

Ocena właściwości i identyfikacja asfaltów: DSR, FTIR i narzędzia AI.

Kamil Otkalło
Kwiecień 2026



Wstęp

Teza:

Metody oceny właściwości lepiszczy, także w ocenie asfaltów w mieszance już wbudowanej, nie nadążają za technologią modyfikacji asfaltów. Zakres badanych parametrów lepiszczy modyfikowanych wg wymagań normowych jest niewystarczający do prawidłowej oceny właściwości i identyfikacji składu lepiszczy.

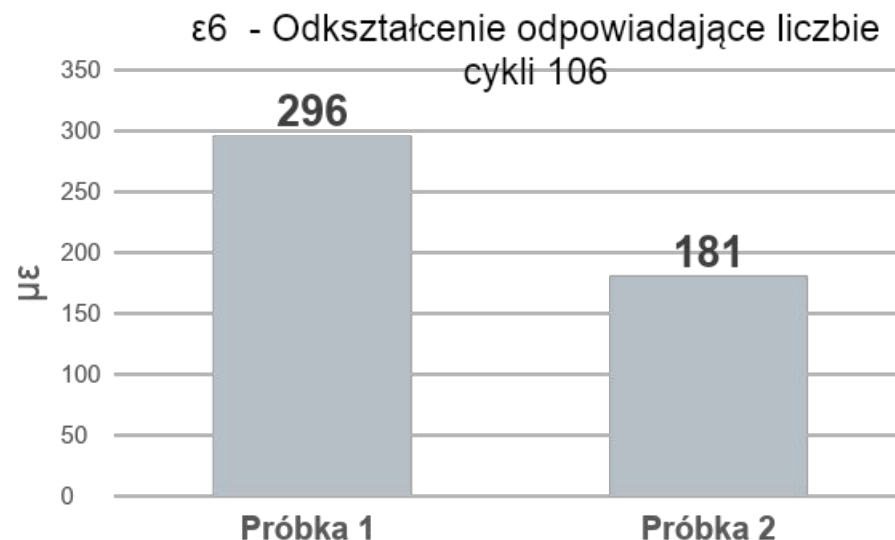
Sugestia:

Należy rozważyć stosowanie dodatkowych zaawansowanych badań reologicznych lub szybkich badań składu chemicznego do prawidłowej oceny właściwości lepiszczy. Ich zastosowanie wraz z wykorzystaniem narzędzi AI umożliwi szybką identyfikację lepiszczy oraz kontrolę jakości.

Studium przypadku

Badania konsystencji		
Rodzaj badania	Próbka 1	Próbka 2
Badanie PiK	92	94
Penetracja w 25°C	41	43
Penetracja w 15°C	20	21
Penetracja w 5° C	10	11

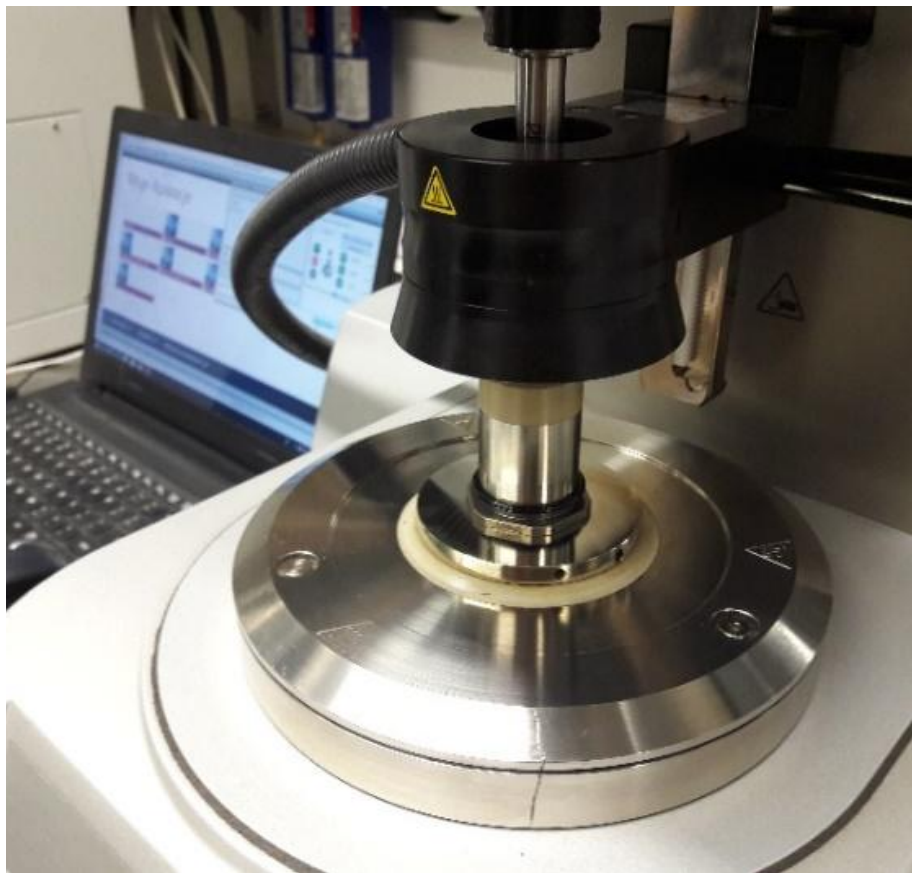
Badania funkcjonalne mieszanki mineralno-asfaltowej



Badania normowe lepiszcza (PiK, penetracja) nie oznaczają identycznego zachowania funkcjonalnego.

Potrzeba wprowadzenia nowych narzędzi do oceny lepiszczy, które pokażą jak materiał pracuje (reologia) i dlaczego w taki sposób (chemia/skład).

DSR – Reometr dynamicznego ścinania

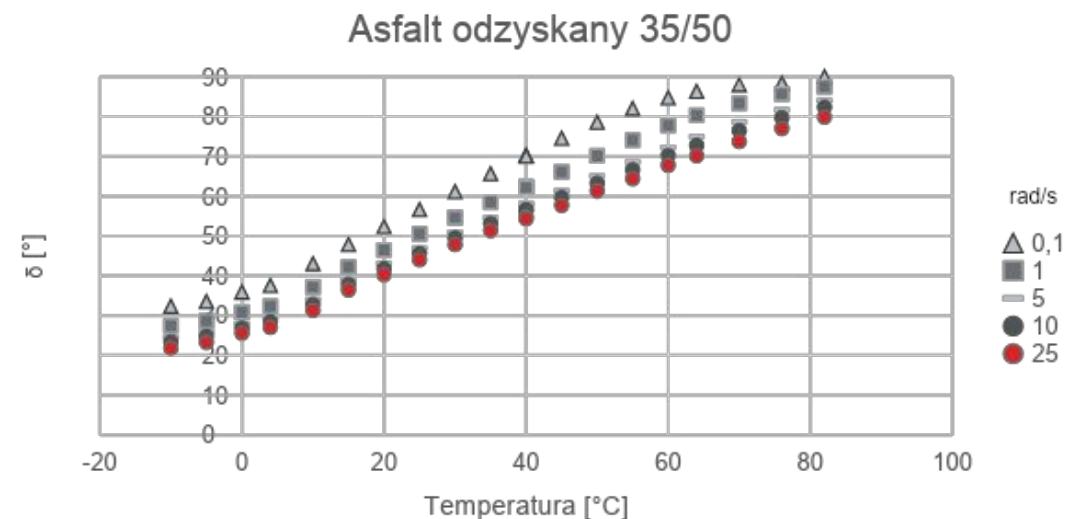
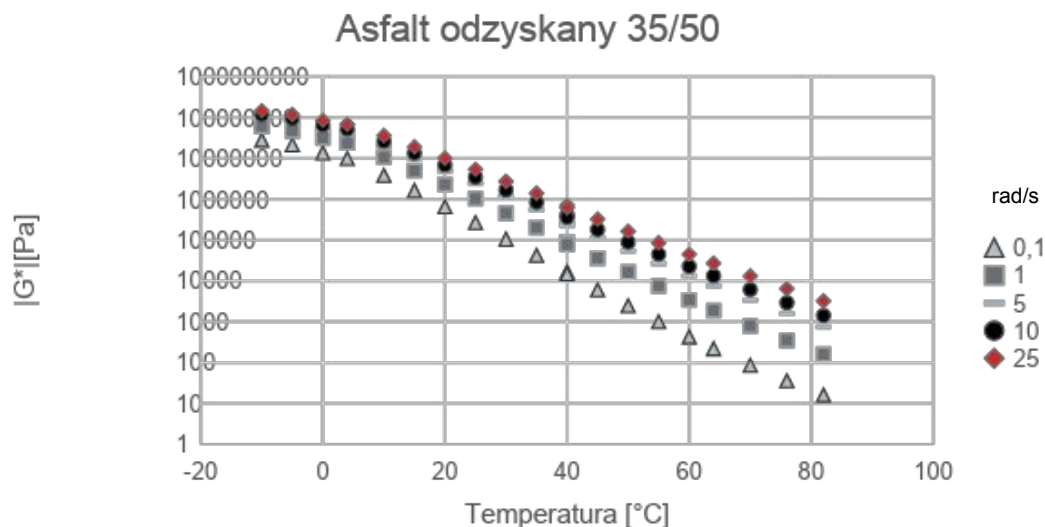


DSR – reometr dynamicznego ścinania (ang. Dynamic Shear Rheometer)

Wprowadzony w ramach programu Strategicznego Drogowego Programu Badawczego SHRP (Strategic Highway Research Project) we wdrożeniu metodyki Superpave.

- Fundament metodyki Superpave / klasyfikacji funkcjonalnej (Performance Grade)
- Standard reologicznej oceny lepiszczy – globalnie
- Asfalt: lepkośćprężysty (T + czas/częstotliwość obciążenia)
- Polska: normy dla części badań, brak wymagań
- Wymagana mała ilość asfaltu – możliwość badania asfaltu odzyskanego z pojedynczego odwiertu.

DSR – Analiza reologii asfaltu



Oznaczenie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego lepiszcza wg PN-EN 14770

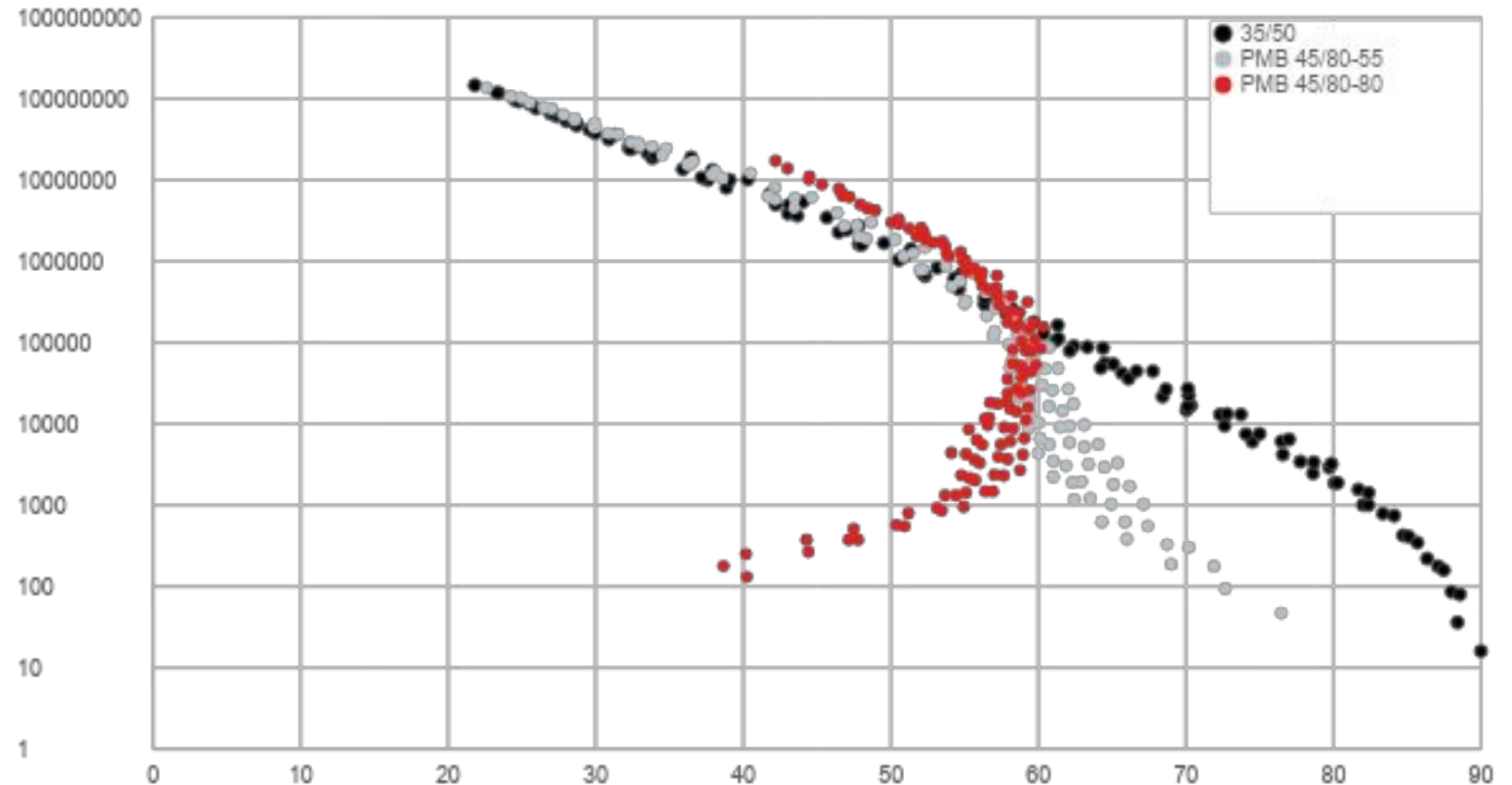
Procedura normowa dotyczy wyznaczenia zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego lepiszczy przy zmiennym obciążeniu ścinającym w funkcji temperatury badania i częstotliwości badania.

- Wyniki normowe: $|G^*|$ (zespolony moduł ścinania) + δ (kąt przesunięcia fazowego)
- Zakres LVE: badanie w zakresie liniowej lepkości

Przemiatania: temperatura \times częstotliwość \rightarrow duża macierz danych

DSR – Krzywa Blacka

- Wykres Blacka ($|G^*|-\delta$) – reologiczny ‘odcisk palca’ lepiszcza; kompresuje dane $T \times f$ (T, f) do formy porównawczej.
- Odchylenia krzywej wskazują stopień modyfikacji i bardziej złożone zachowanie.
- Asfalty wysokomodyfikowane wykazują w niskiej temperaturze mniejszą sztywność przy jednocześnie znacznie niższym kącie przesunięcia fazowego w wysokiej temperaturze.



Zaawansowane badania funkcjonalne – MSCR

Odporność na deformacje trwałe

- PN-EN 16659 Asfalty i lepiszcza asfaltowe
Badanie cyklicznego pełzania z odprężeniem (MSCRT).

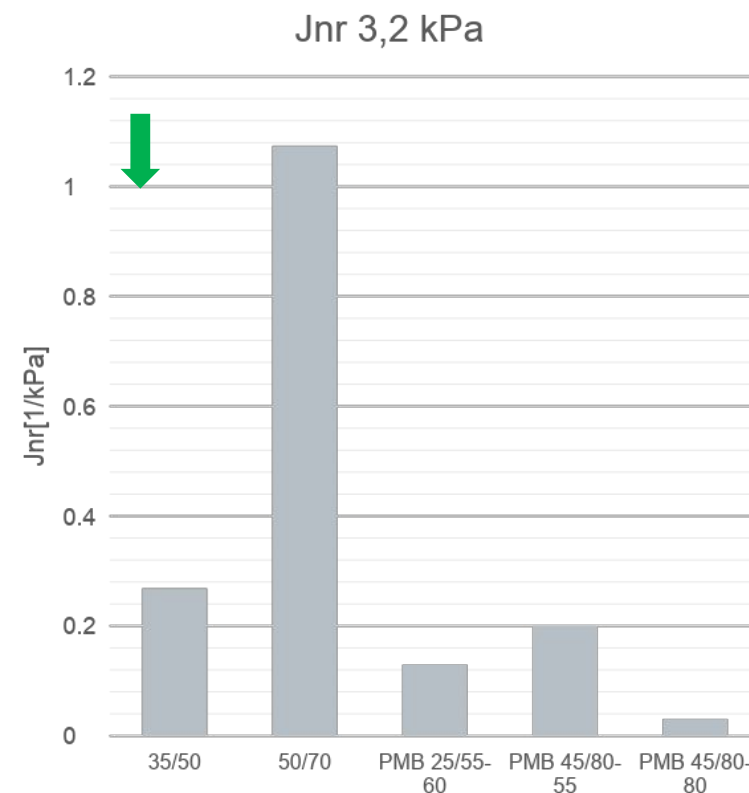
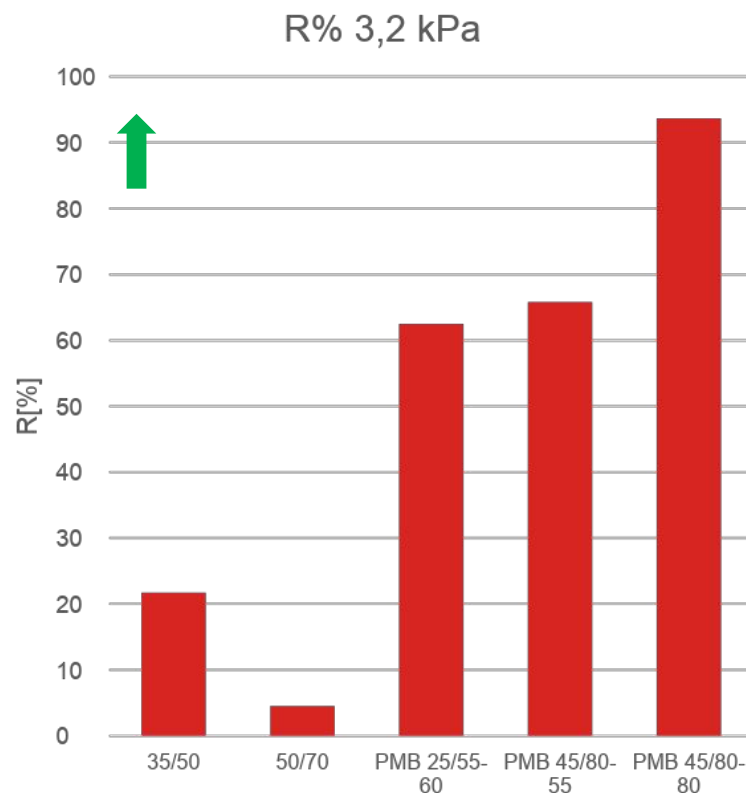


- Wynik badania m.in.: nawrót $R\%$,
nieodwracalna część modułu
podatności J_{nr} .

Wersja normy z USA rozwinęła
metodykę Superpave.

Dane wejściowe Poziomu 1 do
projektowania

mechanistyczno-empirycznego

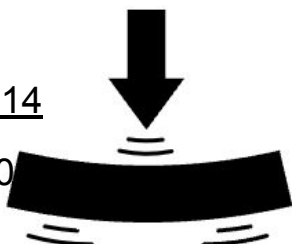


- Przykładowe wyniki badań w temp. 60°C asfaltów odzyskanych z odwiertów.
- Najkorzystniejsze parametry asfaltu wysokomodyfikowanego.

Zaawansowane badania funkcjonalne – LAS

Estymacja trwałości zmęczeniowej liniowym przemiataniem amplitudą (LAS)

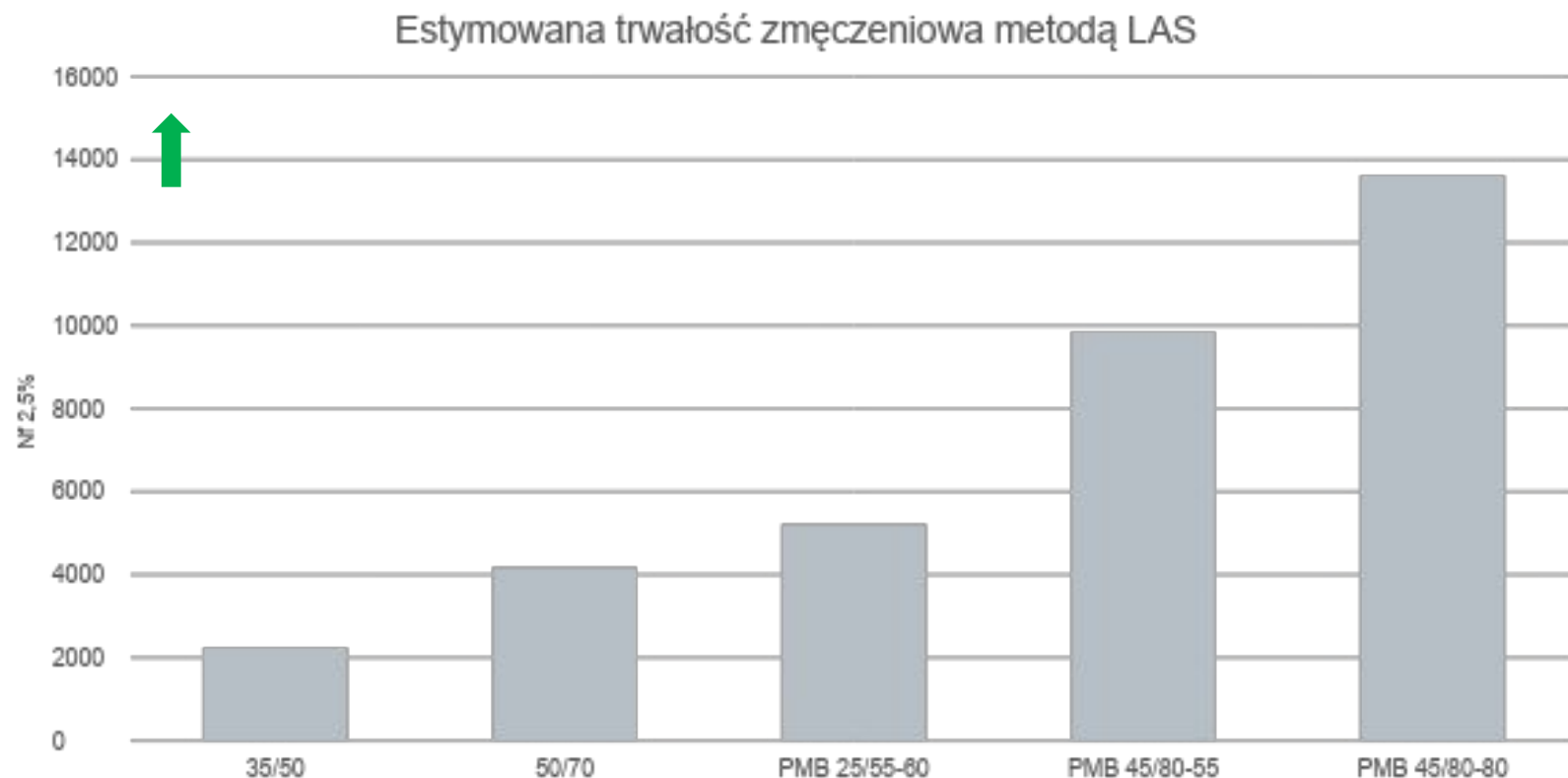
- AASHTO TP-101-14
- AASHTO T 391-20



- Wynik badania: parametry modelu umożliwiającego obliczenie szacowanej liczby cykli N_f dla zadanego odkształcenia przed osiągnięciem kryterium zniszczenia.

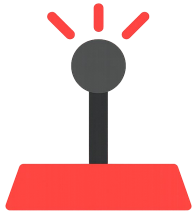
Metoda oparta na uproszczonym modelu zniszczenia ośrodka

Indeks wytrzymałościowy (GVFCI)



- Przykładowe wyniki badań w temp. 15°C asfaltów odzyskanych z odwiertów.
- Najkorzystniejsze parametry asfaltu wysokomodyfikowanego.

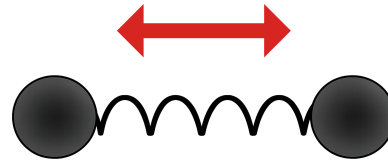
Co się kryje za „FTIR”?



Spektrometr

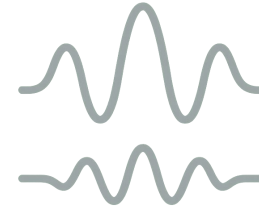


Promieniowanie
podczerwone

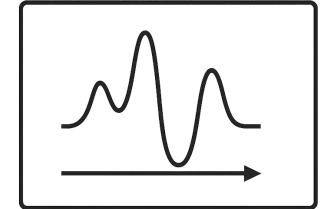


Drgania wiązań grup
funkcyjnych

Transformacja Fouriera



Interferogram



Widmo IR próbki

Spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (*ang. **Fourier Transform InfraRed Spectroscopy***)

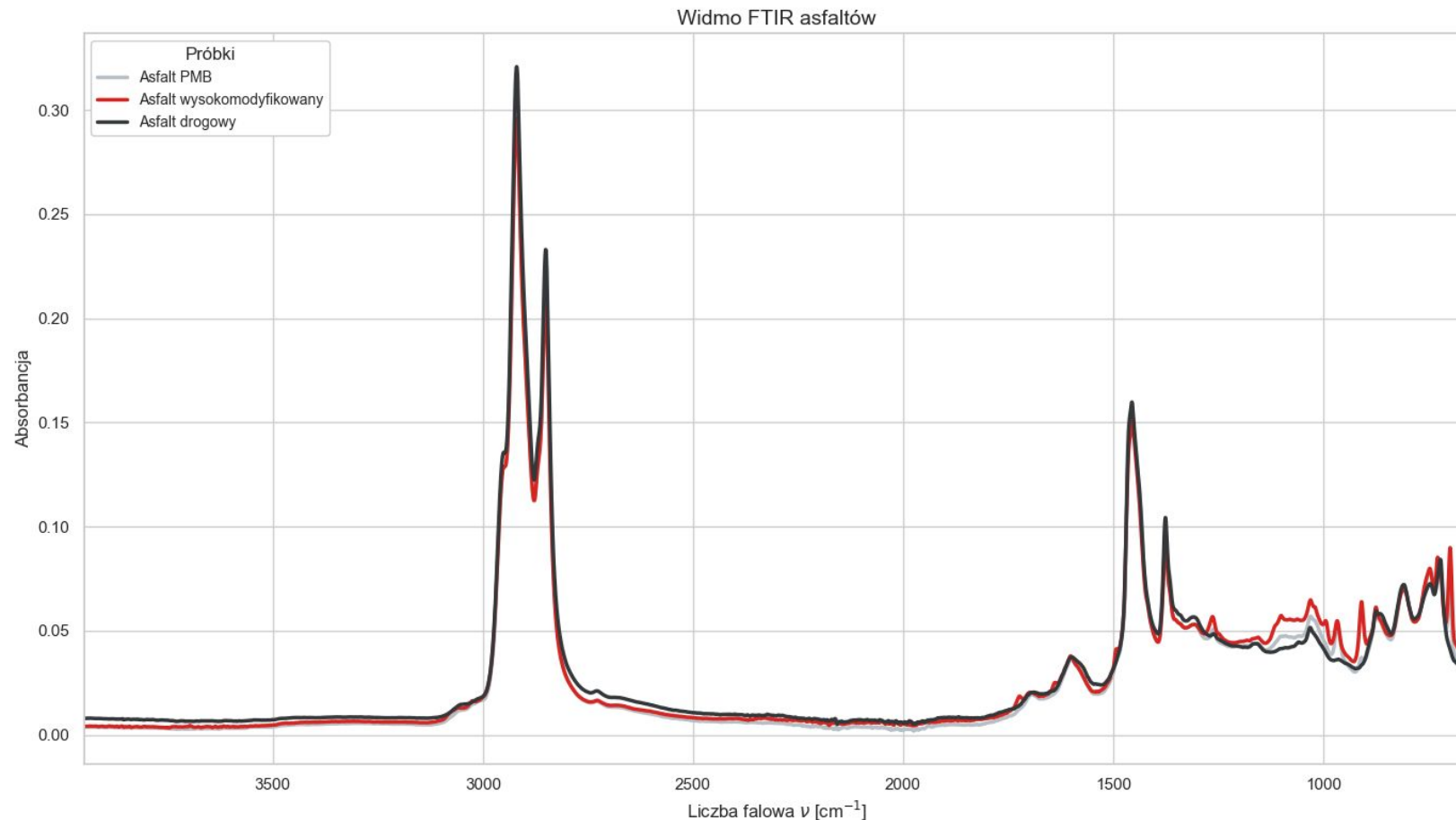
Spektrometr FTIR



FTIR wraz z przystawką ATR (osłabione całkowite odbicie) umożliwia analizę asfaltu bez złożonego przygotowania próbki.

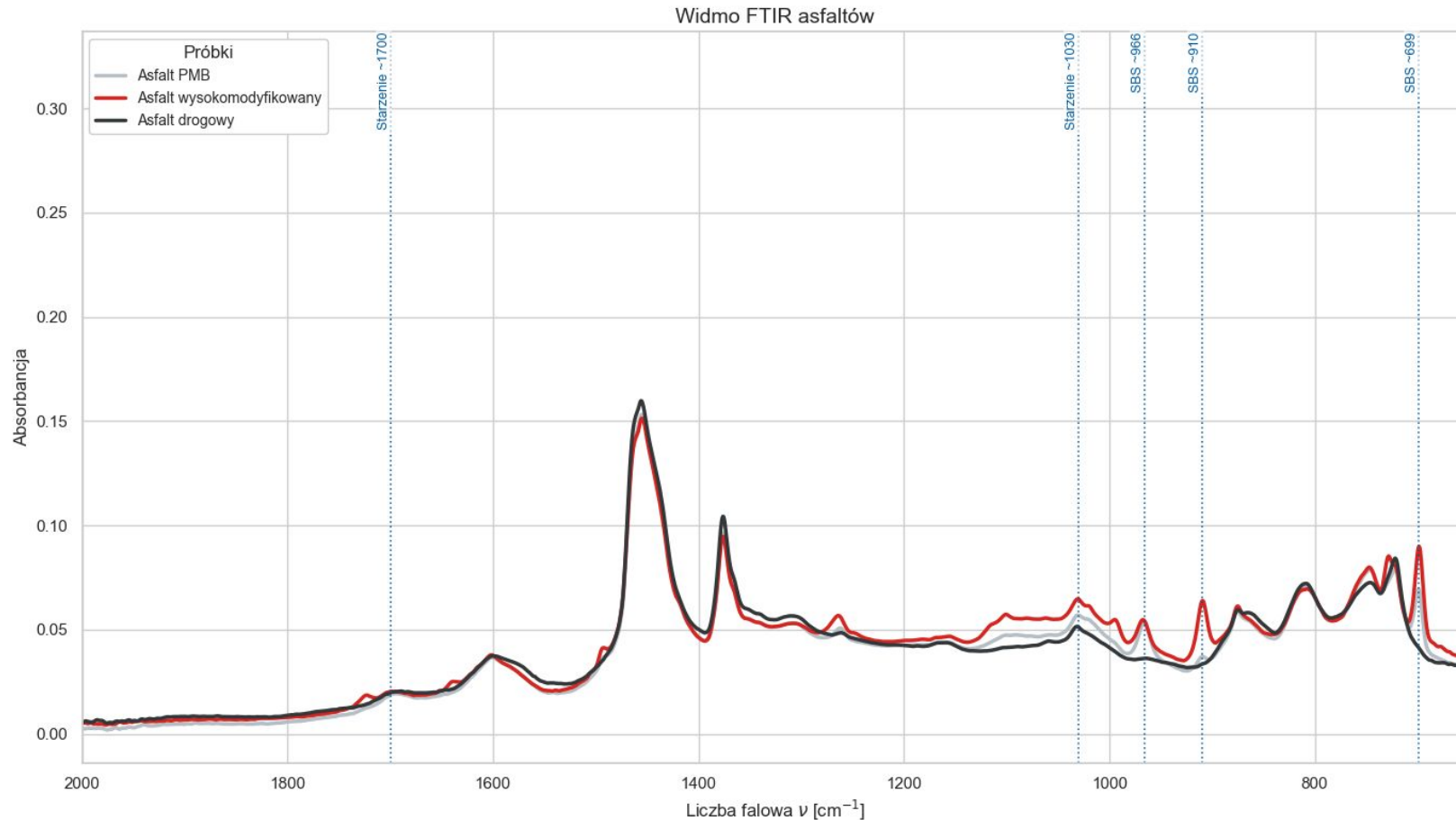
- Krótki czas badania
- Wymagana mała ilość asfaltu – możliwość badania asfaltu odzyskanego z pojedynczego odwiertu.
- Uzupełnienie reometru DSR: chemia ↔ reologia
- Dostępne wersje przenośne

Widmo FTIR



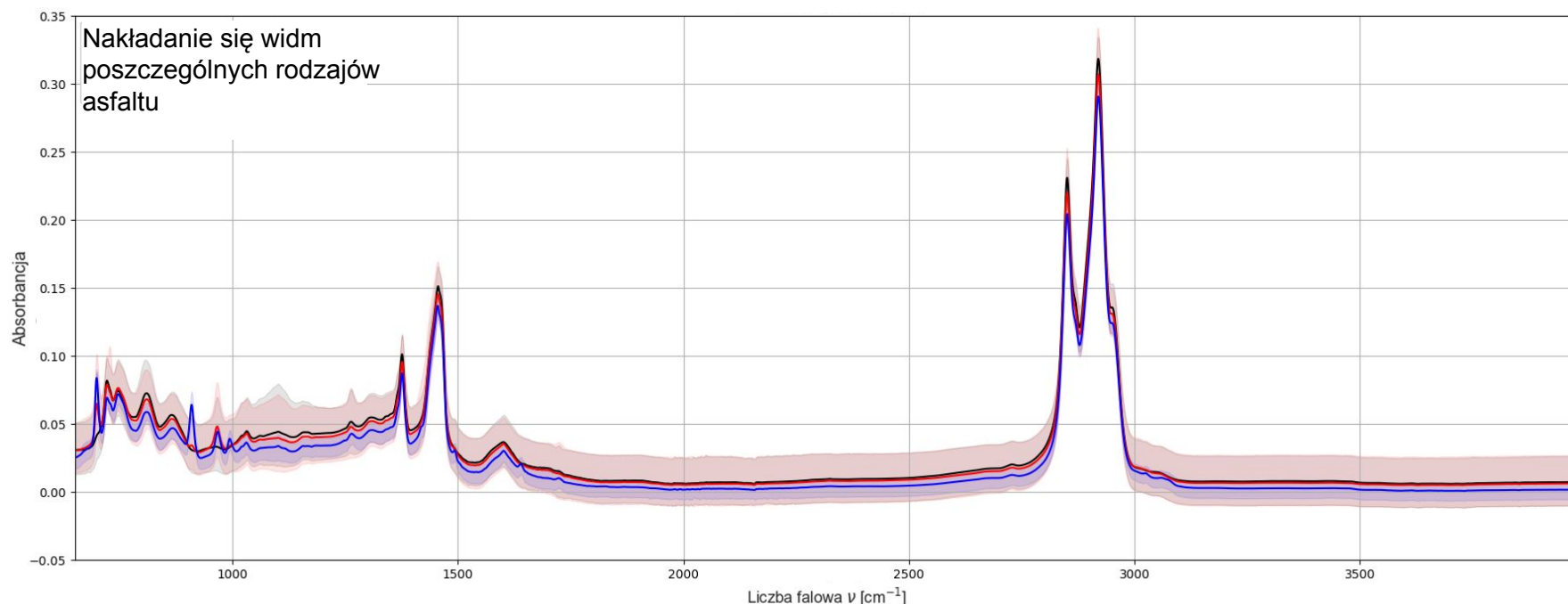
- Typowy zakres analizy: 4000–600 cm^{-1} .
- Widmo FTIR to „chemiczny odcisk palca” lepiszcza.
- Widma typowych asfaltów odzyskanych z mieszanek mineralno-asfaltowych.

Widmo FTIR



- Zaznaczone pasma odpowiadają obszarom diagnostycznym dla modyfikacji SBS.
- Relacje intensywności pasm mogą wspierać ocenę obecności i poziomu modyfikacji.
- Odpowiednie pasma pozwalają śledzić postęp utleniania.
- Widmo odzyskanego lepiszcza jest sumą sygnałów bazy, polimeru i starzenia.

Problemy analizy



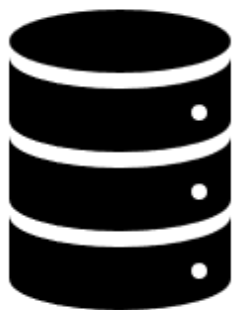
- Duże zróżnicowanie wyników, konieczność stosowania zaawansowanego przetwarzania danych, ekspercka wiedza.
- Nakładają się efekty: modyfikacja ↔ starzenie ↔ dodatki ↔ odzysk.
- Ryzyko subiektywności / różne interpretacje „tych” widm.

Potrzeba: szybko, powtarzalnie, z miarą pewności wskazać typ modyfikacji asfaltu (brak PMB, HIMA).

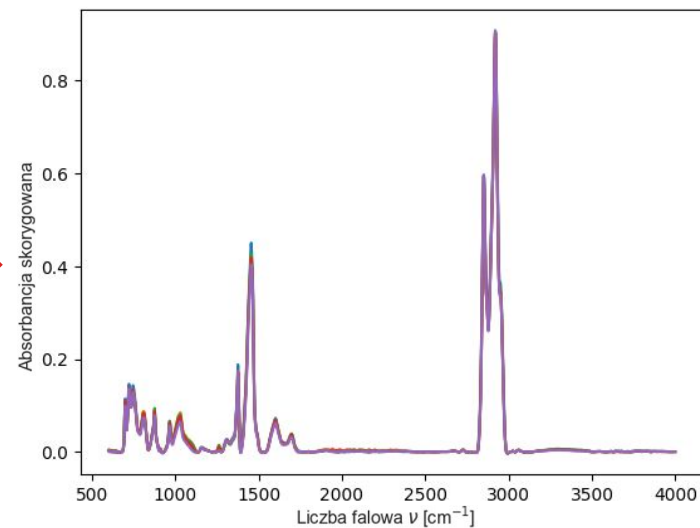
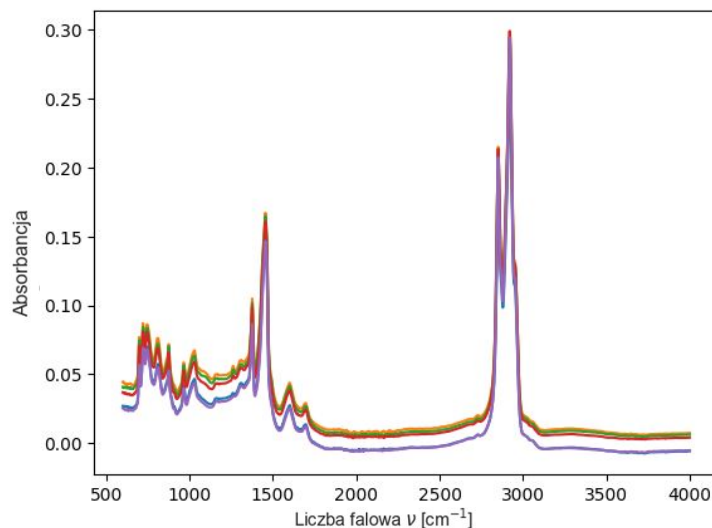
Cel: wynik w formie „decyzji” (identyfikacja + flaga niespełnienia warunku jakości)

Wykorzystanie AI

Cel: model uczenia maszynowego, który nauczy się zależności „widmo → klasa” do oceny rodzaju modyfikacji (brak, PMB, HIMA) – typowy przykład uczenia nadzorowanego.

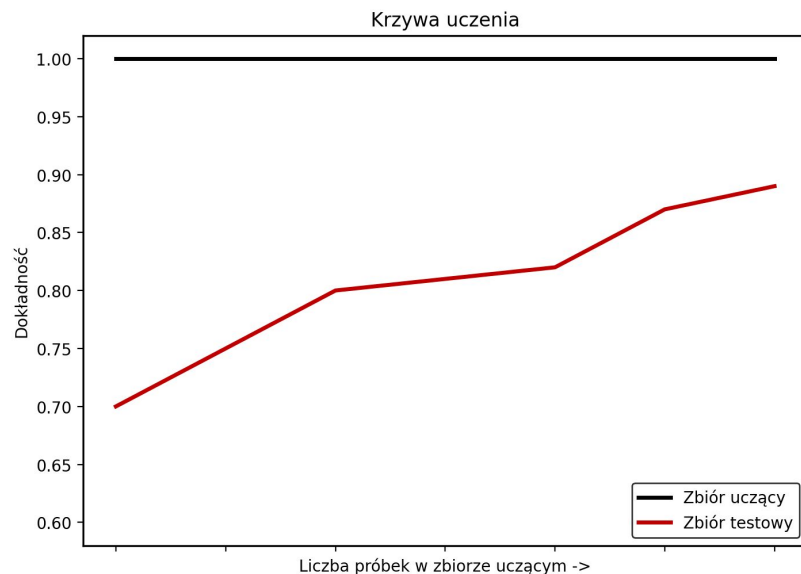


**Duży zbiór danych
do nauki**

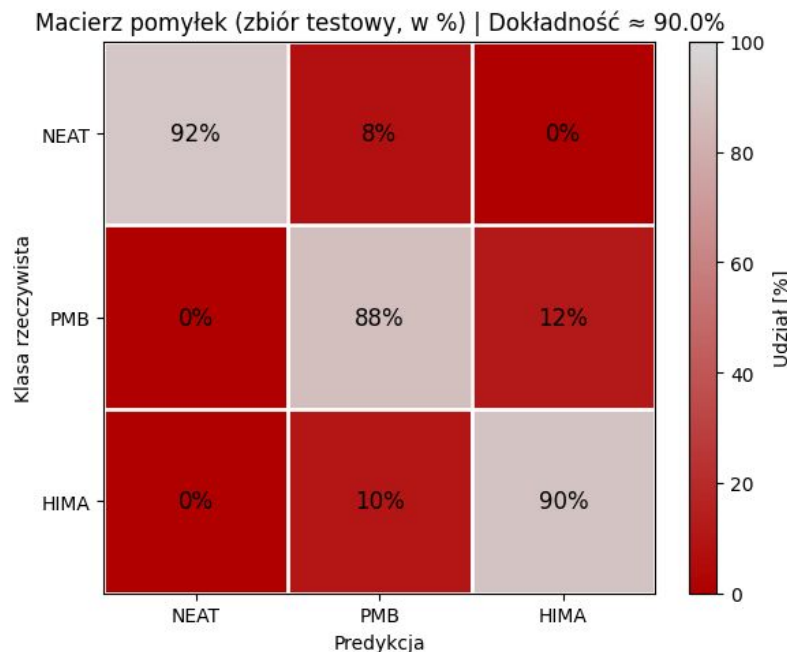


Wstępne przetwarzanie danych

Wykorzystanie AI



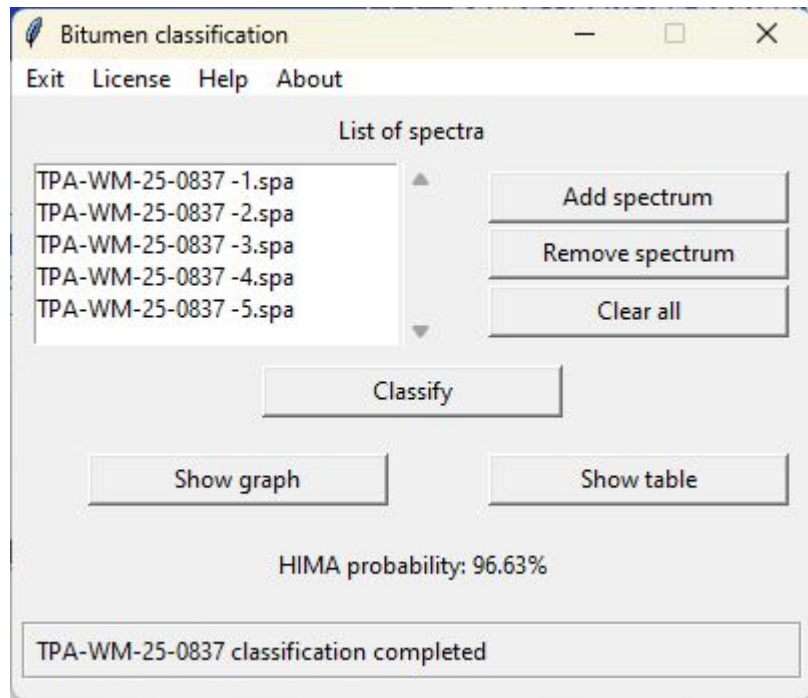
Wraz ze wzrostem liczby próbek w zbiorze uczącym rośnie skuteczność modelu.



Finalnie uzyskaliśmy model, który na naszej grupie testowej ($n > 1000$) osiągnął wynik bezbłędny (100% poprawnych klasyfikacji).

Dodatkowo model zwraca prawdopodobieństwa przynależności do klas, co ułatwia interpretację i flagowanie przypadków niepewnych.

Spectra–AI: narzędzie do szybkiej analizy FTIR



Opis narzędzia

- Model został zaimplementowany do wykorzystania z samodzielną aplikacją o postaci pojedynczego pliku .exe, działającego w środowisku Windows.
- Podstawowy interfejs użytkownika (prosty interfejs graficzny) dla użytkowników nietechnicznych.
- Wykorzystywany model może być łatwo aktualizowany, jest w postaci oddzielnego pliku.
- Kompatybilność z różnymi urządzeniami FTIR i standardami zapisu widm.
- Możliwość lokalnego wykonywania (nie jest wymagane połączenie z Internetem).
- Wydajność analizy w czasie rzeczywistym (klasyfikacja w ciągu kilku sekund).
- Modele i metody przetwarzania danych są zakodowane.

Podsumowanie

- Różnice w zachowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych mogą wynikać z cech lepiszcza niewidocznych w badaniach normowych.
- Zaawansowane badania reologiczne w reometrze dynamicznego ścinania pokazują „jak” lepiszcze pracuje, a FTIR pozwala powiązać to zachowanie z „dlaczego” — modyfikacją, starzeniem i markerami chemicznymi obecnymi w widmie.
- W przypadku lepiszczy wysokomodyfikowanych, badania funkcjonalne potwierdzają ich wysoką trwałość.
- Wykorzystanie AI ogranicza subiektywność interpretacji i umożliwia szybką, powtarzalną identyfikację lepiszczy oraz skuteczną kontrolę jakości.

**Dziękuję za
uwagę!**

