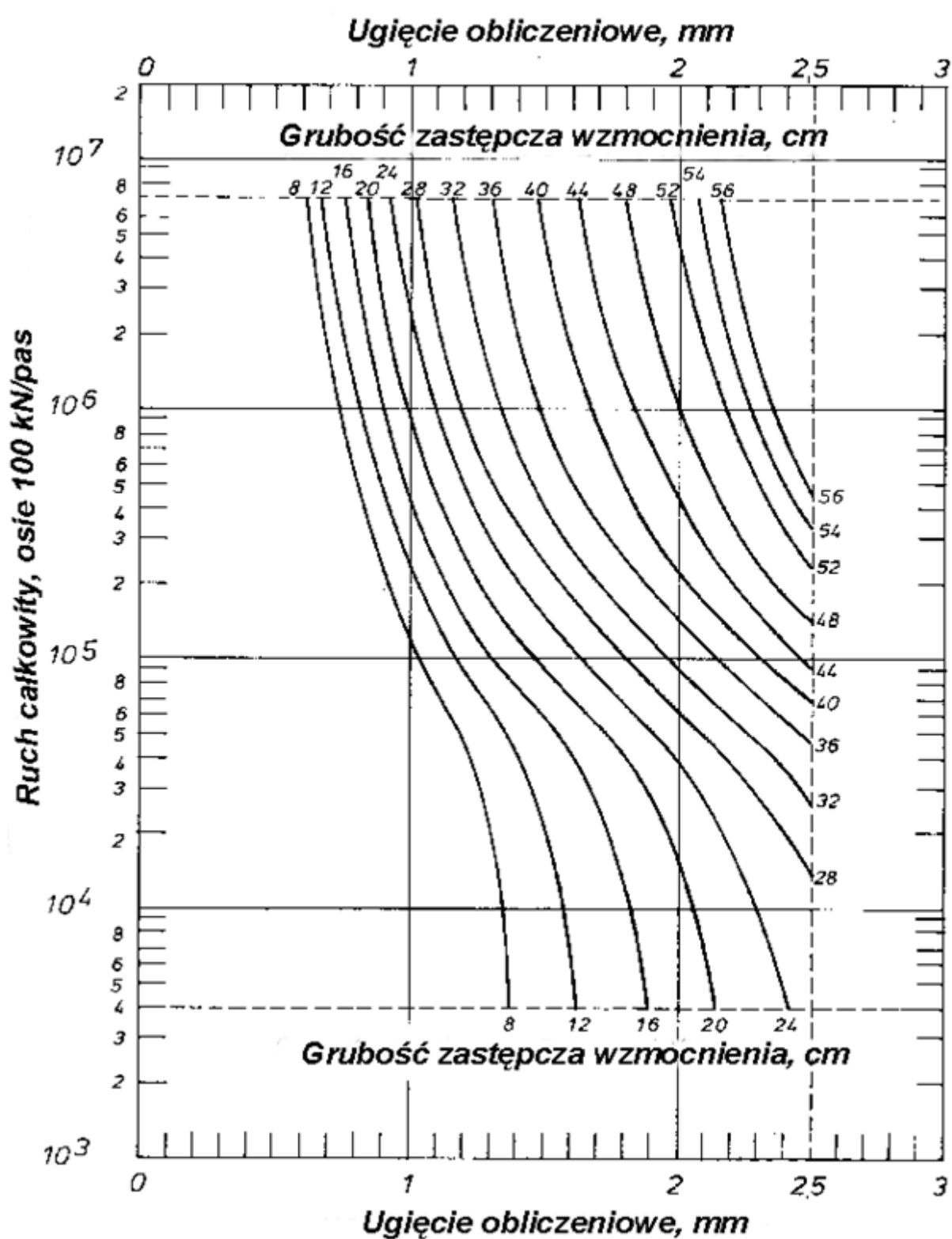
Nakładka może być wykonana w dwojaki sposób:

- jako tylko warstwy asfaltowe ułożone na istniejącej nawierzchni (rys. 4)
- jako warstwy asfaltowe ułożone na warstwie pośredniej, spoczywającej na istniejącej nawierzchni (rys. 5).

Zależy to od wymaganej grubości nakładki i może być w dowolny sposób kształtowane przez projektanta, pod warunkiem zachowania podanych niżej zasad.

Jeżeli grubość nakładki określona z nomogramu nie jest zbyt duża, to nakładka na istniejącej nawierzchni powinna być wykonana w postaci warstw asfaltowych. Jeżeli obliczona grubość nakładki jest znaczna, wówczas na istniejącej nawierzchni należy wbudować warstwę pośrednią z jednego z materiałów podbudowy, określonych w tablicy 8. Na tej warstwie podbudowy powinny być wykonane co najmniej dwie warstwy asfaltowe.

Układ warstw wzmacniających powinien być kształtowany przy zachowaniu podanych dalej zasad.



Rysunek 3. Nomogram do wyznaczania wymaganej grubości zastępczej wzmocnienia

Projektowana grubość zastępcza warstw wzmacniających powinna być większa od grubości wymaganej, określonej z nomogramu:

$$H_{zast.proj.} \geq H_{zast.wym.} \quad \text{Równanie 4}$$

przy czym:

$H_{zast.wym.}$ wymagana grubość zastępcza nakładki, określona z nomogramu na rys. 3

$H_{zast.proj.}$ grubość zastępcza projektowanej nakładki, obliczona ze wzoru:

$$H_{zast.proj.} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots + a_n \cdot h_n \quad \text{Równanie 5}$$

w którym:

$h_1, h_2, \dots, h_n$ projektowana grubość poszczególnych warstw nakładki

$a_1, a_2, \dots, a_n$ współczynniki materiałowe poszczególnych warstw nakładki.

Współczynniki materiałowe mieszanek mineralno-asfaltowych mogą być określone ze wzoru:

$$a_i = (E_i / 400)^{0,333} \quad \text{Równanie 6}$$

w którym:

a_i współczynnik materiałowy i-tej warstwy, $i = 1, 2, \dots, n$

E_i moduł sztywności (lub moduł sprężystości) i-tej warstwy.

Moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej powinien być określony w badaniach laboratoryjnych pod obciążeniem krótkotrwałym powtarzalnym (patrz: załącznik C). Do projektowania przebudowy metodą ugięć zaleca się przyjmowanie wartości modułu z badania w temperaturze 20°C i pod obciążeniem w czasie nie dłuższym niż 0,1 s.

W projektowaniu metodą ugięć wzmocnień nawierzchni dróg niższej kategorii, KR1 lub KR2 można przyjmować współczynniki materiałowe w przybliżeniu według tablicy 8. W projektowaniu wzmocnień nawierzchni dróg kategorii ruchu od KR3 do KR4 należy przyjmować wartości modułu sztywności z badań laboratoryjnych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Jeżeli wymagana jest duża grubość nakładki na istniejącej nawierzchni i zostanie zaprojektowana warstwa pośrednia z materiału niezwiązanego asfaltem (którym może być kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie, mieszanka związana spoiwem hydraulicznym, kruszywo stabilizowane mechanicznie i ulepszone cementem lub tłuczeń klinowany), to całkowita grubość projektowanych warstw asfaltowych nie może być mniejsza od wartości minimalnej zależnej od kategorii ruchu i określonej w tablicy 9. Warunek ten ma na celu zapobieżenie projektowaniu zbyt cienkich warstw asfaltowych położonych na grubych warstwach pośrednich niezwiązanym asfaltem.

Tablica 8. Współczynniki materiałowe warstw nakładek wzmacniających nawierzchnie

L.p.	Materiał	Współczynnik materiałowy ^{a)} a_i
1.	Mieszanki mineralno-asfaltowe ^{b)}	2,0
3.	Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	1,0
4.	Tłuczeń klinowany	1,0
5.	Mieszanka związana spoiwem hydraulicznym o wytrzymałości na ściskanie $R_c > 6 \text{ MPa}$	1,50 ÷ 1,55
6.	Mieszanka związana spoiwem hydraulicznym wytrzymałości na ściskanie $R_c > 3 \text{ MPa}$	1,35 ÷ 1,45
7.	Kruszywo stabilizowane mechanicznie i ulepszone cementem	1,35 ÷ 1,45

Uwagi:

- a) współczynniki materiałowe przyjęto wg polskiej modyfikacji metody CBR [13], z uwzględnieniem nowych materiałów
- b) dotyczy wszystkich mieszanek mineralno-asfaltowych, np. AC, ACWMS, SMA, BBTM, MA, PA

Tablica 9. Minimalna grubość pakietu warstw asfaltowych ułożonych na warstwach pośrednich z materiału niezwiązanego asfaltem

L.p.	Kategoria ruchu	Minimalna grubość pakietu warstw asfaltowych, cm
1.	KR1	8
2.	KR2	12
3.	KR3	16
4.	KR4	20

Uwaga: tablica dotyczy projektowania metodą ugięć nawierzchni dróg o kategorii ruchu KR1-KR4, w wypadku nawierzchni dróg o kategorii ruchu KR5-7 projektowanych metodami mechanistycznymi należy przyjmować zalecenie według tablicy 17, jak dla KR4

Pakiet warstw nakładki wzmacniającej powinien być podzielony na poszczególne warstwy z uwzględnieniem ich funkcji i wynikającego z tego uziarnienia nominalnego oraz grubości warstwy według zasad określonych w KTKNPP, WT-2 2010 oraz w p. 10 niniejszego katalogu.

7.4.6 Przykład projektowania grubości nakładki wzmacniającej według metody ugięć

Zaprojektować nakładkę wzmacniającą przy następujących danych:

- a. Średni Dobowy Ruch w pierwszym roku po oddaniu do ruchu przebudowanej drogi: $SDR100_0 = 250$ osi 100 kN/pas/dobę
- b. roczny wzrost ruchu: $p = 5\%$
- c. ugięcie średnie na odcinku jednorodnym: $U_{\text{śred}} = 0,81 \text{ mm}$
- d. odchylenie standardowe ugięć na odcinku jednorodnym $S_U = 0,19 \text{ mm}$
- e. temperatura warstw asfaltowych w czasie pomiarów $T = 8^\circ\text{C}$
- f. pomiary wykonano: wiosną
- g. podbudowa istniejącej nawierzchni: tłuczeń
- h. obliczeniowy okres eksploatacji drogi po wykonaniu wzmocnienia: 20 lat.

Rozwiązanie

1. Obliczenie ruchu całkowitego w okresie eksploatacji

Całkowity ruch w okresie obliczeniowym 20 lat (sposób 3, Załącznik A)

$$t_{obl} = 20 \text{ lat}$$

$$p = 5\% = 0,05$$

ze wzoru (4), Załącznik A: $C = 33,06$

ze wzoru (3), Załącznik A: $N_{catk} = 3\,016\,725$ osi 100 kN/pas

kategoria ruchu KTKNPP: KR4.

2. Obliczenie ugięcia miarodajnego

$$U_{sred} = 0,81 \text{ mm}$$

$$S_U = 0,19 \text{ mm}$$

ze wzoru (3): $U_m = 1,19 \text{ mm}$

temperatura $T = 8^\circ\text{C}$, ze wzoru (4), $f_T = 1,24$

pomiary wykonano wiosną: $f_S = 1,0$

podbudowa tłuczniowa: $f_P = 1,0$

ze wzoru (2): $U_{obl} = 1,47$

3. Wymagana grubość zastępcza nakładki

$N_{catk} = 3\,016\,725$ osi 100 kN/pas

$$U_{obl} = 1,47 \text{ mm}$$

z nomogramu na rys. 3: $H_{zast, wym} = 42 \text{ cm}$

4. Układ warstw wzmacniających

Wariant A:

- warstwa ścieralna beton asfaltowy 0/11 5 cm
- warstwa wiążąca beton asfaltowy 0/16 7 cm
- warstwa podbudowy beton asfaltowy 0/22 9 cm

Razem: 21 cm

Wariant B:

- warstwa ścieralna mieszanka SMA 0/11 4 cm
- warstwa wiążąca beton asfaltowy 0/16 8 cm
- warstwa podbudowy beton asfaltowy 0/22 9 cm

Razem: 21 cm

Wariant C:

- warstwa ścieralna mieszanka BBTM 0/8 2 cm
- warstwa wiążąca beton asfaltowy 0/16 8 cm
- warstwa podbudowy beton asfaltowy 0/22 11 cm

Razem: 21 cm

5. Sprawdzenie grubości zastępczej

Wariant A: $H_{\text{zast.proj.}} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 7 + 2 \cdot 9 = 42 \text{ cm}$

Wariant B: $H_{\text{zast.proj.}} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 9 = 42 \text{ cm}$

Wariant C: $H_{\text{zast.proj.}} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 11 = 42 \text{ cm}$

$H_{\text{zast.wym.}} = 42 \text{ cm}$

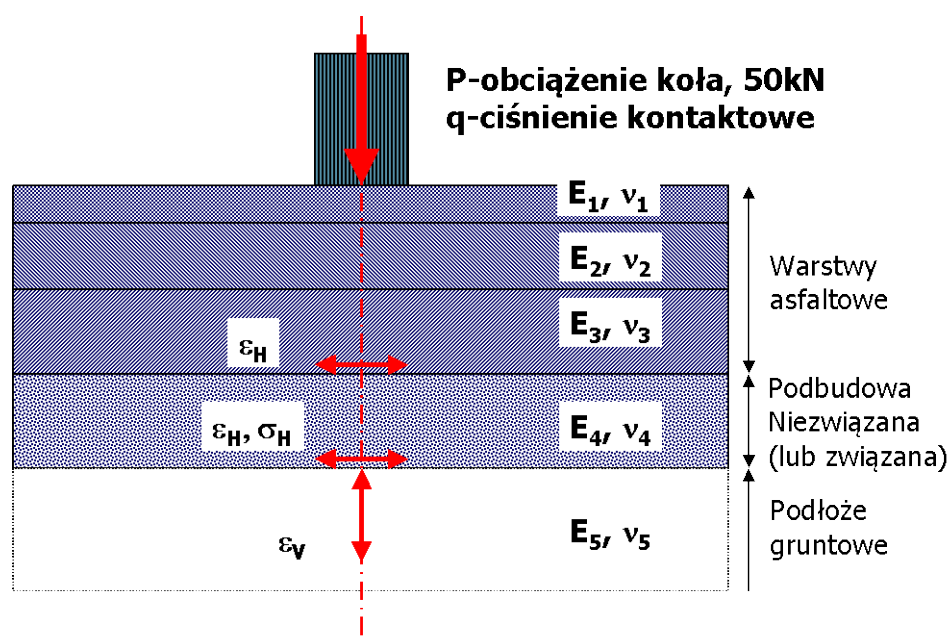
$H_{\text{zast.proj.}} = H_{\text{zast.wym.}}$

Nakładka wzmacniająca przebudowanej nawierzchni została prawidłowo zaprojektowana.

7.5 Metoda mechanistyczna

7.5.1 Ogólna koncepcja metody mechanistycznej

Metoda mechanistyczna projektowania wzmocnień jest to metoda oparta o analizę stanu naprężeń i odkształceń w konstrukcji nawierzchni i o trwałość zmęczeniową konstrukcji. W tym celu nawierzchnię traktuje się jako układ warstw o określonej grubości na podłożu gruntowym o nieskończonej grubości. Układ ten modeluje, przyjmując założenie o symetrii osiowej oraz zakładając jego charakterystykę mechaniczną i odpowiadające jej parametry określające materiał poszczególnych warstw. Najczęściej przyjmuje się model warstw sprężystych położonych na półprzestrzeni sprężystej. Przyjmuje się założenie o izotropii poszczególnych warstw. Schemat przedstawia rys. 4.



Rysunek 4. Schemat konstrukcji nawierzchni do projektowania metodą mechanistyczną według modelu warstw sprężystych na półprzestrzeni sprężystej (przyjęto założenie o symetrii osiowej)

Poszczególne warstwy charakteryzowane są:

- grubością h_i
- modułem sztywności (lub modułem sprężystości) E_i

- współczynnikiem Poissona

ν_i

Rzadziej spotyka się model nawierzchni z wykorzystaniem charakterystyki lepko-sprężystej lub lepko-plastyczno-sprężystej warstw nawierzchni. Takie modele są trudniejsze w stosowaniu i wymagają większej liczby parametrów materiałowych oraz wykonywaniem bardziej skomplikowanych badań materiałowych. Jednak modele te są znacznie bardziej bliskie rzeczywistej pracy nawierzchni asfaltowej.

Obok konieczności znajomości podanych parametrów mechanicznych materiałów warstw nawierzchni (E , ν) potrzebna jest wiedza o charakterystyce zmęczeniowej materiału warstwy. Wszystkie te dane uzyskuje się z badań materiałowych przeprowadzanych w laboratorium (patrz załącznik C).

Celem projektowania wzmocnienia nawierzchni metodą mechanistyczną jest udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy istniejąca konstrukcja nawierzchni może w sposób bezpieczny przenieść ruch całkowity w planowanym okresie obliczeniowym?. Jeżeli odpowiedź na to pytanie będzie pozytywna, to taka konstrukcja nawierzchni nie wymaga wzmocnienia. Jeżeli odpowiedź będzie negatywna, to postępując według metody kolejnych przybliżeń, należy tak dobrać grubość nakładki wzmacniającej, aby trwałość zmęczeniowa nawierzchni po wzmocnieniu była nie mniejsza niż przewidywany ruch całkowity w okresie obliczeniowym.

Metoda mechanistyczna może być także stosowana w przypadku usunięcia (sfrezowania) górnych warstw konstrukcji nawierzchni. W tym wypadku metoda ugięć nie jest przydatna. Frezowanie może być konieczne ze względu na brak odporności na deformacje warstw asfaltowych lub ze względu na ich inne poważne uszkodzenia. Wówczas postępowanie w metodzie mechanistycznej jest podobne. Metodą kolejnych przybliżeń należy tak dobrać grubość nakładki na sfrezowanej nawierzchni, aby trwałość zmęczeniowa nawierzchni po wzmocnieniu była nie mniejsza niż przewidywany ruch całkowity w okresie obliczeniowym.

Metoda mechanistyczna może być również stosowana, jeśli będzie zastosowany recykling istniejących warstw nawierzchni na miejscu lub w otaczarce. Wówczas grubość nakładki ułożonej na recyklowanej warstwie należy tak dobrać, aby osiągnąć wymaganą trwałość zmęczeniową.

7.5.2 Procedura postępowania przy projektowaniu wzmocnienia metodą mechanistyczną

Procedura postępowania jest następująca:

1. wykonanie odwiertów i pobranie próbek z nawierzchni przeznaczonej do wzmocnienia
2. określenie grubości warstw i rodzaju materiałów w istniejącej nawierzchni
3. określenie modułów sztywności lub sprężystości i innych cech próbek materiałów pobranych z nawierzchni niezbędnych do projektowania grubości nakładki wzmacniającej
4. ocena odporności na koleinowanie (deformacje lepkoplastyczne) warstw asfaltowych
5. określenie według p. 4.2. sposobu przebudowy: w głąb, w górę, mieszany
6. przyjęcie wstępnej propozycji wzmocnienia nawierzchni
7. określenie charakterystyki układu wielowarstwowego wzmacnianej konstrukcji nawierzchni
8. określenie stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni

9. obliczenie trwałości zmęczeniowej
10. porównanie obliczonej trwałości zmęczeniowej z obliczonym ruchem całkowitym (jeśli trwałość zmęczeniowa jest mniejsza niż ruch całkowity, to należy ponownie zaprojektować nawierzchnię).

7.5.3 Wykonanie odwiertów i pobranie próbek z nawierzchni przeznaczonych do wzmocnienia

Aby uzyskać dane niezbędne do projektowania wzmocnienia metodą mechanistyczną, należy wykonać odwierty w istniejącej nawierzchni z taką częstotliwością, która umożliwi wystarczające rozpoznanie konstrukcji nawierzchni. Rozmieszczenie i liczba odwiertów powinna być planowana indywidualnie, ponieważ jest zależna od jednorodności badanej konstrukcji nawierzchni. W przeciętnych warunkach zaleca się wykonanie odwiertów w przekrojach poprzecznych rozmieszczonych nie rzadziej niż co około 0,5 km. Odwierty powinny być rozmieszczone w przekroju poprzecznym w następujący sposób:

- w nawierzchniach nie skoleinowanych jeden odwierć w przekroju pod śladem prawego koła
- w nawierzchniach skoleinowanych dwa odwierty, pod śladem prawego koła i w środku pomiędzy śladami.

Liczba odwiertów może być większa i powinna być każdorazowo ustalona w zależności od oceny jednorodności nawierzchni. Dotyczy to zwłaszcza dróg o zróżnicowanej konstrukcji nawierzchni.

W decyzji o sposobie przebudowy nawierzchni (w głąb, w górę lub mieszany) należy wziąć pod uwagę ocenę odporności na koleinowanie istniejących warstw asfaltowych. Ocenę tę należy przeprowadzić zgodnie z p. 4.2.5.3. Na jej podstawie należy podjąć decyzję o pozostawieniu warstw lub ich frezowaniu, lub recyklingu. Należy ewentualnie indywidualnie zaplanować i wykonać dodatkowe niezbędne badania nawierzchni.

Wiercenia w gruncie podłoża należy wykonać po wykonaniu odwiertu przez nawierzchnię, do głębokości co najmniej 2 m od spodu konstrukcji. Należy pobrać próbki z każdej warstwy gruntu podłoża. Należy też ocenić poziom zwierciadła wody gruntowej.

Jeżeli są obawy co do zagęszczenia podłoża, to dodatkowo należy wykonać sondowanie gruntu.

7.5.4 Określenie grubości warstw i rodzaju materiałów w istniejącej nawierzchni

Grubości warstw należy zmierzyć z dokładnością do 1 mm. Rodzaj materiałów w poszczególnych warstwach nawierzchni należy ocenić makroskopowo. Jeżeli jest to z jakichkolwiek powodów utrudnione, to należy przeprowadzić badania laboratoryjne niezbędne do określenia rodzaju materiałów.

Zaleca się dokonywanie rozpoznania konstrukcji nawierzchni metodą radarową, ponieważ pozwala ona na określenie zmienności układu warstw w sposób ciągły. Procedurę pomiarową podano w Załączniku C.

Rozpoznaniu konstrukcji metodą radarową towarzyszą tzw. odwierty kalibracyjne. Rdzenie uzyskane z odwiertów można wykorzystać do badań materiałowych warstw konstrukcyjnych.

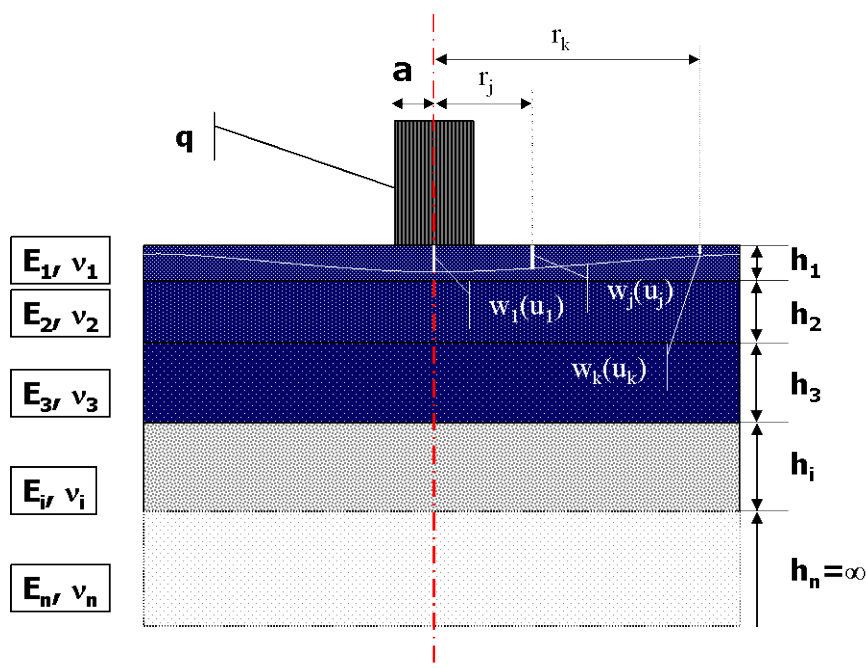
7.5.5 Badania modułów i innych cech materiałów pobranych z nawierzchni niezbędnych do projektowania grubości nakładki wzmacniającej

7.5.5.1 Ocena modułów sprężystości warstw istniejącej nawierzchni na podstawie pomiarów czaszy ugięć

Ocenę modułów sprężystości warstw i podłoża badanych konstrukcji na podstawie czaszy ugięć należy obowiązkowo wykonywać przy nawierzchniach obciążonych ruchem kategorii od KR5 do KR7.

Pomiar czaszy ugięć należy wykonywać ugięciomierzem dynamicznym FWD. Dopuszcza się stosowanie innych urządzeń, takich jak ugięciomierz dynamiczny HWD, belka Benkelmana, krzywiznomierz, ugięciomierz Lacroix, Dynaflex lub innych równoważnych urządzeń. Należy przyjmować obciążenie płyty pomiarowej lub koła samochodu 50 kN, co odpowiada przyjętemu w KTKNPP obciążeniu równoważnej osi standardowej 100 kN.

Identyfikacja modułów sprężystości warstw na podstawie pomiarów czaszy ugięć polega na wyznaczeniu modułów warstw i podłoża w sprężystej półprzestrzeni warstwowej będącej modelem rzeczywistej konstrukcji nawierzchni (rys. 5).



Rysunek 5. Model konstrukcji nawierzchni do identyfikacji modułów sprężystości warstw nawierzchni i podłoża gruntowego

Istota procesu identyfikacji modułów polega na aproksymacji pionowych przemieszczeń konstrukcji nawierzchni pomierzonych na powierzchni jezdni (tworzących tzw. czaszę ugięć) przemieszczeniami obliczonymi na modelu.

Identyfikację modułów można przeprowadzić wykorzystując programy opracowane przez producentów i dołączone do urządzeń pomiarowych. W razie braku takich programów można obliczać moduły warstw metodą minimalizacji funkcji celu opisanej zależnością:

$$\Delta = \frac{\sqrt{F/k}}{\frac{\sum_{j=1}^k w_j}{k}} 100\% \quad \text{Równanie 7}$$

w której:

$$F = \sum_{j=1}^k (w_j - u_j)^2 \quad \text{Równanie 8}$$

w_j przemieszczenie obliczone w modelu, $w = f(E_i, \nu_i, h_i, n, a, q, r_j, z_j)$

u_j przemieszczenie zmierzone na powierzchni nawierzchni w odległości r_j od obciążenia

k liczba punktów tworzących czaszę ugięć

n liczba warstw, $k \geq n$

E_i moduł sprężystości i-tej warstwy nawierzchni

ν_i współczynnik Poissona i-tej warstwy nawierzchni

h_i grubość i-tej warstwy nawierzchni.

W zależności (8) zmiennymi decyzyjnymi (wielkościami poszukiwanymi) są moduły sprężystości warstw i podłoża. Minimalizację funkcji (8) można przeprowadzić, wykorzystując dowolny algorytm optymalizacyjny. Sposób wykorzystania zależności (8) do wyznaczania modułów i ocenę błędów przedstawiono w pracy [14]. Jeżeli $\Delta \leq 0,1\%$, to moduły zostały dobrane poprawnie.

Badania ugięć należy przeprowadzać według zasad podanych w załączniku C. Ze względu na zależność modułu sprężystości warstwy asfaltowej od temperatury, uzyskane z identyfikacji moduły sprężystości warstw asfaltowych nawierzchni należy przeliczyć na moduły odpowiadające temperaturze równoważnej 10°C, przyjętej do projektowania. Wartość temperatury równoważnej ustalono w IBDiM na podstawie badań [15].

W przeliczaniu modułów warstw asfaltowych do temperatury równoważnej należy posługiwać się wzorem empirycznym opracowanym w IBDiM, na podstawie pracy [16]:

$$E = E_T \cdot (0,77 + 0,023 \cdot T) \quad \text{Równanie 9}$$

w którym:

E_T – moduł warstw asfaltowych w temperaturze pomiaru (MPa),

T – temperatura pomiaru (°C).

Moduł podłoża można również przeliczać na warunki odpowiadające obliczeniowym okresom, wprowadzając współczynniki sezonowe.

Wartości modułów sprężystości warstw należy wykorzystać do oceny nośności oraz projektowania wzmocnień według zasad podanych w p. 7.5.5.8.

7.5.5.2 *Laboratoryjne badania modułu sztywności warstw asfaltowych*

Badania laboratoryjne modułu sztywności warstw asfaltowych należy obowiązkowo wykonać do projektowania wzmocnień nawierzchni kategorii ruchu KR3 – KR7.

Należy sprawdzić, czy w odwiercie występują warstwy asfaltowe, czy smołowe. W zależności od tego zaplanować dalsze postępowanie. Warstwy te należy badać i oceniać oddzielnie.

Do badania modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej (warstwy asfaltowej) mogą być stosowane różne metody, zapewniające możliwość powtarzalnego obciążenia próbki i rejestracji reakcji materiału (badanie stanu naprężenia i odkształcenia). Przegląd dostępnych metod podano w Załączniku C. Zalecane są metody stosowane w Polsce:

1. 4 punktowego zginania (próbka belki prostopadłościennej)
2. ściskania – rozciągania (z lub bez ciśnienia bocznego) (próbka walcowa)
3. rozciągania pośredniego (próbka walcowa).

Najprostszą jest metoda 3 (rozciągania pośredniego). Metody 1 i 2 są bardziej skomplikowane, lecz pozwalającą na wszechstronniejsze zbadanie materiału i określenie prócz modułu sztywności (w funkcji temperatury i częstotliwości) także współczynnika Poissona (badania pod obciążeniem powtarzalnym belki czteropunktowo zginanej lub osiowego ściskania w różnej temperaturze i z różną częstotliwością obciążenia [17,18]).

Moduł sztywności wyznaczony w temperaturze równoważnej (10°C) pod obciążeniem w czasie nie dłuższym niż 0,1 s może być traktowany jako moduł sprężystości do projektowania wzmocnienia metodą mechanistyczną z założeniem warstw sprężystych (odpowiada to w badaniu metodą 4PB temperaturze 10°C i częstotliwości 10 Hz).

Badanie modułu sztywności powinno być wykonane w temperaturze równoważnej (10°C) przyjętej do projektowania nawierzchni. W razie braku dokładniejszych danych indywidualnych o temperaturze warstw nawierzchni i ich temperaturze równoważnej, zaleca się stosowanie wartości przyjętych w KTKNPP.

Bliższe dane na temat rozkładu temperatury w nawierzchni w zależności od temperatury powietrza zimą i latem można znaleźć w pracy [19].

Odwiert z nawierzchni wielowarstwowej powinien być pocięty na poszczególne warstwy. Można stosować dwa sposoby:

- podział na warstwy takie, jakie występują w konstrukcji nawierzchni (np.: ścieralna, wiążąca itp.) o różnej grubości dla każdego odwiertu
- podział na pakiety warstw o równej grubości rzędu 50 – 75 mm.

Ten drugi sposób jest zalecany w wypadku trudności rozróżnienia warstw lub ich rozdzielenia, lub zbyt małej grubości pojedynczych warstw.

Wyniki badań laboratoryjnych modułu sztywności warstw asfaltowych należy wykorzystać do weryfikacji wyników obliczeń odwrotnych modułu na podstawie badania ugięć FWD. Jeśli różnica między wartościami modułu wyznaczonymi tymi dwiema metodami nie przekracza 20% większej wartości, to wyniki można uznać za poprawne i do dalszej analizy należy przyjąć mniejsze wartości. Jeśli różnica przekracza 20%, to należy sprawdzić poprawność obliczeń i wyników badań.

7.5.5.3 **Badania laboratoryjne warstw asfaltowych w celu uproszczonego oszacowania modułu sztywności**

Moduł sztywności można oceniać w sposób szacunkowy na podstawie cech fizycznych mieszanek mineralno-asfaltowych. Ten sposób można stosować w projektowaniu wzmocnienia wzmocnień nawierzchni dróg kategorii KR1 i KR2. Sposób ten dopuszcza się również w okresie przejściowym (do czasu upowszechnienia metody mechanistycznej i metod badań materiałów) w projektowaniu wzmocnień nawierzchni dróg kategorii ruchu KR3 i KR4.

Do szacunkowej oceny modułów sztywności niezbędne są następujące dane:

- zawartość objętościowa asfaltu w materiale każdej warstwy
- zawartość objętościowa kruszywa w materiale każdej warstwy
- penetracja, temperatura mięknięcia i indeks penetracji wyekstrahowanego asfaltu.

Cechy te należy określać, oznaczając gęstość i gęstość strukturalną próbek oraz badając cechy wyekstrahowanego asfaltu.

Moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej można oceniać szacunkowo według jednej z dostępnych metod analitycznych, np. SPDM Shell, NOAH Nynas.

7.5.5.4 **Laboratoryjne badania modułu sprężystości warstw związanych spoiwem hydraulicznym**

W projektowaniu wzmocnień nawierzchni dróg kategorii ruchu KR3-KR7 moduł sprężystości warstw sztywnych (związanych spoiwem hydraulicznym) należy określać w badaniach jedną z metod: rozciągania pośredniego, zginania, ściskania lub rozciągania pod obciążeniem krótkotrwałym powtarzalnym.

W wypadku dróg niższej kategorii ruchu KR1 i KR2 dopuszcza się szacunkową ocenę modułu na podstawie wyników badania wytrzymałości próbek na ściskanie. Ocenę szacunkową dopuszcza się także w okresie przejściowym w projektowaniu wzmocnienia nawierzchni dróg KR3 i KR4.

7.5.5.5 **Badania gruntu podłoża**

Należy wykonać badania makroskopowe i badania klasyfikacyjne gruntu podłoża według p. 4.2.4. Należy także określić jego wilgotność. Ocenę modułu sprężystości podłoża można dokonywać szacunkowo na podstawie rodzaju gruntów. W wypadku dróg o niższej kategorii ruchu KR1-3 zaleca się, a w wypadku dróg o kategorii ruchu KR4-7 wymaga się określanie wskaźnika nośności CBR podłoża gruntowego (laboratoryjnie według normy PN-S-02205 zał. A). Alternatywnie, w okresie jesiennym lub na wiosnę oceny modułu sprężystości podłoża można dokonać metodą „in situ” sondą DCP określając CBR wg Załącznika C lub na podstawie badania VSS określając E_2 wg Załącznika Y. Moduł sprężystości podłoża z gruntów piaszczystych można ustalać na podstawie badania płytą dynamiczną określając E_2 wg Załącznika C. Do projektowania konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczną na podstawie wskaźnika CBR można przyjmować przybliżoną wartość modułu sprężystości podłoża gruntowego obliczoną ze wzoru (według TRRL [20]):

$$E_{sub} = 17,6 \cdot CBR^{0,64} \quad \text{Równanie 10}$$

E_{sub} moduł sprężystości podłoża gruntowego, MPa

CBR kalifornijski wskaźnik nośności gruntu, %.

Ponadto należy stosować następującą zależność modułów sprężystości podłoża gruntowego:

$$E_{sub} = E_2 \quad \text{Równanie 11}$$

7.5.6 Ocena istniejących warstw nawierzchni i wybór sposobu przebudowy

Ocenę i wybór należy przeprowadzić zgodnie z zasadami podanymi w p. 4.2.

7.5.7 Przyjęcie wstępnej propozycji wzmocnienia nawierzchni

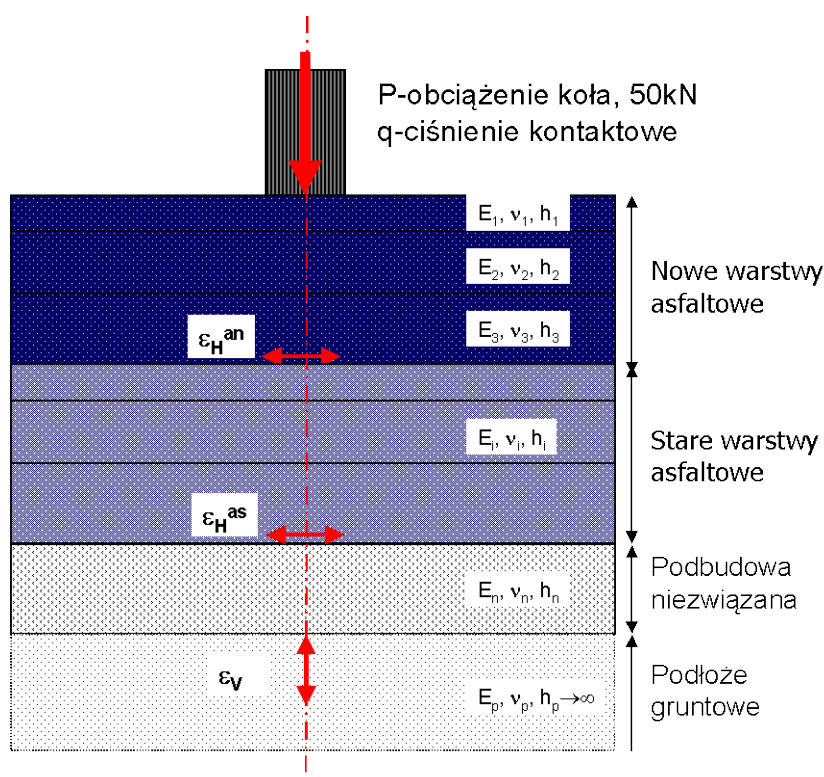
Projektant po podjęciu decyzji o sposobie przebudowy powinien przyjąć układ warstw:

- pozostawionych z istniejącej nawierzchni
- warstw wymienionych (recyklowanych lub nowych)
- warstw tworzących nakładkę wzmacniającą nawierzchnię.

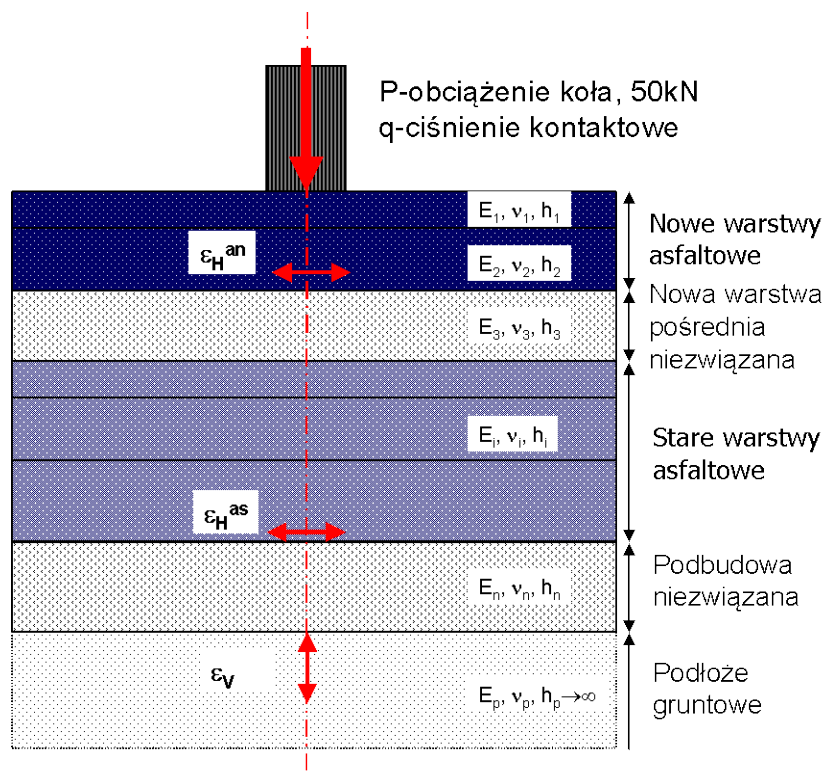
W projektowaniu przebudowy konstrukcji nawierzchni należy spełnić wymagania:

- nowa konstrukcja nawierzchni powinna zapewniać zachowanie wymaganej trwałości zmęczeniowej
- grubość i materiał poszczególnych warstw starych i nowych powinny spełniać przypisane im funkcje nośności i zabezpieczenia konstrukcji przed uszkodzeniem czynnikami atmosferycznymi oraz wymagania technologiczne; należy kierować się zaleceniami technologicznymi KTKNPP oraz zaleceniami technologicznymi podanymi w niniejszym Katalogu w części zawierającej opisujące techniki napraw.

7.5.8 Określenie charakterystyki układu wielowarstwowego wzmacnianej konstrukcji nawierzchni



Rysunek 6. Schemat wzmocnienia konstrukcji nawierzchni nakładką warstw asfaltowych



Rysunek 7. Schemat wzmocnienia konstrukcji nawierzchni nakładką warstw asfaltowych i warstwą pośrednią niezwiązaną

Schematy układów wielowarstwowych konstrukcji nawierzchni przedstawiają rys. 6 i 7. Pierwszy rysunek przedstawia model konstrukcji nawierzchni ze wzmocnieniem w postaci warstw asfaltowych, a drugi model konstrukcji nawierzchni ze wzmocnieniem w postaci warstwy pośredniej i warstw asfaltowych.

Aby scharakteryzować układ wielowarstwowy, należy podać następujące właściwości każdej warstwy:

- moduł sztywności (sprężystości) E
- współczynnik Poissona ν
- grubość h .

Moduł sprężystości E istniejących warstw nawierzchni należy określić w sposób podany w **p. 7.5.5.1.** Moduł warstw nawierzchni o kategorii ruchu od KR5 do KR7 należy określać w badaniu FWD oraz w badaniach laboratoryjnych pod obciążeniem krótkotrwałym powtarzalnym.

Moduł sprężystości E projektowanych warstw konstrukcji nawierzchni należy określić w zależności od parametrów technicznych tych warstw. W wypadku nawierzchni o kategorii ruchu od KR5 do KR7 zaleca się sprawdzenie modułu sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych zaprojektowanych do tych warstw w bezpośrednim badaniu laboratoryjnym.

Współczynnik Poissona ν warstw istniejących i projektowanych można określić na podstawie doświadczenia i danych literaturowych. Jeśli to możliwe, to należy zweryfikować założone wartości w bezpośrednim badaniu laboratoryjnym pod obciążeniem powtarzalnym próbek odwierconych z istniejącej nawierzchni lub przygotowanych w laboratorium (projektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych).

Do projektowania należy przyjąć obciążenie obliczeniowe w postaci pojedynczego koła o obciążeniu 50 kN i ciśnieniu kontaktowym 0,85 MPa.

7.5.9 Określenie stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni

Stan naprężeń i odkształceń w konstrukcji nawierzchni należy określić z wykorzystaniem modelu wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. Do tego celu można zastosować jedno z dwóch rozwiązań:

- analityczne
- metody elementów skończonych.

Można przy tym wykorzystać profesjonalne programy komputerowe lub inne sprawdzone programy własne (najpowszechniej stosowane programy komputerowe podano w załączniku E).

Odształcenia rozciągające należy określić w spodzie warstw asfaltowych nakładki oraz w spodzie istniejących warstw asfaltowych. Na górnej powierzchni podłoża gruntowego określić należy odkształcenia ściskające. W spodzie warstw związanych spoiwami hydraulicznymi należy określić odkształcenia rozciągające lub naprężenia rozciągające, w zależności od stosowanego kryterium zmęczeniowego.

7.5.10 Określenie trwałości zmęczeniowej wzmacnianej konstrukcji nawierzchni

Trwałość zmęczeniową wzmacnianej konstrukcji nawierzchni należy określić, stosując kryteria zmęczeniowe. Zaleca się stosowanie kryteriów zmęczeniowych Instytutu Asfaltowego [21].

Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych

Wzór określający trwałość zmęczeniową warstw asfaltowych podany w metodzie Instytutu Asfaltowego jest następujący:

$$N = 18,4 \cdot C \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_t^{-3,291} \cdot |E|^{-0,854}) \quad \text{Równanie 12}$$

w którym:

N liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych na 20% powierzchni jezdni

ε_t odkształcenia rozciągające (wartość bezwzględna)

$|E|$ moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej, MPa

$$C = 10^M \quad \text{Równanie 13}$$

$$M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a - V_b} - 0,69 \right) \quad \text{Równanie 14}$$

V_b zawartość objętościowa asfaltu, %

V_a zawartość objętościowa wolnej przestrzeni, %.

Kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego)

Zależność pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N do powstania krytycznej deformacji strukturalnej równej 12,5 mm a odkształceniem pionowym na powierzchni podłoża gruntowego ε_p jest następująca:

$$\varepsilon_p = k(1/N)^m \quad \text{Równanie 15}$$

w której:

N liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni

k, m współczynniki doświadczalne, równe odpowiednio:

$$k = 1,05 \cdot 10^{-2}$$

$$m = 0,223.$$

Kryterium zmęczenia warstw związanych spoiwami hydraulicznymi

Kryterium zmęczenia warstw związanych spoiwami hydraulicznymi można przyjmować w postaci wzoru Dempsey [22]:

$$\log N_f = 11,784 - 12,121 \cdot (\sigma / R_{zgin}) \quad \text{Równanie 16}$$

w którym:

N_f liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym

σ napężenie poziome, jakie występuje w spodzie warstwy podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym pod obciążeniem osią obliczeniową

R_{zgin} wytrzymałość materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu.

Projektant może stosować inne kryteria zmęczenia, o ile wykaże ich przydatność w danych warunkach klimatycznych i materiałowych oraz dokona wiarygodnego porównania z kryteriami przyjętymi w KTKNPP i podanymi w pracy [23]. W szczególności nie zaleca się stosowania kryteriów zmęczeniowych powodujących projektowanie zbyt cienkich warstw wzmocnienia i niedowymiarowanie konstrukcji nawierzchni.

Pozostała trwałość zmęczeniowa istniejących warstw asfaltowych po wzmocnieniu powinna być określona z uwzględnieniem szkody zmęczeniowej, jakiej doznały te warstwy w okresie ich eksploatacji przed wzmocnieniem, ze wzoru:

$$N_{asf.poz.} = N_{asf.obl.} \cdot (1 - N_{przen} / N_{asf.istn.}) \quad \text{Równanie 17}$$

w którym:

$N_{asf.poz.}$ pozostała trwałość zmęczeniowa istniejących warstw asfaltowych po wzmocnieniu, liczba osi 100 kN/pas

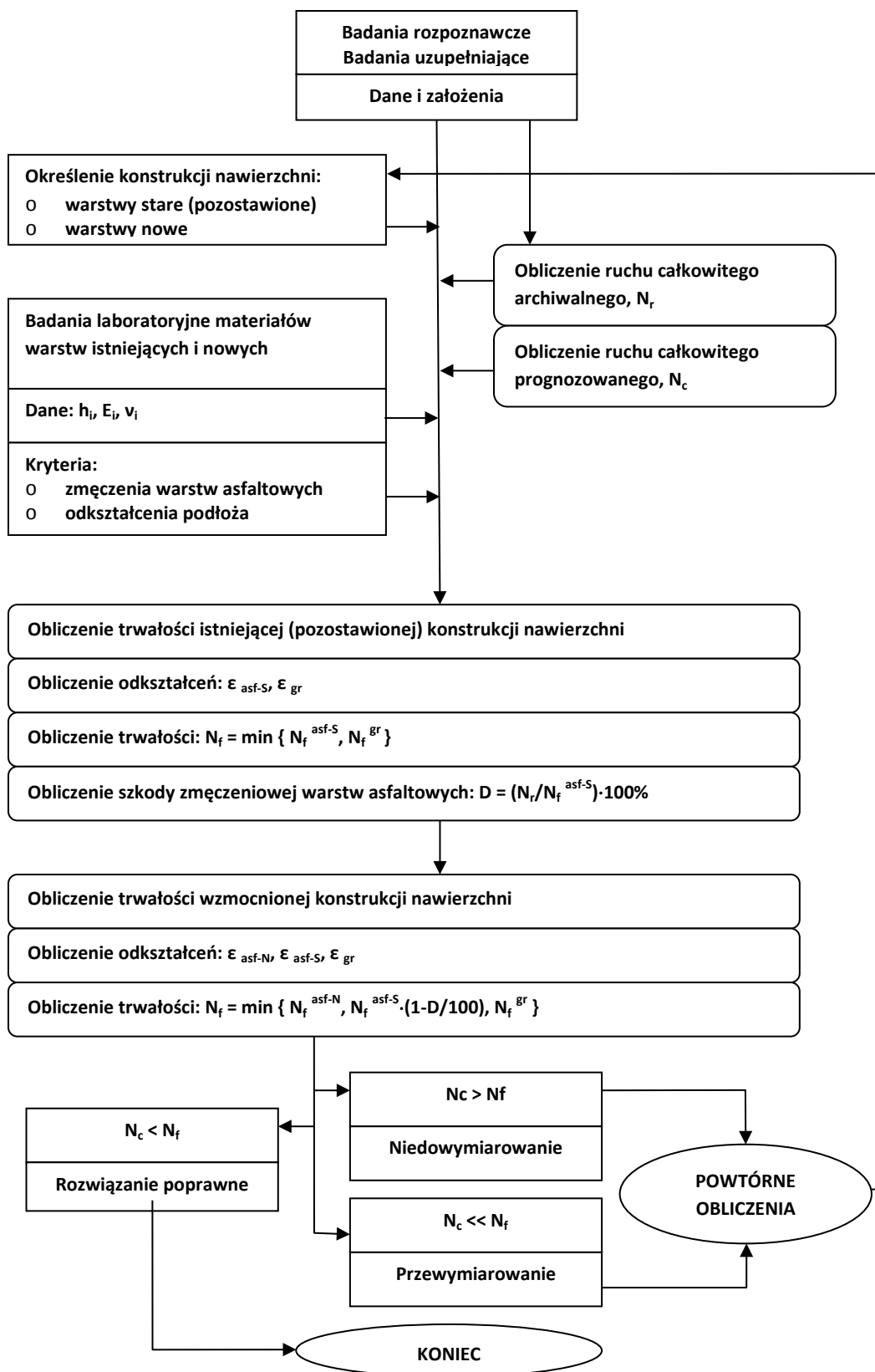
$N_{asf.obl.}$ trwałość zmęczeniowa istniejących warstw asfaltowych obliczona z analizy układu wielowarstwowego określonego dla stanu po wzmocnieniu nawierzchni

$N_{przen.}$ liczba obciążeń osi 100 kN, którą przeniosły warstwy asfaltowe nawierzchni w czasie eksploatacji do wzmocnienia

$N_{asf.istn.}$ trwałość zmęczeniowa istniejących warstw asfaltowych obliczona z analizy układu wielowarstwowego określonego dla stanu przed wzmocnieniem nawierzchni.

W nawierzchniach kategorii KR1 i KR2 szkodę zmęczeniową $N_{przen}/N_{asf.istn}$ można określać w przybliżony sposób na podstawie oceny stanu technicznego nawierzchni.

Algorytm obliczania trwałości wzmacnianej nawierzchni metodą mechanistyczną pokazano na rys. 8.



Rysunek 8. Algorytm projektowania konstrukcji nawierzchni podatnej metodą mechaniczną

7.5.11 Przykład obliczania wzmocnienia konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczną

Dane ogólne

- Droga dwupasowa jednojezdniowa
- Rok budowy drogi 1997
- Przyjęty termin remontu – rok 2012
- Zakładana trwałość konstrukcji nawierzchni po remoncie – 20 lat
- Stan nawierzchni:
- występują drobne uszkodzenia warstwy ścieralnej
- występują pojedyncze łaty z betonu asfaltowego
- nie występują spękania poprzeczne i zmęczeniowe
- głębokość kolein nie przekracza 10 mm.

Ruch drogowy

Ruch archiwalny

Dane o istniejącym ruchu drogowym uzyskano z danych archiwalnych na podstawie pomiarów generalnych prowadzonych co 5 lat. Wyniki pomiarów oraz obliczenie ruchu drogowego, który odbył się na drodze od czasu jej budowy przedstawiono w tablicy 10.

Tablica 10. Dane archiwalne o ruchu drogowym (ruch w obu kierunkach)

	Rok 1997	Rok 2002	Rok 2007	Rok 2012
Pojazdy ciężarowe bez przyczep [pojazdów rzeczywistych na dobę]	1134	1416	1750	2312
Pojazdy ciężarowe z przyczepami [pojazdów rzeczywistych na dobę]	116	152	194	266
Autobusy [pojazdów rzeczywistych na dobę]	58	64	80	94
Liczba osi obliczeniowych 100 kN na dobę	$N_{97}=846$	$N_{02}=1058$	$N_{07}=1320$	$N_{12}=1748$

Współczynniki przeliczeniowe samochodów ciężarowych na osie obliczeniowe 100 kN przyjęto zgodnie z Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych:

- samochody ciężarowe bez przyczep $r_1=0,50$
- samochody ciężarowe z przyczepami $r_2=1,80$
- autobusy $r_3=1,20$.

Średnioroczny ruch dobowy w okresie 15 lat eksploatacji (od 1997 do 2012 roku) obliczono na podstawie zależności:

$$SRD = f_1 \times f_2 \times f_3 \times \left(\frac{5 \times (N_{97} + N_{02})}{2} + \frac{5 \times (N_{02} + N_{07})}{2} + \frac{5 \times (N_{07} + N_{12})}{2} \right) \times \frac{1}{15 \text{ lat}} \quad \text{Równanie 18}$$

SRD = 612 osi 100 kN na dobę na obliczeniowy pas ruchu.

Ze względu na dwupasowy przekrój drogi zastosowano współczynnik obliczeniowego pasa ruchu $f_1=0,5$. Ze względu na szerokość pasa ruchu 3,5 m $f_2=1,0$. Ze względu na pochylenie niwelety 3% $f_3=1,0$.

Sumaryczny, przeniesiony ruch drogowy do wzmocnienia obliczono na podstawie zależności:

$$N_{przen} = SRD \cdot T \cdot 365 \quad \text{Równanie 19}$$

w którym:

T liczba lat eksploatacji istniejącej drogi, T = 15 lat.

$N_{przen} = 612 \cdot 15 \cdot 365 = 3,4$ mln osi 100 kN na obliczeniowy pas ruchu

Ruch prognozowany

Dane na temat prognozowanego ruchu drogowego uzyskano na podstawie prognoz ruchu. Wyniki obliczeń prognozowanego ruchu drogowego przedstawiono w tabelicy 11. W obliczeniach ruchu prognozowanego założono, że po remoncie nawierzchni dopuszczone będą do ruchu pojazdy o nacisku na oś do 115 kN.

Tabela 11. Prognozowany ruch drogowy (ruch w obu kierunkach)

	Rok 2012	Rok 2017	Rok 2022	Rok 2027	Rok 2032
Pojazdy ciężarowe bez przyczep [pojazdów rzeczywistych na dobę]	2312	2884	3510	4560	5540
Pojazdy ciężarowe z przyczepami [pojazdów rzeczywistych na dobę]	266	348	458	562	682
Autobusy [pojazdów rzeczywistych na dobę]	94	112	120	154	178
Liczba osie obliczeniowych 100 kN na dobę	$N_{12}=1748$	$N_{17}=2203$	$N_{22}=2723$	$N_{27}=3476$	$N_{32}=4211$

Średnioroczny ruch dobowy w okresie 20 lat eksploatacji (od 2012 do 2032 roku) obliczono na podstawie zależności:

$$SRD = f_1 \times f_2 \times f_3 \times \left(\frac{5 \times (N_{12} + N_{17})}{2} + \frac{5 \times (N_{17} + N_{22})}{2} + \frac{5 \times (N_{22} + N_{27})}{2} + \frac{5 \times (N_{27} + N_{32})}{2} \right) \times \frac{1}{20 \text{ lat}}$$

Równanie 20

SRD = 1423 osi 100 kN na dobę na obliczeniowy pas ruchu.

Całkowity, prognozowany ruch drogowy po wzmocnieniu obliczono z zależności:

$$N_{calc} = SRD \cdot T \cdot 365 \quad \text{Równanie 21}$$

w której:

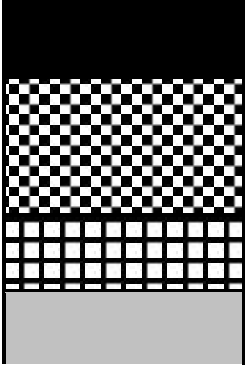
T liczba lat eksploatacji istniejącej drogi, T = 20 lat.

$N_{\text{całk}} = 1423 \cdot 20 \cdot 365 = 10,4$ mln osi 100 kN na obliczeniowy pas ruchu.

Całkowity ruch prognozowany jest to ruch drogowy, który przeniesie konstrukcja nawierzchni w zakładanym okresie eksploatacji po wzmocnieniu.

Istniejąca konstrukcja nawierzchni

Dane o grubości warstw nawierzchni oraz zastosowanych materiałach uzyskano z wykonanych odwiertów. Istniejąca nawierzchnia ma konstrukcję przedstawioną na rysunku 9.

	warstwy asfaltowe	14 cm
	podbudowa tłuczniowa	28 cm
	podsyпка piaskowa	20 cm
	podłoże gruntowe – piasek gliniasty	

Rysunek 9. Istniejąca konstrukcja nawierzchni

Dane o nośności poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni uzyskano na podstawie pomiarów ugięciomierzem udarowym FWD, wykonanych w okresie wiosennym po rozmarznieniu podłoża. Grubości oraz stałe materiałowe poszczególnych warstw nawierzchni przedstawiono w tablicy 12.

Tablica 12. Stałe materiałowe poszczególnych warstw nawierzchni na podstawie odwiertów i wyników badań FWD

Warstwa nawierzchni	Grubość warstwy, cm	Moduł sprężystości, MPa	Współczynnik Poissona *
Warstwy asfaltowe	14	8000	0,3
Podbudowa tłuczniowa	28	310	0,3
Podsyпка piaskowa	20	80	0,3
Podłoże gruntowe	-	40	0,35

* wartość współczynnika Poissona założona

W celu weryfikacji wyników obliczenia modułu sztywności warstw na podstawie badania ugięć FWD zbadano również metodą pośredniego rozciągania w aparacie NAT moduł sztywności sprężystej warstw asfaltowych (ścieralnej i wiążącej) istniejącej nawierzchni. Przyjęto temperaturę badania +10°C, którą założono jako temperaturę równoważną w rejonie, w którym położona jest droga. Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 13.

Tablica 13. Moduł sztywności warstw asfaltowych istniejącej nawierzchni w +10°C

Lp.	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca
1	9 420 MPa	8 940 MPa
2	8 620 MPa	8 050 MPa
3	10 340 MPa	8 650 MPa
4	9 830 MPa	9 120 MPa
5	10 600 MPa	8 340 MPa
Średnio	9 760 MPa	8 620 MPa

Wartości modułu sztywności obliczone na podstawie ugięć zmierzonych FWD są mniejsze niż wyznaczone z badań laboratoryjnych. Do dalszych obliczeń przyjęto mniejszą wartość modułu sztywności warstw asfaltowych, jako bezpieczniejsze założenie.

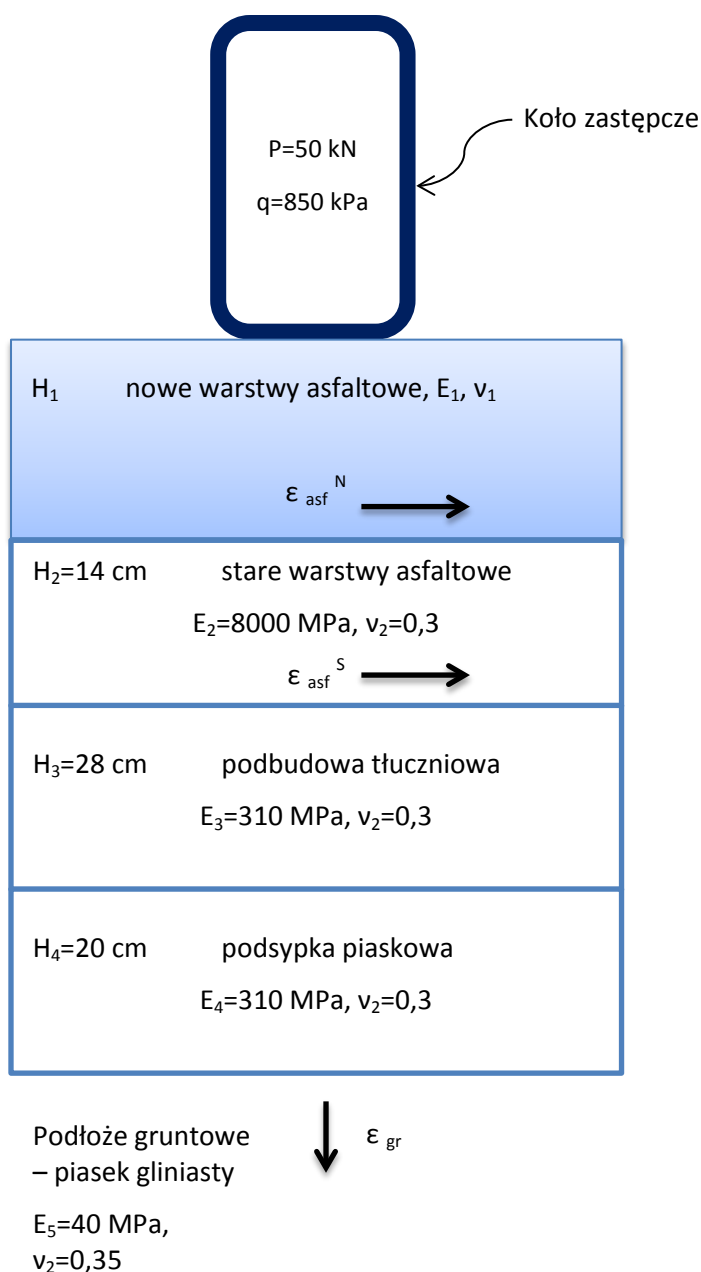
Na podstawie badań laboratoryjnych określono proporcje objętościowe najniższej warstwy asfaltowej, które przedstawiono w tablicy 14. Do obliczeń trwałości zmęczeniowej określono stałe materiałowe najniższej warstwy asfaltowej, ponieważ tam występują największe odkształcenia i tam inicjują się spękania zmęczeniowe.

Tablica 14. Proporcje objętościowe najniższej warstwy asfaltowej

Właściwość	Wartość
Zawartość asfaltu, % m/m	5,1
Objętościowa zawartość asfaltu, % v/v	12,1
Zawartość wolnej przestrzeni, % v/v	5,7
Objętościowa zawartość kruszywa, % v/v	82,2

Obliczenie trwałości zmęczeniowej istniejącej konstrukcji nawierzchni

Do obliczeń przyjęto schemat konstrukcji nawierzchni przedstawiony na rysunku 10 (przedstawiono na nim także nowe warstwy asfaltowe).



Rysunek 10. Schemat konstrukcji nawierzchni przyjęty do obliczeń (na rysunku pokazano także nowe warstwy asfaltowe)

Trwałość zmęczeniową istniejącej konstrukcji nawierzchni obliczono, stosując kryteria Instytutu Asfaltowego. Odształcenia występujące w nawierzchni pod obciążeniem osi 100 kN, przy ciśnieniu kontaktowym 850 kPa i pojedynczym śladzie kołowym, obliczono z użyciem programu komputerowego wykorzystującego teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

- poziome odształcenie rozciągające na spodzie istniejących warstw asfaltowych:

$$\epsilon_{\text{asf}}^S = 162 \cdot 10^{-6}$$

- pionowe odształcenie ściskające na górze podłoża gruntowego:

$$\epsilon_{\text{gr}} = 406 \cdot 10^{-6}$$

Trwałość zmęczeniową warstw asfaltowych ze względu na spękania obliczono według równań (10) (11) (12), zakładając:

- E moduł sztywności najniższej warstwy asfaltowej z pomiaru FWD, $E=8000$ MPa
- V_b objętościowa zawartość asfaltu, $V_b=12,1$ %
- V_a zawartość wolnej przestrzeni, $V_a = 5,7$ %.

$N_f = 1,4$ mln obciążeń osi 100 kN.

Trwałość nawierzchni ze względu na odkształcenia trwałe obliczono według równania (13).

$N_f = 2,2$ mln obciążeń osi 100 kN.

Jako decydujące przyjęto kryterium spękań warstw asfaltowych (mniejsze z dwóch kryteriów):

$N_f = 1,4$ mln obciążeń osi 100 kN.

Określenie technologii przebudowy

Ponieważ na nawierzchni występują tylko powierzchniowe uszkodzenia warstwy ścieralnej, a koleiny nie przekraczają głębokości 10 mm (klasa A), założono, że nawierzchnia może być wzmocniona nowymi warstwami asfaltowymi bez konieczności usuwania istniejących warstw asfaltowych i bez ingerencji w istniejącą konstrukcję nawierzchni.

Grubość nowych warstw zostanie dobrana w dalszej części tego przykładu na podstawie obliczeń trwałości zmęczeniowej.

Stałe materiałowe nowych warstw asfaltowych

Moduł sztywności nowych warstw asfaltowych wyznaczono w zależności od podanych proporcji objętościowych mieszanek oraz przyjętej temperatury równoważnej ze względu na zmęczenie, którą przyjęto jako równą $t = 10^\circ\text{C}$.

Do obliczeń przyjęto asfalt 50/70, o założonych właściwościach (średnich) podanych w tabelcy 15.

Tabela 15. Przyjęte do obliczeń założone właściwości asfaltu

Właściwość	Wartość
Penetracja, 0,1 mm	60
Temperatura mięknięcia, $^\circ\text{C}$	47
Indeks Penetracji	-0,4

Przyjęte proporcje objętościowe nowych warstw asfaltowych przedstawiono w tabelcy 16

Tabela 16. Proporcje objętościowe i moduł sztywności nowych warstw asfaltowych

Mieszanka	Zawartość asfaltu, %m/m	Objętościowa zawartość asfaltu, %v/v	Zawartość wolnej przestrzeni, %v/v	Objętościowa zawartość kruszywa, %v/v	Moduł sztywności, MPa
Beton asfaltowy warstwy ścieralnej	5,7	14,2	3,0	82,8	8 920
Beton asfaltowy warstwy wiążącej	4,6	11,5	6,0	82,5	8 670

Współczynnik Poissona nowych warstw asfaltowych w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ przyjęto $\nu=0,3$.

Moduł sztywności warstw asfaltowych obliczono metodą SHELLa w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ i w czasie obciążenia 0,02 s. Wykorzystano program komputerowy BANDS.

Obliczenie trwałości zmęczeniowej wzmocnionej konstrukcji nawierzchni

Grubość warstw wzmacniających dobrano metodą prób. Do obliczeń przyjęto schemat przedstawiony na rysunku 10.

Próba pierwsza

Do obliczeń przyjęto wzmocnienie:

- warstwa ścieralna 5 cm
- warstwa wiążąca 8 cm.

Odształcenia występujące w nawierzchni pod obciążeniem osią 100 kN, przy ciśnieniu kontaktowym 850 kPa i pojedynczym śladzie kołowym, obliczono programem komputerowym opartym o teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

- poziome odkształcenie rozciągające na spodzie nowych warstw asfaltowych:

$$\epsilon_{\text{asf}}^N = 14 \cdot 10^{-6}$$

- poziome odkształcenia rozciągające na spodzie starych warstw asfaltowych:

$$\epsilon_{\text{asf}}^S = 69 \cdot 10^{-6}$$

- pionowe odkształcenie ściskające na górze podłoża gruntowego:

$$\epsilon_{\text{gr}} = 187 \cdot 10^{-6}.$$

Trwałość zmęczeniowa nowych warstw asfaltowych wynosi (wg wzoru (10)):

$$N_f^{\text{asf-N}} = 3\,212 \text{ mln obciążeń osi } 100 \text{ kN}$$

Trwałość zmęczeniowa starych warstw asfaltowych wynosi (wg wzoru (10)):

$$N_f^{\text{asf-S}} = 23,2 \text{ mln obciążeń osi } 100 \text{ kN}$$

Trwałość nawierzchni ze względu na odkształcenia trwałe wynosi (wg wzoru (13)):

$$N_f^{\text{gr}} = 69,9 \text{ miliona obciążeń osi } 100 \text{ kN}.$$

Jako decydujące przyjęto kryterium spękań starych warstw asfaltowych.

Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni jest znacznie większa od prognozowanego ruchu sumarycznego, wynoszącego 10,4 mln obciążeń osi 100 kN.

Wniosek: przyjęte wzmocnienie nawierzchni jest zbyt grube.

Próba druga

Do obliczeń przyjęto wzmocnienie:

- warstwa ścieralna 5 cm
- warstwa wyrównawcza minimum 4 cm.

Odształcenia występujące w nawierzchni pod obciążeniem osią 100 kN, przy ciśnieniu kontaktowym 850 kPa i pojedynczym śladzie kołowym, obliczono programem komputerowym opartym o teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

- poziome odkształcenie rozciągające na spodzie nowych warstw asfaltowych:

$$\epsilon_{\text{asf}}^N = 3,8 \cdot 10^{-6}$$

- poziome odkształcenie rozciągające na spodzie starych warstw asfaltowych:

$$\epsilon_{\text{asf}}^S = 87 \cdot 10^{-6}$$

- pionowe odkształcenie ściskające na górze podłoża gruntowego:

$$\varepsilon_{gr} = 231 \cdot 10^{-6}.$$

Trwałość zmęczeniowa nowych warstw asfaltowych wynosi (wg wzoru (10)):

$$N_f^{asf-N} = 234\,815 \text{ mln obciążeń osi } 100 \text{ kN}$$

Trwałość zmęczeniowa starych warstw asfaltowych wynosi (wg wzoru (10)):

$$N_f^{asf} = 10,8 \text{ mln obciążeń osi } 100 \text{ kN}$$

Trwałość nawierzchni ze względu na odkształcenia trwałe wynosi (wg wzoru (13)):

$$N_f^{gr} = 27,1 \text{ miliona obciążeń osi } 100 \text{ kN}.$$

Jako decydujące przyjęto kryterium spękań warstw asfaltowych.

Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni jest nieznacznie większa od prognozowanego ruchu sumarycznego, wynoszącego 10,4 mln obciążeń osi 100 kN.

Wniosek: wzmocnienie nawierzchni przyjęte jest prawidłowo.

8 Mrozoodporność podłoża

W wypadku, gdy w podłożu występują grunty wysadzinowe lub wątpliwe, należy sprawdzić, czy rzeczywista grubość wszystkich warstw zaprojektowanej, przebudowanej nawierzchni (łącznie nowych i starych) wraz z ulepszonym podłożem nie jest mniejsza od podanej w tablicy 17, w której h_z oznacza głębokość przemarzania gruntów w rejonie projektowanej drogi, przyjmowaną zgodnie z p. 9.33 KTKN PiP. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to konstrukcję przebudowywanej nawierzchni należy zaprojektować powtórnie.

Tablica 17. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni (warstwy nowe i stare) i ulepszanego podłoża ze względu na mrozoodporność

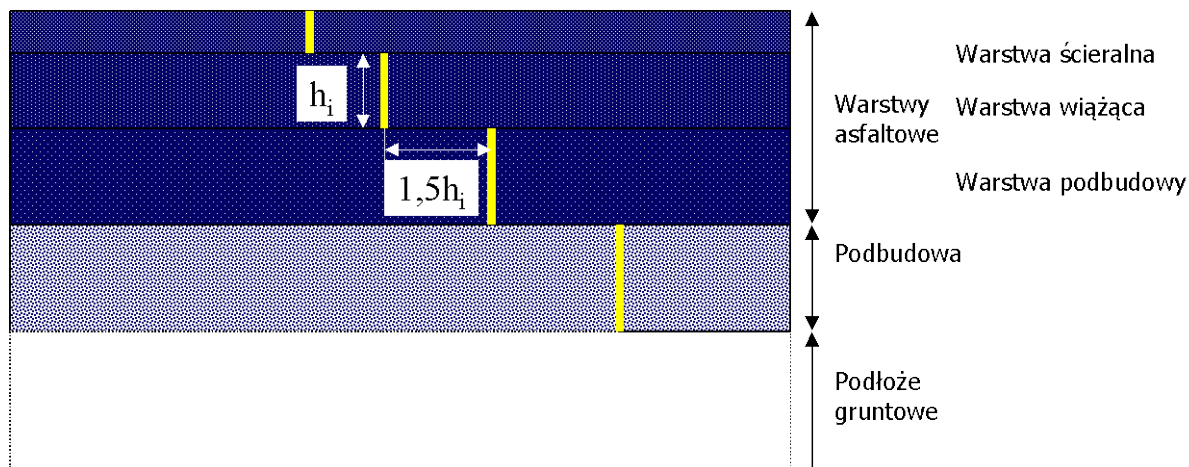
Kategoria ruchu	Grupa nośności podłoża z gruntów wysadzinowych lub wątpliwych, h_z , m		
	G1 i G2	G3	G4
KR1	0,40	0,50	0,60
KR2	0,45	0,55	0,65
KR3	0,50	0,60	0,70
KR4	0,55	0,65	0,75
KR5	0,60	0,70	0,80
KR6 i KR7	0,65	0,75	0,85

9 Poszerzenie jezdni i utwardzone pobocze

Konstrukcja nawierzchni poszerzenia jezdni i utwardzonego pobocza powinna gwarantować tę samą nośność (trwałość zmęczeniową).

Konstrukcja poszerzenia przekroju powinna być dostosowana do pozostawionej części konstrukcji istniejącej nawierzchni oraz odpowiednio z nią połączona schodkowo. Przesunięcie kolejnych warstw nawierzchni powinno być nie mniejsze niż 1,5 grubości wyżej położonej warstwy (np. grubość warstwy ścieralnej 4 cm – przesunięcie w warstwie wiążącej co najmniej 6 cm, grubość warstwy wiążącej 8 cm – przesunięcie w warstwie podbudowy co najmniej 12 cm, grubość podbudowy

asfaltowej 14 cm – przesunięcie w warstwie podbudowy niezwiązanej co najmniej 21 cm), patrz rysunek 11. W wypadku zastosowania geosyntetyku w połączeniu należy kierować się dodatkowymi szczegółowymi zaleceniami podanymi w Załączniku F.



Rysunek 11. Schemat połączenia starej konstrukcji nawierzchni z jej poszerzeniem

10 Zalecenia technologiczne doboru materiałów i warstw remontu lub przebudowy

10.1 Zalecenia poprawy warunków gruntowo-wodnych

Prawidłowe odwodnienie korpusu drogowego, a szczególnie wykonanego z gruntów o małej wodoprzepuszczalności (współczynnik filtracji $k \leq 1$ m/dobę) pozwala na uzyskanie wzrostu stabilnej nośności korpusu i podłoża drogowego.

Stosowane rozwiązania odwodnienia, w tym rozwiązania uszczelnienia, powinny być zgodne z zaleceniami w **Załączniku [C-I]**

Ewentualna poprawa odwodnienia korpusu drogowego powinna obejmować podane dalej elementy.

- Usprawnienie odpływu wody z nieutwardzonych powierzchni poboczy, skarp, rowów odpływowych i stokowych poprzez utrzymanie spadku poprzecznego $\geq 3\%$ poboczy przyległych do skarp rowów odwadniających i utrzymanie właściwej geometrii rowów zgodnie z wymaganiami w Rozporządzeniu MTiGM. W wykopach, na odcinkach, gdzie woda powierzchniowa powoduje uszkodzenie powierzchni korpusu drogowego lub brak jest miejsca na wykonanie głębokich rowów, należy stosować prefabrykowane korytkowe urządzenia ściekowe. Powinny one być ułożone na nośnej i szczelnej podbudowie z gruntów stabilizowanych cementem lub podsypce żwirowej na podłożu uszczelnionym barierą geosyntetyczną.
- Usprawnienie odwodnienia wgłębnego.
- Do obniżenia poziomu wody gruntowej należy stosować dren umieszczony pod dnem rowu, ścieku prefabrykowanego lub w pasie dzielącym jezdnie. Dren powinien być ułożony na głębokości większej od głębokości przemarzania gruntów.
- Do odprowadzenia wody przedostającej się z powierzchni pasa drogowego do podłoża nawierzchni, wrażliwego na działanie wody i mrozu zaleca się stosować dreny opaskowe poprowadzone wzdłuż zewnętrznych krawędzi jezdni. Spód drenu powinien być

zagłębiany co najmniej 20 cm poniżej spodu najniższej położonej warstwy konstrukcji nawierzchni i powinien mieć spadek w kierunku poprzecznie rozmieszczonych drenów lub sączków drenarskich łączących dren opaskowy ze skarpą rowu podłużnego (wylot drenu powinien być usytuowany powyżej 20 cm nad dnem rowu) lub kanalizacją deszczową. Należy jednak podkreślić, że najbardziej radykalnym sposobem ochrony podłoża przed wnikaniem wody powierzchniowej jest uszczelnienie nawierzchni i poboczy.

- Inne indywidualne rozwiązania urządzeń odwadniających uwzględniające specyficzne warunki otoczenia i podłoża mogą być stosowane w szczególności na drodze przebiegającej w terenie chronionym, w niekorzystnych warunkach wodno-gruntowych w terenie górskim, na obszarze osuwiskowym albo na terenie podlegającym wpływom eksploatacji górniczej. W zależności od ww. warunków indywidualne rozwiązania urządzeń odwadniających powinny uwzględniać w szczególności:
 - wykonanie uszczelnienia przekroju poprzecznego drogi (uszczelnione pobocza i rowy odprowadzające wody opadowe)
 - kanalizację z elastycznych rur
 - drenaż skarpowy
 - dreny pionowe, studnie drenarskie i chłonne.

Warunki odprowadzenia wód opadowych z pasa drogowego do odbiorników wodnych lub do ziemi powinny spełniać wymagania określone w Załączniku C.

10.2 Podstawowe zalecenia wykonania remontu lub przebudowy asfaltowej nawierzchni drogowej

Podłoże gruntowe rodzime lub nasypowe powinno być tak przygotowane, aby zapewnić przeniesienie obciążenia przekazywanego przez nawierzchnię oraz odpowiednie warunki odwodnienia i mrozoodporność konstrukcji nawierzchni.

Najwyższa warstwa podłoża gruntowego w razie potrzeby powinna być wzmocniona do grupy nośności G1. Warstwę tę określa się mianem warstwy wzmacniającej lub ulepszanego podłoża. Ma ona zapewnić przeniesienie przez podłoże gruntowe obciążenia ruchem technologicznym pojazdów podczas budowy nawierzchni drogi. Jeżeli warstwa wzmacniająca nie ulegnie nadmiernemu uszkodzeniu podczas budowy drogi, to może stanowić dodatkową warstwę konstrukcyjną.

Należy zapewnić mrozoodporność podłoża gruntowego nawierzchni (szczególnie w wypadku występowania w podłożu gruntów wysadzinowych lub wątpliwych). Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to należy najniższą położoną warstwę ulepszanego podłoża odpowiednio pogrubić. Warstwę tę nazywa się mrozoochronną. Warstwa mrozoochronna jest jedną z warstw ulepszanego podłoża gruntowego nawierzchni, położoną poniżej warstwy wzmacniającej.

Podbudowa nawierzchni może być jedno- lub wielowarstwowa. Podbudowa wielowarstwowa składa się najczęściej z dwóch warstw:

- podbudowy pomocniczej,
- podbudowy zasadniczej.

Podbudowa pomocnicza może być wykonana z wielu materiałów, w szczególności z takich, jak:

- mieszanka kruszyw mineralnych,

- kruszywo mineralne związane spoiwem hydraulicznym,
- kruszywo mineralne związane lepiszczem asfaltowym.

Podbudowa zasadnicza nawierzchni asfaltowej jest zazwyczaj wykonana z mieszanki mineralno-asfaltowej.

Nawierzchnia asfaltowa składa się zazwyczaj z trzech warstw:

- podbudowy,
- warstwy wiążącej,
- warstwy ścieralnej.

Każda z warstw jest rozkładana zazwyczaj w pojedynczej operacji.

Jeżeli warstwa nawierzchni według dokumentacji projektowej jest zbyt gruba, aby można było ją rozłożyć i zagęścić w pojedynczej operacji, to warstwa ta może się składać z dwóch warstw technologicznych, z których każda jest rozłożona i zagęszczona w odrębnej operacji. Należy zapewnić pełne połączenie między tymi warstwami.

Dwie warstwy nawierzchni, np. wiążąca i ścieralna, mogą być rozłożone i zagęszczone w pojedynczej operacji (warstwy kompaktowe).

Asfaltowa warstwa podbudowy może być położona na warstwie podbudowy z kruszywa niezwiązanego lub związanego spoiwem hydraulicznym. Jeżeli jest to warstwa niezwiązana, to nawierzchnia nazywana jest „podatną”, a jeżeli jest związana hydraulicznie, to nazywana jest „półsztywną”.

Podbudowa asfaltowa jest wykonywana z betonu asfaltowego AC P lub z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS (na drogach KR3-KR7).

Warstwa wiążąca jest układana na warstwie podbudowy asfaltowej (w nawierzchniach dróg o małym obciążeniu warstwa wiążąca może być położona na podbudowie niezwiązanej lub związanej spoiwem hydraulicznym). Warstwa ta może być wykonana z betonu asfaltowego AC W lub z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS (na drogach KR3-KR7).

Podbudowa i warstwa wiążąca spełniają rolę warstw nośnych nawierzchni drogowej. Powinny zapewnić nawierzchni nośność i odporność na zmęczenie warstw związanych asfaltem lub spoiwem hydraulicznym oraz odporność na deformacje trwałe podłoża gruntowego.

Asfaltowa warstwa ścieralna jest wierzchnią warstwą nawierzchni, która jest w kontakcie z kołami pojazdów oraz jest bezpośrednio narażona na czynniki środowiskowe i klimatyczne. Warstwa ścieralna powinna zapewnić: właściwości przeciwpoślizgowe, równość, małą hałaśliwość ruchu, odporność na pękanie zmęczeniowe, odporność na pękanie niskotemperaturowe, odporność na działanie wody i środków odladzających oraz w razie potrzeby paliwa i ognia.

Warstwa ścieralna może być wykonana z betonu asfaltowego AC S, z mieszanki SMA, z betonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw BBTM, z asfaltu lanego MA lub asfaltu porowatego PA.

W warstwie ścieralnej może być stosowany asfalt lany pod warunkiem rozkładania mechanicznego, natomiast rozkładanie ręczne asfaltu lanego jest dopuszczalne wyłącznie w ściekach przykrawężnikowych.

W warstwie ścieralnej może być stosowany asfalt porowaty. Można też stosować dwuwarstwowy układ złożony z warstw asfaltu porowatego: ścieralnej i wiążącej. Wówczas warstwa ścieralna ma drobniejsze uziarnienie niż warstwa wiążąca.

Głównym celem stosowania asfaltu porowatego jest zmniejszenie hałaśliwości ruchu pojazdów. Efekt ten jest zauważalny zwłaszcza w nawierzchni z dwiema warstwami asfaltu porowatego (obniżenie poziomu hałasu nawet o 10 dB(A)).

Zastosowanie asfaltu porowatego powinno uwzględniać wpływ warunków klimatycznych na trwałość nawierzchni, bezpieczeństwo ruchu drogowego w wyniku pogorszenia właściwości przeciwpoślizgowych oraz zwiększenie częstości zabiegów zimowego utrzymania.

W polskich warunkach klimatycznych nie należy stosować asfaltu porowatego w nawierzchniach mostowych, ze względu na ryzyko zamarzania wody i śliskości nawierzchni.

Beton asfaltowy, mieszanki SMA i BBTM oraz asfalt porowaty są mieszankami wałowanymi, tj. zagęszczanymi walcami.

Asfalt porowaty należy zagęszczać walcami statycznymi (nie można stosować walców wibracyjnych).

Asfalt lany jest mieszanką samozagęszczalną, tj. nie wymagającą zagęszczania walcami.

Warstwy asfaltowe nawierzchni drogowej powinny być dobrze połączone ze sobą podczas budowy. Połączenie międzywarstwowe zapewnia współpracę warstw w przenoszeniu obciążenia kołami pojazdów na wszystkie warstwy asfaltowe oraz niższe warstwy podbudowy i podłoża gruntowego.

Połączeniami technologicznymi są połączenia różnych warstw ze sobą lub tych samych warstw wykonywanych w różnym czasie.

W projektowaniu nawierzchni dróg w terenie zabudowy lub dróg zamiejskich w pobliżu terenów zamieszkałych należy uwzględnić potrzebę zmniejszenia hałasu generowanego przez kontakt koła pojazdu z nawierzchnią. W tym celu w warstwie ścieralnej zaleca się stosowanie mieszanki mineralno-asfaltowej o sprawdzonej zdolności zmniejszania hałasu toczenia kół pojazdu.

W szczególnych warunkach może być wymagane rozjaśnienie nawierzchni asfaltowej (np. wyróżnionych pasów ruchu lub w tunelach). Można to uzyskać dobierając materiały do warstwy ścieralnej: jasne kruszywa lub bezbarwne lepiszcza.

10.3 Wykonanie nawierzchni asfaltowej

10.3.1 Materiały do wykonania nawierzchni asfaltowej

10.3.1.1 Kruszywa do uszorstnienia

W celu zwiększenia współczynnika tarcia wykonanej warstwy ścieralnej, w początkowym okresie jej użytkowania, zaleca się jej posypanie kruszywem mineralnym naturalnym lub sztucznym uzyskanym z przekruszenia, zwanym „posypką”. Posypka może być otoczona lepiszczem w ilości zapewniającej jej sypkość, wówczas jest zwana „posypką lakierowaną”.

Uszorstnienie należy wykonać bezpośrednio po rozłożeniu warstwy asfaltowej w początkowym okresie jej zagęszczania.

Uszorstnienie wymagane jest na warstwie ścieralnej z mieszanki SMA lub asfaltu lanego.

Uszorstnienie może być stosowane na warstwie ścieralnej z betonu asfaltowego.

Nie stosuje się posypki na warstwie ścieralnej z mieszanki BBTM, która wykazuje większą głębokość tekstury niż z mieszanki SMA.

Posypki nie należy stosować na asfalcie porowatym.

Kruszywa do uszorstnienia warstwy ścieralnej powinny spełniać wymagania podane w tablicy 1.

Do uszorstnienia warstwy ścieralnej należy stosować kruszywo o wymiarze 2/4 lub 2/5. Do uszorstnienia warstwy ścieralnej z asfaltu lanego można stosować kruszywo drobne.

Tablica 18. Wymagania dotyczące kruszywa (naturalnego lub sztucznego) do uszorstnienia warstwy ścieralnej

Punkt WT-1 Kruszywa 2010	Właściwości kruszywa	Rodzaj lub wymiar kruszywa	
		Kruszywo drobne	2/4, 2/5
4.1.3.	Uziarnienie wg PN-EN 933-1	G_F85	$G_C90/10$
4.1.6.	Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż	f_3	$f_{0,5}^{a)}$ lub $f_1^{b)}$
4.1.10.	Kanciastość kruszywa drobnego wg PN-EN 933-6, rozdział 8, kategoria nie niższa niż	E_{cs} Deklarowana	-
4.2.3.	Odporność na polerowanie kruszywa wg PN-EN 1097-8, kategoria nie niższa niż	-	PSV ₄₄
4.3.1.	Gęstość ziaren wg PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9	deklarowana przez producenta	
4.5.3.	Grube zanieczyszczenia lekkie wg PN-EN 1744-1 p.14.2; kategoria nie wyższa niż	$m_{LPC0,1}$	
a) dotyczy asfaltu lanego			
b) dotyczy mieszanek wałowanych			

10.3.2 Materiały do uszczelnienia połączeń i krawędzi

Do uszczelniania połączeń technologicznych należy stosować asfalty zwykłe lub modyfikowane polimerami. lub materiały termoplastyczne (taśmy, pasty itp.) według norm lub aprobat technicznych.

Do uszczelniania krawędzi należy stosować asfalt drogowy według PN-EN 12591 lub asfalt modyfikowany polimerami według PN-EN 14023 „metodą na gorąco”, albo inne lepiszcza według aprobat technicznych.

10.3.3 Lepiszczka do skropienia podłoża

Skropienie lepiszczem, w celu zapewnienia związania układanej warstwy asfaltowej z podłożem (niżej leżącą warstwą), może być wykonane emulsją asfaltową według PN-EN 13808, albo innym materiałem według norm lub aprobat technicznych. Rodzaj lepiszcza powinien być dostosowany do rodzaju materiału w podłożu. Emulsję do konkretnych zastosowań należy dobrać na podstawie normy .

Do łączenia warstw nawierzchni należy stosować kationowe emulsje asfaltowe lub kationowe emulsje asfaltowe modyfikowane polimerami. Kationowe emulsje modyfikowane polimerami stosuje się zwłaszcza pod cienkie warstwy asfaltowe na gorąco oraz do łączenia geosyntetyków z warstwami asfaltowymi nawierzchni. W wypadku stosowania emulsji asfaltowej do skropienia podłoża z warstwy niezwiązanej lub związanej hydraulicznie należy użyć emulsję o indeksie rozpadu od 120 do 180, a do skropienia podłoża zawierającego spoiwo hydrauliczne – emulsję o pH większym niż 3,5.

10.3.4 Podłoże pod warstwę asfaltową

Podłoże pod warstwę asfaltową może stanowić nowa warstwa podbudowy z kruszywa niezwiązanego lub związanego albo nowa warstwa asfaltowa. Podłożem może być również stara warstwa konstrukcji naprawianej nawierzchni, np. warstwa po frezowaniu, nawierzchnia z kostki brukowej lub betonu cementowego.

Podłoże pod warstwę asfaltową na całej powierzchni powinno być:

- ustabilizowane i nośne,
- czyste, bez zanieczyszczenia lub pozostałości luźnego kruszywa,
- wyprofilowane, równe i bez kolein.

Jeżeli nierówności poprzeczne są większe niż dopuszczalne, w wypadku podłoża pod warstwy asfaltowe wałowane (poza asfaltem lanym), to należy wyrównać podłoże.

Tablica 19. Maksymalne nierówności podłoża z warstwy starej nawierzchni pod warstwy asfaltowe - z wyłączeniem warstwy wyrównawczej (pomiar łatą 4-metrową lub równoważną metodą)

Klasa drogi	Element nawierzchni	Maksymalna nierówność podłoża pod warstwę, [mm]		
		ścieralną	wiązącą	podbudowy
A, S, GP	Pasy: ruchu, awaryjne, dodatkowe, włączania i wyłączania	6	9	12
	Jezdnie łącznic, jezdnie MOP, utwardzone pobocza	8	10	12
G	Pasy: ruchu, dodatkowe, włączania i wyłączania, postojowe, jezdnie łącznic, utwardzone pobocza	8	10	12
Z, L, D	Pasy ruchu	9	12	15

Rzędne wysokościowe podłoża oraz urządzeń usytuowanych w nawierzchni lub ją ograniczających powinny być zgodne z dokumentacją projektową. Z podłoża powinien być zapewniony odpływ wody.

Nie dopuszcza się, aby w podłożu były koleiny lub inne zagłębienia mogące powodować zwiększone zaleganie wody, co jest szczególnie ważne w wypadku pozostawienia istniejących szczelnych warstw asfaltowych.

Oznakowanie poziome na warstwie podłoża należy usunąć.

Nierówności podłoża (w tym powierzchnię istniejącej warstwy ścieralnej) należy wyrównać poprzez frezowanie lub wykonanie warstwy wyrównawczej.

Wykonane w podłożu łaty z materiału o mniejszej sztywności (np. łaty z asfaltu lanego w betonie asfaltowym) należy usunąć, a powstałe w ten sposób ubytki wypełnić materiałem o właściwościach zbliżonych do materiału podstawowego (np. wypełnić betonem asfaltowym). Nie dotyczy to wypadku, gdy układana na podłożu warstwa będzie miała sztywność zbliżoną do materiału w łatach (np. łaty z asfaltu lanego i warstwa ścieralna z asfaltu lanego).

W celu polepszenia połączenia między warstwami technologicznymi nawierzchni powierzchnia podłoża powinna być w ocenie wizualnej chropowata.

Jeżeli podłoże jest nieodpowiednie, to należy ustalić, jakie specjalne środki należy podjąć przed wykonaniem warstwy asfaltowej.

Szerokie szczeliny w podłożu należy wypełnić odpowiednim materiałem, np. zalewami drogowymi według PN-EN 14188-1 lub PN-EN 14188-2 albo innymi materiałami według norm lub aprobat technicznych.

Na podłożu wykazującym zniszczenia w postaci siatki spękań zmęczeniowych lub spękań poprzecznych zaleca się stosowanie membrany przeciwspekaniowej, np. specjalnej mieszanki mineralno-asfaltowej, warstwy SAMI lub z geosyntetyków według norm lub aprobat technicznych.

Podłoże pod warstwę z asfaltu porowatego należy uszczelnić, chyba że jest wykonane również z asfaltu porowatego (dotyczy warstw ścieralnej i wiążącej z asfaltu porowatego) lub z asfaltu lanego. W tym celu na podłożu należy wykonać warstwę wodoszczelną, np. z asfaltu modyfikowanego w ilości od 2 do 3 kg/m² posypaną grysem otoczonym lepiszczem (jak do posypki) w ilości od 5 do 10 kg/m². Pod warstwę wiążącą można zastosować wodoszczelną matę zbrojoną geosyntetykiem.

10.4 Połączenie międzywarstwowe

Uzyskanie wymaganej trwałości nawierzchni jest uzależnione od zapewnienia połączenia między warstwami i ich współpracy w przenoszeniu obciążenia nawierzchni ruchem. Wymagane wartości wytrzymałości na ścinanie połączenia między warstwami asfaltowymi podano w tablicy 20.

Tablica 20. Wymagana wytrzymałość na ścinanie połączenia między warstwami asfaltowymi nawierzchni

Połączenie między warstwami	Wymagana wytrzymałość na ścinanie, MPa	
	KR1÷2	KR3÷6
Ścieralna/Wiążąca ^{a)}	brak wymagań	1,3
Wiążąca/Podbudowa	brak wymagań	0,8
Podbudowa/Podbudowa ^{b)}	brak wymagań	0,8
^{a)} Nie dotyczy warstw kompaktowych		
^{b)} Jeśli podbudowa składa się z kilku warstw asfaltowych		

Badanie połączenia międzywarstwowego powinno być wykonywane w nawierzchniach dróg KR3÷6. Częstość pobierania próbek powinna wynosić 1 próbka na 15 000 m² wykonanej nawierzchni.

Podłoże powinno być skropione lepiszczem asfaltowym według PN-EN 13808. Ma to na celu poprawę połączenia między warstwami konstrukcyjnymi oraz zabezpieczenie przed wnikaniem i zaleganiem wody między warstwami.

Skropienia lepiszczem nie należy stosować na izolacji przeciwwodnej obiektów inżynierskich oraz na podłożu pod asfalt lany.

Pod warstwę z mieszanki BBTM oraz asfaltu porowatego PA (jeżeli układ dwuwarstwowy PA, to pod niższą warstwę) należy stosować zwiększoną ilość skropienia lepiszczem, zbliżoną do górnej granicy wymagań (tablica 21).

W wypadku podłoża z izolacji przeciwwodnej należy postępować według wskazań producenta lub zapisów w normach albo aprobaty technicznych.

Skropienie lepiszczem powinno być wykonane w ilości podanej w przeliczeniu na pozostałe lepiszcze (tablica 21). Określenie ilości skropienia lepiszcza na drodze należy wykonać według PN-EN 12272-1.

W wypadku dużej ilości pozostałego lepiszcza, np. powyżej 0,5 kg/m², oraz zastosowaniu emulsji asfaltowej może być konieczne wykonanie skropienia w kilku warstwach, aby zapobiec spłynięciu i powstaniu kałuż lepiszcza.

Tablica 21. Zalecane ilości pozostałego lepiszcza do skropienia podłoża pod warstwę asfaltową

Układana warstwa asfaltowa	Podłoże pod warstwę asfaltową	Ilość pozostałego lepiszcza [kg/m ²]
Podbudowa z betonu asfaltowego AC lub AC WMS	Podbudowa/nawierzchnia tłuczniowa	0,7÷1,0
	Podbudowa z kruszywa stabilizowanego mechanicznie	0,5÷0,7
	Podbudowa z chudego betonu lub gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym	0,3÷0,5 a) + 0,7÷1,0 b)
	Nawierzchnia asfaltowa o chropowatej powierzchni	0,2÷0,5
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC lub AC WMS	Podbudowa asfaltowa	0,3÷0,5
Warstwa wiążąca z asfaltu porowatego PA	Podbudowa asfaltowa	2,0÷3,0 c)
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego AC	Warstwa wiążąca asfaltowa	0,1÷0,3
Warstwa ścieralna z mieszanki SMA	Warstwa wiążąca asfaltowa	0,1÷0,3 c)
Warstwa ścieralna z mieszanki BBTM	Warstwa wiążąca asfaltowa	0,4÷0,8 c)
Warstwa ścieralna z asfaltu porowatego PA d)	Warstwa wiążąca asfaltowa	2,0÷3,0 c), d)
a) zalecana emulsja o pH > 4 b) zalecana emulsja modyfikowana polimerem posypana grysem 2/5 w celu uzyskania membrany poprawiającej połączenie oraz zmniejszającej ryzyko spękań odbitych c) zalecana emulsja modyfikowana polimerem; ilość emulsji należy dobrać z uwzględnieniem stanu podłoża oraz porowatości mieszanki SMA, BBTM lub PA, jeżeli mieszanka ma większą zawartość wolnych przestrzeni, to należy użyć większą ilość lepiszcza do skropienia, które po ułożeniu warstwy ścieralnej uszczelni ją d) jeżeli warstwa wiążąca jest z asfaltu porowatego, to nie należy stosować skropienia		

Skrapianie podłoża należy wykonywać równomiernie stosując rampy do skrapiania, np. skraparki do lepiszczy asfaltowych. Dopuszcza się skrapianie ręczne łańcą w miejscach trudno dostępnych (np. ścieki uliczne) oraz przy urządzeniach usytuowanych w nawierzchni lub ją ograniczających. W razie

potrzeby urządzenia te należy zabezpieczyć przed zabrudzeniem. Skropione podłoże należy wyłączyć z ruchu publicznego przez zmianę organizacji ruchu.

W wypadku stosowania emulsji asfaltowej podłoże powinno być skropione przed układaniem warstwy asfaltowej w celu odparowania wody, w zależności od ilości emulsji asfaltowej:

- 8 h w wypadku zastosowania więcej niż 1,0 kg/m²,
- 1 h w wypadku zastosowania od 0,5 do 1,0 kg/m²,
- 0,5 h w wypadku zastosowania do 0,5 kg/m².

Czas ten nie dotyczy skrapiania rampą zamontowaną na rozkładarce.

10.5 Połączenia technologiczne

10.5.1 Uwagi ogólne

Wśród połączeń technologicznych wyróżnia się:

- złącza podłużne i poprzeczne (połączenia tego samego materiału wykonywanego w różnym czasie),
- spoiny (połączenia różnych materiałów, np. asfaltu lanego i betonu asfaltowego oraz warstwy asfaltowej z urządzeniami obcymi w nawierzchni lub ją ograniczającymi).

Połączenia technologiczne powinny być jednorodne i szczelne.

Połączenia technologiczne w warstwie z asfaltu porowatego oraz jej krawędzi nie należy uszczelniać materiałami do uszczelnień. Projekt konstrukcji powinien zapewnić odprowadzenie wody z warstw porowatych.

Złącza podłużne nie należy umieszczać w śladach kół. Należy unikać umieszczania złączy w obszarze poziomego oznakowania jezdni.

Złącza podłużne między pasami kolejnych warstw technologicznych należy przesunąć względem siebie o co najmniej 15 cm w kierunku poprzecznym do osi jezdni.

Złącza poprzeczne między działkami roboczymi układanych pasów kolejnych warstw technologicznych należy przesunąć względem siebie o co najmniej 2 m w kierunku podłużnym do osi jezdni.

10.5.2 Złącza

10.5.2.1 Technologia rozkładania „gorące przy gorącym”

Do metody tej są używane rozkładarki pracujące obok siebie. Wydajności wstępnego zagęszczania stołami rozkładarek muszą być do siebie dopasowane. Przyjęta technologia robót ma zapewnić prawidłowe i szczelne połączenie układanych pasów warstwy technologicznej. Zazwyczaj warunek ten zapewnia się przez zminimalizowanie odległości między rozkładarkami tak, aby odległość między układanymi pasami nie była większa niż długość rozkładarki oraz druga w kolejności rozkładarka nakładała mieszankę na pierwszy pas.

10.5.2.2 Technologia rozkładania „gorące przy zimnym”

Wcześniej wykonany pas warstw technologicznej powinien mieć wyprofilowaną krawędź, równomiernie zagęszczoną, bez pęknięć. Krawędź ta nie może być pionowa, lecz powinna być skośna. Przygotowanie krawędzi polega na odcięciu wąskiego pasa wzdłuż krawędzi ciepłej warstwy.

Na krawędzi pasa warstw wiążącej i ścieralnej należy nanieść lepiszcze lub inny materiał do złączy, w ilości co najmniej 50 g na 1 cm grubości warstwy na 1 metr bieżący krawędzi.

Na krawędź pasa warstw wiążącej i ścieralnej nie należy nanosić lepiszczy używanych do połączenia międzywarstwowego.

W wypadku, gdy jeden z pasów warstwy technologicznej jest z asfaltu lanego, wówczas między układanymi pasami należy wykonać spoinę zamiast złączy.

10.5.2.3 *Zakończenie działki roboczej*

Zakończenie działki roboczej dotyczy wystąpienia przerw w układaniu pasa warstwy technologicznej na czas, po którym temperatura mieszanki mineralno-asfaltowej obniży się poza dopuszczalną granicę. W takim wypadku wykonywanie warstwy technologicznej z mieszanek wałowanych (nie dotyczy asfaltu lanego) należy poprzedzić usunięciem ułożonego wcześniej pasa o długości do 3 m. Należy usunąć fragment pasa na całej jego grubości. Na tak powstałą krawędź należy nanieść lepiszcze lub inny materiał do złączy w ilości co najmniej 50 g na 1 cm grubości warstwy na 1 metr bieżący krawędzi.

10.5.3 *Spoiny*

Spoiny wykonywane są w wypadku wszelkich połączeń technologicznych warstwy z asfaltu lanego oraz w wypadku połączeń warstw wiążącej i ścieralnej z urządzeniami w nawierzchni lub ją ograniczającymi.

Spoiny wykonuje się z materiałów termoplastycznych (taśmy, pasty itp.). Grubość materiału termoplastycznego do spoiny powinna wynosić:

- nie mniej niż 10 mm przy grubości warstwy technologicznej do 2,5 cm,
- nie mniej niż 15 mm przy grubości warstwy technologicznej większej niż 2,5 cm.

10.5.4 *Krawędzie*

W wypadku warstwy ścieralnej rozkładanej przy urządzeniach ograniczających nawierzchnię, których górna powierzchnia ma być w jednym poziomie z powierzchnią tej nawierzchni (np. ściek uliczny, korytka odwadniające) oraz gdy spadek jezdni jest w stronę tych urządzeń, to powierzchnia warstwy ścieralnej powinna być wyższa o $0,5 \div 1,0$ cm.

W wypadku warstw nawierzchni z mieszanki wałowanej bez urządzeń ograniczających ją (np. krawężników) krawężnikom należy nadać spadki o nachyleniu nie większym niż 2:1, a za pomocą odpowiednich środków technicznych (np. zamontowanych na walcu drogowym elementów wykańczających) wykonać krawędzie w linii prostej i docisnąć równomiernie na całej długości.

Krawędzie warstw z asfaltu lanego należy zakończyć pionowo.

Po wykonaniu nawierzchni asfaltowej o jednostronnym nachyleniu jezdni należy uszczelnić krawędź położoną wyżej, a w strefie zmiany przechyłki - obie krawędzie. W tym celu boczną powierzchnię krawędzi należy pokryć gorącym lepiszczem w ilości 4,0 kg/m². Lepiszcze powinno być naniesione odpowiednio szybko tak, aby krawędzie nie uległy zabrudzeniu. Niżej położona krawędź (z wyjątkiem strefy zmiany przechyłki) powinna pozostać nieuszczelniona.

Uwaga: nie należy uszczelniać krawędzi warstwy z asfaltu porowatego.

Krawędź kolejnych warstw może być uszczelniona jednocześnie, jeżeli kolejne warstwy układane są bezpośrednio jedna po drugiej oraz jeżeli zabezpieczy się krawędzie przed zanieczyszczeniem.

Jeżeli kolejno układane warstwy są uszczelniane odrębnie, to przylegającą powierzchnię odsadki danej warstwy należy również uszczelnić na szerokości co najmniej 10 cm.

W wypadku nakładania warstwy na nawierzchnię przeznaczoną do ruchu należy odpowiednio ukształtować krawędź nakładanej warstwy, łącząc ją z niższą warstwą, aby złagodzić wjazd z niższej warstwy na wyższą.

W tym celu należy:

- usunąć (sfreezeować) klin niższej warstwy; na głębokość od 0 do grubości nakładanej warstwy oraz na długości równej co najmniej 125 krotności grubości nakładanej warstwy,
- przygotować podłoże i połączenia,
- ułożyć nakładaną warstwę o stałej grubości.

10.6 Grubość warstw nawierzchni

Typ i wymiar mieszanki mineralno-asfaltowej do poszczególnych warstw nawierzchni należy dobierać według zaleceń podanych w WT-2 2010 (tablica 1). Grubość wykonanej warstwy asfaltowej i właściwości (zagęszczenie i zawartość wolnych przestrzeni) powinny spełniać warunki podane w tablicy 22.

Tablica 22. Typ i wymiar mieszanek mineralno-asfaltowych do warstw nawierzchni

Warstwa	Typ i wymiar mieszanki, przeznaczenie	Projektowana grubość warstwy technologicznej [cm]	Wskaźnik zagęszczenia [%]	Zawartość wolnych przestrzeni w warstwie [% (v/v)]
Podbudowa	AC 16 P, KR1÷KR4	5,0÷14,0	≥ 98	4,0÷10,0
	AC 22 P, KR1÷KR4	7,0÷14,0	≥ 98	4,0÷10,0
	AC 16 P, KR5÷KR6	5,0÷14,0	≥ 98	5,0÷10,0
	AC 22 P, KR5÷KR6	7,0÷14,0	≥ 98	5,0÷10,0
	AC 32 P, KR3÷KR6	9,0÷14,0	≥ 98	5,0÷10,0
	AC WMS 11	4,0÷12,0	≥ 98	2,0÷5,0
	AC WMS 16	5,0÷14,0	≥ 98	2,0÷5,0
	AC WMS 22	7,0÷14,0	≥ 98	2,0÷5,0
Wiążąca	AC 11 W, KR1÷KR2	4,0÷10,0	≥ 98	3,0÷6,0
	AC 16 W, KR1÷KR2	5,0÷10,0	≥ 98	3,0÷6,0
	AC 16 W, KR3÷KR6	5,0÷10,0	≥ 98	4,0÷7,0
	AC 22 W, KR3÷KR6	7,0÷10,0	≥ 98	4,0÷7,0
	AC WMS 11	4,0÷10,0	≥ 98	2,0÷5,0
	AC WMS 16	5,0÷10,0	≥ 98	2,0÷5,0

Warstwa	Typ i wymiar mieszanki, przeznaczenie	Projektowana grubość warstwy technologicznej [cm]	Wskaźnik zagęszczenia [%]	Zawartość wolnych przestrzeni w warstwie [% (v/v)]
	AC WMS 22	7,0÷10,0	≥ 98	2,0÷5,0
	MA 8 W	2,5÷3,5	-	-
	MA 11 W	3,5÷4,0	-	-
	PA 16	6,0÷10,0	≥ 97	22÷32
Ścierzalna	AC 5 S, KR1÷KR2	2,0÷4,0	≥ 97	1,0÷4,0
	AC 8 S, KR1÷KR2	2,5÷4,5	≥ 97	1,0÷4,0
	AC 11 S, KR1÷KR2	3,0÷5,0	≥ 98	1,0÷4,0
	AC 8 S, KR3÷KR4	2,5÷4,5	≥ 97	2,0÷5,0
	AC 11 S, KR3÷KR4	3,0÷5,0	≥ 98	2,0÷5,0
	SMA 5	2,0÷4,0	≥ 97	2,0÷6,0
	SMA 8	2,5÷5,0	≥ 97	2,0÷6,0
	SMA 11	3,5÷5,0	≥ 97	3,0÷6,0
	BBTM 8	1,0÷3,0	-	3,0÷6,0
	BBTM 11	1,5÷3,5	-	3,0÷6,0
	PA 8	4,0÷5,0	≥ 97	18÷24
	PA 11	5,0÷6,0	≥ 97	18÷24
	MA 5	2,0÷3,0	-	-
	MA 8	2,5÷3,5	-	-
	MA 11	3,5÷4,0	-	-

Grubość warstw podbudowy niezwiązanych i związanych spoiwem hydraulicznym (kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie, tłuczeń klinowany, mieszanka związana spoiwem hydraulicznym, kruszywo stabilizowane mechanicznie i ulepszone cementem) powinna wynosić nie mniej niż 12 cm.

10.7 Zalecenia wyboru materiałów

Stosowane materiały i gotowe mieszanki powinny spełniać wymagania aktualnie obowiązujących norm i przepisów technicznych.

W doborze materiałów, określaniu wymagań i ustalaniu grubości poszczególnych warstw nawierzchni należy kierować się zaleceniami podanymi w KTKNPP, WT-2 2010, i norm serii PN-EN 12697-X z uwzględnieniem ewentualnych zmian w niniejszym Katalogu.

W wypadku cienkich nawierzchni asfaltowych o łącznej grubości warstw asfaltowych nie większej niż 15 cm (KR1-KR2) należy unikać nadmiernego usztywnienia warstw z betonu asfaltowego. Należy

dążyć do zwiększenia grubości dolnej warstwy i zmniejszenia grubości warstwy ścieralnej, stosując ciekłą warstwę ścieralną na gorąco. Beton asfaltowy do warstwy wiążącej lub podbudowy nie powinien wykazywać zbyt małej zawartości asfaltu.

10.8 Zalecenia wyboru techniki remontu

W tablicy 23 zestawiono syntetyczną ocenę technik napraw nawierzchni z uwzględnieniem bezpieczeństwa i komfortu użytkownika, ograniczeń zastosowania oraz przeciętnej trwałości. Zalecenia wyboru techniki naprawy do rodzaju uszkodzenia zestawiono w tablicy 24.

Tablica 23. Zalecenia stosowania i syntetyczna ocena technik napraw nawierzchni powierzchniowych

Technika	Zalecane zastosowanie do warunków ruchu			Bezpieczeństwo użytkownika		Komfort	Hałaśliwość	Trwałość, lat
	Kategoria ruchu	Klasa drogi	Miasto	Tekstura	Szorstkość			
Powierzchniowe utrwalenie	KR1-KR4	D,L,Z,G	-2	2	2	-2 do 0	-2	1 do 5
Cienka warstwa na zimno	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	2	0	2	1 do 2	0	3 do 6
Cienka warstwa na gorąco	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	2	2	2	1 do 2	1 do 2	6 do 12
Frezowanie częściowe lub płytkie	KR1-KR4	D,L,Z,G	-1	1	1	-2 do -1	-2	1
Frezowanie z przykryciem powierzchniowym utwaleniem	KR1-KR4	D,L,Z,G	-2	2	2	-2 do 0	-2	1 do 5
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na zimno	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	2	0	2	2	0	3 do 6
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na gorąco	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	2	2	2	2	1 do 2	6 do 12
Termoprofilowanie	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	-1	0	0 do 1	0 do 1	0	1 do 5
Remixing warstwy ścieralnej	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	-1	0	0 do 1	0 do 2	0	2 do 6
Remixing plus warstwy ścieralnej	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	-1	1 do 2	0 do 2	0 do 2	0 do 2	3 do 10
Wymiana warstw	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	2	0 do 2	0 do 2	0 do 2	0 do 2	6 do 20 ^{a,b)}
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem powierzchniowym utwaleniem	KR1-KR3	D,L,Z,G	-1	2	2	-2 do 0	-2	5 do 10 ^{a)}
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem cienką warstwą na zimno	KR1-KR3	D,L,Z,G	-1	0	2	0 do 2	0	5 do 10 ^{a)}
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem warstwami bitumicznymi na gorąco	KR1-KR6	D,L,Z,G,GP,S,A	-1	0 do 2	0 do 2	0 do 2	0 do 2	10 do 20 ^{b)}

Ocena: 2: bardzo wysoka 1: dobra 0: przeciętna -1: niska -2: bardzo niska

Uwagi: a) trwałość konstrukcji, trwałość warstwy ścieralnej jest mniejsza – patrz odpowiednik powyżej

b) zależnie od zaprojektowanej trwałości konstrukcji

Tablica 24. Zalecane techniki napraw do rodzajów uszkodzenia nawierzchni

	Deformacje trwałe		Spękania				Uszkodzenia powierzchniowe			
	Lepko- plastyczne	Strukturalne	Niskotemperaturowe (termiczne):		Odbite ^{a)}	Zmęczeniowe: podłużne i/lub siatkowe	Ubytki lepiszcza lub kruszywa	Ubytki warstwy ścieralnej	Wypolerowanie ziaren kruszywa	Wypływ (plamy) lepiszcza
			pojedyncze	blokowe						
Naprawa cząstkowa								✓		
Powierzchniowe utrwalenie			✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓	✓	✓	✓
Cienka warstwa na zimno	✓		✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓	✓	✓	✓
Cienka warstwa na gorąco			✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓	✓	✓	✓
Frezowanie częściowe lub płytkie	✓								✓	✓
Frezowanie z przykryciem powierzchniowym utrwaleniem	✓						✓	✓	✓	✓
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na zimno	✓						✓	✓	✓	✓
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na gorąco	✓						✓	✓	✓	✓
Termoprofilowanie	✓						✓	✓	✓	✓
Remixing warstwy ścieralnej	✓						✓	✓	✓	✓
Remixing plus warstwy ścieralnej	✓									
Wymiana warstw (w tym recykling w otaczarce)	✓	✓		✓ ^{c)}	✓ ^{c)}	✓ ^{c)}				
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem powierzchniowym utrwaleniem	✓	✓								
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem cienką warstwą na zimno	✓	✓								
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem warstwami bitumicznymi na gorąco	✓	✓								
Uszczelnienie			✓	✓	✓	✓				
Geosyntetyk + naprawa płytka			✓		✓					
Geosyntetyk + naprawa głęboka, wymiana warstw	✓	✓			✓					
Geosyntetyk + naprawa głęboka, iniekcja			✓		✓	✓				
Geosyntetyk + naprawa powierzchniowa pod nowe warstwy	✓	✓	✓	✓	✓	✓				

Uwagi: a) zależnie od warunków podparcia, b) w połączeniu z geosyntetykiem, c) w połączeniu z geosyntetykiem, jeśli pozostawione są niżej położone spękanne warstwy

10.9 Zalecenia wyboru konstrukcji nawierzchni w specjalnych warunkach obciążenia

Jako specjalne warunki obciążenia ruchem rozumie się ruch ciężkich pojazdów i jednocześnie:

- ruch powolny lub stacjonarny
- ruch skanalizowany, ze zmniejszoną możliwością wyboru toru ruchu.

W razie występowania specjalnych warunków obciążenia ruchem zaleca się przyjęcie specjalnych rozwiązań materiałowych i technologicznych:

- zastosowanie cienkiej warstwy ścieralnej na gorąco z mieszanki BBTM lub SMA i warstw wiążącej i podbudowy z mieszanki ACWMS według WT-2 2010
- w warstwach ścieralnej i wiążącej zaleca się stosowanie specjalnych rozwiązań technologicznych, specjalnych mieszanek mineralno-asfaltowych ze specjalnymi lepiszczami asfaltowymi modyfikowanymi polimerami i/lub z dodatkami.

Wymaganie to należy stosować także, jeśli warstwa wiążąca wykonana jest w technologii recyklingu na gorąco na miejscu. Wymagania tego nie stosuje się natomiast do warstw wykonanych w technologii recyklingu na zimno.

10.10 Zalecenia wyboru konstrukcji nawierzchni o zmniejszonej emisji hałasu

Jedną z głównych przyczyn emisji hałasu drogowego jest interakcja opona-nawierzchnia. W celu zmniejszenia poziomu hałasu należy projektować nawierzchnie asfaltowe („ciche nawierzchnie”) z warstwą ścieralną (ewentualnie wraz z warstwą wiążącą) z odpowiedniej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zastosowanie cichych nawierzchni jest skuteczną alternatywą (całkowitą lub częściową) wobec innych metod redukcji hałasu drogowego (przegrody akustyczne – ekrany dźwiękochłonne, przegrody akustyczne, wały ziemne, zieleń izolacyjna). Ciche nawierzchnie są skuteczne w redukcji hałasu drogowego przy dopuszczalnej prędkości ruchu drogowego powyżej 55 km/h (samochody osobowe) i 70 km/h (samochody ciężarowe).

Wśród cichych nawierzchni najczęściej stosowane są:

- asfalt porowaty jednowarstwowy
- asfalt porowaty dwuwarstwowy
- drobnoziarniste mieszanki mineralno-asfaltowe o nieciągłym uziarnieniu (SMA 5, SMA 8, BBTM 5, BBTM 8)
- mieszanki mineralno-asfaltowe modyfikowane gumą (metodą na mokro).

Najbardziej skuteczne rozwiązania to asfalt porowaty dwuwarstwowy, a nieco mniej skuteczne to asfalt porowaty jednowarstwowy lub cienka warstwa z mieszanki BBTM.

10.11 Zalecenia remontu lub przebudowy nawierzchni z lepiszczem smołowym

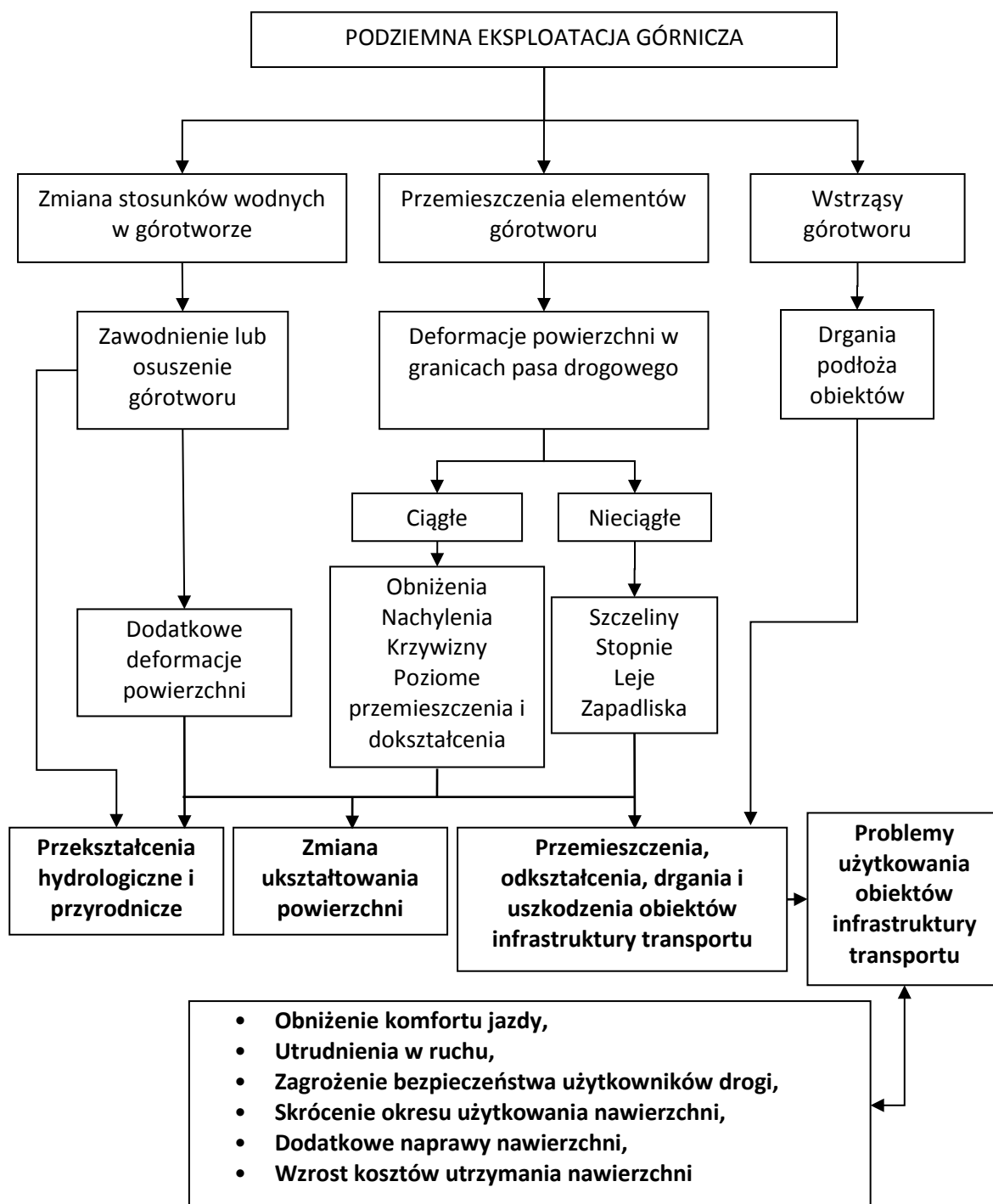
W wypadku stwierdzenia, że w przetwarzanej nawierzchni występują warstwy z lepiszczem smołowym lub składnikami smołowymi, nawierzchnię taką należy przetworzyć w technologii recyklingu na zimno na miejscu. Technologia ta pozwala uniknąć rozbiórki nawierzchni i składowania szkodliwego dla środowiska destruktu ze składnikami smołowymi. Przetworzenie takich warstw z dodatkiem emulsji asfaltowej pozwala zamknąć składniki smołowe warstwą asfaltu nieszkodliwego dla środowiska.

11 Naprawa nawierzchni na terenach górniczych

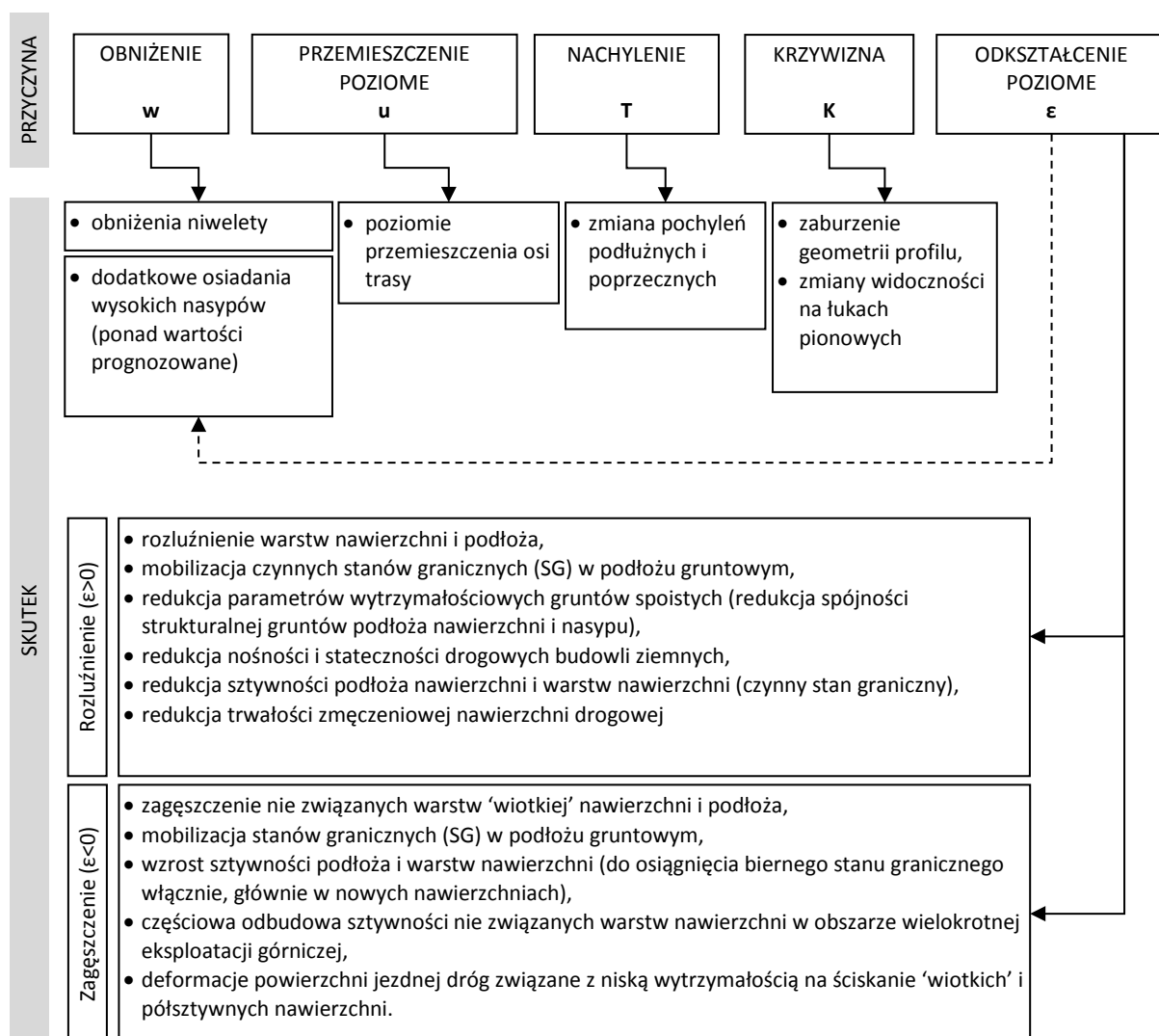
11.1 Wprowadzenie

Obowiązujące obecnie Rozporządzenia w zakresie projektowania i budowy dróg nakazują, aby konstrukcje budowli ziemnych oraz konstrukcje nawierzchni projektować i wykonywać w taki sposób, aby przenosiły wszystkie oddziaływania i wpływy mogące występować podczas budowy i użytkowania, w tym również oddziaływania pochodzenia górniczego. Powinny one mieć w tych odmiennych warunkach odpowiednią trwałość, z uwzględnieniem przewidywanego okresu eksploatacji, nie powinny ulegać zniszczeniu w stopniu nieproporcjonalnym do jej przyczyny. Spełnienie tych wymagań jest równoznaczne z potrzebą zapewnienia warunków nieprzekroczenia stanów granicznych nośności i stanów granicznych przydatności do użytkowania w każdym z elementów, jak i całej konstrukcji budowli ziemnej wraz z nawierzchnią drogową.

Istota szkód w infrastrukturze drogowej na terenach górniczych oraz mobilizacji stanów granicznych nośności ma zupełnie odmienną genezę aniżeli poza tymi obszarami [24, 25, 26] i wynika głównie z podatności nawierzchni i budowli ziemnych na poziome odkształcenia jednostkowe o charakterze rozluźniającym ε [mm/m]. Kompleksowe ujęcie tego problemu ilustruje schemat na Rys.12. W chwili obecnej znaczna część drogowej infrastruktury liniowej nie posiada nadal wystarczającej odporności konstrukcyjnej na tego typu destrukcyjne oddziaływania, co stanowi główną przyczynę jej uszkodzeń. Zgodnie z obowiązującymi rozporządzeniami, na terenach podlegającym wpływom eksploatacji górniczej powinny być stosowane zabezpieczenia odpowiednie do kategorii terenu górniczego. Przedstawiono obowiązujące obecnie klasyfikacje terenów górniczych z uwzględnieniem deformacji ciągłych i nieciągłych, oddziaływań para-sejsmicznych oraz terenów pogórniczych [25, 27, 28]. Wskazano korelacje (Rys. 13) pomiędzy parametrami deformacji terenu górniczego, a charakterem ich destrukcyjnego wpływu na konstrukcje nawierzchni drogowych oraz elementy budowli ziemnych. Przedstawiono podstawowe zasady uodpornienia tych konstrukcji na oddziaływania górnicze, zalecane technologie napraw oraz możliwość zachowania odpowiednich parametrów funkcjonalnych i geometrycznych.



Rysunek 12. Elementy kształtujące wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię w granicach pasa drogowego (opr. przy wykorzystaniu [24])



Rysunek 13. Związek przyczynowo – skutkowy opisujący wpływ wskaźników deformacji ciągłych terenu górniczego na parametry funkcjonalne i wytrzymałościowe infrastruktury drogowej

11.2 Ważniejsze definicje

Deformacje ciągłe powierzchni terenu - zmiany ukształtowania powierzchni terenu niepowodujące przerwania jej ciągłości, będące konsekwencją przemieszczeń skał wewnątrz górotworu wywołanych podziemnymi robotami górniczymi.

Deformacje górotworu i powierzchni terenu - zmiany struktury górotworu i ukształtowania powierzchni terenu, będące wynikiem przemieszczeń skał wskutek oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej, charakteryzowane przez wskaźniki deformacji: obniżenie, nachylenie, krzywiznę, przemieszczenie poziome, odkształcenie poziome i odkształcenie pionowe.

Deformacje końcowe (ustalone) - wartości wskaźników deformacji charakteryzujące stan górotworu i powierzchni terenu, jaki utrwała się po zakończeniu eksploatacji danej partii złoża oraz po ustaniu ruchów górotworu spowodowanych tą eksploatacją.

Deformacje nieciągłe - stwierdzane makroskopowo zmiany przypowierzchniowych warstw gruntu i głębszych warstw górotworu w formie lejów, zapadlisk, pęknięć, szczelin, progów, rowów, garbów i osuwisk.

Deformacje sufozyczne - deformacje górotworu powstające w wyniku wynoszenia przez wodę drobnych części ilastych, pylistych, piaszczystych, a nawet całej masy gruntów sypkich.

Deformacje zapadliskowe - deformacje górotworu spowodowane załamaniem cienkich warstw zbudowanych ze skał zwięzłych zalegających nad komorami krasowymi, w wyniku zdrenowania tych komór.

Działalność górnicza - całokształt przedsięwzięć podejmowanych w celu wydobycia kopaliny (surowca mineralnego, nie tylko węgla kamiennego) ze złoża i przetworzenia jej na produkt przemysłowy.

Eksploracja górnicza - 1) ogół czynności związanych z pozyskiwaniem surowców mineralnych (kopalin) ze złóż naturalnych; 2) wydobywanie surowców mineralnych (kopalin) ze złóż naturalnych uprzednio udostępnionych górnictwami robotami przygotowawczymi.

Eksploracja odkrywkowa - eksploatacja górnicza stałych surowców mineralnych ze złóż udostępnianych przez całkowite usunięcie zalegających nad złożem (lub obok niego) skał płonnych lub ze złóż zalegających bezpośrednio na powierzchni ziemi.

Eksploracja otworowa (wiertnicza) - eksploatacja prowadzona z powierzchni za pomocą otworów wiertniczych dowierconych do złoża, stosowana do eksploatacji złóż ropy naftowej i gazu ziemnego oraz soli metodą ługowania, a także złóż siarki metodą wytapiania.

Eksploracja podziemna - eksploatacja górnicza złoża w głębi ziemi, pod pokrywą nadległego górotworu.

Filar ochronny - przestrzeń w górotworze, w której granicach, ze względu na ochronę oznaczonych dóbr, wydobywanie kopalin nie może być prowadzone albo może być dozwolone tylko w sposób zapewniający szczególną ochronę tych dóbr.

Geodezyjne pomiary deformacji - metoda pozyskiwania informacji o wartościach wskaźników deformacji powierzchni terenu i górotworu wywołanych wpływem eksploatacji górniczej (najczęściej pomiary niwelacyjne, pomiary długości, pomiary poligonowe i pomiary satelitarne GPS).

Geofizyczne metody wykrywania pustek w górotworze - pomiary geoelektryczne, grawimetryczne, sejsmiczne i radarowe mające na celu lokalizację i określenie rozmiarów pustek lub stref rozluźnień warstw skalnych wewnątrz górotworu.

Interpretacja - etap monitoringu lub prognozy mający na celu wyjaśnienie znaczenia przetworzonych wyników obserwacji lub wyników obliczeń teoretycznych.

Katastrofa budowlana - nagłe zniszczenie konstrukcji budowli (elementu infrastruktury drogowej) uniemożliwiające dalsze jej użytkowanie i mogące prowadzić do ofiar w ludziach.

Kategoria odporności terenu chronionego - kategorie wynikające z odporności wszystkich obiektów budowlanych, w tym infrastruktury drogowej, znajdującej się w granicach terenu chronionego.

Kategorie deformacji terenu - intensywność dotychczasowych ciągłych deformacji terenu wyrażona przez wartości nachyleń, odkształceń poziomych i krzywizn przynależne do przedziałów kategorii terenu górnictwa.

Kategorie odporności obiektów - odporność obiektów infrastruktury drogowej na obniżenia, nachylenia, krzywizny i poziome odkształcenia powierzchni dostosowana do przedziałów wartości tych wskaźników w kategoriach terenu górnictwa.

Kategorie terenu górniczego - intensywność przewidywanych ciągłych deformacji powierzchni, wyrażona przez przynależność charakteryzujących ją wartości nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń do określonych przedziałów tych wskaźników; wprowadzono sześć kategorii terenu górniczego.

Klasyfikacja przydatności terenów do zabudowy - podział terenów zagrożonych deformacjami ciągłymi lub nieciągłymi, na których wznoszenie obiektów budowlanych wymaga spełnienia określonych warunków.

Likwidacja kopalni - roboty prowadzone po zakończeniu eksploatacji kopalni i jej zamknięciu, polegające na rozebraniu obiektów, zabezpieczeniu dostępu do szybów bądź innych wyrobisk wychodzących na powierzchnię oraz na doprowadzeniu terenów pogórnich do gospodarczego użytkowania.

Likwidacja szkody - procedura postępowania ugodowego lub sądowego, w celu ustalenia zasadności roszczenia oraz sposobu naprawienia powstałej szkody lub wysokości odszkodowania.

Linia obserwacyjna - ciąg znaków geodezyjnych stabilizowanych wzdłuż linii prostej lub łamanej, na których wykonuje się okresowo pomiary niwelacyjne i długościowe, a także obserwacje satelitarne GPS, w celu wyznaczenia wartości wskaźników deformacji.

Minimalizacja niekorzystnych wpływów działalności górniczej na środowisko - działania organizacyjne i techniczne mające na celu zmniejszenie negatywnych skutków działalności górniczej w środowisku, polegające na stosowaniu odpowiedniej profilaktyki oraz sposobu usuwania szkód.

Monitoring sejsmometryczny - ciągła rejestracja zjawisk sejsmicznych z wykorzystaniem akcelerografów i sejsmografów.

Nadkład - warstwy skalne zalegające nad rozpatrywanym złożem lub pokładem kopaliny.

Naprawa szkód - ogół czynności mających na celu zlikwidowanie niekorzystnych zmian w danym komponencie środowiska, które wystąpiły na skutek oddziaływań górniczych.

Niecka obniżeniowa - powierzchnia, wynikająca z różnicy pomiędzy pierwotną powierzchnią terenu, a powierzchnią obniżoną pod wpływem eksploatacji górniczej.

Nieustalone deformacje powierzchni - deformacje zmieniające się wraz z upływem czasu, związane z przemieszczającym się lub zatrzymanym frontem eksploatacyjnym.

Niweleta pierwotna - teoretyczna (projektowana) niweleta drogi z okresu poprzedzającego wystąpienie obniżenia terenu w wyniku eksploatacji górniczej.

Niweleta profilaktyczna - niweleta zaprojektowana w okresie poprzedzającym wystąpienie określonych przewidywanych obniżenia z takim wyliczeniem, aby po ich wystąpieniu niweleta nadal zapewniała bezpieczeństwo i ciągłość ruchu wszystkich typów pojazdów drogowych.

Niweleta tymczasowa (przejściowa) - niweleta projektowana w celu zachowania bezpieczeństwa i ciągłości ruchu w okresie trwania obniżenia lub w okresie przejściowym niezbyt długiej przerwy między dwoma kolejnymi etapami obniżenia.

Niweleta trwale obniżona - niweleta projektowana docelowa, ustalona z uwagi na przewidywane docelowe obniżenie, charakteryzująca się zasadniczo obniżeniem rzędnych wysokości w stosunku do niwelety pierwotnej, a odpowiadająca wartości użytkową tej niwelety pierwotnej.

Obniżenie terenu - pionowe przemieszczenie punktów powierzchni wskutek wpływu eksploatacji górniczej.

Obszar górniczy - przestrzeń, w granicach której przedsiębiorca jest uprawniony do wydobywania kopaliny objętej koncesją. (obecnie wg. WUG jest ich w Polsce ok. 3400, z czego ok. 50% to obszary czynne; dotyczą one wszystkich rodzajów kopalin i surowców – nie tylko górnictwa węgla kamiennego).

Ochrona terenów górniczych - całokształt zagadnień dotyczących minimalizacji wpływów obecnej i dawnej działalności górniczej na zabudowę, zagospodarowanie i środowisko przyrodnicze.

Odporność obiektu - zdolność obiektu drogowego do przeniesienia oddziaływania górniczego, wyrażona w jednostkach tego oddziaływania lub poprzez kategorie, przy nieprzekroczeniu określonego stanu technicznego obiektu.

Parametry drgań wywołanych wstrząsami sejsmicznymi - wielkości charakteryzujące skutek wstrząsu sejsmicznego w przypowierzchniowych warstwach gruntu: amplituda przyspieszenia drgań, amplituda prędkości drgań, częstotliwość drgań, czas trwania zjawiska.

Podłoże górnicze - podłoże obiektu budowlanego (drogowego) podlegające wpływowi eksploatacji górniczej, przy czym zazwyczaj jest to podłoże podlegające deformacji wskutek wpływu eksploatacji górniczej.

Poziome odkształcenie terenu - zmiana odległości między rozpatrywanymi punktami na powierzchni w płaszczyźnie poziomej, w przeliczeniu na jednostkę długości, powstała pod wpływem eksploatacji górniczej.

Profilaktyka budowlana - działalność zmierzająca do zapewnienia wymaganej odporności konstrukcji obiektu budowlanego (nawierzchni drogowej, budowli ziemnej itp.) na wpływy górnicze.

Profilaktyka górnicza - całokształt przedsięwzięć zmierzających do minimalizacji wartości wskaźników deformacji oraz amplitud ich zmian w czasie wybierania złoża i po jego zakończeniu, poprzez ograniczenie wielkości i szybkości tworzenia pustek w wyniku eksploatacji górniczej oraz czasowo-przestrzenna koordynacja tych procesów.

Projekt zagospodarowania złoża - dokument określający m.in. metody i środki ochrony złoża oraz ograniczania ujemnego wpływu eksploatacji kopaliny na środowisko.

Promień filara ochronnego - odległość od granicy filara ochronnego w złożu do rzutu poziomego granicy terenu chronionego na płaszczyznę złoża.

Przekształcenia hydrogeologiczne - zmiany położenia i dynamiki wód podziemnych oraz ich zanieczyszczenie związkami szkodliwymi będące skutkiem odwadniania kopalń (niezbędnego przed rozpoczęciem i w trakcie eksploatacji złoża), eksploatacji górniczej prowadzonej metodą otworową, a także deformacji górotworu i powierzchni terenu oraz składowania urobku, odpadów i materiałów technologicznych.

Przydatność terenu górniczego do zabudowy - cecha określająca możliwość i sposób zabudowy terenu w zależności od przewidywanych wpływów górniczych, warunków gruntowo-wodnych oraz charakterystyki drogowych obiektów budowlanych planowanych do wzniesienia.

Rekultywacja terenów pogórniczych - technologia polegająca na nadaniu lub przywróceniu terenom wartości użytkowych przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie własności fizycznych

i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp oraz odbudowanie i zbudowanie niezbędnych dróg dojazdowych.

Relaksacja naprężeń - zmniejszanie się wraz z upływem czasu naprężeń potrzebnych do utrzymania stałego stanu odkształcenia badanego ośrodka.

Sejsmogram - zapis amplitud prędkości drgań cząstek gruntu, wywołanych wstrząsem sejsmicznym (np. wstrząsem górniczym).

Skala MSK (Miedwiediewa, Sponhauera, Karnika) - skala wpływów dynamicznych stosowana do oceny sejsmiczności obszarów objętych trzęsieniami ziemi, stopniująca intensywność oddziaływania wstrząsu sejsmicznego w zależności od wartości przyspieszenia drgań.

Skala wpływów wstrząsów górniczych (GSI) - skala do oceny wpływów dynamicznych od wstrząsów górotworu wywołanych działalnością górniczą.

System Informacji o Terenie Górniczym (SIOTG) - komputerowa baza danych służąca do rozwiązywania problemów ochrony terenu w zakresie niekorzystnych wpływów działalności górniczej.

System Informacji Przestrzennej - narzędzie komputerowe pozwalające pozyskiwać, przetwarzać i udostępniać dane, w których są zawarte informacje przestrzenne lokalizujące wyróżnione obiekty w części przestrzeni objętej działaniem systemu oraz towarzyszące im informacje opisowe, charakteryzujące atrybuty obiektów, ich wartości oraz relacje pomiędzy obiektami.

Szkodliwe wpływy eksploatacji górniczej - oddziaływanie eksploatacji górniczej mogące wywołać uszkodzenia obiektów budowlanych oraz w zagospodarowaniu i użytkowaniu terenu.

Teren górniczy - obszar górniczy powiększony o strefę- zasięgu szkodliwych wpływów eksploatacji.

Teren pogórniczy - obszar powierzchni w granicach zniesionego terenu górniczego, po zlikwidowaniu zakładu górniczego i wygaśnięciu koncesji. Występują też tereny po-górnicze obejmujące dawne, historyczne górnictwo.

Uszkodzenia pseudogórnicze - spowodowane wpływami poza-górnictwem uszkodzenia budowli na terenach górniczych, utożsamiane niesłusznie z uszkodzeniami związanymi z oddziaływaniem robót górniczych.

Wskaźniki deformacji powierzchni terenu - liczby charakteryzujące intensywność wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię charakteryzowaną wyodrębnionymi elementami składowymi tego wpływu; do podstawowych wskaźników należą; obniżenie, poziome przemieszczenie, nachylenie, krzywizna i poziome odkształcenie powierzchni.

Współczynnik eksploatacji - parametr modelu procesu deformacji górotworu charakteryzujący sposób wypełnienia (likwidacji) pustki poeksploatacyjnej.

Wstrząs górniczy (górniczy wstrząs sejsmiczny) - wstrząs podziemny wywołany robotami górniczymi, powodujący na powierzchni terenu drgania cząstek podłoża gruntowego, które mogą być szkodliwe dla obiektów budowlanych i uciążliwe dla ludzi.

Wyrobisko górnicze - pusta przestrzeń w skałach skorupy ziemskiej powstała wskutek urobienia i usunięcia skał.

Zagrożenia górnicze (szkody potencjalne) - przewidywane, negatywne wpływy działalności górniczej.

Zakład górniczy - wyodrębniony technicznie i organizacyjnie zespół środków służących przedsiębiorcy do bezpośredniego wydobywania kopaliny ze złoża, w tym wyrobiska górnicze, obiekty budowlane oraz technologicznie związane z nimi obiekty i urządzenia przeróbcze.

Zasięg wpływów eksploatacji górniczej - granica oddziaływań robót górniczych wyznaczona w stosunku do określonego rodzaju wpływów górniczych.

Zroby - wyrobisko (wyrobiska) powstałe po zakończeniu w nim robót wybierkowych.

11.3 Podstawy prawne

W problematyce ochrony terenów górniczych podstawowe unormowania prawne zostały określone w ustawie Prawo geologiczne i górnicze, 1994, wraz z późniejszymi, trzykrotnymi nowelizacjami, które odpowiadają aktualnym sytuacjom polskiego górnictwa.

Na terenie górniczym obowiązują również inne akty prawne związane z ochroną środowiska, budownictwem, zagospodarowaniem przestrzennym, gospodarką odpadami a także kodeks cywilny. System unormowań prawnych obowiązujący w ochronie terenów górniczych obejmuje zatem kompleksowo grupa ustaw, w tym:

- ✓ **Ustawa Prawo geologiczne i górnicze** precyzuje obowiązki przedsiębiorców, zadania organów państwowych w sprawach dotyczących ochrony terenów górniczych. Obejmuje ona wszystkie etapy działalności górniczej: rozpoznanie i dokumentowanie złoża, udzielanie koncesji, projektowanie i budowę zakładu górniczego, planowanie i prowadzenie eksploatacji górniczej oraz likwidację zakładu górniczego,
- ✓ **Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska** określa zasady ochrony środowiska, korzystanie z jego zasobów, z uwzględnieniem wymagań zrównoważonego rozwoju, nakłada obowiązki ochrony złóż i racjonalne gospodarowanie ich zasobami,
- ✓ **Ustawa o zagospodarowaniu przestrzennym** obejmuje m.in. całokształt ujemnych wpływów górniczych w aspekcie zagrożeń i niezbędnych zabezpieczeń profilaktycznych zabudowy na przewidywane oddziaływania górnicze,
- ✓ **Ustawa Prawo budowlane** normuje działalność obejmującą projektowanie, budowę, utrzymanie i rozbiórkę obiektów budowlanych – w tym na terenach górniczych, określa zasady działania jednostek administracji publicznej w tych dziedzinach.

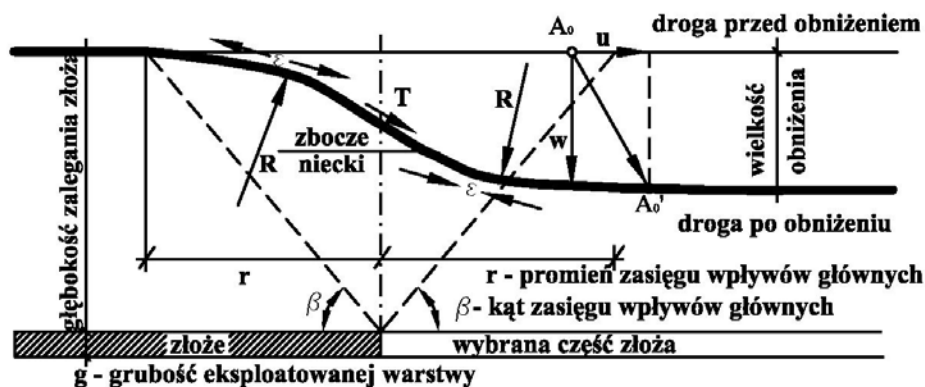
Oprócz wyżej wymienionych ustaw na terenach górniczych obowiązują ustawy i rozporządzenia o ochronie przyrody, gospodarce odpadami, prawo wodne oraz kodeks cywilny.

11.4 Klasyfikacja terenów górniczych

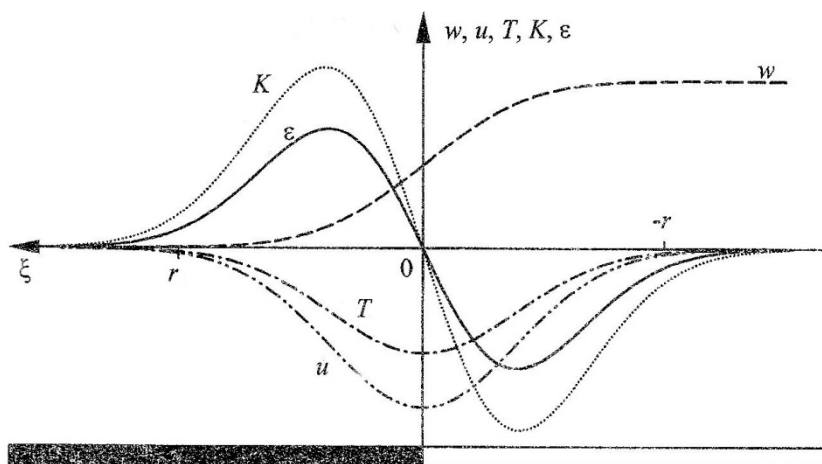
Ze względu na charakter oddziaływań związanych z działalnością górniczą stosuje się następujący podział:

- Klasyfikacja terenów górniczych w obszarze deformacji ciągłych (tablica 25),
- Klasyfikacja terenów górniczych w obszarze deformacji nieciągłych (tablica 26),
- Klasyfikacja terenów po-górniczych (tablica 27),
- Klasyfikacja zagrożenia terenów wstrząsami górniczymi

Klasyfikacja dotycząca deformacji ciągłych oparta jest na trzech z pięciu wskaźników deformacji terenu opisujących ciągłą niekłą obniżeniową (rys. 14). Rozkład podstawowych wskaźników deformacji przedstawia rysunek 15.



Rysunek 14. Niecka obniżeniowa, w – obniżenie [m], T – nachylenie [mm/m], R – promień krzywizny [km], ε – poziome odkształcenie [mm/m], u – przemieszczenie poziome [m]



Rysunek 15. Rozkład wskaźników deformacji terenu nad krawędzią frontu eksploatacji

Tablica 25. Klasyfikacja terenów górniczych w obszarze deformacji ciągłych [29]

Kategoria terenu górniczego	Wskaźnik deformacji terenu		
	Nachylenie T	Promień krzywizny R	Odkształcenie poziome ε
	mm/m	km	mm/m
0	$T \leq 0,5$	$ R \geq 40$	$ \varepsilon \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$40 > R \geq 20$	$0,3 < \varepsilon \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$20 > R \geq 12$	$1,5 < \varepsilon \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$12 > R \geq 6$	$3 < \varepsilon \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$6 > R \geq 4$	$6 < \varepsilon \leq 9$
V	$15 < T$	$ R < 4$	$ \varepsilon > 9$

Tablica 26. Klasyfikacja terenów górniczych w obszarze deformacji nieciągłych [30]

Klasa wielkościowa deformacji	Maksymalny wymiar deformacji nieciągłej		
	Średnica rzutu poziomego leja d [m]	Szerokość szczeliny s [m]	Wysokość progu terenowego h [m]
Klasa 1 – małe	$d \leq 3,0$	$s \leq 0,05$	$h \leq 0,05$
Klasa 2 – średnie	$3,0 < d \leq 9,0$	$0,05 < s \leq 0,15$	$0,05 < h \leq 0,10$
Klasa 3 – duże	$9,0 < d \leq 18,0$	$0,15 < s \leq 0,25$	$0,10 < h \leq 0,25$
Klasa 4 – bardzo duże	$d > 18$	$s > 0,25$	$h > 0,25$

Tablica 27. Kategorie przydatności terenu po-górniczego do zagospodarowania [24,31]

Oznaczenie	Rodzaj zagrożenia	Przydatność do zagospodarowania
A	nie występuje	nieograniczona
B	B ₁ Deformacje ciągłe	warunkowa
	B ₂ Deformacje nieciągłe	
	B ₃ Gazowe	
C	Zalewiska i podtopienia	Ograniczona do obiektów tymczasowych i rekreacyjnych

Kategoria A

Obejmuje obszary, na których nie przewiduje się żadnych ograniczeń w zakresie ich zagospodarowania. Należy jednak mieć na uwadze, że rozpatrywany obszar był w przeszłości poddany wpływom podziemnej eksploatacji górniczej i aczkolwiek objawy tych wpływów uznane zostały za zakończone, to jednak nie można wykluczyć dalszych, niewielkich i nieprognozowalnych deformacji przypowierzchniowej warstwy górotworu. Z tego powodu proponuje się teren kategorii A uznać za teren o możliwych nierównomiernych osiadaniach, w odniesieniu do którego zaleca się rozważyć potrzebę konstrukcyjnego wzmocnienia obiektów w celu uniknięcia uszkodzeń elementów wykończeniowych i architektonicznych.

Kategoria B

Obejmuje obszary, których przydatność do zagospodarowania jest przejściowo lub trwale warunkowa.

B1 – deformacje ciągłe powierzchni,
 B2 – deformacje nieciągłe powierzchni,
 B3 – zagrożenie gazowe

Za ograniczenia przemijające wraz z czasem można uznać zagrożenie związane z ujawniającymi się opóźnionymi deformacjami ciągłymi powierzchni i zagrożenie gazowe. Na ogół uważa się, że po upływie pięciu lat od zakończenia eksploatacji następuje stabilizacja ciągłych deformacji powierzchni i można wówczas, z uwagi na to kryterium, zaliczyć teren do kategorii A. Ustąpienie natomiast zagrożenia gazowego wymaga potwierdzenia odpowiednimi pomiarami przeprowadzonymi w ramach monitoringu tego zjawiska. Zagrożenie związane z możliwością wystąpienia deformacji nieciągłych jest trwałe do czasu, aż nie zostanie ono zlikwidowane przez zapełnienie pustek w górotworze, przy czym zaleca się wyłączyć z zabudowy rejon zlikwidowanych szybów i sztolni.

Kategoria C

Obejmuje obszary nieprzydatne do zagospodarowania obiektami długotrwałymi z uwagi na zagrożenia zalewiskami i podtopieniami. Możliwe jest wznoszenie na tych obszarach obiektów tymczasowych, przewidzianych do likwidacji przed wystąpieniem zagrożenia.

Wynikiem oceny przydatności terenu pogórniczego do zagospodarowania jest mapa powierzchni prezentująca klasyfikację tej przydatności.

W klasyfikacji terenów ze względu na wstrząsy górnicze, do niedawna stosowano skalę MSK, która była opracowana do oceny wpływu trzęsień ziemi na budynki. Obecnie stosowana jest skala GSI, przy czym wyróżnia się odrębne skale GSI opracowane dla obszaru LGOM (Legnicko – Głogowski Okręg Miedziowy) oraz dla obszaru kopalń Kompanii Węglowej. Ze względu na obszerność oraz konieczność zachowania spójności w opisie klasyfikacji według skal GSI, zaleca się skorzystanie z prac [27,28,31].

11.5 Dane o planowanej eksploatacji górniczej

Podstawą funkcjonowania budownictwa na terenach górniczych jest przygotowanie prognozy wskaźników deformacji terenu przez specjalistów górniczych.

Ze względu na szczegółowość prognoz, wyróżnia się kilka rodzajów prognoz (tablica 28).

W projektowaniu, modernizacji i naprawie dróg najbardziej przydatną prognozą jest tzw. prognoza szczegółowa, obejmująca wszystkie wartości wskaźników dla niecki ustalonej oraz nieustalonej.

Znajomość deformacji nieustalonych, np. w okresach kwartalnych, umożliwia wytypowanie etapu deformacji powierzchni, w którym może wystąpić okresowe zagrożenie bezpieczeństwa użytkowników ruchu (zmiana pochyłeń poprzecznych, pogorszenie sprawności odwodnienia, itp.).

Tablica 28. Rodzaje prognoz deformacji powierzchni [24]

Rodzaj prognozy	Charakterystyka deformacji powierzchni	
	Dane podstawowe	Dane uzupełniające
Przybliżona	Kategorie terenu górniczego, końcowe obniżenia	-
Podstawowa	Ekstremalne wartości obniżeń, nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń wraz z czasem ich występowania	-
Szczegółowa	Ekstremalne wartości obniżeń w wybranych punktach oraz nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń w wybranych punktach i kierunkach wraz z czasem ich występowania	Charakterystyka deformacji nieustalonych, krzywizny i poziome odkształcenia dla określonych długości baz obliczeniowych i rozrzut statystyczny wskaźników deformacji powierzchni

Prognoza deformacji terenu podawana standardowo w opinii OUG stanowi podstawę dalszych opracowań, ma ona jednak charakter przybliżony. Często musi być poszerzona i uzupełniona do poziomu prognozy podstawowej lub szczegółowej o dodatkowe, istotne parametry oraz informacje podane przez zakład górniczy, właściwą jednostkę naukową lub eksperta, w zależności od celu jakiemu ma służyć.

Deformacje terenu górniczego kwalifikują geotechniczne warunki posadowienia obiektów budowlanych do skomplikowanych, co z kolei ma wpływ na określenie kategorii geotechnicznej całego obiektu lub jego części. Taka kwalifikacja obiektu decyduje o formie i zakresie niezbędnych badań dostosowanych do kategorii geotechnicznej. Obiekty budowlane, w tym również obiekty drogowe posadowione w skomplikowanych warunkach gruntowych są z reguły kwalifikowane do najwyższej, trzeciej kategorii geotechnicznej. W tych złożonych warunkach należy poza dokumentacją geotechniczną wykonać odpowiednią dokumentację geologiczno-inżynierską i opracowanie w formie ekspertyzy z elementami podstawowej lub szczegółowej prognozy.

W sytuacjach szczególnych (projekt przebudowy drogi wyższych klas, zagrożenie deformacjami nieciągłymi, itp.) każdorazowo powinna być opracowana szczegółowa ekspertyza geologiczno – górnicza oraz budowlana przez ekspertów z tego zakresu [32,33].

Ogólna charakterystyka oddziaływań górniczych na drogi powinna uwzględniać zmienność ich parametrów funkcjonalnych oraz konstrukcyjnych (wytrzymałościowych). W ramach parametrów zaliczonych do pierwszej grupy oddziaływań wykonane prognozy jak i wyniki ich późniejszego monitoringu powinny umożliwić określenie wszystkich elementów geometrycznych drogi w planie i profilu, ze szczególnym uwzględnieniem:

- niwelety pierwotnej (wyjściowej),
- niwelety profilaktycznej,
- niwelety tymczasowej (przejściowej),
- niwelety trwale obniżonej wg definicji podanych w pkt. 12.2.

Dane o planowanej eksploatacji powinny umożliwić określenie związku przyczynowo – skutkowego opisującego wpływ wszystkich wskaźników deformacji ciągłych terenu górniczego na parametry funkcjonalne i wytrzymałościowe infrastruktury drogowej, co poglądowo ilustruje rys.13.

11.6 Ocena odporności nawierzchni drogowej na wpływy planowanej i dokonanej eksploatacji górniczej

Droga kołowa znajdująca się w zasięgu wpływów górniczych zmienia swoje parametry, zarówno pod względem geometrycznym, jak i wytrzymałościowym.

Do najistotniejszych zmian w geometrii drogi, wywołanych wpływami eksploatacji górniczej należy zaliczyć zmiany:

- pochyleń niwelety i położenia osi w planie,
- krzywizn łuków pionowych, w tym zmiany widoczności,
- spadków poprzecznych jezdni,
- pochyleń elementów systemu odwodnienia takich jak: rowy, kanalizacja, dreny.

Wymienione elementy drogi nie powinny, w okresie prowadzonej eksploatacji górniczej oraz po jej zakończeniu, powodować zagrożeń dla ciągłości i bezpieczeństwa jej użytkowania. W związku z tym, podczas oceny wpływów planowanej lub dokonanej eksploatacji górniczej na drogę, należy:

1. na podstawie pomiarów geodezyjnych dokonać aktualizacji przebiegu niwelety w zakresie zmian jej pochyleń, promieni łuków pionowych,
2. ocenić widoczność na łukach pionowych, zwłaszcza wypukłych,
3. ocenić zgodność spadków poprzecznych jezdni z wymaganiami,
4. ocenić skuteczność funkcjonowania elementów systemu odwodnienia,

5. dokonać analizy prognozowanych wskaźników deformacji terenu (obniżenia, nachylenia), na parametry drogi przedstawione w punktach 1 ÷ 4, przy czym ocena powinna dotyczyć deformacji nieustalonych (w trakcie kształtowania się niecki obniżeniowej) oraz deformacji ustalonych (po zakończeniu deformacji terenu),
6. przeanalizować inne zagrożenia wynikające z tytułu planowanej eksploatacji górniczej np. możliwością wystąpienia deformacji nieciągłych,
7. opracować zalecenia w zakresie:
 - koniecznej profilaktyki budowlanej i górniczej,
 - okresowych ograniczeń w ruchu (np. ograniczenie prędkości),
 - ewentualnych zmian w przebiegu drogi w planie i profilu (konieczność wykonania robót budowlanych), wymuszonych przez prognozowane deformacje terenu.
8. Opracowanie wniosków i zaleceń końcowych

Problematyka wpływu deformacji górniczych na elementy systemu odwodnienia dróg została przedstawiona w pracy „Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych” [34].

W przypadkach udokumentowanych pomiarami zmian sztywności warstw nawierzchni i jej podłoża, dla nawierzchni pozbawionych wzmocnień lub wzmocnionych wadliwie, mamy z reguły do czynienia z redukcją trwałości zmęczeniowej nawierzchni. Wynika ona z trwałej utraty nośności przez podłoże gruntowe, które w warunkach odkształceń rozluźniający cechuje się w przypadku gruntów spoistych ok. 30 – 50% utratą spójności [35,36]. Zasadnicze znaczenie dla spadku nośności nawierzchni drogowej na terenach górniczych posiada redystrybucja naprężeń w strefie aktywnej współpracy nawierzchni z obciążeniem użytkowym [3714,3816]. Zmiany sztywności są determinowane charakterem jednostkowych odkształceń poziomych (zagęszczenie - rozluźnienie) oraz ich intensywnością.

W przypadku planowanej eksploatacji górniczej w zakresie II kategorii terenu górniczego, jej wpływ na trwałość zmęczeniową nawierzchni drogowej można oszacować wykonując obliczenia metodami mechanistycznymi. Procedura obliczeń dla nawierzchni podatnych polega na:

1. wyznaczeniu obszarów o oddziaływaniu wpływów górniczych
2. podziale drogi na odcinki obliczeniowe ze względu na wartość i charakter odkształcenia poziomego ($0 < \epsilon < 3 \text{ mm/m}$)
3. wyznaczeniu całkowitego ruchu prognozowanego ($N_{\text{całk}}$)
4. rozpoznaniu układu i rodzaju warstw nawierzchni i podłoża
5. pomiarze ugięć nawierzchni aparatem FWD
6. identyfikacji modułów
7. wyznaczeniu miarodajnych wartości modułów
8. obliczeniu trwałości zmęczeniowej przed planowanymi wpływami eksploatacji górniczej
9. przyjęciu zredukowanych miarodajnych wartości modułów dla warstw niezwiązanych nawierzchni i podłoża gruntowego; procentową wartość redukcji modułu warstw należy przyjąć na podstawie rysunków 16 oraz 17
10. określeniu pozostałej trwałości zmęczeniowej po zakończeniu eksploatacji górniczej na podstawie obliczeń metodami mechanistycznymi, zgodnie z zasadami przedstawionymi w niniejszym katalogu
11. porównaniu pozostałej trwałości zmęczeniowej z całkowitym ruchem prognozowanym

Wzrost odporności konstrukcyjnej nawierzchni i podłoża drogowego na terenach górniczych, w tym zwłaszcza korpusu nasypów drogowych można uzyskać poprzez stosowanie odpowiednich tj. skutecznych metod ich wzmacniania [40, 41, 42, 43, 44]. W świetle dotychczasowych doświadczeń [38] za szczególnie efektywną technologię wzmocnień uznaje się metody wykorzystujące wielofunkcyjne właściwości geosyntetyków.

11.7 Zasady monitoringu dróg na terenach górniczych i pogórnich

11.7.1 Wpływy deformacji ciągłych

W obszarze występowania deformacji ciągłych zakres monitoringu powinien uwzględniać w pasie drogowym:

- kontrolę wskaźników deformacji terenu (pomiar geodezyjny)
- kontrolę parametrów drogi, zwłaszcza pochylenia poprzecznego jezdni (pomiar geodezyjny)
- kontrolę zmian sztywności warstw nawierzchni (pomiar ugięć nawierzchni – np. ugięciomierz dynamiczny FWD)
- kontrolę sprawności odwodnienia powierzchniowego (ocena wizualna, pomiar geodezyjny).

Plan i zakres monitoringu powinien być dostosowany do klasy drogi oraz intensywności prognozowanych deformacji terenu.

Zaleca się, na drogach klasy A i S przebiegających przez czynne tereny górnicze, prowadzenie systematycznego monitoringu, także wówczas gdy w obrębie pasa drogowego nie prowadzi się eksploatacji górniczej [45, 46, 47]. Zasady monitoringu geodezyjnego przedstawia m.in. praca [28].

11.7.2 Wpływy deformacji nieciągłych

Deformacje nieciągłe stanowią bardzo poważne zagrożenie dla infrastruktury drogowej z uwagi na ich całkowicie losowy, co do miejsca, czasu ujawnienia się na powierzchni oraz skali, zakres zjawisk towarzyszących podziemnej eksploatacji górniczej. Z reguły są one ujawniane makroskopowo jako zmiany warstw przypowierzchniowych gruntu lub głębszych warstw górotworu. Mogą występować w formie lejów, zapadlisk, pęknięć, szczelin, progów, rowów, garbów i osuwisk. Ich rozmiary mogą dochodzić do kilkunastu metrów średnicy, a w skrajnych przypadkach nawet do ok. 100 m [48], długości form uskokowych mogą być znacznie dłuższe [46].

Inną formą są deformacje sufozyjne powstające w wyniku wynoszenia przez wodę drobnych cząstek gruntów (ilastych, pylastych, piaszczystych). Mogą one towarzyszyć górniczym deformacjom nieciągłym z uwagi na generowane przez nie zmiany stosunków wodnych w górotworze i na powierzchni.

Deformacje zapadliskowe są z kolei powodowane załamaniem się cienkich warstw zbudowanych ze skał zwięzłych, które zalegają nad komorami krasowymi i zostają uaktywnione przez zdrenowanie tych komór.

Częstym powodem aktywizacji tych zjawisk są roboty górnicze prowadzone na niższych, dużo głębszych poziomach co powoduje istotną redystrybucję naprężeń w obrębie samonośnych sklepień przypowierzchniowych pokładów i pustek, powodując ich zawalenie i penetrację pustki ku

powierzchni [30, 31, 49]. W pierwszym etapie rozpoznania zjawiska pomocny może być monitoring wizualny i analiza dostępnych materiałów archiwalnych.

Istotną rolę w rozpoznaniu tych zjawisk mogą spełnić jednakże odpowiednio zaprogramowane badania geofizyczne takie jak: sondowanie i profilowanie elektrooporowe, mikrograwimetria lub badania georadarowe.

Kolejnym etapem są z reguły prace zmierzające do wypełnienia pustek w górotworze, jego uszczelnieniu i dogęszczeniu wraz z kontrolą skuteczności tych prac. Obserwowana w praktyce możliwość reaktywacji tych zjawisk sprawia, że oprócz dodatkowych zabezpieczeń powierzchniowych w obrębie podstawy nasypów jak i pod nawierzchnia dróg wyższych klas są montowane odpowiednie systemy monitoringu przemieszczeń i odkształceń. Ich zadaniem jest przekazywanie wyprzedzających informacji o możliwości ponownego zaistnienia deformacji nieciągłej, sufozyjnej lub zapadliskowej. Projektowanie tego typu systemów monitoringu wymaga każdorazowo indywidualnego podejścia.

11.7.3 Tereny pogórnice

Teren pogórnicy to obszar powierzchni w granicach zniesionego terenu górniczego. Po wygaśnięciu koncesji i zlikwidowaniu zakładu górniczego działalność wydobywcza zanika, nie znikają jednakże często wieloletnie skutki tej działalności na powierzchnię i zlokalizowaną tam infrastrukturę drogową. Tereny pogórnice obejmują często dawne, tzw. górnictwo historyczne, czemu towarzyszy brak odpowiedniej, wiarygodnej dokumentacji.

Teren pogórnicy wymaga dobrego rozpoznania geofizycznego oraz geologiczno-inżynierskiego, gdyż lokalnie może on stanowić poważne zagrożenie rozwojem deformacji nieciągłych zwłaszcza na obszarach w/w płytkiego górnictwa historycznego. W tych przypadkach za niezbędną należy uznać prognozę szczegółową, niezależnie od ekspertyz budowlanych związanych z zabezpieczeniem obiektów powierzchniowych i ich dalszym monitoringiem według indywidualnych rozwiązań.

11.8 Naprawa dróg na terenach górniczych i pogórnicznych

11.8.1 Ustalenia ogólne

Specyfika oddziaływań górniczych na drogi kołowe sprawia, że stosowane technologie naprawcze powinny zmierzać głównie do minimalizacji ich negatywnych skutków poprzez zwiększenie odporności konstrukcyjnej nawierzchni drogowej jak i podłoża gruntowego (nasypy). Zmienność parametrów geometrycznych drogi w planie i profilu wymaga z kolei odpowiednio zaprojektowanych prac rektyfikacyjnych.

Skuteczność minimalizacji oddziaływań górniczych zależy od przyjętego zakresu i technologii prac naprawczych. Planując zakres i rodzaj prac naprawczych dróg na terenach górniczych, projektant musi osiągnąć kompromis pomiędzy zakresem i rodzajem naprawy a częstotliwością ich wykonywania.

Naprawa dróg na terenach górniczych może obejmować:

- A. dostosowanie parametrów geometrycznych drogi kołowej (pochylenie niwelety, spadki poprzeczne, krzywizny łuków pionowych) do obowiązujących wymagań technicznych, co nie musi odpowiadać wyjściowym parametrom układu geometrycznego drogi,
- B. poprawę sprawności systemu odwodnienia powierzchniowego i wgłębnego,

- C. odbudowa lub podwyższenie nośności nawierzchni drogowej poprzez odpowiednie zmiany konstrukcyjne.

W każdej z wymienionych trzech grup mogą wystąpić naprawy tymczasowe (doraźne) lub naprawy podnoszące odporność drogi na deformacje górnicze (profilaktyka budowlana). W związku z założeniem minimalizacji skutków eksploatacji górniczej, przy projektowaniu napraw nawierzchni drogowych na terenach górniczych, można w przypadkach uzasadnionych dopuścić przyjęcie krótszego okresu obliczeniowego podczas projektowania napraw nawierzchni.

11.8.2 Naprawa w obszarze wpływów deformacji ciągłych

Naprawy w obszarze deformacji ciągłych mogą dotyczyć doraźnych zabiegów związanych z:

- przywróceniem równości podłużnej w strefach poziomych odkształceń zagęszczających,
- korektą pochyłeń poprzecznych (odcinek na prostej, na łuku) w przypadku zakłóceń w odprowadzaniu wód powierzchniowych,
- profilowaniem i udrażnianiem rowów przydrożnych.

W przypadku planowanej, kompleksowej przebudowy nawierzchni należy przewidzieć dodatkowe, podatne wzmocnienie w podłożu nawierzchni uodporniające ją zwłaszcza na wpływ rozluźniających odkształceń poziomych ϵ zwiększające nośność warstw jezdnych oraz redukujące spadek nośności podłoża górniczego.

W warunkach poziomych odkształceń rozluźniających podłoża górniczego, przy braku odpowiednich wzmocnień, dochodzi do zagrożeń związanych z wystąpieniem stanów granicznych nośności zarówno w podłożu nawierzchni jak i drogowych budowlach ziemnych. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że najbardziej efektywnym sposobem wzmocnienia podłoża nawierzchni jak i podłoża nasypów na terenach górniczych jest stosowanie geosyntetyków. Zasady obliczania oraz doboru geosyntetyków w budowie i modernizacji dróg przedstawiają obowiązujące normy, zalecenia i instrukcje. Obliczenia takie uznaje się za obligatoryjne.

W przypadku stosowania wzmocnień wykorzystujących geosyntetyki przy określaniu wytrzymałości zbrojenia w trakcie obliczeniach należy sprawdzić dwa warunki:

- wytrzymałości na rozciągania oraz
- dopuszczalnych odkształceń.

Do wymiarowania zbrojenia powinna być przyjmowana wytrzymałość obliczeniowa (długotrwała), która jest określana z uwzględnieniem szeregu parametrów materiałowych i technologicznych, w tym zwłaszcza pełzania dla danego stopnia obciążenia.

Warunek zachowania dopuszczalnych odkształceń powinien polegać na sprawdzeniu jednostkowych wydłużeń zbrojenia jak i całej konstrukcji (np. wg BS 8006). W przypadku braku jego spełnienia może dojść do spękania górnych warstw jezdnych nawierzchni i innych form jej przyspieszonej degradacji

Efektywność stosowanego zbrojenia geosyntetycznego wzrasta wraz z głębokością jego wbudowania. Projektując przebudowę nawierzchni, należy stosować możliwie cienkie pakiety warstw mineralno – asfaltowych. Zabieg ten pozwoli konstrukcji nawierzchni na możliwie szybkie dopasowanie się do postępującej deformacji podłoża gruntowego.

Na terenach górniczych nie należy stosować sztywnych warstw konstrukcji nawierzchni, w tym warstw nawierzchni z betonu cementowego.

11.8.3 Naprawa w obszarze wpływów deformacji nieciągłych i terenu pogórniczego

Naprawa nawierzchni drogowych oraz podłoża w warunkach zagrożeń deformacjami nieciągłymi wymaga w pierwszej kolejności szczegółowego rozpoznania geofizycznego i geologicznego samego podłoża, co umożliwia opracowanie koncepcji a następnie projektu jego wzmocnienia oraz stabilizacji.

Na tak ukształtowanym wstępnie podłożu można zabudować odpowiedni system wzmocnień. Z reguły wykorzystuje się tutaj geosyntetyki o dużej wytrzymałości w formie materacy lub odpowiednio zakotwionych membran zdolnych do okresowego podtrzymania nawierzchni w przypadku reaktywacji deformacji nieciągłych. Rozwiązania te mają charakter podejścia indywidualnego, często prototypowego i jako takie powinny być realizowane na podstawie specjalistycznych ekspertyz.

Oprócz rozwiązań zapewniających wzrost odporności konstrukcyjnej nawierzchni zaleca się w tych przypadkach budowę odpowiednich systemów ciągłego monitoringu.

12 Przepisy i normy związane

Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej, z dnia 2 marca 1999 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 43, poz. 430)

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. 2003 nr 32 poz. 262)

Dyrektywa Rady 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium Wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia w ruchu międzynarodowym.(Dz.U. L 235 z 17.9.1996, str. 59)

Ustawa o drogach publicznych z dnia 21 marca 1985 r. Dz.U. 1985 Nr 14 poz. 60 (z późniejszymi zmianami do dnia 30 kwietnia 2012 r.)

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 lipca 2010 r. w sprawie wykazu dróg krajowych, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi napędowej do 11,5 t (Dz.U. 2010 nr 138 poz. 932)

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 lipca 2010 r. w sprawie wykazu dróg krajowych oraz dróg wojewódzkich, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi do 10 t (Dz.U. 2010 nr 138 poz. 933)

Wymagania Techniczne WT-1 2010 Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych

Wymagania Techniczne WT-2 2010, Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe

Wymagania Techniczne WT-4 2010 Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych

Wymagania Techniczne WT-5 2010 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych

PN-EN 1997-1 Eurokod 7 - Projektowanie geotechniczne - Część 1: Zasady ogólne

PN-EN 1997-2 Eurokod 7 - Projektowanie geotechniczne - Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego

PN-EN 13285 - mieszanki niezwiązane – Wymagania

PN-EN 13286-47 – Mieszanki mineralne niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym Część 47: Metody badań dla określenia nośności, kalifornijski wskaźnik nośności CBR, natychmiastowy wskaźnik nośności i pęcznienia liniowego

PN-EN 14227 1 - Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 1: Mieszanki związane cementem

PN-EN 14227 2: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 2: Mieszanki związane żużlem

PN-EN 14227 3: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 3: Mieszanki związane popiołem lotnym

PN-EN 14227 5: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 5: Mieszanki związane spoiwem drogowym

PN-EN 13286-41: Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym

PN-EN 13286-43: Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 43: Metoda oznaczania modułu sprężystości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym

ASTM D6951 - 09 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications

PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwardzeń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.

PN-EN 196-2 Metody badania cementu - Analiza chemiczna cementu

PN-EN 196-6 Metody badania cementu - Oznaczanie stopnia zmielenia

PN-EN 459-2 Wapno budowlane - Część 2: Metody badań

PN-EN 932-3 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego

PN-EN 932-5 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie

PN-EN 933-1 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie składu ziarnowego - Metoda przesiewania

PN-EN 933-2 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie składu ziarnowego - Nominalne wymiary otworów sit badawczych

PN-EN 933-3 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie kształtu ziaren za pomocą wskaźnika płaskości

PN-EN 933-4 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie kształtu ziaren - Wskaźnik kształtu

PN-EN 933-5 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie procentowej zawartości ziaren o powierzchniach powstałych w wyniku przekruszenia lub łamania kruszyw grubych

PN-EN 933-6 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 6: Ocena właściwości powierzchni - Wskaźnik przepływu kruszywa

PN-EN 933-8 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek - Badanie wskaźnika piaskowego

PN-EN 933-9 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Ocena zawartości drobnych cząstek - Badania błękitem metylenowym

PN-EN 933-10 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 10: Ocena zawartości drobnych cząstek - Uziarnienie wypełniaczy (przesiewanie w strumieniu powietrza)

PN-EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Metody oznaczania odporności na rozdrabianie

PN-EN 1097-3 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości

PN-EN 1097-4 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie pustych przestrzeni suchego, zagęszczonego wypełniacza

PN-EN 1097-5 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 5: Oznaczanie zawartości wody przez suszenie w suszarce z wentylacją.

PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 6: Oznaczanie gęstości ziaren i nasiąkliwości

PN-EN 1097-7 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 7: Oznaczanie gęstości wypełniacza - Metoda piknometryczna

PN-EN 1097-8 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 8: Oznaczanie polerowalności kamienia

PN-EN 1367-1 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 1: Oznaczanie mrozoodporności

PN-EN 1367-3 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania

PN-EN 1367-6 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 6: Mrozoodporność w obecności soli

PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 11: Określanie powiązania pomiędzy kruszywem i asfaltem

PN-EN 1744-1 Badania chemicznych właściwości kruszyw - Analiza chemiczna

PN-EN 1744-4 Badania chemicznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie podatności wypełniaczy do mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody

PN-EN 13179-1 Badania kruszyw wypełniających stosowanych do mieszanek bitumicznych - Część 1: Badanie metodą Pierścienia i Kuli

PN-EN 13179-2 Badania kruszyw wypełniających stosowanych do mieszanek bitumicznych - Część 2: Liczba bitumiczna

PN-ISO 565 Sita kontrolne - Tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie - Wymiary nominalne oczek

PN-EN 12591 Asfalty i produkty asfaltowe - Wymagania dla asfaltów drogowych

PN-EN 12597 Asfalty i produkty asfaltowe - Terminologia

PN-EN 13808 Zasady klasyfikacji kationowych emulsji asfaltowych

PN-EN 14023 Asfalty i lepiszcza asfaltowe - Zasady specyfikacji dla asfaltów modyfikowanych polimerami

PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu

PN-EN 12697-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego

PN-EN 12697-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 2: Oznaczanie składu ziarnowego

PN-EN 12697-3 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 3: Odzyskiwanie asfaltu - - Wyparka obrotowa

PN-EN 12697-4 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 4: Odzyskiwanie asfaltu - Kolumna do destylacji frakcyjnej

PN-EN 12697-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 5: Oznaczanie gęstości

PN-EN 12697-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej metodą hydrostatyczną

PN-EN 12697-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni

PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 11: Określenie powiązania pomiędzy kruszywem i asfaltem

PN-EN 12697-12 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 12: Określanie wrażliwości na wodę

PN-EN 12697-17 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 17: Ubytek ziaren

PN-EN 12697-18 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 18: Splywanie lepiszcza

PN-EN 12697-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 20: Penetracja próbek sześciennych lub Marshalla

PN-EN 12697-22 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 22: Koleinowanie

PN-EN 12697-23 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 23: Określanie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych

PN-EN 12697-24 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 24: Odporność na zmęczenie

PN-EN 12697-26 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność

PN-EN 12697-27 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 27: Pobieranie próbek

PN-EN 12697-28 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 28: Przygotowanie próbek do oznaczania zawartości lepiszcza, zawartości wody i uziarnienia

PN-EN 12697-29 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metoda badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 29: Pomiar próbki z zagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej

PN-EN 12697-30 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie

PN-EN 12697-33 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 33: Przygotowanie próbek zagęszczanych walcem

PN-EN 12697-35 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 35: Mieszanie laboratoryjne

PN-EN 12697-38 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 38: Podstawowe wyposażenie i kalibracja

PN-EN 12697-39 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 39: Oznaczanie zawartości lepiszcza rozpuszczalnego metodą spalania

PN-EN 12697-40 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 40: Wodoprzepuszczalność „in-situ”

PN-EN 12697-42 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 42: Zawartość zanieczyszczeń w destrukcie asfaltowym

PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 1: Beton asfaltowy

PN-EN 13108-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 2: Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw

PN-EN 13108-4 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 5: Mieszanka HRA

PN-EN 13108-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 5: Mieszanka SMA

PN-EN 13108-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 6: Asfalt lany

PN-EN 13108-7 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 7: Asfalt porowaty

PN-EN 13108-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 8: Destrukt asfaltowy

PN-EN 13108-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 20: Badanie typu

PN-EN 13108-21 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 21: Zakładowa Kontrola Produkcji

PN-EN-13285 Mieszanki niezwiązane. Wymagania

PN-EN-14227-1 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 1. Mieszanki związane cementem

PN-EN-14227-2 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 2. Mieszanki związane żużlem

PN-EN-14227-3 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 3. Mieszanki związane popiołem lotnym

PN-EN-14227-4 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 4. Popioły lotne do mieszanek

PN-EN-14227-5 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 5. Mieszanki związane spoiwem drogowym

PN-EN-14227-10 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacja. Część 10. Grunty stabilizowane cementem

PN-EN-14227-11 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacja. Część 11. Grunty stabilizowane wapnem

PN-EN-14227-12 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacja. Część 12. Grunty stabilizowane żużlem

PN-EN-14227-13 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacja. Część 13. Grunty stabilizowane hydraulicznym spoiwem drogowym

PN-EN-14227-14 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacja. Część 14. Grunty stabilizowane popiołami lotnymi

PN-EN ISO 14688-1 Badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 1: Oznaczanie i opis

PN-EN ISO 14688-2/Ap1 „Badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 2: Zasady klasyfikowania

PN-EN ISO 14689-1 Badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie skał - Część 1: Oznaczanie i opis

PKN-CEN ISO/TS 17892-4 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego

PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania

PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane - Badania próbek gruntu

PN-81/B-03020 Grunty Budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie

Załączniki są przedmiotem opracowania w kolejnym etapie pracy – czerwiec 2013.

Załącznik A: Wyznaczenie ruchu całkowitego

Załącznik B: Sposób wyznaczania poszczególnych frakcji oraz definicje rodzajów gruntów

Załącznik C: Procedury pomiarowe i badawcze

Załącznik D: Metody analityczne obliczania modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej

Załącznik E: Zestawienie programów komputerowych wspomagających metody mechanistyczne projektowania konstrukcji nawierzchni

Załącznik F: Karty technik napraw

13 Literatura

- 1 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993, American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, 1993
- 2 Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, A Manual of Practice, AASHTO, July 2008, Interim Edition
- 3 Van der Poel: A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data. Journal of Applied Chemistry, 4, maj, 1954, s. 221-236
- 4 Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Politechnika Gdańska, 2012
- 5 Diagnostyka Stanu Nawierzchni - DSN. GDDKiA Warszawa, 2012
- 6 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. RP, nr 43, poz. 430
- 7 Deflection Method for Designing Asphalt Concrete Overlays for Asphalt Pavements, Asphalt Institute, Research Report No. 83-1 (RR-83-1), February 1990 Edition
- 8 Graczyk M., Opracowanie współczynników sezonowości dla nawierzchni dróg w polskich warunkach klimatycznych, IBDiM Warszawa, 2006
- 9 Croney D, Croney P., Design and Performance of Road Pavements, McGraw-Hill, Third Edition, 1997
- 10 Katalog typowych konstrukcji jezdni podatnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Wydanie II znowelizowane, Warszawa, 1983
- 11 Mechowski T., Harasim P. Analiza wpływu stanu podbudowy na ocene nośności nawierzchni o konstrukcji półsztywnej, IBDiM Warszawa, 2007
- 12 Judycki J., Studia na modyfikację metody projektowania wzmocnień według metody ugięć, Gdańsk, 1999
- 13 Pachowski J., Metoda wymiarowania konstrukcji nawierzchni podatnych na podstawie wskaźnika CBR gruntu, Prace COBiRTD, Nr 3/1967
- 14 Szydło A. Statyczna identyfikacja parametrów modeli nawierzchni lotniskowych. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej nr 45. Seria Monografie nr 17, Wrocław, 1995
- 15 Sybilski D., Bańkowski W.: Opracowanie procedury wyznaczania temperatury równoważnej nawierzchni ze względu na zmęczenie, IBDiM Warszawa, 2001

-
- 16 Mechowski T.: Opracowanie metody przeliczania modułów warstw asfaltowych do temperatury równoważnej, IBDiM Warszawa, 2001
 - 17 di Benedetto H., de La Roche Ch.: State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. RILEM Report 17. Bituminous Binders and Mixes. E&FN SPON, London and New York 1998
 - 18 Bańkowski W., Sybilski D.: Nowe stanowisko badania mieszanek mineralno-asfaltowych w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów. Drogownictwo 10, 54, 1999, s. 326-329
 - 19 Sybilski D., Mirski K.: Zalecane lepiszcza asfaltowe w warstwach nawierzchni w Polsce z uwzględnieniem warunków klimatycznych i obciążenia ruchem. Prace IBDiM, 1-2, 2000, s. 103-157
 - 20 Powell W.D., Potter J.F., Mayhew H.C., Nunn M.E.: The Structural Design of Bituminous Roads. Laboratory Report 1132, TRRL, UK
 - 21 Thickness design – asphalt pavements for highways and streets, The Asphalt Institute, MS-1, 1981
 - 22 Dempsey B.J. i in., Report ESL-TR-83-34, University of Illinois, Urbana, 1984
 - 23 Judycki J., Porównanie kryteriów zmęzeniowych do projektowania podatnych i półsztywnych nawierzchni drogowych, Cz. I, Drogownictwo 1/1999, Cz. II, Drogownictwo 2/1999
 - 24 Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wyd. GIG, Katowice 2007
 - 25 Kłosek K.: Istota wpływu podziemnej eksploatacji kopalń na drogi w procesie technicznej restrukturyzacji górnictwa. Polskie Drogi Nr 3/2005, s. 44-48
 - 26 Kłosek K.: Autostrady na terenach górniczych . I Polski Kongres Drogowy.-Referaty. Warszawa 04-06.10.2006r., s.379-386
 - 27 Popiołek E.: Ochrona terenów górniczych, Wydawnictwo AGH, Kraków 2009
 - 28 Kawulok M.: Szkody górnicze w budownictwie, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2010
 - 29 Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Instrukcja nr 12, Wyd. GIG, Katowice 2000
 - 30 Chudek M., Janusz W., Zych J.: Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.141, Gliwice 1988
 - 31 Popiołek E., Pilecki Z. (red.): Ocena przydatności do zabudowy terenów zagrożonych deformacjami nieciągłymi za pomocą metod geofizycznych. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2005
 - 32 Miłkowski A., Pilecki Z., Kłosek K., Tondera M.: Autostrada A1 zaprojektowana na „dziurawym” podłożu – cz. 1. Magazyn Autostrady 3/2010; s.104-112
 - 33 Miłkowski A., Kłosek K., Pilecki Z., Tondera M.: Autostrada A1 zaprojektowana na podłożu górnym – cz. 2. Magazyn Autostrady 5/2010; s.152-160
 - 34 Strycharz B., Edel R., Kliszczewicz B., Olma A., Żak A., Szeja K., Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych. GDDKiA, Warszawa 2009
 - 35 Kłosek K.: Deformacja terenu górnego a autostrady . Magazyn Autostrady 11/2006, s: 20-25
 - 36 Kłosek K.: Nawierzchnia i budowle ziemne autostrad na terenach górniczych . Miesięcznik WUG 10(146)/2006 s:19-28
 - 37 Kłosek K. : Bezpieczeństwo autostradowych budowli liniowych na terenach górniczych. Prace Naukowe GIG – Górnictwo i Środowisko „Bezpieczeństwo obiektów budowlanych na terenach górniczych – szkody górnicze”. Katowice 2006, s:158-169
 - 38 Kłosek K.: Budownictwo komunikacyjne na terenach górniczych. Inżynieria i Budownictwo.5-6/2010
 - 39 Grygierek M.: Wybrane aspekty uwzględniane w ocenie odporności nawierzchni drogowej na prognozowane wpływy eksploatacji górniczej. IV Konferencja Naukowo – Szkoleniowa, Bezpieczeństwo i ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, 17-19 października, Katowice – Ryto 2012, s. 81-88
 - 40 Kłosek K. Ajdukiewicz J. : Efektywność stosowania geosyntetyków w budownictwie komunikacyjnym. Mat. Konf. Naukowo-Technicznej pt: Szkoła metod projektowania obiektów inżynierskich z zastosowaniem geotekstyliów, Ustroń, 2004-11-14
 - 41 Ajdukiewicz J.,Kłosek K., Sobolewski J. : Ochrona konstrukcji autostrady A1 na terenie szkód górniczych z zastosowaniem wysokowytrzymałych zbrojeń geosyntetycznych. Przegląd Komunikacyjny 5-6/2011; s.20-25
 - 42 Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami. Instrukcje, Wytyczne ITB, W-wa 2007
 - 43 Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Rusing Geosynthetic Reinforcements – EBGeo.2011
 - 44 Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. IBDiM- GDDP, W-wa 2002
 - 45 Miłkowski A., Pilecki Z., Kłosek K., Tondera M. : Autostrada A1 zaprojektowana na „dziurawym” podłożu – cz.1. Magazyn Autostrady 3/2010; s.104-112

-
- 46 Miłkowski A., Kłosek K., Pilecki Z., Tondera M. : Autostrada A-1 zaprojektowana na podłożu górniczym- cz. 2. Magazyn Autostrady 5/2010; s.152-160
- 47 Kłosek K., J. Sobolewski, L. Bednarski, A. Miłkowski, J. Ajdukiewicz, Monitoring System of Deformation and Subsidence of the Highway A1 Frame K5-European Geosynthetics Congress, Mining&Environmental Applications Vol.5 ; Spain 2012
- 48 Kłosek K. : Wpływ ekstremalnych deformacji nieciągłych podtorza górniczego na nośność i stateczność modernizowanych linii kolejowych. Technika Transportu Szynowego 'tts' nr 7-8/2009; s.65-70
- 49 Litwinowicz L., Kłosek K. : Effect of the mining subsidence on near surface underground structures. Proceedings of the Symposium on "Strata Mechanics", Developments in Geotechnical Engineering, Vol 32, University of Newcastle, England, 1982, s. 220-222.