

*Witold Stachoń**, *Janusz Chmura***

SYLIKATOWE ŻYWICE ORGANICZNO-MINERALNE W BUDOWNICTWIE PODZIEMNYM I TUNELOWYM

1. Wstęp

Żywice poliuretanowe należą do tworzyw o bardzo szerokim spektrum zastosowania. Są to polimery o najbardziej wszechstronnych właściwościach. Podstawowym surowcem do ich syntezy są izocyjaniany, otrzymane po raz pierwszy w 1849 r. Reakcje izocyjanianów ze związkami zawierającymi aktywne atomy wodoru, prowadzące do syntezy polimerów, wykorzystał w 1937 r. Bayer, który stworzył podstawy chemii i technologii poliuretanów. Żywice poliuretanowe weszły do powszechnego użytku na początku lat 50. Specyficzną grupą środków iniekcyjnych, szeroko obecnie stosowanych w budownictwie górnictwym i tunelarstwie, są żywice sylikatowe (organiczno-mineralne). Pierwsze patenty dotyczące żywic organiczno-mineralnych (OM), zwanych również żywicami sylikatowymi lub krzemopurami, pochodzą z końca lat 60. Do szerokiego stosowania, najpierw w górnictwie następnie w budownictwie, wprowadzono je na początku lat 90. XX wieku.

2. Charakterystyka żywic organiczno-mineralnych

Żywice organiczno-mineralne (OM) otrzymuje się w reakcji izocyjanianów typu MDI ze szkłem wodnym. W wyniku reakcji, w zależności od zastosowanych surowców, powstają tworzywa o zróżnicowanych właściwościach fizykomechanicznych. Ich wspólną cechą jest fakt, iż środowisko wodne nie ma wpływu na przebieg reakcji. Żywice OM nie spieniają się, również w środowisku wodnym. W odróżnieniu od żywic poliuretanowych (PUR) nie przenoszą płomienia i należą do grupy żywic samogasnących. Od żywic poliuretanowych różni je ta właściwość, szczególnie ważna w kopalniach węgla kamiennego, że ich temperatura reakcji nie przekracza z reguły 100°C.

* Ingenieurbüro Essen

** Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

2.1. Żywice organiczno-mineralne twardo-krucho

Pierwsze żywice były iniektami tzw. twardo-kruchoymi, o specyficznych własnościach, takich jak:

- stosunkowo duża lepkość;
- niska homogeniczność wynikająca z zastosowania jako komponentu A szkła wodnego z dodatkami i wymagająca ciągłego mieszania komponentu podczas iniekcji;
- utwardzona żywica w odróżnieniu od żywicy PUR nie była plastyczno-elastyczna; w przypadku minimalnych naprężeń rozciągających i ścinających, jak np. w przypadku przemieszczania się górotworu, następowała utrata kontaktu z górotworem i powstawały pęknięcia;
- iniekty te stosowano głównie tylko do konsolidacji węgla w ścianach węglowych lub przy przebudowach z zastosowaniem urabiania ręcznego i kombajnowego.

Porównując żywice organiczno-mineralne do żywic PUR pod względem ich przydatności do stabilizacji górotworu należy stwierdzić, że posiadały one znacznie gorszą zdolność penetracji, mniejszą wartość siły sklejenia, a wielkości odkształcenia podobne były do iniektów cementowych.

Żywice tzw. starego typu, dopuszczone do stosowania w górnictwie, pomimo stosunkowo krótkiego czasu reakcji (ok. 2 min.), miały czas graniczny wiązania wynoszący 16 godz. W oparciu o klasyfikację stosowaną w górnictwie niemieckim zaklasyfikowano je do środków iniekcyjnych średnio-klejących. Jednocześnie nie posiadały one żadnych zdolności deformacyjnych z uwagi na ich kruchość.

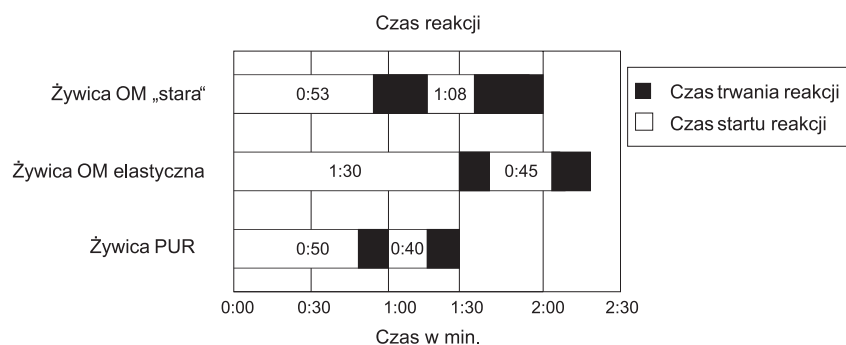
2.2. Uelastycznione żywice OM

W górnictwie niemieckim rozpoczęła się szeroka dyskusja wokół stosowania żywic PUR w podziemiach kopalń. Niemiecki Wyższy Urząd Górniczy wspólnie z Instytutem Naukowym DMT na początku 2000 jeszcze raz przeanalizował zasady i warunki prowadzonych badań i kryteriów dopuszczeń. Stwierdzono, że żywice PUR nie stanowią żadnego zagrożenia, gdy aplikowane są zgodnie z przepisami i zasadami ich dopuszczenia do stosowania w podziemiach kopalń. Dla firm dostarczających do kopalń żywice iniekcyjne jasne się stało, iż wobec zakazu stosowania żywic PUR w podziemiach kopalń węglowych we Francji i Australii należy wprowadzić alternatywne żywice iniekcyjne do wzmacniania górotworu. Wtedy to na rynku pojawiły się żywice fenolowe oraz uelastycznione żywice organiczno-mineralne.

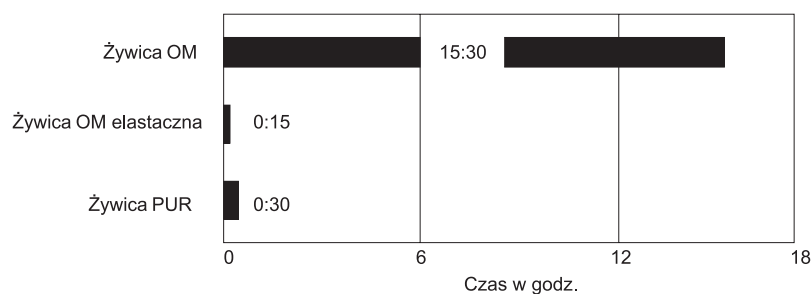
Uelastycznione żywice OM zastosowano po raz pierwszy w połowie lat 90. ubiegłego stulecia. Uelastycznione żywice OM dają praktycznie podobny efekt sklejenia jak żywice poliuretanowe. Stwierdzono jednak, że spienialna struktura żywic PUR lepiej wypełnia pustki i szczeliny iniekowanego górotworu aniżeli żywice OM. Za pomocą endoskopii, w przypadku prowadzenia tzw. iniekcji wyprzedzających stwierdzono częściowe odspajanie się poklejonych warstw skalnych w iniekcjach żywicami OM.

Żywice te posiadają jednak wiele zalet. Analizując je od strony ich przydatności do stabilizacji górotworu, można stwierdzić, iż nowa generacja żywicy OM znacznie odbiega parametrami mechanicznymi od swojej poprzedniczki. Ciekawie przedstawia się porównanie charakterystycznych parametrów przydatności iniektów do iniekcji na przykładzie „nowej” żywicy OM, standartowych żywic PUR stosowanych do konsolidacji górotworu i cementu iniekcyjnego.

Na rysunku 1 pokazane są zróżnicowane czasy reakcji standartowych żywic iniekcyjnych, natomiast rysunek 2 obrazuje ich graniczne wiązania. Uderza szczególnie znaczna różnica w przyroście siły sklejenia „nowej” żywicy OM w porównaniu do „starej” żywicy. Dzięki temu parametrowi w górnictwie żywice te zaliczone są, podobnie jak żywice PUR, do grupy żywic szybko klejących, tzn. takich, które po 30 minutach od momentu zatłoczenia tak konsolidują górotwór lub scalaną konstrukcję, że można rozpocząć normalny cykl produkcyjny.



Rys. 1. Czasy reakcji żywic organiczno-mineralnych i poliuretanowych



Rys. 2. Czasy graniczne konsolidacji poszczególnych rodzajów żywic

Najnowsze badania wykazują, że współczesna generacja żywic OM z powodzeniem może być stosowana do iniekcji zabezpieczających i rekonstrukcyjnych. Praktyczne obserwacje i analizy stabilizacji żywicami OM odpajających się skał i scalania obwałów w kopalniach należy prowadzić z jednodniowym wyprzedzeniem.

3. Produkty na bazie żywic organiczno-mineralnych

3.1. Natryskowe membrany sylikatowe

Możliwość uzyskiwania elastycznego materiału powłokowego, mającego do tego możliwość regulacji stopnia elastyczności, pozwoliło na wykreowanie nowych zastosowań i przeprowadzenie szeregu aplikacji w wyrobiskach górniczych. W górnictwie i budownictwie podziemnym ich zadaniem jest izolacja ociosów wyrobisk przed migracją gazów oraz przed wyciekami wody. Można nimi uszczelniać także tamy wentylacyjne i obudowy szybowe oraz spękane konstrukcje. Systemy te zostały dopuszczone do stosowania pod ziemią w kopalniach węglach kamiennego zarówno w Polsce, jak i w Czechach (rys. 3).



Rys. 3. Natrysk elastycznej żywicy organiczno-mineralnej

3.2. Piana sylikatowa

Szczególnie interesującym produktem jest piana sylikatowa. W odróżnieniu od piany na bazie poliuretanowej, która powstaje dzięki reakcji żywicy PUR z wodą, a wydzielający się w czasie reakcji CO_2 jest czynnikiem pianotwórczym — piana sylikatowa tworzy się niezależnie od środowiska, w którym reaguje. Standardowe piany sylikatowe posiadają współczynnik spienienia sięgający od 25- do 30-krotnego zwiększenia jej objętości.

Wytrzymałość żywicy spienialnej jest zależna od współczynnika spieniania. Ostatnio prowadzi się badania i poszukiwania receptur mogących regulować współczynnik spienienia. Jak już powiedziano, chemizm spienienia nie jest uzależniony od środowiska, w którym następuje reakcja. Bardzo interesujące dla budownictwa podziemnego mogą być piany sylikatowe o współczynniku spieniania w granicach od 2 do 4 i posiadające wytrzymałość na ściskanie w przedziale $2\div 6$ N/mm². W przypadku uzyskania takich pian o tzw. porach zamkniętych produkt ten może być alternatywą dla pian i klei fenolowych mających niezbyt przyjazne oddziaływanie na człowieka. Pianę sylikatową można również stosować jak żywice konsolidujące. W przypadku prowadzenia iniekcji wzmacniających w górotworach przy użyciu żywic OM, o minimalnych szczelinach, gdzie piana nie ma możliwości ekspansji, ten produkt przy ciśnieniu ok. 10 bar zachowuje się jak normalna żywica klejąca.

3.3. Uelastycznione żywice tiksotropowe

Pierwsze próby uzyskania tiksotropowych żywic reaktywnych, to znaczy takich, które po zmieszaniu komponentów powodują gwałtowny przyrost lepkości (tworzy się mieszanina przypominająca pastę), rozpoczęto na żywicach poliuretanowych. Ich celem było spełnienie oczekiwań w zakresie aplikacji iniekcji w warunkach skrajnie niekorzystnych (iniekcje w stropie, w rejonach dużych zaburzeń, znacznych wpływów wody itp.). Jednak w górnictwie żywica PUR tiksotropowa nie zdała egzaminu. Główną przyczyną były wysokie koszty iniekcji poliuretanowych oraz fakt, że każdy iniekt poliuretanowy znacznie zwiększał swoją objętość i w rezultacie następował spadek parametrów wytrzymałościowych scalanego kompozytu.

Dlatego też na bazie uelastycznionej żywicy OM w ostatnim okresie stworzono recepturę tiksotropowego silikatu, nieczułego na oddziaływanie wody i gwarantującego tym samym stałe parametry mechaniczne. Praktyka ostatnich lat wykazała, że tiksotropowa żywica OM jest dobrym klejem do kotwi wklejanych oraz tzw. samowiertnych kotwi iniekcyjnych.

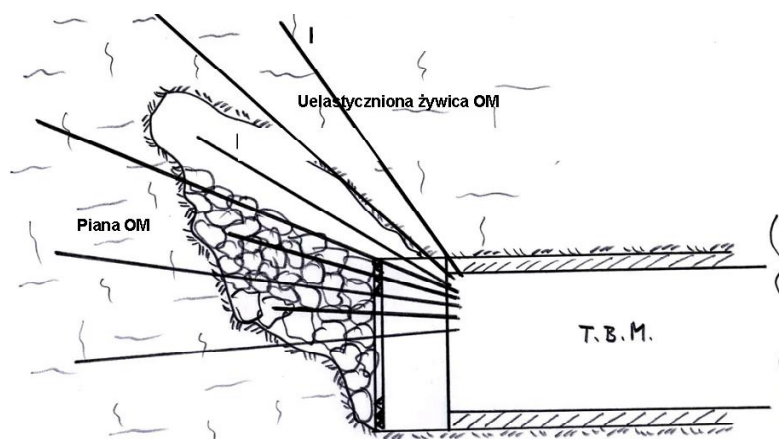
4. Przykłady zastosowań żywic OM

W chwili obecnej rozwój technologii chemicznych, szczególnie w zakresie modyfikacji żywic organiczno-mineralnych, spowodował, że iniektory te mogą w wielu obszarach zastąpić żywice poliuretanowe. W niektórych jednak zastosowaniach, z uwagi na właściwości, wykazują się nawet lepszymi parametrami niż żywice PUR. Szczególnie w budownictwie tunelowym na świecie od paru lat obserwuje się znaczny wzrost ich stosowania. W tunelach prowadzonych metodą TBM w przypadku występowania jakichkolwiek zaburzeń lub obwałowań bardzo często stosuje się do konsolidacji górotworu żywice i piany OM.

Rysunek 4 pokazuje schemat z zastosowaniem żywic OM.

Szerokie i powszechne stosowanie żywic organiczno-mineralnych związane jest przede wszystkim z łatwością urabiania skonsolidowanej skały, a także ich dobrymi właściwościami

uszczelniającymi. Problemy wystąpiły podczas wykonywania metodami górnictwymi kolektorów w Pradze, Ostrawie i Sofii, gdzie przedpole chodnika zabezpieczano za pomocą iniekcji żywicami poliuretanowymi. Okazało się, że istotnym problemem wykonawczym jest urobienie czy nawet zwiercenie skonsolidowanego gruntu. Podobny problem występuje podczas urabiania ścian strugowych w rejonach zaburzeń geologicznych, które scalano żywicami PUR. We wszystkich przypadkach naprawy kolektorów występowały w podłożu zawodnione aluwialne grunty piaszczysto-żwirowe. Po pierwszych niepowodzeniach przy uszczelnianiu kolektora w Pradze postanowiono przyjrzeć się temu problemowi. Stwierdzono, że kompozyt piaszczysto-żwirowy scalony poliuretanem jest bardzo elastyczny i w rezultacie trudno urabialny. Kompozyt ten był znacznie elastyczniejszy niż konsolidująca go żywica.



Rys. 4. Schemat zastosowania żywic OM do konsolidacji górotworu w tunelu drążonym metodą TBM

Dlatego też próby zastosowania w tunelach odmiany tiksotropowej żywicy OM wypadły bardzo korzystnie, a próby wyciągania wklejonych kotwi samowiertnych wytrzymały siłę do 200 kN. Zaletą tej metody jest to, iż wkleja się w stropie wyrobiska kotwy, stosując znaną technikę pompową dla żywic dwu-komponentowych, z ograniczeniem wypływu żywicy z otworu.

Dużym obszarem zastosowania uelastycznionych żywic organiczno-mineralnych jest ich wprowadzenie do napraw sieci kanalizacyjnych, gdzie metodami stosunkowo prostymi i niedrogimi wzmacniana jest skutecznie konstrukcja podziemna sieci kolektorowych.

5. Zakończenie

Nowa generacja żywic OM ma szerokie spektrum zastosowań w iniekcjach zabezpieczających. Praktyczne obserwacje i analizy odpajania się skał i procesy obwałowe

w wyrobiskach podziemnych pozwoliły stwierdzić, że iniekcje zabezpieczające żywicami OM winno się wykonywać z jednodniowym wyprzedzeniem w stosunku do postępu przodka w scalanym rejonie.

Istotną zaletą iniekcji organiczno-mineralnych jest stosunkowo niski koszt tej operacji. Obecnie producenci oferują dużą gamę żywic organiczno-mineralnych o wielorakim zastosowaniu. Należy podkreślić również ciągle wzrastający udział żywic OM w ogólnym bilansie iniekcji chemicznych.