



ARTYKUŁY – REPORTS

**Teresa Możaryn\***

**Aleksander Lamenta\*\***

## **ZASTOSOWANIE ANALIZY W PODCZERWIENI DO WYKRYWANIA SUBSTANCJI ORGANICZNYCH W OBIEKTACH BUDOWLANYCH**

Artykuł dotyczy wykorzystania metody analizy w podczerwieni do stwierdzenia obecności substancji organicznych w elementach obiektów budowlanych. Substancje takie mogą być celowo wprowadzane do wyrobów budowlanych jako dodatki i domieszki, składniki klejów czy uszczelniacze, lub na ich powierzchni – jako ochrona powierzchniowa: hydrofobizacja, impregnacja, powłoki. Substancje organiczne mogą również wnikać do elementów obiektu budowlanego ze środowiska użytkowania jako ciecze czy opary technologiczne i wówczas stanowią niepożądane zanieczyszczenia.

### **1. Identyfikacja polimerowych dodatków i domieszek w wyrobach przeznaczonych do ochrony i napraw konstrukcji betonowych**

Kilkuczęściowa norma zharmonizowana PN-EN 1504 obejmuje wyroby i systemy przeznaczone do ochrony i napraw konstrukcji betonowych, a poszczególne jej części odnoszą się do:

- ochrony powierzchniowej betonu (PN-EN 1504-2),
- napraw konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych (PN-EN 1504-3),
- łączeń konstrukcyjnych (PN-EN 1504-4),
- iniekcji betonu (PN-EN 1504-5),

---

\* dr inż. – Zakład Materiałów Budowlanych ITB

\*\* mgr inż. – zakład jw.

- kotwienia prętów ze stali zbrojeniowej, stosowanych do wykonywania wzmocnień konstrukcyjnych (PN-EN 1504-6),

- ochrony przed korozją zbrojenia stalowego (PN-EN 1504-7).

W ochronie powierzchniowej betonu metodami hydrofobizacji, impregnacji czy nakładania powłok stosowane są polimery (żywice i utwardzacze), roztwory i dyspersje polimerów, wyroby polimerowo-cementowe.

Zaprawy i betony przeznaczone do napraw konstrukcji betonowych to wyroby cementowe, polimerowo-cementowe i polimerowe.

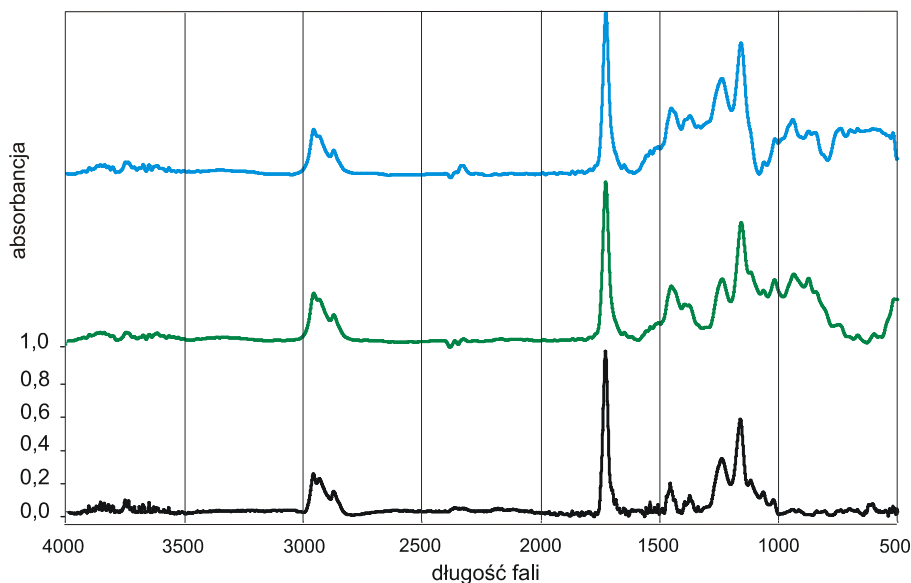
Iniekcje betonu wykonuje się głównie za pomocą wyrobów polimerowych lub modyfikowanych zaczynów cementowych.

Do kotwienia prętów ze stali zbrojeniowej stosowane są żywice syntetyczne, wyroby polimerowo-cementowe oraz kompozycje cementowe modyfikowane polimerami.

Zbrojenie stalowe zabezpiecza się przed korozją stosując głównie wyroby polimerowe i polimerowo-cementowe.

Jednym z zalecanych przez zharmonizowaną normę badań identyfikacyjnych wyrobów polimerowych oraz wyrobów cementowych zawierających polimery jest analiza w podczerwieni [1], [2]. Metoda ta może być stosowana zarówno w kontroli produkcji (PN-EN 1504-8), jak i w potwierdzaniu obecności polimeru w utwardzonym wyrobie polimerowo-cementowym lub cementowym modyfikowanym polimerami. Potwierdzenie wykonuje się, porównując położenie i względną intensywność głównych pasm absorpcyjnych widma w podczerwieni badanego wyrobu z jego widmem odniesienia (wzorcowym).

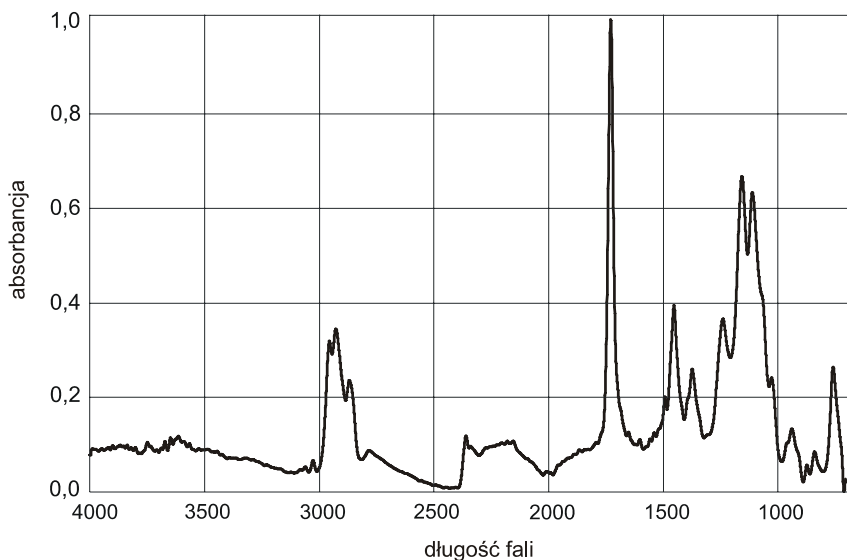
Wykonanie widma polimeru w utwardzonym wyrobie polimerowo-cementowym lub cementowym modyfikowanym polimerami wymaga wyizolowania części polimerowych odpowiednio dobranym rozpuszczalnikiem, a następnie odparowania rozpuszczalnika [2]. Analizę w podczerwieni wykonuje się zgodnie z normą PN-EN 1767. Stosowany w Instytucie Techniki Budowlanej spektrofotometr umożliwia rejestrację widma w zakresie  $4000\text{ cm}^{-1}$ –  $400\text{ cm}^{-1}$  oraz jego analizę. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki analizy w podczerwieni części polimerowych wyizolowanych trzema rozpuszczalnikami: acetonem, dichlorometanem i tetrahydrofuranem (THF), z utwardzonej zaprawy przeznaczonej do napraw konstrukcji betonowych. Porównanie widm wykazało, że w zakresie „fingerprint”  $1000\text{ cm}^{-1}$ –  $1500\text{ cm}^{-1}$  we wszystkich widmach występowały te same pasma. Na podstawie porównania jakościowego stwierdzono, że analizowana substancja wyizolowana z utwardzonej zaprawy była taka sama w każdej analizowanej próbce, przy czym lepszą zgodność uzyskano w przypadku widm próbek ekstrahowanych dichlorometanem i THF niż acetonem.



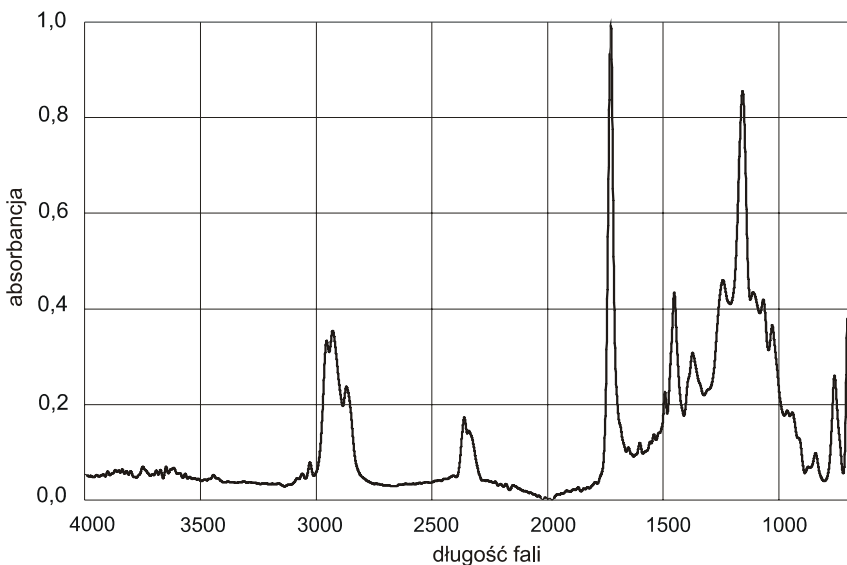
Rys. 1. Analiza widmowa. Widma IR – części polimerowe wyizolowane z utwardzonej zaprawy przeznaczony do napraw konstrukcji betonowych, po odparowaniu rozpuszczalnika. Zastosowane rozpuszczalniki do ekstrakcji części polimerowych: aceton (czarny), THF (zielony), dichlorometan (niebieski)

Fig. 1. Spectral comparison. Infrared spectra – the polymer isolated from the hardened mortar for the repair concrete structures, after solvent evaporation. The solvents used for the extraction of the polymer: acetone (black), THF (green), dichloromethane (blue)

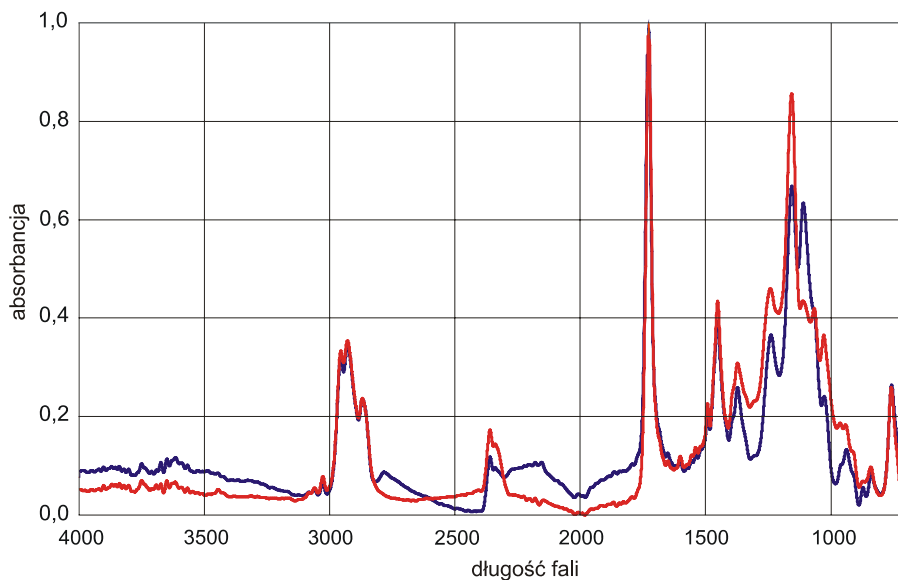
Możliwość zastosowania spektroskopii w podczerwieni do zidentyfikowania obecności polimeru stanowiącego domieszkę w próbce modyfikowanej nim stwardniałej zaprawy cementowej zweryfikowano, stosując badanie analityczne. W tym celu wykonano, zgodnie z instrukcją producenta, próbkę z fabrycznie przygotowanej modyfikowanej polimerem zaprawy cementowej przeznaczonej do zabezpieczania zbrojenia przed korozją. Po 28 dniach twardnienia próbkę rozdrobniono, wyekstrahowano z niej części polimerowe rozpuszczalne w THF, następnie odparowano rozpuszczalnik, a suchą pozostałość poddano analizie w podczerwieni (rys. 2). Widmo wzorcowe (rys. 3) uzyskano, analizując czysty polimer, który został zastosowany do modyfikacji zaprawy. Porównanie widm (rys. 4) wykazało korelację 0,93. W zakresie „fingerprint” stwierdzono występowanie tych samych pasm absorpcyjnych [3].



Rys. 2. Widmo IR części polimerowych wyekstrahowanych THF z utwardzonej zaprawy przeznaczanej do zabezpieczania zbrojenia stalowego przed korozją  
 Fig. 2. The IR spectrum – the polymer extracted with THF from the hardened mortar for the protection of steel reinforcement against corrosion



Rys. 3. Wzorcowe widmo IR polimeru zastosowanego jako domieszka do zaprawy cementowej przeznaczanej do zabezpieczania zbrojenia stalowego przed korozją  
 Fig. 3. Reference IR spectrum – the polymer used as admixture to the cement mortar for the protection of steel reinforcement against corrosion



Rys. 4. Analiza widmowa. Widmo IR wzorcowe (czerwony) i widmo IR domieszki (niebieski) wyekstrahowanej z utwardzonej zaprawy  
 Fig.4. Spectral comparison. Reference IR spectrum (red) and IR spectrum (blue) of admixture extracted from hardened mortar

## 2. Potwierdzenie wykonania impregnacji betonowych posadzek przemysłowych

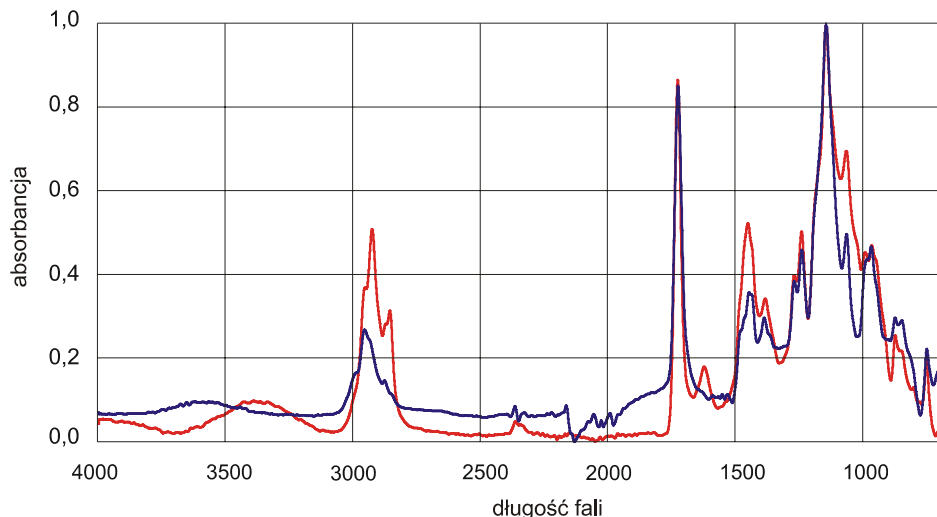
Jak już wspomniano, metoda analizy w podczerwieni stosowana jest jako jakościowe badanie identyfikacyjne wyrobów przeznaczonych do ochrony konstrukcji betonowych.

Na powierzchniach konstrukcji betonowych często wykonuje się hydrofobizację i impregnację, w celu ochrony przed wnikaniem ze środowiska wilgoci i substancji niepożądanych, zwiększenia odporności na ścieranie, zwiększenia odporności na zanieczyszczenia itp. Hydrofobizacja praktycznie nie zmienia wyglądu powierzchni betonu, natomiast impregnacja jest widoczna na jego powierzchni. Zarówno wykonanie impregnacji, jak i hydrofobizacji podłoża betonowego lub ceramicznego można potwierdzić badaniami w podczerwieni, nawet po upływie kilku lat.

Badanie takie zostało przeprowadzone w celu potwierdzenia wykonania impregnacji posadzki dwóch pomieszczeń magazynowych za pomocą tego samego wyrobu. Podczas dwuletniego użytkowania, na powierzchni betonowej posadzki wystąpiła zauważalna zmiana barwy z szarej na jasnobłękową oraz siateczka spękań, a w drugim pomieszczeniu natomiast na powierzchni posadzki nie stwierdzono żadnych zmian.

Pierwszym krokiem do ustalenia przyczyn wystąpienia różnic w wyglądzie posadzki było potwierdzenie, że na obydwu posadzkach wykonano impregnację tym samym wyrobem.

Z posadzek pobrano próbki badawcze z warstwy 0,2–0,8 cm, a następnie wyekstrahowano z nich części polimerowe rozpuszczalne w THF, po odparowaniu rozpuszczalnika. Zarejestrowane widma porównano (rys. 5). Współczynnik korelacji widm obydwu próbek wynosił 94%. Pasma absorpcyjne pokrywały się w całym zakresie widma.



Rys. 5. Analiza widmowa. Widma IR impregnacji przemysłowych posadzek betonowych w dwóch pomieszczeniach

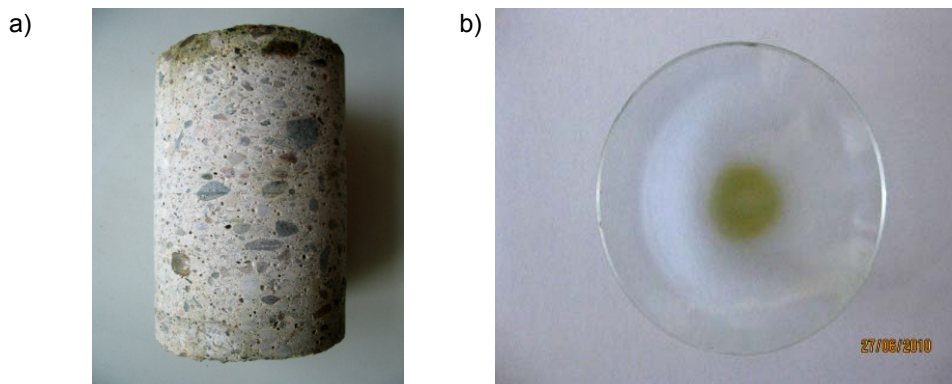
Fig 5. Spectral comparison. The IR spectra – hydrophobization of industrial concrete floors in two rooms

### 3. Określenie głębokości wniknięcia cieczy technologicznych w betonowy podkład posadzki przemysłowej

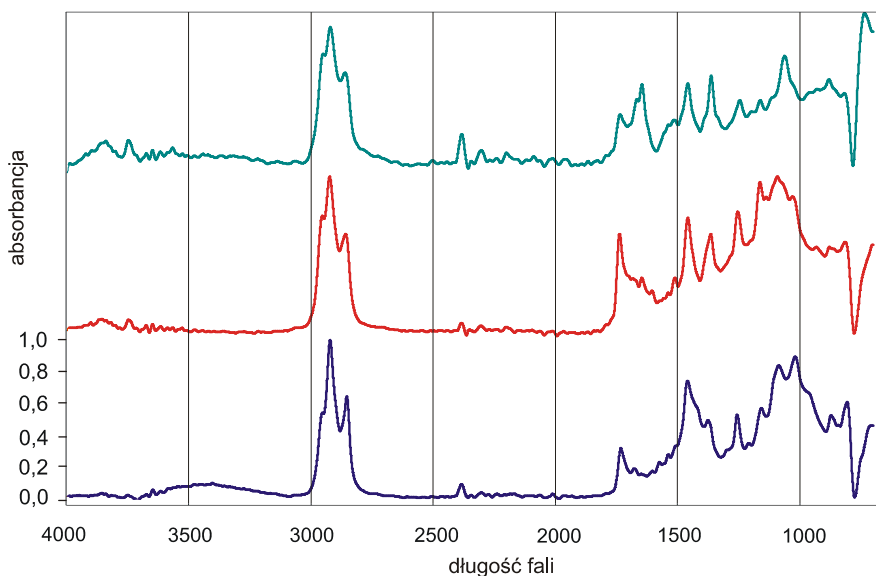
Metodą w podczerwieni można również potwierdzać obecność organicznych substancji, które wnikają z otoczenia do betonowych elementów konstrukcji obiektów przemysłowych. Jako przykład może posłużyć badanie głębokości wniknięcia cieczy technologicznych w betonowy podkład posadzki przemysłowej.

Do badania pobrano odwiert o średnicy 10 cm i długości 15 cm. Powierzchnia górna odwiertu miała barwę szaro-żółtą (fot. 1), a zażółcenie sięgało na głębokość około 2–3 cm. Od strony spodniej również występowało zażółcenie betonu w warstwie do 2 cm, jednak znacznie mniej intensywne niż w warstwie wierzchniej. Na pozostałej części odwiertu nie zaobserwowano żadnych przebarwień. Z odwiertu pobrano próbki badawcze z warstw: 0–3 cm, 5–8 cm i 13–15 cm, które po zmieleniu poddano ekstrakcji rozpuszczalnikami organicznymi. Po odparowaniu rozpuszczalników oleiste pozostałości poddano analizie w podczerwieni. Porównanie zarejestrowanych widm (rys. 6)

jakościowo wykazało obecność tych samych substancji technologicznych na całej głębokości betonowego podkładu posadzki. Korelacja widm substancji wyekstrahowanej z warstwy wierzchniej i spodniej wynosiła 95%, a z warstwy wierzchniej i środkowej 85%.



Fot. 1. Odwiert z betonowego podkładu posadzki przemysłowej (a) i wyekstrahowana z warstwy 0–3 cm substancja oleista (b)  
Photo 1. Concrete bore-hole taken from industrial floor (a) and oily substance extracted from the 0–3 cm layer (b)

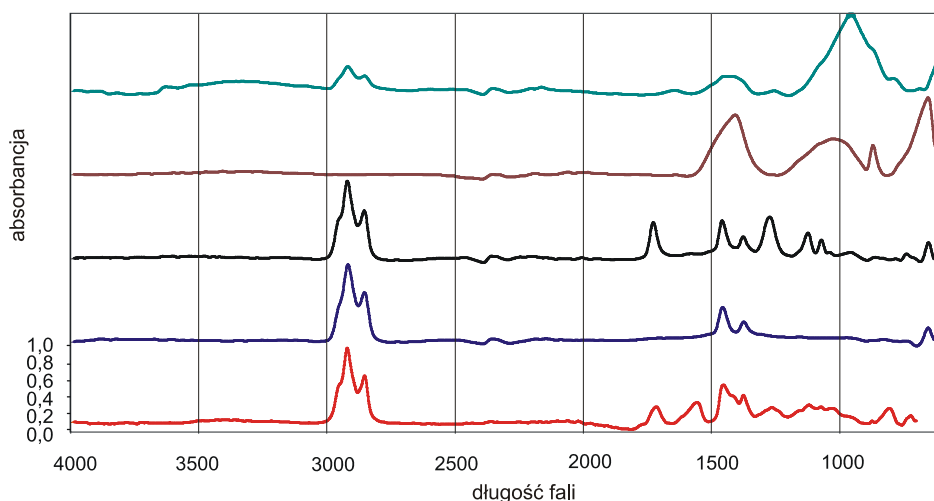


Rys. 6. Analiza widmowa. Widma IR substancji organicznych wyekstrahowanych z betonowego podkładu posadzki przemysłowej  
Fig 6. Spectral comparison. The IR spectra – organic substances extracted from the concrete industrial floor

#### 4. Określenie głębokości wniknięcia oleju do betonu fundamentu bloku energetycznego

Elementy fundamentów bloków energetycznych w trakcie użytkowania ulegają lokalnemu zanieczyszczeniu olejem z układu chłodzącego turbiną. Wniknięcie oleju do betonu konstrukcji jest zjawiskiem niepożądanym. Penetrujący przez beton olej powoduje wystąpienie tłustych plam i zacieków na powierzchni konstrukcji, osłabia przyczepność warstw i utrudnia wykonanie skutecznych napraw. Podczas przygotowania do napraw i remontu elementów, w które wniknął olej, istotne jest sprawdzenie głębokości, do jakiej beton został nim zanieczyszczony i podjęcie decyzji o zakresie usunięcia zanieczyszczonego betonu lub zastosowaniu specjalnych materiałów umożliwiających wykonanie skutecznej naprawy.

Na rysunku 7 i w tabelicy 1 przedstawiono wyniki określenia metodą analizy w podczerwieni głębokości wniknięcia oleju do konstrukcji fundamentu w obszarze oddziaływania rozprysków. Do badań dostarczono odwierty z betonu fundamentu, a spośród nich wybrano trzy, w których wizualnie nie zaobserwowano zanieczyszczenia olejem, oraz jeden z widoczną warstwą zaolejną o grubości około 1 cm (odwiert 1a). Badania wykazały, że jedynie w jednej dostarczonej do badań próbce (odwiert 3a) nie stwierdzono zanieczyszczenia olejem.



Rys. 7. Analiza widmowa. Widma IR części organicznych wyekstrahowanych dichlorometanem z betonowych odwiertów pobranych z fundamentu bloku energetycznego

Fig. 7. Spectral comparison. The IR spectra – organic substances extracted with dichloromethane from concrete bore-holes taken from the foundation of the power unit



Tablica 1. Głębokość wniknięcia oleju do betonu fundamentu bloku energetycznego oznaczona metodą analizy w podczerwieni

Table 1. Depth of penetration of oil into the concrete foundation of the power unit, determined by infrared analysis

Nr próbki analitycznej	Nr odwiertu	Odległość warstwy pobrania próbki analitycznej od górnej części odwiertu, cm	Występowanie zaolejenia stwierdzone na podstawie badań w podczerwieni
1	1a	0–1	występuje
2	1a	6–7	występuje
3	12c	6–8,5	występuje
4	3a	1–1,5	nie występuje
5	6a	5–7,5	występuje

## 5. Podsumowanie

Analiza w podczerwieni jest powszechnie stosowaną, szybką metodą identyfikacji substancji organicznych. Przedstawione w artykule przykłady potwierdzają szerokie możliwości jej wykorzystania w jakościowej identyfikacji takich materiałów w wyrobach budowlanych. Dotyczy to zarówno substancji organicznych celowo wprowadzanych przez producentów, jak i niepożądanych zanieczyszczeń wnikających z otaczającego środowiska. Zastosowanie tej metody do identyfikacji substancji jest praktycznie nieograniczone i może być stosowane do rozpoznania różnorodnych procesów wpływających na trwałość konstrukcji.

## Bibliografia

- [1] Józwiak H.: Wykorzystanie spektroskopii w podczerwieni do identyfikacji wyrobów budowlanych, *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 2(138), 2006
- [2] Lamenta A., Możaryn T.: Analiza w podczerwieni w badaniach identyfikacyjnych wyrobów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych, *Metody spektroskopowe w badaniu materiałów i związków chemicznych. Materiały XI Ogólnopolskiego Mikrosymposiumu*. Poznań, 26–27 maja 2006, s. 83–87
- [3] Roeges, Noël P. G: *Guide to the complete interpretation of infrared spectra of organic structures*. Chichester: John Wiley and Sons, 1998