

**Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Lepiszczy Bitumicznych**

SPRAWOZDANIE

Temat TN-236 (etap I)

Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii
recyklingu nawierzchni na zimno

Kierownik Zakładu TN:

prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Zespół:

mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Wojciech Bańkowski
mgr inż. Andrzej Wróbel
Krzysztof Mirski

Technicy:

Teresa Gawenda
Jadwiga Migdalska
Tomasz Michalski

SPIS TREŚCI:

1.	Podstawa pracy	2
2.	Cel pracy.....	2
3.	Program pracy	2
4.	Prowadzone działania.....	3
5.	Informacje ogólne	4
6.	Laboratorium WLB 10	5
I.	Robocza wersja zaleceń i specyfikacji.....	9
1.	Recykling na zimno.....	9
2.	Asfalt spieniony.....	10
2.1.	Opis technologii (wytwarzanie asfaltu spienionego)	10
3.	Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej.....	11
3.1.	Wybór nowego lepiszcza	14
3.2.	Wyznaczanie powinowactwa pomiędzy lepiszczem a kruszywem	18
4.	Badania wstępne	20
4.1.	Ustalenia w terenie	20
4.2.	Charakterystyka materiałów stosowanych w technologii „na miejscu”	21
4.3.	Możliwość stosowania recyklingu w technologii „na miejscu”	21
5.	Zakres stosowania i zalecenia	23
6.	Zalety i ograniczenia technologii recyklingu na miejscu.....	24
7.	Zakończenie	25

1. Podstawa pracy

Badania wykonano na podstawie umowy nr 695/2004 (temat TN-236) z dnia 14.04.2004 r. zawartej pomiędzy Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie.

2. Cel pracy

Praca nt. „Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii recyklingu nawierzchni na zimno” została przewidziana do realizacji w okresie od kwietnia 2004 r. do czerwca 2006 r. i została podzielona na trzy etapy.

Praca będzie polegała na sprawdzeniu laboratoryjnym i w odcinkach testowych metody recyklingu nawierzchni na zimno z zastosowaniem asfaltu spienionego. W pracy przewidziano porównanie właściwości nawierzchni wykonanych metodą recyklingu na zimno z użyciem emulsji asfaltowej i asfaltu spienionego. W rezultacie przewidziano opracowanie zaleceń stosowania alternatywnej technologii recyklingu na zimno z zastosowaniem asfaltu spienionego.

Powszechnie stosowana jest od kilkunastu lat metoda recyklingu nawierzchni na zimno z użyciem emulsji asfaltowej. W ostatnich latach wdrożono analogiczną technologię, lecz z asfaltem spienionym (zamiast emulsji). Dzięki swym zaletom technologia ta znajduje coraz szersze zastosowanie w całym świecie. Podstawową zaletą są mniejsze koszty wykonania, dzięki eliminacji kosztów transportu wody w emulsji – asfalt spieniony jest wytwarzany na miejscu. Technologia ta zasługuje na szczególną uwagę zarówno ze względów ekonomicznych, jak również ekologicznych i funkcjonalnych. Rezultaty pracy pozwolą na porównanie właściwości nawierzchni wykonanych obiema metodami i opracowanie zaleceń stosowania alternatywnej technologii recyklingu na zimno z zastosowaniem asfaltu spienionego. Wyniki pracy w postaci zaleceń mogą być pomocne dla biur projektowych, inwestorów i przedsiębiorstw przy wyborze i zastosowaniu nowych technik przebudowy zniszczonych nawierzchni drogowych lub przy budowie nowych.

Realizacja tej pracy będzie miała szczególnie duże znaczenie użytkowe dla administracji drogowej, przedsiębiorstw wykonawczych oraz użytkowników dróg. Ważne jest to w kontekście coraz powszechniej stosowanego recyklingu nawierzchni asfaltowych w Polsce, potrzeby wdrażania nowych technologii posiadających dodatkowe zalety.

3. Program pracy

Program pracy zgodnie z założeniami umowy nr 695/2004 (temat TN-236) został podzielony na trzy etapy realizacji. Etap I przewidziany do realizacji w 2004 r. obejmował następujące zadania:

Zadanie 1.

Analiza istniejącej dokumentacji technicznej wraz z oceną konieczności zmian i zgromadzenie materiałów do badań.

Zadanie 2.

Wytypowanie odcinków testowych – organizacja i przygotowanie roboczych wersji zaleceń i specyfikacji.

Przewidziano odcinki testowe obejmujące wykonanie warstwy podbudowy z mieszanki recyklowanej na zimno z zastosowaniem asfaltu spienionego MCAS, wyniki oceny tych odcinków będą porównane z oceną wcześniejszych, bądź równolegle wykonanych odcinków MCE z emulsją asfaltową.

Zadanie 3.

Rozpoznanie warstw istniejącej nawierzchni odcinka testowego.

Rozpoznanie składu i wykonanie niezbędnych badań laboratoryjnych.

Zadanie 4.

Korekta składów i badania laboratoryjne mieszanek mineralno-asfaltowych MCAS i porównawczych MCE.

4. Prowadzone działania

- W pierwszym etapie pracy została zgromadzona obszerna dokumentacja dostępna w formie publikacji, informacji na temat niezbędnego sprzętu oraz technologii.
- W dalszej kolejności przeprowadzone zostały poszukiwania przedsiębiorstwa zdolnego do współpracy przy zastosowaniu asfaltu spienionego w technologii recyklingu nawierzchni na zimno. W konsekwencji nawiązanie zostały kontakty z firmą BETPOL z Bydgoszczy, która posiada kompletny sprzęt do wykonywania asfaltu spienionego.
- W ramach początku współpracy firma BETPOL, wypożyczyła i umożliwiła przewiezienie do laboratorium Instytutu mobilnego laboratorium WLB 10 firmy Wirtgen oraz mieszadła HUBART (o pojemności 20l). Laboratorium WLB 10 jest podstawowym urządzeniem niezbędnym do kontroli właściwości asfaltu spienionego, na którym przed rozpoczęciem budowy należy dokonać optymalizacji właściwości pniących asfaltu. Natomiast przystosowane do laboratorium WLB 10 mieszadło umożliwi wykonanie próbek laboratoryjnych z mieszanki MCAS. Podstawą uruchomienia w IBDiM laboratorium WLB 10 było podłączenie sprzętu do źródła zasilania energią elektryczną, doprowadzenie zewnętrznej instalacji sprężonego powietrza oraz doprowadzenie wody.
- Nawiązano również współpracę z firmą BUDIMEX-DROMEX, która również wykazała chęć współpracy przy wykonaniu odcinków doświadczalnych z zastosowaniem asfaltu spienionego (droga DK-50).
- Prowadzono działania zmierzające do pozyskania i wyznaczenia odcinka doświadczalnego we współpracy z GDDKiA Oddział w Bydgoszczy, na którego

terenie funkcjonuje firma BETPOL. Wstępne ustalenia wskazują na możliwość wykonania odcinka próbnego w ciągu drogi DK-10, lecz nie precyzują jego dokładnego położenia.

5. Informacje ogólne

W celu osiągnięcia dobrego rezultatu recyklingu na zimno niezbędna jest precyzyjna informacja o stanie technicznym odcinków naprawianej drogi, wykonanie niezbędnych testów laboratoryjnych oraz wybór metody naprawy (pod względem rodzaju i sposobu).

Sposoby mieszania masy:

- na miejscu naprawy (lepiszczce miesza się z warstwą MMA bezpośrednio na miejscu budowy odcinka, przy pomocy frezarki stabilizacyjnej)
- w bazie roboczej (wytwarzanie mieszanki gotowej do rozłożenia odbywa się np. w mobilnej wytwórni mieszanek na zimno KMA 200)

Recykling na zimno można wykonać w technologii z zastosowaniem asfaltu spienionego lub emulsji asfaltowej (technologie mieszane przewidują dodatek cementu do tych wariantów). Rozwiązania te mogą być wykonywane przy zastosowaniu mieszania na miejscu lub w bazie roboczej.

Recykling na zimno z zastosowaniem asfaltu spienionego

W tej metodzie miesza się gorący asfalt z wodą pod ciśnieniem. Podczas wyzwalania mieszanki z komory mieszalnej do normalnego ciśnienia powietrza, woda odparowuje bardzo szybko i powoduje spienienie asfaltu. Kiedy wodę zmiesza się z gorącym asfaltem w ilości od 2% do 3% (wagowo w stosunku do asfaltu) to objętość asfaltu zwiększa się, co najmniej 15-20-krotnie w odniesieniu do objętości pierwotnej. Po ustąpieniu pary wodnej piana szybko się zmniejsza (nawet o połowę w ciągu 25 sekund). Do tego czasu powinno nastąpić zmieszanie asfaltu z mieszanką, ponieważ wtedy powierzchnia powstałej masy wiążącej jest maksymalna. W momencie zmieszania się spienionego asfaltu z zimnym i wilgotnym kruszywem, następuje jego wiązanie z materiałem drobnoziarnistym. Mastyks składający się z materiału drobnoziarnistego i asfaltu wiąże ze sobą powstałe większe gładkie ziarna lepiszcza. Podczas procesu spieniania istotna jest również temperatura asfaltu, jeżeli jest niższa niż 140°C, pienienie będzie małe lub nie wystąpi. Orientacyjna zawartości asfaltu wynosi 3- 5% w stosunku do masy MCAS.

Recykling na zimno z zastosowaniem emulsji asfaltowej

Metoda ta polega na dodaniu emulsji asfaltowej do zimnego, wilgotnego kruszywa. W momencie styku emulsji z powierzchnią kruszywa, emulsja rozprasza się (woda oddziela się od asfaltu, a kropelki asfaltu przyklejają się do kruszywa i do siebie wzajemnie) tworząc wiązania między ziarnami kruszywa. Jako lepiszcze stosuje się zarówno wolno, jak i szybko rozpadową emulsję, zależnie od przeznaczenia użytkowego, technologii i rodzaju kruszywa (przyczepności).

Recykling na zimno z zastosowaniem metody mieszanej

W metodzie mieszanej stosuje się jako spoiwa z reguły kombinację asfaltu i cementu. Celem tej metody jest połączenie elastyczności i wytrzymałości, zapobiegającym nierównym osiadaniom, jakie daje stabilizacja cementem. Lepiszczem w metodzie mieszanej może stanowić zamiennie emulsja asfaltowa lub asfalt spieniony.

6. Laboratorium WLB 10

Mobilne laboratorium WLB 10 firmy Wirtgen (rys. 1) jest podstawowym urządzeniem do optymalizacji właściwości pieniających używanego asfaltu przed rozpoczęciem właściwych prac na budowie. Celem optymalizacji jest określenie zawartości wody [% wag.], zapewniającej najlepsze właściwości piany. W celu kontroli właściwości asfaltu należy przeprowadzić szereg prób laboratoryjnych, w których zmienia się temperaturę asfaltu, ilość wody i dodawanego powietrza. Po dokonaniu optymalizacji asfalt spieniony może być bezpośrednio wtrysnięty do mieszadła laboratoryjnego (rys. 2), co umożliwi wykonanie próbek z mieszanki MCAS i dalsze badanie ich właściwości.

Proces tworzenia piany zależy od wielu czynników, z których najważniejsze można zmieniać w laboratorium WLB 10, np.:

- rodzaju asfaltu,
- temperatury asfaltu (zalecana od 140°C do 200°C),
- zawartości wody (od 1% do 5% w stosunku do asfaltu),
- ciśnienia powietrza (od 0 do 10 barów).

Wytworzona w laboratorium piany może być zastosowana do:

- określenia zdolności spienienia się danego rodzaju asfaltu,
- określenia właściwości piany i jej optymalizacji,
- mieszania w mieszadle laboratoryjnym asfaltu spienionego z materiałami mineralnymi celem uzyskania próbek z MCAS do dalszych badań.



Rys. 1. Mobilne laboratorium WLB 10 firmy Wirtgen



Rys. 2. Mieszadło laboratoryjne HUBART (poj. 20l)

Wytwarzanie asfaltu spienionego polega na wtrysnięciu określonej ilości wody poprzez komorę rozprężenia do gorącego asfaltu. Jakość asfaltu spienionego wyznaczają właściwości zdefiniowane jako:

- czas połowicznego rozpadu [$T^{1/2}$]

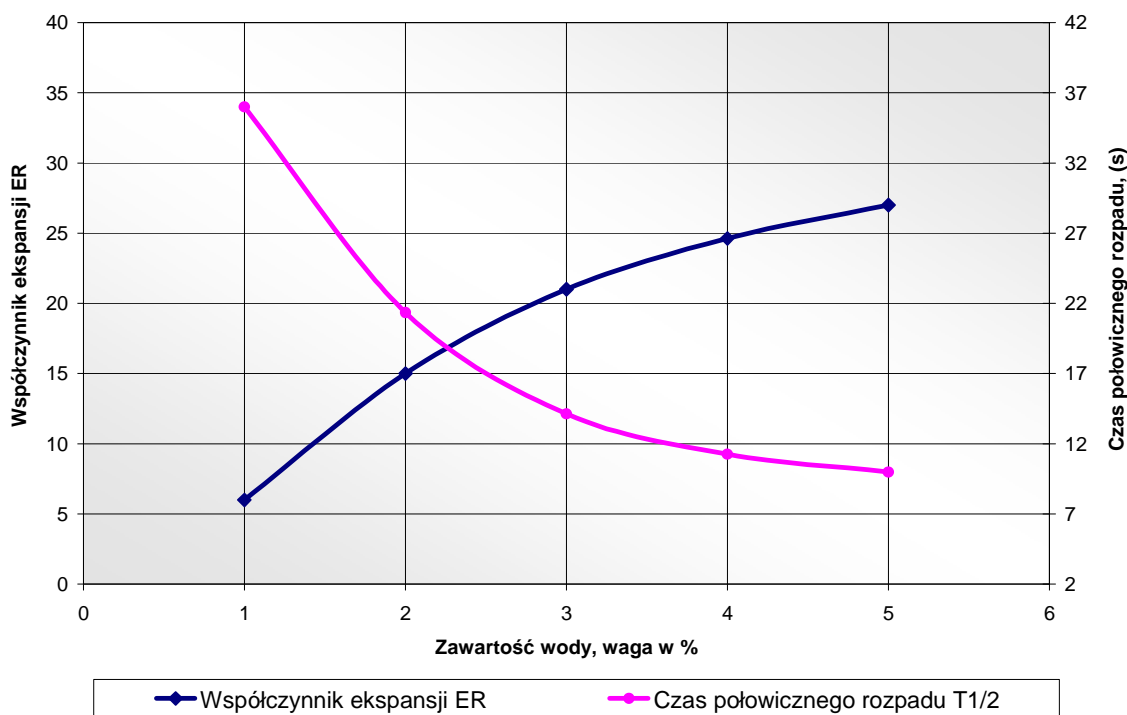
Jest to czas, w którym maksymalna objętość piany zmniejszy się do połowy. Mierzony jest stoperem z dokładnością do 1 sekundy na listwie pomiarowej.

- współczynnik ekspansji [ER]

Stanowi stosunek maksymalnej ilości piany [V_{max}] do ilości asfaltu [V_{min}], po całkowitym opadnięciu piany.

$$ER = V_{max} / V_{min}$$

Zasadą przy wyznaczaniu optymalnej zawartości wody do spienienia asfaltu jest zmierzanie do uzyskania piany o możliwie wysokim współczynniku ekspansji przy zachowaniu długiego czasu połowicznego rozpadu. Przykład wyznaczenia optymalnej zawartości wody na podstawie przeprowadzonych wyników badań przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykład wyznaczenia optymalnej zawartości wody na podstawie przeprowadzonych wyników badań

Ustalenie zawartości wody ma zasadniczy wpływ na proces tworzenia piany i określa się ją w % wag. w stosunku do asfaltu, co uzależnia tą wartość od przepływu asfaltu. Natomiast wartość przepływu asfaltu jest uzależniona od jego lepkości (rodzaju i temperatury asfaltu). Najkorzystniejsze właściwości piany uzyskuje się przy zawartościach wody od 2% do 4% wag., jednak każdorazowo należy dokładnie ustalić zawartość wody używając parametrów: „czas połowicznego rozpadu” i „współczynnik ekspansji”.

I. Robocza wersja zaleceń i specyfikacji

Recykling na miejscu z zastosowaniem asfaltu

1. Recykling na zimno

Recykling materiałów drogowych to powtórne ich użycie w konstrukcji drogowej. Projektując i wykonując ten zabieg można zmienić (poprawić) właściwości materiałów lub pozostawić je niezmienione.

Celem recyklingu na miejscu jest powtórne zastosowanie materiałów w miejscu ich wbudowania, co pociąga za sobą konieczność uwzględnienia zmienności istniejących materiałów. Ten aspekt jest bardzo istotny zarówno pod względem sprzętowym, jak i operacyjnym.

Recykling na zimno na miejscu jest jedną z technik recyklingu nawierzchni. Polega na frezowaniu lub kruszeniu materiału starej nawierzchni i równoczesnym (lub w kolejnej operacji) dodaniu nowego lepiszcza asfaltowego w postaci emulsji lub asfaltu spienionego. Celem dodania nowego lepiszcza jest powtórne związanie rozdrobnionego materiału i odświeżenie starego lepiszcza, a zwłaszcza zwiększenie jego kohezji.

Mieszanka jest następnie układana w warstwie nawierzchni i zagęszczana. Obok nowego lepiszcza może być dodawane kruszywo mineralne, w celu poprawy (korekty) składu mieszanki, oraz spoiwo hydrauliczne (cement lub wapno) w ilości do 2%¹, w celu zmniejszenia plastyczności drobnych cząstek lub zwiększenia początkowej sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej.

Recykling na miejscu z emulsją asfaltową lub asfaltem spienionym może być stosowany jako:

- Recykling warstw asfaltowych nawierzchni w celu poprawy stanu warstw podbudowy i wiążącej
- Recykling warstw asfaltowych wraz z częścią podbudowy niezwiązanej w celu stworzenia nowej podbudowy
- Stabilizacja niezwiązanego materiału granulowanego w celu stworzenia nowej podbudowy
- Stabilizacja materiału granulowanego związanego spoiwem hydraulicznym
- Stabilizacja materiałów szkodliwych lub niebezpiecznych w istniejącej nawierzchni, np. warstw z lepiszczem zawierającym składniki węglowodorkowe (smoła, pak).

Maszyny rozdrabniające (frezarki) mają zdolność przetwarzania warstwy o grubości nawet do 35 cm. Jednak zalecana grubość warstwy recyklowanej jest mniejsza ze względu na oczekiwaną jednorodność i konieczność odprowadzenia wody z mieszanki. Zalecana grubość w zależności od zastosowanej postaci lepiszcza asfaltowego wynosi:

- z emulsją asfaltową:
 - warstwy asfaltowe od 5 do 12 cm
 - warstwy niezwiązane od 10 do 15 cm (jeśli wymagania zagęszczenia warstwy recyklowanej z materiałów granulowanych nie są ostre, to grubość warstwy może wynosić do 30 cm)

¹ Dodatek cementu ponad 2% powoduje, że warstwę należy traktować jako stabilizowaną cementem – sztywną. Ten wariant nie jest objęty w przedstawianym opracowaniu

- warstwy związane do 15 cm
- z asfaltem spienionym:
 - warstwy asfaltowe od 5 do 15 cm
 - warstwy niezwiązane od 10 do 30 cm
 - warstwy związane do 30 cm.

Powyższe zestawienie świadczy, że obok innych zalet zastosowanie asfaltu spienionego zamiast emulsji asfaltowej przynosi korzyść w postaci zwiększenia dopuszczalnej grubości przetwarzanej warstwy nawierzchni.

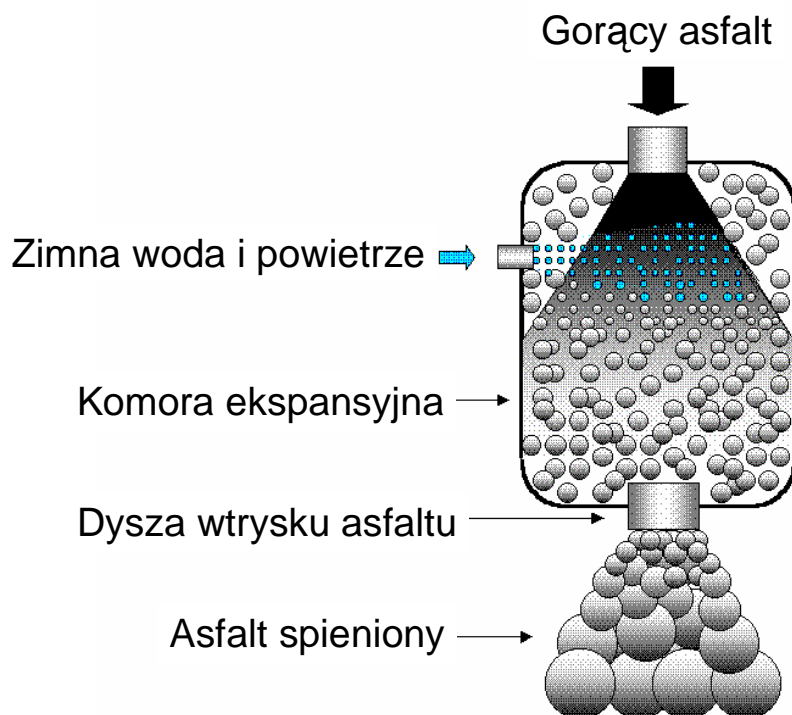
2. Asfalt spieniony

Koncepcję użycia asfaltu w postaci spienionej stworzył w 1956 r. L. Csanyi z Uniwersytetu Iowa, USA. W latach 1960-tych pomysł ten udoskonalono w produkcji asfaltu spienionego z wtryskiem wody pod małym ciśnieniem. Technologia ta znalazła zastosowanie przemysłowe w latach 1970-tych w Australii, Wielkiej Brytanii i Francji. Równolegle w latach 1980-tych w Skandynawii opracowano technologię asfaltu spienionego z wtryskiem wody pod wysokim ciśnieniem. Rozwój technologii nastąpił w latach 1990-tych, gdy pojawiły się urządzenia do jej przemysłowego stosowania w budownictwie drogowym. Od tej pory technologia recyklingu na zimno na miejscu z asfaltem spienionym znalazła liczne zastosowania w wielu krajach, np. Republika Południowej Afryki, Brazylia, USA, Skandynawia, Australia.

2.1. Opis technologii (wytwarzanie asfaltu spienionego)

Emulsja asfaltowa jest na ogół wytwarzana w specjalnej wytwórni i dostarczana na miejsce stosowania na drodze lub do wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej. Asfalt spieniony jest produkowany bezpośrednio na miejscu stosowania, tj. na drodze lub w wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej. Dzięki temu unika się ponoszenia kosztów transportu wody, która w emulsji asfaltowej może praktycznie stanowić od 30 do 40%.

Asfalt spieniony jest wytwarzany w urządzeniu zintegrowanym z mieszarką mieszanki. Proces polega na wtrysku w komorze ekspansyjnej małej ilości wody (około 2 lub 3%) do gorącego asfaltu o temperaturze około 170°C (rys. 3). Piana asfaltowa jest następnie wtryskiwana bezpośrednio do mieszalnika, w którym jest mieszana z mieszanką mineralną.



Rys. 4. Schemat wytwarzania asfaltu spienionego

W maszynach do recyklingu nawierzchni wtrysk asfaltu spienionego (lub emulsji) może następować do:

- komory mieszalnika maszyny frezująco-mieszającej,
- samobieżnego mieszalnika, jeśli frezowanie jest oddzielone od mieszania składników.

3. Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej

Cel i kolejność postępowania

Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej z recyklowanym materiałem nawierzchni z dodatkiem asfaltu spienionego lub emulsji jest procesem w znacznej mierze empirycznym, opierającym się na praktycznym stosowaniu technologii. Jest to wynikiem trudności w odwzorowaniu w laboratorium warunków rzeczywistych dojrzewania mieszanki i zmian jej właściwości fizycznych i mechanicznych, wskutek oddzielenia asfaltu od wody i jej odparowania.

W poszczególnych krajach stosowane są różne metody projektowania składu mieszanek, lecz podstawowe punkty są następujące:

- Charakterystyka recyklowanych materiałów, a zwłaszcza:
 - Jednorodność
 - Uziarnienie w celu określenia, czy potrzebny jest dodatek nowego kruszywa do korekty uziarnienia

- Plastyczność drobnej frakcji (przy stabilizacji materiału niezwiązanego), aby ocenić, czy należy dodać cement lub wapno
- Jakość recyklowanego kruszywa, aby ocenić, czy spełnia stawiane wymagania
- Zawartość i właściwości lepiszcza w recyklowanej mieszance, aby ocenić, czy należy dodawać środek odświeżający
- Wybór nowego lepiszcza
- Ocena przyczepności asfaltu do kruszywa (przy stabilizacji materiału granulowanego niezwiązanego)
- Określenie całkowitej zawartości płynu do oceny zagęszczalności mieszanki
- Określenie pokrycia kruszywa asfaltem do wyboru emulsji
- Wybór zawartości pozostałego lepiszcza asfaltowego i określenie właściwości mechanicznych mieszanki mineralno-asfaltowej.

Podstawowym problemem jest uzyskanie próbek reprezentatywnych recyklowanych materiałów. Do oceny uziarnienia i kształtu ziaren najkorzystniej byłoby dysponować materiałem uzyskanym z frezowania na miejscu robót. Jest to jednak prawie niemożliwe w wypadku projektowania. Zalecane jest uzyskanie materiału z frezowania małą frezarką. Jeśli to także nie jest możliwe, to do projektowania należy użyć materiałów uzyskanych z próbek wierconych w nawierzchni. Materiał z tych próbek powinien być rozkruszony w laboratorium w celu symulacji warunków jego rzeczywistego przetworzenia.

W chwili rozpoczęcia recyklingu należy określić rzeczywiste uziarnienie frezowanej mieszanki i porównać je z założeniami przyjętymi w projektowaniu, i dokonać niezbędnej korekty projektu.

Krzywa uziarnienia powinna być określona na materiale frezowanym i rozkruszonym oraz po ekstrakcji asfaltu, jeśli to potrzebne, aby sprawdzić, czy uziarnienie mieszanki odpowiada wymaganiom dla recyklowanej warstwy.

Recykling na miejscu ma na celu zużycie materiału istniejącej nawierzchni w jak największym stopniu. Dlatego, na ile to możliwe, nie należy dążyć do stworzenia nowej mieszanki, czyli recyklingu ze znacznym dodatkiem nowego materiału wpisującego się w wąski obszar optymalnego uziarnienia, jak to ma miejsce w wypadku stosowania nowych materiałów. Jednakże należy mieć na uwadze:

- Jednorodność uziarnienia poszczególnych recyklowanych sekcji nawierzchni
- Uziarnienie materiałów, które wyklucza zastosowanie recyklingu na miejscu, generalnie ze względu na zagęszczalność mieszanki, należy dążyć do uzyskania mieszanki o ciągłym uziarnieniu,
- Mieszanki o nieciągłym uziarnieniu i SMA nie są generalnie przydatne do recyklowania na miejscu z asfaltem spienionym, ponieważ lepiszcze nie może wypełnić przestrzeni między ziarnami i tworzy skupiska wraz z drobną frakcją, dające efekt plam i przeasfaltowania.

Dodatek kruszywa może być potrzebny w dwóch wypadkach:

- Poprawy nośności nawierzchni, zwiększając jej grubość
- Korekty uziarnienia recyklowanej mieszanki, np. dodatek gysu do asfaltu piaskowego.

W tablicy 1 przedstawione są zalecenia, opracowane z punktu widzenia oceny jednorodności mieszanki w Hiszpanii, odnośnie recyklingu na miejscu mieszanek mineralno-asfaltowych.

Tablica 1. Maksymalne dopuszczalne odchyłki składu mieszanki mineralno-asfaltowej po ekstrakcji lepiszcza, dla danej sekcji drogi, rozpatrywane jako jednorodność (Hiszpania).

Frakcja przechodząca Materiał zmielony	Maksymalna odchyłka w % masy całkowitej suchego materiału przeznaczonego do recyklingu
> 2 mm	± 6
≤ 2 mm	± 3
≤ 0,063 mm	± 1,5
Pozostałe lepiszcze	± 0,5

Recyklingu na miejscu z zastosowaniem emulsji asfaltowej

Przy recyklingu na miejscu niezwiązanych materiałów, krzywe graniczne użyte do projektowania mieszanki żwirowo-emulsyjnej mogą być użyte jako odniesienie.

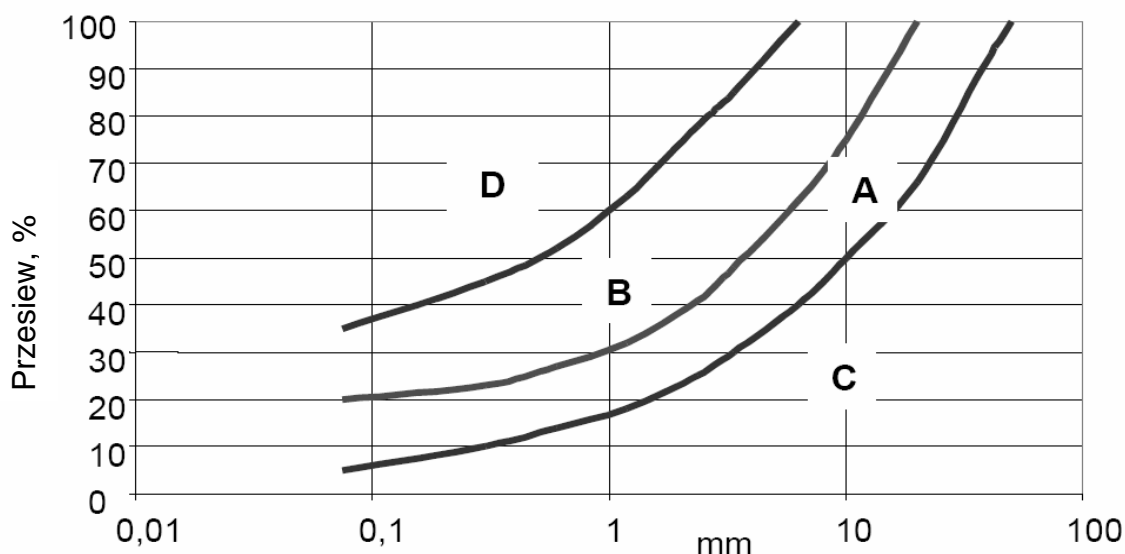
Podczas recyklingu typowych mieszanek mineralno-bitumicznych, w efekcie frezowania powstaje około 1 do 2 % pyłów, inne pozostałości są konsolidowane przez lepiszcze.

Niektóre przypadki muszą być sprawdzone ze szczególną uwagą ze względu na ryzyko błędu jak np. makadam wykonany z gruboziarnistych kruszyw z powodu dużego deficytu frakcji piaskowej.

Recyklingu na miejscu z zastosowaniem asfaltu spienionego

Podczas procesu mieszania krople asfaltu spienionego przyklejają się pierwotnie do najdrobniejszych frakcji (piasek i mączka) i pokrywają jedynie częściowo powierzchnię większych kruszyw. Jest to mastyks, który tworzy powiązanie pomiędzy większymi elementami szkieletu mieszanki. A zatem wymagania odnośnie składu mieszanki różnią się dla asfaltu spienionego od tych dla recyklingu z użyciem emulsji.

Zawartość drobnych cząstek musi wynosić przynajmniej 5 %. Rysunek 6 prezentuje obszary uważane za najodpowiedniejsze z punktu widzenia składu uziarnienia do recyklingu na miejscu z zastosowaniem asfaltu spienionego. Te krzywe są bardzo szerokie, wewnątrz nich powinna się znaleźć docelowa ciągła krzywa uziarnienia pozwalająca uzyskać minimum VMA (wolna przestrzeń w kruszywie mineralnym).



Rys. 5. Zalecane krzywe uziarnienia uznane za odpowiednie dla składu ziarnowego mieszanki przeznaczonej do prac z zastosowaniem asfaltu spienionego (Akeroyd, 1988) strefa A: idealnie, strefa B: akceptowalne, strefa C: materiał zbyt gruboziarnisty, czasami może być skorygowany poprzez dodanie drobniejszego kruszywa, strefa D: materiał nieodpowiedni, zbyt drobny.

3.1. Wybór nowego lepiszcza

Recykling z zastosowaniem emulsji asfaltowej

Charakterystyka użytej emulsji zależy od materiału poddawanego recyklingowi. W uproszczeniu rozważane są trzy przypadki.

Pierwszy przypadek (A) odpowiada stabilizacji niezwiązanego materiału ziarnistego (lub gdy materiał ten stanowi prawie całość warstwy recyklowanej). Przypadek ten jest analogiczny do mieszanki żwirowo-emulsyjnej. Chemiczna charakterystyka emulsji jest silnie powiązana z zawartością drobnych cząstek i ich aktywnością. Najodpowiedniejsze są emulsje kationowe, nadstabilne emulsje. Przy wyborze lepiszcza powinno uwzględniać się natężenie ruchu i warunki klimatyczne. Dla niskiego i średniego natężenia ruchu w klimacie umiarkowanym, można użyć lepiszcza charakteryzującego się penetracją w 25°C pomiędzy 70/100 a 180/220. W Skandynawii, gdzie zimy są ostre używa się miększego lepiszcza (o penetracji do 400) a nawet miększego asfaltu (V6000 do V12000), jeżeli istnieje ryzyko wystąpienia dużych nierównych wysadzin podczas okresów zamarzania i odmarzania. Wyjątkowo, z pewnym rodzajem kruszywa można użyć anionowych emulsji.

Drugi przypadek (B) jest typowy dla recyklingu na zimno mieszanki mineralno-asfaltowej, jaki był wykonywany w Europie podczas rekonstrukcji podbudowy lub warstw asfaltowych wykonanych z materiału o ciągłym uziarnieniu z małą zawartością drobnych cząstek. Najodpowiedniejsze są tu wolnorozpadowe emulsje kationowe, wykonane na bazie asfaltu o niskiej lepkości (czasami również ze środkiem regenerującym).

Trzeci przypadek (C) jest typowy dla recyklingu na zimno mieszanki mineralno-asfaltowej, jaki był wykonywany w USA podczas recyklingu warstwy ścieralnej z otwartej mieszanki. Były tam używane kationowe lub anionowe emulsje średniorozpadowe (wysoko płynne), które zawierały znaczną ilość upłynniacza (5 do 10%).

Wskazania przedstawione powyżej są przedstawione w Tabelicy 2 z odniesieniem do cech określonych w normach CEN. W USA odpowiednie specyfikacje dla lepiszcza asfaltowego przeznaczonego do recyklingu mieszanek na zimno są przedłożone w normach AASHTO M226 i AASHTO M20.

Należy zaznaczyć, że we wszystkich przypadkach technologia z zastosowaniem emulsji daje szerokie możliwości regulacji w zależności od materiałów użytych do recyklingu, w szczególności umożliwia poprawę charakterystyki przyczepności i wiązania.

Tablica 2. Sugestie odnośnie wyboru emulsji asfaltowej do recyklingu na zimno, na miejscu (wraz z cechami określonymi w normach europejskich CEN)

Cechy emulsji	Norma	Przypadek		
		A	B	C
Zawartość lepiszcza	EN 1428	55 – 65%	60 – 65%	60 – 70%
Indeks rozpadu	pr EN 13075-1	> 160	120 – 180	80 – 140
Czas mieszania	pr EN 13075-2	> 180	> 180	---
Stabilność na cemencie	Pr EN 12848	≤ 2	---	---
Przyczepność wg metody zanurzenia w wodzie	Pr EN 13614	≥ 75%	≥ 75%	≥ 75%
Lepiszczce pozostałe po destylacji (EN 1431)		Przystosowane do natężenia ruchu i warunków klimatycznych, oraz do lepkości postarzonego asfaltu do recyklingu.		
Penetracja		EN 1426		
Temperatura mięknienia		EN 1427		
Lepkość		EN 12595		
Objętość upłynniacza	EN 1431	0 – 2%	0 – 2%	5 – 10%

Środkami regenerującymi mogą być lekkie pochodne petrochemiczne. Środki te stosowane są, aby wyrównać proporcje pomiędzy asfaltenami i maltenami w postarzonym asfalcie. Dzięki temu można przywrócić mu poprzednią ciągliwość i obniżyć temperaturę łamliwości. Jednakże w przeciwieństwie do remixingu na gorąco w wytwórni, recykling na zimno, na miejscu nie pozwala dokładnie wymieszać (ujednorodnić) zregenerowany asfalt i postarzony. Zregenerowany asfalt w pewnym stopniu wykazuje tendencje do zachowywania się jak smar w tym czasie. Jego wysoka zawartość może pogorszyć stabilność mieszanki i doprowadzić do powstania śliskiej warstwy na powierzchni.

Recykling z zastosowaniem asfaltu spienionego

Zazwyczaj do produkcji spienionego asfaltu w strefie o umiarkowanym klimacie wybierany jest asfalt o penetracji od 60 do 250 *0,1 mm, często jest to około 100 *0,1 mm. Unika się stosowania twardszego lepiszcza z powodu ryzyka powstania zatorów w dyszach wtryskujących asfalt i powstania piany o złej jakości. Prowadzi to do gorszego rozprowadzenia lepiszcza w mieszance.

W rejonach o chłodnym klimacie stosuje się bardziej miękki asfalt. Jako przykład w Tablicy 3 przedstawiono zalecenia określone w Norwegii.

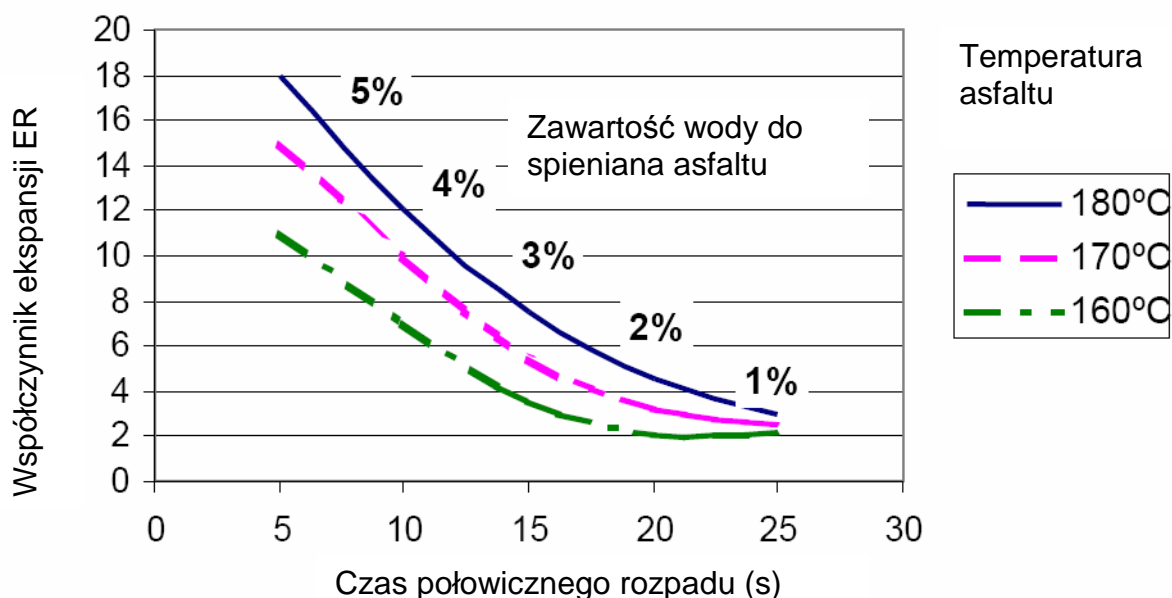
Tablica 3. Norweskie zalecenia odnośnie wyboru asfaltu

Średnia roczna temperatura (°C)	Rodzaj asfaltu
< 3	V6000 – 12000
3 – 6	330/430, V6000 – 12000
> 6	160/220 – 330/430, V12000

Penetracja nie jest wystarczającym kryterium do oceny przydatności asfaltu do mieszanek z spienionym asfaltem. Rozpatrywane są dwa parametry podczas doboru lepiszcza:

- ✓ współczynnik ekspansji ER, który jest wyrażany jako stosunek maksymalnej objętości piany do początkowej objętości asfaltu,
- ✓ czas połowicznego rozpadu $T^{1/2}$, który jest miarą stabilności piany, jest to czas, w przeciągu którego piana opadnie do połowy swojej maksymalnej objętości, wyrażony w sekundach.

Liczne czynniki mają wpływ na jakość i charakterystykę piany, najważniejszym jest zawartość wstrzykniętej wody i temperatura asfaltu. Rysunek 7 ilustruje wpływ tych dwóch czynników.



Rys. 6. Ilustracja wpływu objętości wstrzykniętej wody i temperatury asfaltu na wartość współczynnika rozszerzalności i czas połowicznego rozpadu piany.

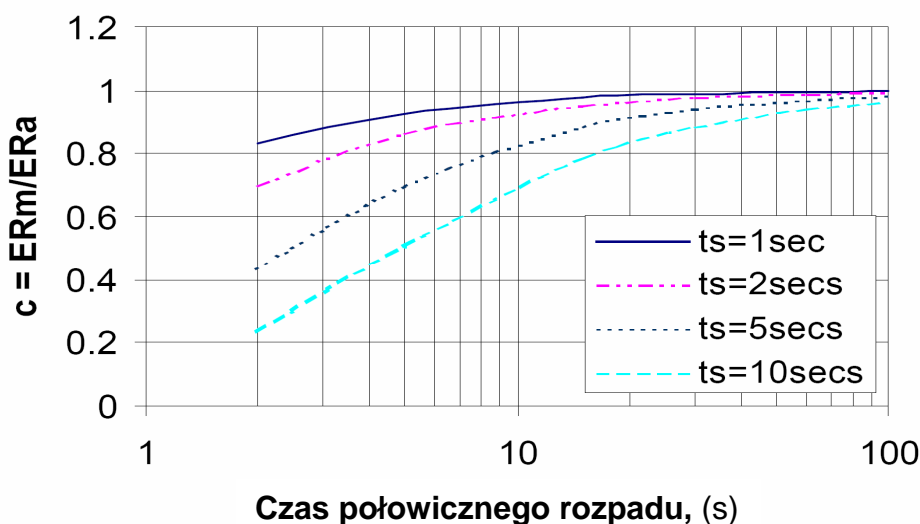
Zazwyczaj wymagane wartości ER i $T^{1/2}$ są następujące: współczynnik rozszerzalności większy niż 10, a czas połowicznego rozpadu około 20 do 30 s², podczas gdy wartości 7 dla ER i 7s dla $T^{1/2}$ są uważane za absolutne minima. Minima te nie powinny być rozpatrywane niezależnie, ale raczej w połączeniu ze sobą.

Dla czystego asfaltu, bez środków spieniających, metoda została udoskonalona w celu określenia optymalnego składu o założonym indeksie spieniania FI, który łączy współczynnik ER i $T^{1/2}$ (Jenkins, 2000):

$$FI = \frac{T^{1/2}}{\ln 2} \left(4 - ERm - 4 \ln \left(\frac{4}{ERm} \right) \right) + \left(\frac{1+c}{2c} \right) * ERm * t_s$$

gdzie: t_s to czas rozpylania do wytworzenia całej piany (w sekundach), E_m to maksymalny współczynnik ekspansji zmierzony natychmiast po wytworzeniu piany, C to współczynnik odczytywany z wykresu (Rysunek 8).

Te charakterystyczne parametry są otrzymywane w laboratorium przy wykorzystaniu laboratoryjnego aparatu do spieniania (Rysunek 9).



Rys. 7. Wykres umożliwiający określenie współczynnika C



Rys. 8. Laboratoryjny aparat do produkcji spienionego asfaltu

² Niektórzy jako czas połowicznego rozpadu przyjmują 15 s mierzony od momentu zakończenia iniekcji spienionego asfaltu.

W Tablicy 4 pokazano, zgodnie z wartością indeksu FI, przydatność asfaltu spienionego do mieszanek na zimno uwzględniając temperaturę kruszywa.

Tablica 4. Klasyfikacja przydatności asfaltu spienionego do wytwarzania mieszanek na zimno

Indeks spieniania (s)	Kruszywo o temperaturze 15 °C	Kruszywo o temperaturze 25 °C
< 75	Nieodpowiednia	Nieodpowiednia
75 –100	Bardzo słaba	Słaba
100 –125	Słaba	Średnia
125 –175	Średnia	Dobra
175 –200	Dobra	Bardzo dobra
> 200	Bardzo dobra	Bardzo dobra

Zaleca się, aby wybierać indeks większy od 125. Jeżeli temperatura kruszywa wynosi pomiędzy 10 a 15 °C przed mieszaniem piana powinna chara kteryzować się czasem połowicznego rozpadu przynajmniej 20 s, a minimalny indeks spieniania FI wynosić przynajmniej 500 s. Piana jest niezbędna do uzyskania tych charakterystyk. Nie powinno rozważać się stosowania kruszywa chłodniejszego niż 10 °C.

Czasami w procesie wytwarzania asfaltu w rafinerii są dodawane substancje przeciwspieniające. W takim przypadku niezbędne jest dodanie speniacza, aby umożliwić wyprodukowanie spienionego asfaltu o uprzednio określonych parametrach.

3.2. Wyznaczanie powinowactwa pomiędzy lepiszczem a kruszywem

Recykling z emulsją asfaltową

Zagadnienie powinowactwa lepiszcza do kruszywa jest zjawiskiem bardziej złożonym, gdy stosuje się mieszankę z emulsją, niż w przypadku mieszanek na gorąco. Podczas etapu mieszania, kruszywo jest głównym czynnikiem niestabilności emulsji. W dużym stopniu determinuje ono proces otaczania i wzrostu kohezji. W przypadku mieszanek na zimno a w szczególności w przypadku recyklingu oprócz określonych zagadnień, niezbędne jest wzięcie pod uwagę potencjału absorpcji wody i chemicznych cech powierzchni minerału.

Podczas recyklingu na zimno, należy rozróżnić mieszanki, w których odkryta powierzchnia minerału do otaczania przez lepiszcze jest mała, od mieszanek ze znacznym udziałem nowego kruszywa. W takim przypadku mieszanka może być porównana do mieszanki żwirowo-emulsyjnej a wszystkie zjawiska opisane w dalszej części tego opracowania będą wpływać na proces otaczania.

Obecność kruszywa prowadzi do powstania procesu absorpcji emulgatora, który zmienia zawartość środka powierzchniowo czynnego w fazie wodnej. Dodatkowo jest to związane z osadzeniem i przymocowania kropelek lepiszcza na powierzchni minerału.

W tym samym czasie z powodu mieszania kruszywa z bardzo zjonizowaną emulsją (emulsja kationowa charakteryzuje się pH około 3) należy zanotować:

- ✓ Zmianę wartości pH wywołaną reakcją powierzchni mineralnej z zużytą częścią jonów z frakcji wodnej oraz
- ✓ Uwolnione w wyniku tego na powierzchni kruszywa kationy, które mają dominujący wpływ na niestabilność emulsji.

Przynajmniej trzy zjawiska mogą zainicjować proces rozpadu emulsji w kontakcie z kruszywem (Potti, 1999):

- Nagła zmiana wartości pH
- Obecność kationów

Kruszywo charakteryzujące się dużą absorpcją wody, powoduje poprzez „ssanie” wytrącanie się cząstek asfaltu. Proces ten prowadzi do powstania warstwy lepischer słabo przylegającej do kruszywa. Jest to typowy przypadek.

- Duża absorpcja wody przez kruszywo, ze skał wulkanicznych o dużej porowatości. Zjawisko ssania jest najbardziej znaczące, gdy kruszywo jest suche a temperatura wysoka. Nagła zmiana wartości pH jest zjawiskiem typowym dla kruszyw wapiennych o neutralnym początkowym pH. Można to wykryć poprzez analizę wody uwolnionej podczas rozpadu (Lesuer, 2000). Woda (czysta) powinna mieć pH w granicach od 10 do 12.

Trzecim procesem jest obecność kationów uwalnianych na powierzchni minerału.

W związku z tym, oprócz tradycyjnych badań wykonywanych na kruszywie: skład ziarnowy, wskaźnik piaskowy i badanie wskaźnikiem metylowym, itd. zaleca się przeanalizować zjawiska opisane powyżej przy pomocy następujących badań:

- Oznaczenie wielkości absorpcji wody przy wykorzystaniu badania wywodzącego się z badania Równoważnika Kerosyny w Wirówce (Centrifuge Kerosene Equivalent) stosując wodę zamiast kerosyny,
- Oznaczenie reakcji kruszywa w kwaśnym środowisku (dla emulsji kationowych) z monitorowaniem zmian pH,
- Oznaczenie kationów w roztworze.

W celu scharakteryzowania emulsji bitumicznej niezbędne jest, oprócz wykonania zwykłych badań (lepkość, zawartość pozostałego asfaltu, itd.) poznanie rozkładu wielkości (średnic) cząstek asfaltu za pomocą laserowego urządzenia zgodnego z modelem Miesa lub Fraunhoffera oraz zawartości pozostałego emulgatora.

Objętość wody absorbowanej przez kruszywo ma wpływ na ilość wody niezbędnej do wymieszania mieszanki. Nadmiar wody lub emulgatora może sprzyjać otaczaniu jednakże może być dużo bardziej szkodliwy w fazie rozpadu i wzrostu kohezji oraz może pogorszyć mechaniczne właściwości mieszanki.

Recykling z asfaltem spienionym

Przy zabiegach z wykorzystaniem asfaltu spienionego, z powodu częściowego pokrycia dużych ziaren kruszywa przez krople asfaltu, często jest niezbędne poprawienie adhezji poprzez dodanie wapna lub środków polepszających adhezję odpowiednich do rodzaju kruszywa. Środki polepszające adhezję są zazwyczaj mieszane wstępnie z asfaltem.

4. Badania wstępne

Wstępna ocena projektu jest potrzebna do określenia, czy jest możliwe wykorzystanie recyklingu na zimno na miejscu i czy jest to technologia odpowiednia do wykorzystania w zabiegach utrzymaniowych lub w innych technikach napraw. Należy brać pod uwagę rodzaj zniszczeń, dostępność lokalnych materiałów oraz klasę drogi określoną przez organ zarządzający.

4.1. Ustalenia w terenie

Nie istnieje specyficzne postępowanie przy ustalaniu przyczyn, rodzaju i pochodzenia zniszczeń na drodze, a potem celów prac drogowych odnoszące się do recyklingu na zimno na miejscu. Diagnoza zniszczeń rozpoczyna się od tradycyjnej analizy danych, zapisu zniszczeń powierzchni drogi, odwiertów oraz jeżeli to konieczne danych z pomiarów ugięć. Przebieg tych prac nie jest szczegółowo opisany w niniejszym opracowaniu.

Ustalenia wykonane w terenie muszą jednakże doprowadzić do uzyskania niezbędnych informacji, które pozwolą określić czy możliwe jest wykonanie naprawy w technologii recyklingu na zimni na miejscu. Dopuszczenie tej technologii jest mocno uzależnione od jednorodności materiału w podłużnych i poprzecznych profilach drogi. W przypadku, gdy istniejący materiał został uznany za przydatny do ponownego użycia, ale nie jest dostatecznie jednorodny, by umożliwić rozsądne zaprojektowanie mieszanki dla każdej sekcji należy rozważyć wykorzystanie alternatywnych technik recyklingu na wytwórni³.

Odwierty (przynajmniej jeden na kilkaset metrów kwadratowych i więcej w przypadku gdy droga jest niejednorodna pod względem składu) są konieczne, aby uzyskać informacje o grubości warstw i stanie połączeń międzywarstwowych. Pozwalają również uzyskać materiały do identyfikacji i określenia wilgotności. Odwierty powinny zostać zlokalizowane w śladzie koła jak również w środku i z boku pasa ruchu.

Należy podchodzić szczególnie ostrożnie do starej nawierzchni, która została dawno zbudowana i zmieniała się na przestrzeni lat. Poszerzenia zostały często wykonane z innego materiału, niż część centralna, naprawione zostały nierówności, w obu tych przypadkach nawierzchnie takie mogą znacznie różnić się w poprzecznym przekroju. Niezbędne jest również sprawdzenie czy nośność podbudowy będzie wystarczająca do przeprowadzenia odpowiednich prac przez maszyny do recyklingu oraz do zagęszczania.

Gdy wykonywany jest recykling głęboki w celu podwyższenia nośności istniejącej nawierzchni, zaleca się wykonanie dołu badawczego w kształcie poprzecznego rowu jako uzupełnienie odwiertów (Rysunek 10). Uzupełnia on dane otrzymane z odwiertów. Umożliwia on lepsze rozeznanie odnośnie spójności i grubości różnych materiałów znajdujących się poniżej podbudowy oraz pozyskanie reprezentatywnych próbek niezwiązanych materiałów.

Ostatecznie jest to niezwykle przydatne przy dokładnej lokalizacji i zapisaniu położenia wszystkich podziemnych instalacji. Jeżeli rury lub przewody znajdują się w przedziale 150 mm poniżej poziomu posadowienia ryzyko ich zniszczenia jest wysokie szczególnie, gdy instalacje są stare.

³ Jeżeli materiały bitumiczne wykonane zostały z wykorzystaniem fluksowanego asfaltu lub gdy zawierają zmiękczacze, zawartość pozostałego lepiscza musi być oznaczana po wygrzewaniu (3 godziny w 120 °C).



Rys. 9. Widok dołu badawczego

4.2. Charakterystyka materiałów stosowanych w technologii „na miejscu”

Możliwość zastosowania technologii recyklingu na miejscu zależy od jakości i składu materiałów w starej nawierzchni. Ich stan określa czy mogą być ostatecznie poprawione i czy mogą uzyskać odpowiednie parametry mechaniczne po wymieszaniu z lepiszczem bitumicznym.

W przypadku materiałów niezwiązanych, niezbędne jest oznaczenie uziarnienia, plastyczności pyłów (na podstawie badań: wskaźnika metylowego lub wskaźnika piaskowego) i wilgotności. W odniesieniu do ponownie wykorzystywanych mieszanek bitumicznych i kruszywa związanego spoiwami hydraulicznymi, lub w przypadku słabych niezwiązanych materiałów niezbędne jest oszacowanie prawdopodobnego składu uziarnienia po rozdrabnianiu nawierzchni.

Selektywne frezowanie, pośrednie składowanie, mieszanie, badanie przesiewowe i/lub dodatkowe kruszenie są różnymi sposobami, które mogą być rozważane w celu uzyskania bardziej homogenicznego materiału na składowisku a w konsekwencji do uzyskania uziarnienia i składu wymaganego do recyklingu materiału w wytwórni.

Dla ponownie używanych materiałów bitumicznych określa się zawartość lepiszcza⁴ i dla odzyskanego lepiszcza pozostałe cechy (penetrację w 25 °C, temperaturę mięknięcia metodą Pierścienia i Kuli).

4.3. Możliwość stosowania recyklingu w technologii „na miejscu”

Wykonalność naprawy nawierzchni w technologii recyklingu na zimno na miejscu z emulsją lub asfaltem spienionym zależy jednocześnie od:

- Celu prac naprawczych,
- Charakterystyki dostępnego materiału (typ, jakość i jednorodność),
- Wystarczającej nośności podbudowy,
- Wystarczającej grubości warstw materiałów.

Kryteria wykonalności będą podlegać sprawdzeniu w odniesieniu do każdego typu zastosowania technologii recyklingu na zimno na miejscu.

⁴ W USA, do recyklingu głębokiego ARRA sugeruje skład skruszonego materiału: od 98 do 100 % przechodzi przez sito 50,8 mm (2 cale) i 95 % przechodzi przez sito 38,1 mm (1,5 cala).

Odtworzenie podbudowy i podbudowy pomocniczej z ulepszanego materiału w celu wzmocnienia struktury nawierzchni podatnej z niezwiązaną podbudową zwirową.

Przypadek ten jest zbliżony do stabilizacji nie ulepszanego materiału ze starej nawierzchni jezdni, która zawiera lub nie parę centymetrów warstwy asfaltowej. Grubość warstwy stabilizowanej jest generalnie ograniczona do 15 cm przy zastosowaniu emulsji (dla stabilizacji dolnej warstwy podbudowy z emulsją i cementem czasami można rozważyć większą grubość warstwy) i 30 cm przy zastosowaniu asfaltu spienionego.

W drogach o niskim natężeniu ruchu warstwa podbudowy może zawierać materiał gruntowy z ukopu lokalnego, który może zawierać znaczne ilości pyłów. Kryterium limitującym możliwość wykonania stabilizacji z emulsją lub asfaltem spienionym jest plastyczność pylastej frakcji materiału:

- jeżeli wskaźnik plastyczności (PI) jest większy od 12, należy poszukać innej technologii wykonania prac naprawczych,
- jeżeli PI znajduje się w przedziale od 6 do 12 należy rozważyć wstępne zmieszanie materiału z wapnem (od 1 % do 2% max) w odniesieniu do warstw o grubości od 25 do 30 cm.

Analiza ekonomiczna (najlepiej analiza kosztów cyklu użytkowania) pozwala określić czy technologia recyklingu na zimno na miejscu będzie rentowna.

W przypadku nawierzchni podatnych wybudowanych z podbudową wykonaną z materiału o dobranym składzie granulometrycznym, sytuacja jest lepsza z punktu widzenia jakości materiałów. Można wtedy wykorzystać kryteria stosowane w odniesieniu do mieszanek na zimno wykonywanych z nowych materiałów:

W odniesieniu do mieszanki zwirowo-emulsyjnej,

- Czystość materiałów
Wskaźnik piaskowy PS ≥ 60 lub wartość wskaźnika błękitu metylowego na frakcji $0/D \leq 1$ g/kg
- Rozkład ziaren materiału przeznaczonego do recyklingu pod względem średnicy, po dokonaniu korekty (jeżeli jest to niezbędne) poprzez dodanie kruszywa
 $D \leq 31,5$ mm
od 25 do 35 % frakcji przechodzącej przez sito 2 mm
od 4 do 8 % frakcji przechodzącej przez sito 0,08 mm

Dla mieszanki żwiru z asfaltem spienionym, zawartość części pylastych może być bardziej istotna.

Naprawa warstwy nawierzchni bitumicznej i górnej warstwy podbudowy wykonanej z niezwiązanych materiałów lub z dodatkiem spoiwa cementowego

W tej kategorii można wskazać:

- Recykling na miejscu warstwy bitumicznej oraz paru centymetrów podbudowy zasadniczej w szczególności, gdy istnieje problem zapobieżenia rozsegregowania się materiału i spadku kohezji w połączeniu międzywarstwowym;
- Odbudowa podbudowy.

Podczas recyklingu z wykorzystaniem emulsji, zalecane jest aby zawartość "białych" materiałów nie przekraczała 25 % materiału przeznaczonego do recyklingu i pozwalała uzyskać prawidłowe pokrycie i jednorodność. Grubość warstwy układanej w technologii recyklingu na zimno jest ograniczona do 12 cm.

- Czystość materiałów nieużywanych
Kryteria takie same jak powyżej
- Rozkład ziaren materiału pod względem średnicy

D materiału po rozkruszeniu: $D \leq 25 \text{ mm}$

(akceptowalna jest kilku procentowa zawartość ziaren większych niż 25 mm)

Cechy starego lepiszcza (następujące kryterium jest używane jedynie w odniesieniu do zregenerowanego lepiszcza)

Średnia penetracja w 25 °C $\geq 10/10 \text{ mm}$

Średnia temperatura mięknięcia R&B $\leq 70 \text{ °C}$ (75 °C maximum)

(wartości te są obliczoną średnią ważoną całej grubości warstwy przeznaczonej do recyklingu)

Ograniczenia odnośnie tych cech starego lepiszcza pozwalają uniknąć sytuacji, w której dodatek asfaltu, który mógłby być zbyt miękki mogło by doprowadzić do powstania problemów ze stabilnością mieszanki w początkowym okresie. W krajach o umiarkowanym klimacie (np.: Francja, Hiszpania), w technologii recyklingu z wykorzystaniem emulsji prowadzi to do dodawania asfaltu o maksymalnej penetracji w 25 °C około 220 / 10 mm.

Naprawa nawierzchni asfaltowej

W tym przypadku, technologia recyklingu w miejscu odnosi się jedynie do mieszanek bitumicznych. Grubość warstwy poddawanej recyklingowi jest ograniczona do 12 cm, jest to uwarunkowane możliwością osiągnięcia odpowiedniego zagęszczenia warstwy.

Rozkład ziaren materiału pod względem średnicy

Zazwyczaj zasadą jest, że grubość warstwy powinna być przynajmniej trzykrotnością maksymalnej średnicy nominalnej. Prowadzi to do tego, że D po rozkruszeniu wynosi 25 mm (akceptowalna jest kilku procentowa zawartość ziaren większych niż 25 mm).

Cechy starego lepiszcza (następujące kryterium jest używane jedynie w odniesieniu do odmładzanego lepiszcza)

Średnia penetracja w 25 °C $\geq 10/10 \text{ mm}$

Średnia temperatura mięknięcia R&B $\leq 75 \text{ °C}$ (80 °C maximum)

W krajach o umiarkowanym klimacie oraz przy recyklingu z wykorzystaniem emulsji, odpowiada to dodawaniu lepiszcza o penetracji w 25 °C do 400 / 10 mm.

5. Zakres stosowania i zalecenia

Recykling na miejscu na zimno z zastosowaniem emulsji lub asfaltu spienionego jest technologią alternatywną wobec rekonstrukcji nawierzchni wiążącej się z usunięciem materiału ze starej nawierzchni. W tej technologii materiał ten jest ponownie wykorzystywany. Technologia sama z siebie pozwala na stosowanie w różnych przypadkach, które mogą różnić się w zależności od celu jaki ma zostać osiągnięty poprzez prace remontowe. Są to:

- ✓ stabilizacja ziarnistej podbudowy niezwiązanej nawierzchni podatnej w połączeniu z zniszczeniem warstwy ścieralnej nawierzchni bitumicznej. Prowadzi to do wytworzenia wytrzymalszej podbudowy z ulepszanego materiału a co za tym idzie do wzrostu nośności nawierzchni,
- ✓ recykling górnych warstw bitumicznych zniszczonych w procesie zmęczenia i przekształcenie w nową warstwę podbudowy,
- ✓ recykling warstwy ścieralnej wraz z kilkoma centymetrami warstwy podbudowy nawierzchni półsztywnych w celu prawidłowego rozdzielania strefy połączenia między warstwowego oraz do wybudowania nowej nawierzchni,
- ✓ recykling jedynie asfaltowej warstwy ścieralnej zapobiegający spękanom i nadmiernemu starzeniu asfaltu.

6. Zalety i ograniczenia technologii recyklingu na miejscu

Zalety

W porównaniu do tradycyjnych technologii napraw nawierzchni poprzez położenie nakładki, recykling na zimno na miejscu w lepiszczym asfaltowym cechuje się licznymi zaletami. Technologia ta umożliwia:

- ✓ zaoszczędzenie nowych materiałów (kruszywo, asfalt) w wyniku powtórnego użycia całości lub części materiału na miejscu, ogranicza to koszty ponoszone przez właściciela,
- ✓ redukcję zużycia energii potrzebnej na suszenie, transport, kruszenie, etc materiałów, jeżeli uwzględni się cały cykl produkcji kruszywa,
- ✓ redukcję zapotrzebowania na transport materiałów na miejsce wbudowania, prowadzi to do mniejszego zniszczenia dróg przyległych do miejsca budowy oraz do zaoszczędzenia paliwa, opon i parku maszynowego,
- ✓ redukcję zakresu prac pomocniczych (niwelowanie terenu, rozbieranie krawężników, zapewnienie dostępności itp.),
- ✓ szybsze przywrócenie ruchu na nowym odcinku drogi po zagęszczeniu.

Z technicznego punktu widzenia technologia ta pozwala:

- ✓ poddać recyklingowi tylko jeden pas ruchu, jeśli jest to konieczne,
- ✓ skorygować profil poprzeczny drogi i krótkie nierówności w profilu podłużnym. Jeżeli nowy materiał jest przywożony a prace wykonywane przez kilku podwykonawców, korekty w odniesieniu do profilu podłużnego mogą zostać wykonane w pewnym stopniu,
- ✓ tolerować pewne fluktuacje w składzie materiału do recyklingu,
- ✓ redukować naprężenia wywołane pracami remontowymi w podbudowie o małej nośności w porównaniu z tradycyjnymi technikami wymagającymi usunięcia starej konstrukcji,
- ✓ wznawiać ruch w nocy i podczas weekendu (jeżeli natężenie ruchu nie jest zbyt duże)

Ograniczenia w stosowaniu

Ograniczenia w stosowaniu tej technologii spowodowane są następującymi czynnikami:

- ✓ zmiennością cech materiału poddawanego recyklingowi na miejscu, t.j.: obecność kamieni brukowych lub innych bloków skalnych, których nie można rozbić, duża zawartość gliny, duża niejednorodność,
- ✓ zbyt małą nośnością podbudowy, która może zakłócić stały przesuw kombajnu do recyklingu, stałą głębokość wykonywanej pracy i prawidłowy stopień zagęszczenia,
- ✓ obecność geotekstyliów w połączeniu warstw przeznaczonych do recyklingu,
- ✓ istnieniem dużej ilości włączów technologicznych i studzienek kanalizacyjnych,
- ✓ warunkami klimatycznymi (zbyt niska temperatura, częste opady deszczu) które mogą uniemożliwić prawidłowe rozproszenie asfaltu spienionego w mieszance oraz prawidłowe stwardnienie materiału zmieszanego z emulsją,
- ✓ poziom wymaganych mechanicznych cech funkcjonalnych. Cechy takie jak moduł i odporność na zmęczenie są niższe w porównaniu do tych uzyskiwanych przez mieszanki wykonane w technologii na gorąco. Ponadto, gdy stosuje się emulsję maksymalna grubość warstwy jest ograniczona poprzez wymaganie odnośnie umożliwienia odpływu z mieszanki wody pozostałej po rozpadzie emulsji. Te zmienne okoliczności wymuszają ograniczenie w stosowaniu tej technologii w odniesieniu do natężenia ruchu. Ograniczenia te zależą od specyfiki wykonywanych robót i od jakości podłoża pod recyklowanymi warstwami,
- ✓ warstwa wykonana w tej technologii bez ochrony warstwą wierzchnią może być ułożona jedynie na drogach o niskim natężeniu ruchu i na obszarze o niskich opadach z powodu ryzyka rozluźnienia.

Recykling na miejscu wymaga użycia wytwórni o dużej wydajności i sprzętu specjalnie przygotowanego do tego typu prac. W celu zachowania rentowności, którą można uzyskać dzięki zastosowaniu tej technologii pożądane jest, aby każde zadanie miało powierzchnię nie mniejszą niż opłacalne minimum lub, aby łączyć prace wykonywane niedaleko od siebie. Mimo że każdy przypadek powinien być przeanalizowany oddzielnie można podać przykład Wielkiej Brytanii, w której przyjmuje się 3000 m² jako sugerowany minimalny obszar, dla którego technologia staje się opłacalna (Milton, 1996).

7. Zakończenie

Opracowanie zawiera opis działań prowadzonych w zakresie ETAPU I pracy oraz roboczy projekt wytycznych, które będą elementem wyjściowym do wykonania odcinków doświadczalnych po ewentualnej korekcie (po doświadczeniach w dalszej praktyce). Zgodnie z programem pracy szczegółowa analiza oraz niezbędne porównania zostały przewidziane do realizacji w ETAPIE III pracy (w 2006 r.). Prace przewidziane do wykonania w 2004 r. zostały w całości zrealizowane, a rezultaty przedstawiono w niniejszym sprawozdaniu.