

Zastosowanie techniki FT-IR w badaniach materiałów asfaltowych

Adam Zofka¹, Dominika Maliszewska², Maciej Maliszewski³

^{1,2,3} Zakład Technologii Nawierzchni, Instytut Badawczy Dróg i Mostów,
e-mail: ¹azofka@ibdim.edu.pl, ²dmaliszewska@ibdim.edu.pl, ³mmaliszewski@ibdim.edu.pl

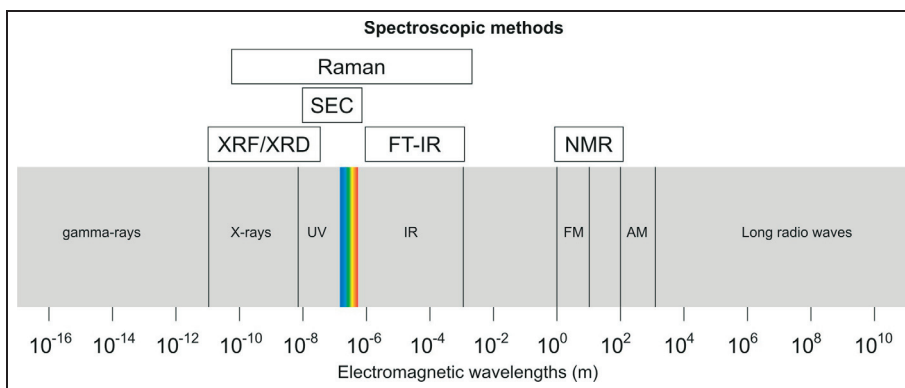
Streszczenie: Spektroskopia to podstawowa metoda oceny struktury związków chemicznych na podstawie ich widm, czyli wykresów zależności transmisji od długości fali z zakresu podczerwieni. Spektroskopia w podczerwieni IR umożliwia np. identyfikację substancji i zanieczyszczeń w tej substancji. W szczególności urządzenia FT-IR pozwalają na analizę złożonych mieszanin bez uprzedniego ich rozdzielania. Spektrometry FT-IR rejestrują pochłanianie energii elektromagnetycznej przez określone wiązania międzyatomowe w cząsteczkach. Wyniki są zwykle naniesione na spektrogramie i pokazują miarę pochłaniania w funkcji długości fali elektromagnetycznej. Poszczególne maksima są identyfikowalne w spektrogramie i mogą być wykorzystywane do identyfikacji np. związku chemicznego w zmienionej mieszance, gdy jej wykres podczerwieni jest znany z analizy w stanie czystym. W ostatnich latach metodę FT-IR stosuje się coraz częściej do oceny i kontroli materiałów budowlanych, np. cementu portlandzkiego, asfaltu, itd.

Słowa kluczowe: spektroskopia, spektrogram, promieniowanie, podczerwień, widmo, FT-IR, starzenie, asfalt

1. Wprowadzenie

Spektroskopia to metoda wyznaczania struktury związków chemicznych na podstawie ich widm, czyli wykresów miary pochłaniania w zależności od długości fali z zakresu podczerwieni. Techniki spektroskopowe polegają na oddziaływaniu promieniowania elektromagnetycznego na materiał. Nakierowanie na materiał promieniowania o znanej długości fali powoduje określony sygnał wychodzący, na podstawie którego możemy określić właściwości chemiczne materiału oraz grupy funkcyjne obecne w analizowanym związku. Najważniejsze grupy, które można zidentyfikować to: grupa karbonylowa, wiązania podwójne i potrójne (C=C, C≡C), wiązania C-H, grupy -OH, NH₂ i NHR [1]. Badana próbka naświetlana jest promieniowaniem, a kształt widma zależy od energii oscylacyjnej i rotacyjnej wiązań chemicznych. Całkowita energia cząsteczki składa się z różnych rodzajów energii, a te rodzaje są związane z różnymi formami ruchu cząsteczki (elektronowa, translacyjna - związana z nieuporządkowanym ruchem molekuł, rotacyjna - wirowanie cząsteczek wokół własnych osi i oscylacyjna - związana z oscylacjami wokół położenia równowagi atomów cząsteczek). Promieniowanie mikrofalowe powoduje wzbudzenie rotacji, a podczerwone powoduje oscylację atomów [2]. Kształt widm w tym zakresie promieniowania w przypadku ciał stałych i cieczy zależy głównie od wzbudzeń oscylacyjnych, ponieważ rotacje cząsteczek są w tym przypadku nawet całkowicie hamowane przez oddziaływania międzycząsteczkowe. Dlatego widma ciał stałych i cieczy są nazywane widmami oscylacyjnymi [3].

Rysunek 1 przedstawia różne obszary widma elektromagnetycznego w zależności od wybranej metody spektroskopowej. Widmo promieniowania podczerwonego IR obejmuje zakres długości fal od 0,78 do 1000 mikrometrów, co odpowiada końcowi światła podczerwonego i początkowi obszaru światła widzialnego przy wysokich częstotliwościach do mikrofal przy niskich częstotliwościach. Zakres podczerwieni jest zwykle podzielony na trzy regiony: bliskiej podczerwieni (NIR) (widma od 0,78 do 2,5 μm długości fali), średniej podczerwieni (dalej określane jako widma IR) czyli widma o długość fali od 2,5 do 50 μm i w dalekiej podczerwieni (długość fali od 50 do 1000 μm widma).

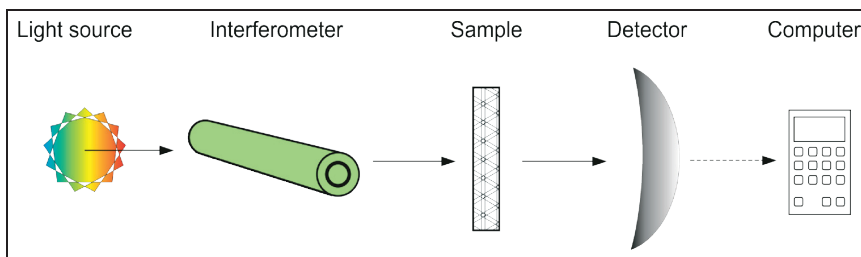


Rys. 1. Częstotliwości elektromagnetyczne przy różnych metodach spektroskopowych

Ponieważ widmo promieniowania IR mieści się w zakresie od 0,78 do 1000 mikrometrów, jest zatem odpowiednie do badania materiałów organicznych. Spektrometry IR rejestrują pochłanianie energii elektromagnetycznej przez wiązania chemiczne jako funkcję długości fali określonych grup atomów w cząsteczkach, które tworzą wykres widma - spektrogram. Promieniowanie elektromagnetyczne jest wchłonięte tylko wtedy gdy jego częstotliwość pokrywa się z częstością drgań wiązania chemicznego cząsteczki. W następstwie wchłonięte promieniowanie jest odzwierciedlone przez „skok” na wykresie (tj. spektrogramie). IR umożliwia identyfikację substancji, zanieczyszczeń w tych substancjach, określenie typów wiązań, badanie efektów drgań jonów i cząsteczek w sieciach krystalicznych. Na wykresach poszczególne maksima absorpcji są zazwyczaj łatwo widoczne i identyfikowalne w spektrogramie i mogą być wykorzystywane do identyfikacji związku chemicznego w zmienionej mieszance, gdy jej wykres podczerwieni jest znany z analizy w stanie czystym [4]. Rodzaj takiego badania określane jest mianem *fingerprinting* (od określania linii papilarnych, także daktyloskopia). Przegląd literatury pokazuje, że większość prac badawczych wykorzystuje urządzenia FT-IR do badań analizy materiału w warunkach laboratoryjnych. Jednak przenośne spektrometry wykorzystujące osłabione całkowite odbicie (ATR) wydają się być realną alternatywą dla analizy FT-IR materiałów budowlanych. Ponadto, istnieje wiele instrumentów dostępnych na rynku, które mogą być stosowane w warunkach polowych [5,11].

Rysunek 2 przedstawia schemat urządzenia FT-IR i jego zasady działania. Wiązka przechodzi przez interferometr, następnie poprzez próbkę i pada na detektor. Zapis z detektora jest rejestrowany w pełnym zakresie liczby falowych, w ciągu maksymalnie kilku sekund. Aby polepszyć sygnał w stosunku do zagłuszających szumów, rejestrowanych jest wiele skanów, a następnie uśrednianych, co zmniejsza wpływ zagłuszeń. Interferogram przekształca matematyczne transformaty Fouriera w widmie absorpcji w podczerwieni. W większości urządzeń FT-IR, tło widma rejestruje się, a potem zazwyczaj jest ono

odejmowane od zarejestrowanego widma materiału, w celu uzyskania widma tylko próbki. Otrzymane widmo próbki jest następnie prezentowane bezpośrednio jako transmisja lub pochłonięcie (absorpcja) przez próbkę, w zależności od trybu pracy.



Rys. 2. Schemat urządzenia FT-IR

2. Techniki spektroskopii w podczerwieni

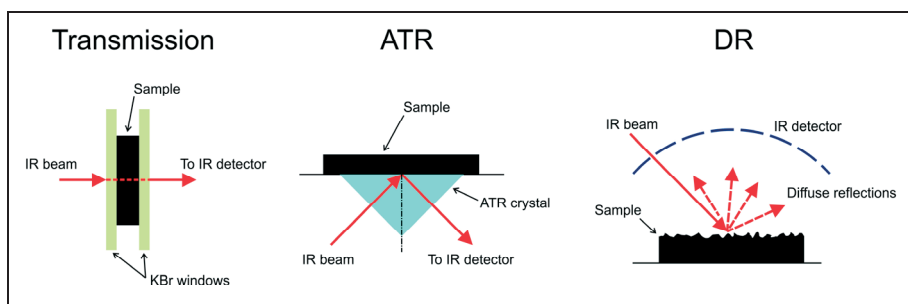
Spektroskopia w podczerwieni polega na pomiarze energii fal elektromagnetycznych w podczerwieni (długości fal 0,78 do 1000 μm) przechodzących, pochłanianych przez materiał oraz odbitych. Rozróżniamy odbicie całkowite (próbka przylega do kryształu IR, promienie przechodzą całkowicie przez próbkę i wracają) lub odbicie rozproszone (próbka płynna lub sproszkowana w kieliszku ze stali nierdzewnej, promienie padają na próbkę, a zwierciadło sferyczne półkolistе zbiera te rozproszone promienie, które odbite widać na wykresie).

Większość tradycyjnych spektrometrów IR działa w trybie przenikania przez próbkę (ang. *Transmission, Tr*) (Rysunek 3). Tryb ten jest odpowiedni do określenia stężenia konkretnego ugrupowania chemicznego [6]. Chociaż tryb przenikania IR jest odpowiedni do oceny lepiszczy asfaltowych w roztworze, wymaga skomplikowanego przygotowania próbki, w tym użycia rozpuszczalników i pastylki (granulatu) bromku potasu (KBr). Rozpuszczalniki powodują zakłócenia/zniekształcenia w widmie w podczerwieni, a poza tym powodują utwardzenie lepiszczą, natomiast użycie tzw. pastylki KBr może spowodować nierównomierną grubość próbki [7].

Metoda osłabionego całkowitego odbicia (ang. *Attenuated Total Reflectance – ATR*) jest obecnie coraz szerzej stosowaną odmianą spektroskopii IR. Promień pada na powierzchnię kryształu ATR i ulega całkowitemu odbiciu. Kryształy do ATR charakteryzują się wysokim współczynnikiem załamania światła i są wykonane np. z diamentu. Jeśli do powierzchni kryształu zostanie przyłożona próbka materiału absorbującego promieniowanie, to wiązka promieniowania wnika w głąb próbki na bardzo małą głębokość, zależną od kąta padania wiązki i współczynników załamania światła kryształu ATR i samej próbki. Część promieniowania może zostać zaabsorbowana przez próbkę, a mierząc intensywność promieniowania wiązki odbitej od powierzchni kryształu można uzyskać widmo charakterystyczne dla materiału próbki, tzw. widmo ATR.

Metoda osłabionego całkowitego odbicia ATR umożliwia badanie próbek w stanie stałym i ciekłym a nawet gazów przy użyciu odpowiedniej komory, i nie wymaga specjalnego przygotowania próbki [8]. Wymaga się jedynie aby próbka przylegała ściśle do kryształu ATR. Główną wadą stosowania ATR przy ocenie próbek mieszanek mineralno-asfaltowych jest to, że badane jest jedynie od 1 do 2 μm grubości próbki (bardzo mała głębokość wnikania na małej powierzchni). W przypadku sproszkowanych mieszanek asfaltowych, wielkość i jednorodność sproszkowanych ziaren kruszywa może wpływać na jakość pomiarów ATR [9].

Metoda odbicia rozproszonego (ang. *Diffused Reflectance*, DR) (Rysunek 3) jest najlepszym rozwiązaniem dla pomiarów na chropowatych powierzchniach stałych sproszkowanych próbek bez specjalnego przygotowania [10]. Teoretyczną przewagą DR nad ATR jest to, że głębokość wnikania wiązki IR jest większa i przez co uzyskuje się bardziej miarodajne wyniki. Wyzwaniem jest jednak zmniejszenie wielkości cząstek w porównaniu z grubością próbki, co jest niezbędne do uzyskania dobrego stosunku sygnału do szumu. Ponadto, widmo DR zmierzone w jednostkach odbicia nie może być bezpośrednio porównywane z widmem przenikania lub pochłaniania uzyskane z tego samego materiału. Jednostki DR muszą być przekształcone w jednostki Kubelka-Munk lub \log_{10} jednostek (odbicia), w celu uzyskania poprawności analizy.



Rys. 3. Spektroskopia w podczerwieni: przenikanie (po lewej), osłabione całkowite odbicie (w środku) i rozproszone odbicie (z prawej)

Energie fotonów związane z częścią widma IR (od 1 do 15 kcal/mol) nie są wystarczająco duże, aby pobudzać elektrony, ale mogą wywoływać wzbudzenia oscylacyjne kowalencyjnie związanych atomów i grup, na przykład -OH, C-C lub -COOH. Ponieważ związki organiczne są przeważnie złożone z kowalencyjnie związanych atomów, spektroskopia w podczerwieni głównie stosowana jest do badania materiałów organicznych, chociaż związki nieorganiczne z wiązaniami kowalencyjnymi mogą również być poddawane analizie IR, np. [15].

3. Spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR)

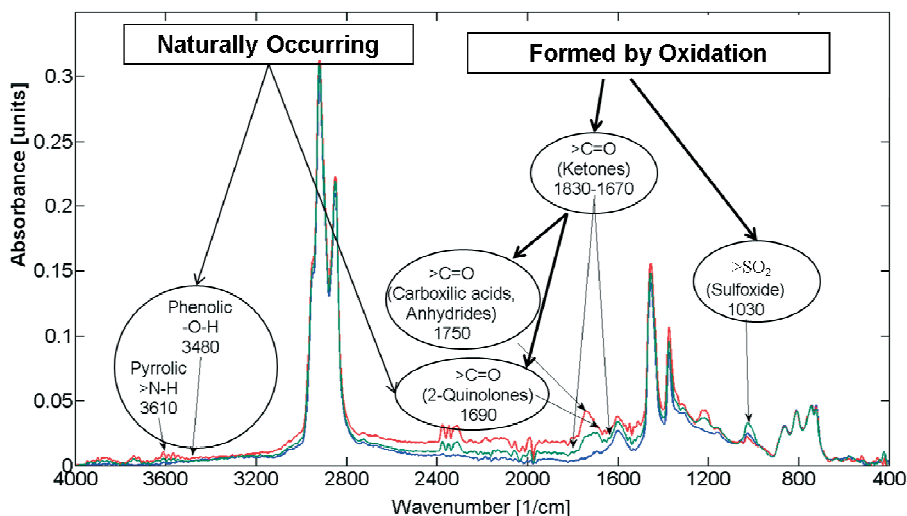
Spektroskopia IR jest coraz częściej stosowaną metodą do określenia składu chemicznego różnych materiałów budowlanych, np. cementu portlandzkiego, asfaltu, powłok epoksydowych [12]. Metodologia FT-IR z powodzeniem stosowana była w przemyśle cementu portlandzkiego. Od 1970 roku składniki klinkieru (alit, belit, glinian trójwapiowy i brązowy milleryt) były wyznaczane w badaniu FT-IR [13]. Badano także zachowanie betonu z cementu portlandzkiego narażonego na agresywne środowisko związków siarczanu i magnezu [14]. Analizie poddano również wpływ różnych domieszek (pucolanów, napowietrzających, polimerowych) na właściwości cementu [15]. Innym przykładem materiału badanego z powodzeniem za pomocą FT-IR była powłoka ochronna konstrukcji stalowych [16]. Analizą widma można zidentyfikować na przykład niską temperaturę utwardzania, jako przyczynę przedwczesnego uszkodzenia takiej powłoki.

W przypadku lepizczy asfaltowych, metodę FT-IR stosowano do oceny starzenia asfaltów poprzez ilościową ocenę stopnia utleniania w oparciu o powierzchnię pod pasmami absorpcji karbonylu [17]. W Dakocie Południowej [18] skutecznie zidentyfikowano przez FT-IR zanieczyszczenia (takie jak pozostałości smoły i paliw). W innych ośrodkach badawczych wykrywano obecności środków adhezyjnych i innych dodatków [19]. Metoda

FT-IR jest też stosowana do sprawdzania obecności polimerów w asfalcie, a nawet stopnia (oceny ilościowej) tej modyfikacji. Za pomocą FT-IR można także łatwo zidentyfikować, nawet w bardzo niskich stężeniach, obecność przeciwutleniaczy, takich jak dialkilditiofosforan cynku (ZDDP) oraz ditiokarbaminian cynkowo dibutyłowy (ZDBC).

4. Badania FT-IR asfaltów

Jak wspomniano wcześniej, FT-IR pozwala na analizę złożonych mieszanin bez uprzedniego rozdzielania ich. W ciągu ostatnich trzech dekad poczyniono znaczne postępy w spektroskopii FT-IR w badaniach asfaltów i grup funkcyjnych obecnych w asfalcie. Petersen [20] zidentyfikował wysokopolarne chemiczne grupy funkcyjne (FG), naturalnie występujące w asfaltach, takie jak 2-chinolon, fenole i pirole. Badał on także grupy funkcyjne, które powstają podczas oksydacyjnego starzenia tzn. bezwodniki dikarboksyłowe, ketony, kwasy karboksylowe i sulfotlenki. Rysunek 4 przedstawia typowe widma FT-IR dla lepiszcza asfaltowego z regionami absorpcji związanymi z FG.



Rys. 4. Widma FT-IR dla lepiszcza PG 64-22 wraz z identyfikacją grup funkcyjnych

Wiele prac badawczych poświęconych było wykorzystaniu metody FT-IR do oceny starzenia się asfaltu. Na przykład FT-IR zastosowano do ilościowej oceny stopnia utleniania w oparciu o powierzchnię pod pasmem absorpcji karbonyłu. Mechanizm dyfuzji środka antystarzeniowego do odzyskanego lepiszcza również zostało jakościowo oceniane za pomocą FT-IR [21]. Naukowcy stwierdzili, że FT-IR jest odpowiedni do monitorowania procesu dyfuzji w mieszance mineralno-asfaltowej, o ile istnieje różnica pomiędzy absorpcją IR pomiędzy dwoma składnikami. Badanie spektroskopowe utwardzania oksydacyjnego w materiałach asfaltowych było przedmiotem badań m. in. Petersena [20]. Wykorzystał on przenikanie IR do badania starzenia długoterminowego w lepiszczach asfaltowych i określił trzy główne produkty utleniania: sulfotlenki benzyłowe, ketony i wolne rodniki hydroksylowe. Ten ostatni może oddziaływać z ketonami i tworzyć kwasy karboksylowe. Od wczesnych lat dziewięćdziesiątych, wiele badań prowadzonych przez zespół Glovera [22] potwierdziło, że wzrost lepkości w postarzanym lepiszczu jest związany ze wzrostem zawartości w nim karbonyłu. Naukowcy oszacowali zawartość karbonyłu mierząc powierzchnię pasma na wykresie między 1870 i 1620 cm^{-1} długości fali

na widmie w podczerwieni lepiszcza asfaltowego. Od roku 1970 naukowcy badający zagadnienia nawierzchniowe okresowo wykorzystywali techniki ATR do oceny lepiszcza i mma za pomocą widma w podczerwieni w warunkach laboratoryjnych [23]. W tym temacie pojawiło się kilka prac (m. in. Zofka i in.) potwierdzających stosowanie przenośnego spektrometru ATR do pomiaru i śledzenia utleniania asfaltów niemodyfikowanych i modyfikowanych polimerami [17,29,30]. Jednakże skuteczne stosowanie metody DR badania składu chemicznego lepiszcza udokumentowano tylko w kilku publikacjach, np. [24]. Należy zauważyć, że udokumentowane badania DR wykorzystują ciecz umieszczoną na proszku KBr (bromek potasu wykorzystywany jest w spektroskopii IR do wytwarzania elementów optycznych i jako ośrodek dla próbek tzw. pastylki KBr, ze względu na niską absorpcję promieniowania IR). Bezpośrednie badanie DR na sproszkowanych próbkach mieszanek mineralno-asfaltowych jest udokumentowane w literaturze tylko przez dwa ośrodki (Western Research Institute) [25] oraz University of Connecticut [31].

Identyfikacja modyfikacji polimerami asfaltu jest również możliwa poprzez zastosowanie FT-IR. Metody służące do identyfikacji lepiszczy modyfikowanych polimerami (PMB) opisuje norma AASHTO T302-05 [26]. Departament Transportu Virginia ustalił nawet to badanie jako wskaźnik pierwszego stopnia dla zapewnienia jakości PMB [27]. Polimery SBS są łatwe do zidentyfikowania za pomocą widma FT-IR (maksyma około 966 cm^{-1} i 700 cm^{-1}) co może posłużyć do ich dokładnej oceny [28,29].

5. Podsumowanie

Zastosowanie techniki FT-IR w badaniach materiałów asfaltowych jest szeroko udokumentowane w literaturze. Technika FT-IR jest zaawansowanym narzędziem wykorzystywanym nie tylko w badaniach naukowych, ale także ma już liczne zastosowania w praktyce inżynierskiej. Prace badawcze prowadzone obecnie przez Autorów w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM) mają na celu popularyzację tej techniki w Polsce.

Literatura

- 1 Danikiewicz W. Zaawansowane metody ustalania budowy związków organicznych. Instytut Chemii Organicznej PAN, Warszawa 2014
- 2 Dubis A. Zastosowanie spektroskopii w podczerwieni w jakościowej i ilościowej analizie organicznej. Zakład Chemii Produktów Naturalnych Instytutu Chemii, Uniwersytet w Białymstoku 2012
- 3 Tarsa M. Spektroskopia w podczerwieni. Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Katedra Chemii Organicznej, Kraków
- 4 Hsu C. Infrared Spectroscopy, Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry, New Jersey, Prentice-Hall 1997
- 5 Strona internetowa <http://www.bruker.com>
- 6 Coates J. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach, In Encyclopedia of Analytical Chemistry, John Wiley & Sons Ltd., Chichester 2000
- 7 Jemison H., Burr B., Davison R., Bullin J., Glover C. Application and Use of the ATR FTIR Method to Asphalt Aging Studies, Petroleum Science and Technology 1992
- 8 PerkinElmer Inc. FT-IR Spectroscopy: attenuated total reflectance ATR. Technical note. Strona internetowa www.perkinelmer.com
- 9 Zofka, A., Chrysochoou, M., Yut, I., Zhang, X., Shaw, M., Sun, S-P., Mahoney, J., Farquharson, S., Donahue, M. Evaluating Applications Of Field Spectroscopy Devices To Fingerprint Commonly Used Construction Materials. Project R06B Report. Strategic Highway Research Program 2, Transportation Research Board, Washington DC 2012

- 10 Hirschfeld T. Optimization of Diffuse Reflectance Infrared Spectroscopy Accessories. *Journal of Society for Applied Spectroscopy* 1986
- 11 Strona internetowa <http://www.home.agilent.com>
- 12 Nasrazadani S., Mielke D., Springfield T., Ramasamy N. Practical applications of FTIR to characterize paving materials. FHWA/TX-11/0-5608-1 2010
- 13 Hughes T., Methven C., Jones T., Pelham S., Fletcher P., Hall C. Determining cement composition by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Advanced Cement Based Materials* 2 1995
- 14 Fernon, V., Vichot, A., Legoanvic, N., Columbet, P., Corazza, F., Costa, U. Interaction Between Portland Cement Hydrates and Polynaphthalene Sulfonates. 5th CANMET/ACI Internal Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Proceedings 1997
- 15 Yut I., Zofka A. Fingerprinting of Chemical Admixtures in Fresh Portland Cement Concrete by Portable Infrared Spectrometer. *Transportation Research* 2012
- 16 Poisson N., Lachenal G., Sautereau H. Near- and mid- Infrared spectroscopy studies of an epoxy reactive system. *Vibrational Spectroscopy* 1996
- 17 Yut I., Zofka A., Shih-Po Sun Investigation of Oxidative Aging of Polymer Modified Binders by Spectroscopy Methods. 47th Petersen Asphalt Research Conference, Laramie, Wyoming 2011.
- 18 McDaniel, R. S., Haddock, J. Effects of Hot Plant Fuel Characteristics and Combustion on Asphalt Concrete Quality. Report SD2001-13-F, South Dakota Department of Transportation South Dakota 2004
- 19 Zuyu, L. Study on Preparation of Asphalt Antistrip Additives from Amines and Aldehydes. ARRB Transport Research Ltd. Australia 2000
- 20 Petersen, J. C. Quantitative Functional Group Analysis of Asphalts Using Differential Infrared Spectrometry and Selective Chemical Reactions-Theory and Application. *Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board*, Washington D.C. 1986
- 21 Karlsson, R., Isacson. U., Investigations on Bitumen Rejuvenator Diffusion and Structural Stability With Discussion. *Journal of The Association of Asphalt Paving Technologists* 2002
- 22 Woo W. J., Hilbrich J. M., Glover C.J. Polymer-Modified Binder Durability Loss with Oxidative Aging: Base Binder Stiffening Versus Polymer Degradation. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board* 2007
- 23 Lamontagne J., Dumas P. V., Mouillet V., Kister J. Comparison by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of different ageing techniques: application to road bitumens. *Fuel* 2001
- 24 Christy A., Dahl B., Kvalheim O. Structural Features of Resins, Asphaltenes and Kerogen Studied by Diffuse Reflectance Infrared Spectroscopy. *Fuel* 1989
- 25 Strona internetowa www.ncrst.org/ArchivePages/WY-WRI/FinalReport.pdf. Western Research Institute (WRI) and Innova Engineering, LLC, Asphalt Surface Aging Prediction ASAP Program, Final Report
- 26 American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO), AASHTO T 302-05 Standard Method of Test for Polymer Content of Polymer-Modified Emulsified Asphalt Residue and Asphalt Binders, Washington D.C. 2005
- 27 Diefenderfer S. Detection of Polymer Modifiers in Asphalt Binder. Report FHWA/VTRC 06-R18, Virginia Department of Transportation, Richmond, Virginia 2006
- 28 Lu X., Isacson U., Ekblad J., Phase Separation of SBS Polymer Modified Bitumens. *Journal of Materials in Civil Engineering* 1999
- 29 Yut I., Zofka A., Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Oxidized Polymer-Modified Bitumens, *Applied Spectroscopy*, Vol. 65/7, pp: 765-770, 2011
- 30 Bernier A., Zofka A., Yut I., Laboratory Evaluation of Rutting Susceptibility of Polymer-Modified Asphalt Mixtures Containing Recycled Pavements, *Construction and Building Materials*, Vol. 31 pp: 58–66, 2012, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.12.09
- 31 Yut I., Bernier A., Zofka A., Development of a Compact Laboratory Aging Procedure for Asphalt Binders, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 81, pp: 693-716, 2012

Application of FT-IR technique to bituminous materials

Adam Zofka¹, Dominika Maliszewska², Maciej Maliszewski³

^{1,2,3}*Pavement Technology Division, Road and Bridge Research Institute ,
e-mail: ¹azofka@ibdim.edu.pl, ²dmaliszewska@ibdim.edu.pl, ³mmaliszewski@ibdim.edu.pl*

Abstract: Spectroscopy is a fundamental method used in the material science that relies on the interaction of the electromagnetic radiation with a matter. Infrared spectroscopy allows for material fingerprinting as well as detection and quantification of compounds in a sample. In principle, IR spectrometers record the absorption of electromagnetic energy by chemical bonds in a sample as a function of wavelength. Chemical bonds have unique spectra bands at specific wavelengths regardless of the composition of the remaining molecular structure. The absorbance at these specific wavelengths can be used to quantify a particular functional group in the analyzed material. Absorbance peaks are easily identified on the IR spectra and can be used to fingerprint a compound in a mixture, especially when compared to the original unmodified IR spectra. In the recent years, the FT-IR method has become a popular tool for the quality assurance in the practical applications as well as it became a very useful tool in studying various construction materials, e.g. portland cement, bitumen, etc.

Keywords: spectroscopy, electromagnetic spectrum, infrared, FT-IR, aging, bitumen