

FIZYKOMECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI KLEJÓW STOSOWANYCH DO WZMACNIANIA GÓROTWORU W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

17.1 WSTĘP

W kopalniach węgla kamiennego mamy do czynienia z występowaniem licznych zagrożeń naturalnych. Podstawowym sposobem zapewnienia stateczności wyrobisk jest stosowanie odpowiednio zaprojektowanej obudowy. W większości przypadków, wraz ze zwiększającą się głębokością eksploatacji pogarszają się warunki utrzymania wyrobisk oraz komfort pracy. Złożone stany naprężeń w górotworze związane na przykład z dokonaną eksploatacją lub zaburzeniami geologicznymi często wymuszają podjęcie dodatkowych działań, których celem jest zmniejszenie obciążeń działających na obudowę. Realizacja tego celu może opierać się na odprężeniu górotworu lub na jego wzmocnieniu. Jednocześnie, z uwagi na konieczność prowadzenia wymuszonego przewietrzania, uzasadnione wydaje się stosowanie metod zabezpieczania górotworu, które nie ograniczają przekroju poprzecznego wyrobiska. Obok problemów związanych z zapewnieniem stateczności nie można zapominać o zagrożeniach związanych z migracją gazów i cieczy w obrębie górotworu i wyrobiska. Ograniczanie opisanych zagrożeń często uzyskiwane jest poprzez zastosowanie iniekcji wzmacniająco – uszczelniającej. Dobór odpowiedniego materiału iniekcyjnego i technologii prowadzenia prac iniekcyjnych decyduje o bezpieczeństwie, skuteczności i wydajności prowadzonych prac. Dobranie siatki otworów iniekcyjnych do lokalnych warunków górotworu, ilości i rodzaju zatłaczanego materiału oraz, oszacowanie propagacji spękań i ich objętości to zagadnienia, które wymagają dogłębnego rozważenia.

Rozpatrując zagadnienia związane z materiałami stosowanymi w górnictwie, trzeba z jednej strony wspomnieć o wymaganiach zawartych w przepisach prawa, normach oraz w wymaganiach certyfikacyjnych, a z drugiej strony o oczekiwaniach klientów, którzy zamawiają materiały dobrane do specyficznych warunków dołowych. W uproszczeniu cechy materiałów można podzielić na właściwości związane

z bezpieczeństwem użytkowania na dole kopalń, właściwości aplikacyjne oraz właściwości użytkowe materiału wbudowanego.

17.2 CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW INIEKCYJNYCH

W celu wzmocnienia i uszczelniania górotworu tradycyjnie wykorzystywane były materiały cementowe, których używano od II połowy XIX wieku [2]. W ciągu ostatnich 30-40 lat materiały cementowe były stopniowo wypierane przez kleje organiczne i organiczno-mineralne.

Biorąc pod uwagę bazę chemiczną materiały do iniekcji wzmacniająco-uszczelniającej można podzielić na następujące grupy:

- **MATERIAŁY MINERALNO-ORGANICZNE**
 - kleje silikatowe (na bazie szkła wodnego),
- **MATERIAŁY ORGANICZNE**
 - kleje mocznikowe,
 - kleje fenolowo-formaldehydowe,
 - kleje poliuretanowe,
- **MATERIAŁY MINERALNE**
 - spoiwa cementowe.

Użycie nowych rozwiązań materiałowych podyktowane było niekorzystnymi właściwościami spoiw cementowych, które powodowały znaczące ograniczenia w możliwościach ich stosowania. W warunkach dołowych, w kontekście skuteczności procesu iniekcji, niektóre właściwości materiałów cementowych uznawane są za niekorzystne. Należy do nich zaliczyć: zbyt długi czas wiązania i utwardzania, możliwość uzyskania założonej penetracji górotworu, ograniczoną możliwość iniekcji do skał suchych lub znacznie zawodnionych, ograniczoną możliwość prawidłowego narastania wytrzymałości w otoczeniu skał suchych lub w obecności nadmiaru wody w czasie iniekcji i wiązania.

Zastosowanie organicznych i organiczno-mineralnych materiałów iniekcyjnych w sposób niezwykle skuteczny podniosło efektywność prac. Do najważniejszych cech stanowiących o wysokiej użyteczności tych materiałów należy zaliczyć: niską lepkość składników – zdolność do penetracji pęknięć, łatwy do modyfikacji czas żelowania i utwardzania, możliwość stosowania w zmiennych warunkach zawilgocenia górotworu, szybkie narastanie wytrzymałości, a po utwardzeniu: wysoką wytrzymałość i przyczepność. Porównanie wybranych właściwości materiałów iniekcyjnych przedstawiono w tabeli 17.1.

Wśród wymienionych materiałów do wzmacniania i uszczelniania górotworu na szczególną uwagę zasługują tworzywa poliuretanowe. Tworzywa poliuretanowe nazwę zawdzięczają wiązaniu uretanowemu, które uzyskać można na drodze reakcji wielu różnych komponentów – dzięki temu możliwości modyfikacji ich właściwości aplikacyjnych i użytkowych są bardzo duże. Warto podkreślić, że obecnie powszechnie do uzyskania wysokowartościowych materiałów poliuretanowych wykorzystuje się surowce pochodzące z przetwórstwa odpadów (np. opakowania PET) lub składników

ekologicznych (np. olej rycynowy). Są to więc tworzywa, których użycie wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju [7].

Tabela 17.1 Porównanie wybranych parametrów materiałów iniekcyjnych

	Zaczniny cementowe	Kleje organiczno-mineralne	Kleje organiczne
Gęstość	~2300 kg/m ³	~1400 kg/m ³	~1250 kg/m ³
Czas utwardzenia	Kilka godzin	<10 min	
Palność	Niepalne	Samogasnące	
Zastosowanie	Wypełnianie pustek w górotworze, wypełnianie zer podsadzkowych, budowa tam i pasów izolacyjnych	Wzmacnianie i uszczelnianie górotworu	Wzmacnianie i uszczelnianie górotworu

17.3 WYMAGANIA STAWIANE TWORZYWOM SZTUCZNYM W GÓRNICTWIE

Do charakterystycznych warunków prowadzenia prac w kopalniach węgla kamiennego należy zaliczyć:

- ograniczoną przestrzeń realizacji robót,
- obecność zagrożeń naturalnych,
- trudne warunki klimatyczne,
- ograniczone możliwości wentylacyjne [9].

Wymienione czynniki powodują, że materiały stosowane w podziemnych zakładach górniczych muszą spełniać określone wymagania. Wymagania te w sposób ogólny sformułowane są w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [8]. Zgodnie z tymi aktami prawnymi materiały używane w kopalniach węgla kamiennego muszą charakteryzować się cechami zapewniającymi bezpieczeństwo stosowania. Minimalny, wymagany przepisami zestaw cech materiału to: trudnopalność, zdolność do rozpraszania ładunku elektrostatycznego oraz nietoksyczność. Spełnienie powyższych wymagań może potwierdzać certyfikat na znak bezpieczeństwa B. Jednostki certyfikujące wskazują zestaw szczegółowych wymagań, które musi spełnić materiał, aby mógł być wykorzystany w kopalniach węgla kamiennego. Należy zaznaczyć, że wymagania te nie muszą być identyczne – jednostki certyfikujące stosują różne zestawy wymagań.

Rozważając cechy klejów do iniekcji w kontekście wymagań prawnych oraz wymagań technicznych warty zaznaczenia jest fakt, że oczekiwane cechy tych materiałów różnią się pomiędzy krajami. Z uwagi na istotne powiązania pomiędzy rynkami oraz bliskość geograficzną do porównania zostały wytypowane wymagania stawiane klejom iniekcyjnym w Polsce, Niemczech i Czechach. Wśród krajów Unii Europejskiej jedynie Niemcy ujednoliciły metodykę badań dla wszystkich tworzyw sztucznych stosowanych w górnictwie. Porównanie wybranych wskaźników bezpieczeństwa iniekcyjnych klejów górniczych w Polsce, Czechach i Niemczech przedstawiono w tabeli 17.2.

Tabela 17.2 Wymagania stawiane klejom górniczym w Polsce, Czechach i Niemczech

	POLSKA	CZECHY	NIEMCY
Wskaźnik tlenowy	21%	27%	-
Rezystancja powierzchniowa	<10 ⁹ Ω	<10 ⁹ Ω	-
Palność	Oceniana w teście pionowego spalania - kategoria palności V0	-	Brak wymagań względem palności,
Temperatura zapłonu ciekłych komponentów	-	>100°C	>55°C
Maksymalna temperatura reakcji	150°C (130°C dla węgla ortokoksowego)	150°C	150°C
Toksyczność materiałów	Limit stężenia substancji szkodliwych w miejscu pracy (Zgodnie z NDS)	Limit stężenia substancji szkodliwych w miejscu pracy	Limit stężenia substancji szkodliwych w miejscu pracy Pozytywny wynik testu zatrucia aparatury oddechowych

Z uwagi na występujące w podziemnych kopalniach węgla kamiennego zagrożenie pożarowe ustalona została maksymalna temperatura reakcji klejów. Metod badania tego parametru jest wiele stąd też uzyskane temperatury mogą się różnić zależnie od rodzaju wykonanego testu. Kleje poliuretanowe utwardzają się poprzez sieciowanie w reakcji polimeryzacji stopniowej, której towarzyszy wysoka temperatura. Bardzo często temperatury te przekraczają 100°C stąd też istnieje obawa zainicjowania samozagrzewania węgla [3]. Jak wykazują badania in situ [1, 6] polegające na pomiarze temperatury reagujących komponentów zatłaczanych do szczelin górotworu, temperatury osiągnięte na kontakcie kleju ze skałą są znacznie niższe od wyznaczonych w laboratoriach. Z drugiej strony należy pamiętać o możliwości przypadkowego gromadzenia się kleju w górotworze i potencjalnym wzroście temperatury kleju, który reaguje w zwiększonej objętości.

Do oceny palności i zachowania klejów górniczych w czasie spalania często stosuje się test pionowego spalania, który polega na podpaleniu próbki materiału o znormalizowanych wymiarach, a następnie dopasowaniu do odpowiedniej kategorii palności na podstawie czasu palenia, żarzenia po odjęciu źródła ognia lub długości spalonego materiału [4].

Kolejnym ocenianym parametrem jest wskaźnik tlenowy (oxygen index) pozwalający na ocenę palności substancji. Tego typu wymogów nie znajdziemy w przepisach niemieckich, które wymagają, aby produkty spalania materiałów nie miały zdecydowanie negatywnego wpływu na działanie systemów filtrujących w aparatach oddechowych [9].

Jednym z zagrożeń występującym w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny jest możliwość wybuchu pyłu węglowego. Tworzywa sztuczne to w większości izolatory, rzadziej materiały rozpraszające ładunek elektrostatyczny, dlatego potencjalnie mogą być źródłem iskry

wysokoenergetycznej. Wybuch spowodowany zjawiskiem przeskoku iskry może wystąpić następujących warunkach [5]:

- występuje mieszanina wybuchowa,
- występują materiały, na których mogą gromadzić się ładunki elektrostatyczne,
- pojemność tworzyw umożliwia zgromadzenie ładunku o odpowiedniej (niebezpiecznej) pojemności.

Wyeliminowanie jednego z czynników wyklucza postanie wybuchu. Wystąpienie pierwszego z warunków może być znacząco ograniczone poprzez działania profilaktyczne: system monitoringu gazowego, odpowiednią wentylację czy zraszanie miejsc potencjalnego powstania lub zbierania się niebezpiecznych pyłów, uszczelnianie zrobów oraz kontrola miejsc w których może się gromadzić metan. Skłonność do kumulowania ładunków elektrostatycznych może być znacząco zredukowana poprzez antystatyzację wyrobów zarówno w procesie wytwórstwa jak i później.

17.3.1 Właściwości użytkowe klejów

Wymienione w poprzedniej części artykułu cechy odnoszą się do bezpieczeństwa stosowania klejów. Równocześnie istotna jest wydajność prowadzenia prac iniekcyjnych oraz ich skuteczność. Projekt iniekcji powinien być dopasowany do warunków górniczo-inżynierskich. Standardowo ocenia się je na podstawie punktów rozproszonych, często oddalonych od siebie i miejsca stosowania klejów. Ograniczone informacje na temat warunków klejenia sprawiają, że od zatłaczanych materiałów wymaga się uniwersalnych właściwości. Kleje poliuretanowe często spełniają ten warunek, ponieważ mogą być modyfikowane w bardzo szerokim zakresie.

Materiały używane do iniekcji narażone są najczęściej na działanie sił ściskających, rozciągających i ścinających. Natomiast parametry wytrzymałościowe, które zwykle są definiowane przez jednostki certyfikujące i zamawiających materiały to wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie. Są to parametry charakterystyczne dla oceny wytrzymałości skał. Zdefiniowane wartości wytrzymałości na ściskanie i zginanie to przydatne parametry identyfikacyjne materiału, jednak możliwość użycia ich do określenia przydatności do klejenia górotworu jest ograniczona. Należy podkreślić również fakt, że po iniekcji klejów do górotworu powstaje połączenie adhezyjne pomiędzy klejem a podłożem skalnym.

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej typowe wymagania stawiane klejom poliuretanowym, do badań porównawczych wytypowano następujące parametry techniczne: temperatura reakcji kleju, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie. Dodatkowo, opierając się na doświadczeniach i wymaganiach górnictwa niemieckiego, przeprowadzono testy adhezji.

Kleje wybrane do testów:

- Klej nr 1 – klej proponowany na rynek polski,
- Klej nr 2 – klej proponowany na rynku niemieckim,
- Klej nr 3 – klej proponowany na rynku czeskim,

- Klej nr 4 – klej proponowany na rynku polskim i czeskim,
- Klej nr 5 – klej proponowany na rynku polskim, zwłaszcza do iniekcji do pokładów zalegających na znacznych głębokościach, o wysokiej temperaturze pierwotnej górotworu,

Maksymalna dopuszczalna temperatura reakcji klejów ze względu na wymagania związane z bezpieczeństwem aplikacji, wynosi 150°C, wybrane do badań kleje spełniają kryteria bezpieczeństwa charakterystyczne dla danego kraju przedstawione w tabeli 17.2. Kleje proponowane na rynek polski i czeski charakteryzują wysokie wytrzymałości na zginanie i ściskanie, klej proponowany na rynek niemiecki posiada wysokie wartości adhezji. Na podstawie wymagań przetargowych z polskiego rynku wyniki wytrzymałości na ściskanie przekraczające 60 MPa, a w przypadku wytrzymałości na zginanie wartości powyżej 40 MPa uznaje się za wysokie. Na podstawie wymagań stawianych klejom w przetargach na rynku niemieckim za wysokie wyniki adhezji uznaje się: powyżej 1MPa po 1h i końcowe powyżej 5MPa.

17.4 OPIS BADAŃ WYKORZYSTANYCH DO OCENY WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOMECHANICZNYCH WYBRANYCH KLEJÓW.

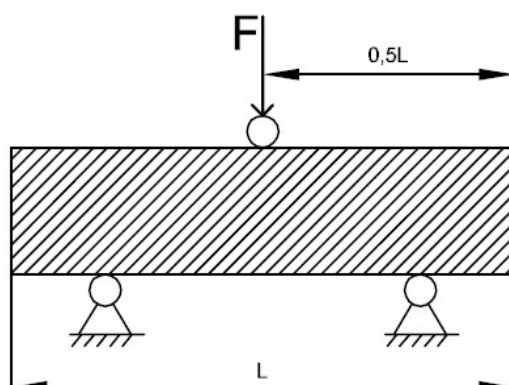
17.4.1 Pomiar maksymalnej temperatury reakcji

Próbki składników klejów doprowadzano do temperatury 23°C ± 2°C. Do kubka polietylenowego odważane były ilości komponentów A i B kleju w masie odpowiadającej 100 cm³ każdego ze składników. Następnie komponenty były intensywnie mieszane przez 15 sekund przy zastosowaniu mieszadła o prędkości obrotowej 450 obr/min. W celu zminimalizowania wymiany ciepła z otoczeniem kubek z reagującą mieszaniną umieszczany był w izolacji ze styropianu. Odnotowywana była maksymalna temperatura reagującego kleju.

17.4.2 Pomiar wytrzymałości na ściskanie i na zginanie

Pomiary wytrzymałości na zginanie i na ściskanie wykonano zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 196-1:2006. Temperatury mieszanych komponentów wynosiły 23°C ± 2°C. Do kubka polietylenowego odważane były ilości komponentów A i B kleju w masie odpowiadającej 150 cm³ każdego ze składników. Następnie składniki były intensywnie mieszane przez 20 sekund. Mieszanie było wykonywane ręcznie w celu ograniczenia przypadkowego zapowietrzenia materiału. Ujednorodnioną mieszaninę wlewano do formy styropianowej o wymiarach wewnętrznych 160 x 40 x 40 mm ± 1,0 mm. Forma z próbka pozostawała pod przykryciem do czasu badania wytrzymałości.

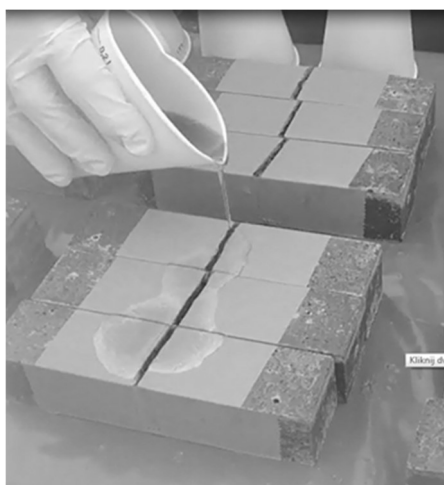
Próbki do badania wytrzymałości na ściskanie, o wymiarach 40 x 40 x 40 mm, były wycinane z uzyskanych belek. Za wartość maksymalną wytrzymałości uznawano wynik przy 50% odkształceniu próbki. Pomiar wytrzymałości na zginanie odbywał się na próbkach wyjętych bezpośrednio z formy. Sposób określania wytrzymałości na zginanie przedstawiono na rys. 17.1.



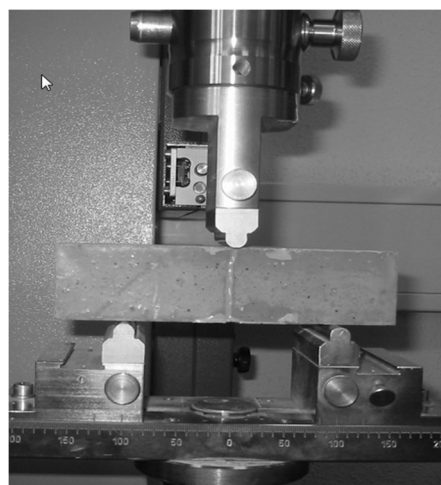
Rys. 17.1 Schemat badania wytrzymałości próbki na zginanie

17.4.3 Pomiar adhezji

Wielkość adhezji oceniono na podstawie trójpunktowego testu zginania. Badanie przeprowadzono na belkach betonowych o wymiarach $40 \times 40 \times 160 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$. Belki nacięto na głębokość $1,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, a następnie, ustawiając nacięcie pomiędzy podporami, złamano na maszynie wytrzymałościowej według EN 196-1 (rys. 17.2). Na 24 godziny przed badaniem powierzchnie przełamane zostały oczyszczone i umieszczone w suszarce w temperaturze $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Bezpośrednio przed przygotowaniem próbek złamane belki sklejono taśmą samoprzylepną, zostawiając 3 mm szczelinę pomiędzy połówkami belek. Następnie belki umieszczono w suszarce na 60 min w temperaturze $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Po wymieszaniu składników kleju o temperaturze $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ wiano reagującą mieszaninę do szczeliny pomiędzy połówkami belki (rys. 17.3). Próbki przechowywano w temperaturze $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ do czasu badania.



Rys. 17.2 Przygotowywanie beleczek do badań adhezji



Rys. 17.3 Test adhezji kleju

Wyniki pomiarów właściwości mechanicznych i temperatury maksymalnej reakcji zestawiono w tabeli 17.3.

Tabela 17.3 Wyniki badań wytrzymałościowych wybranych klejów

	Klej nr 1	Klej nr 2	Klej nr 3	Klej nr 4	Klej nr 5
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]					
R _c 24h	55	15	55	31	56
R _c 7d	74	19	80	59	60
Wytrzymałość na zginanie [MPa]					
R _f 24h	40	9	67	22	65
R _f 7d	68	12	86	46	72
Adhezja [MPa]					
R _a 1h	2,3	5,1	3,0	0,5	1,5
R _a 2h	4,9	6,3	7,0	0,6	3,3
R _a 5h	7,7	8,1	10,4	0,8	7,0
R _a 24h	9,6	8,8	9,4	2,8	11,2
R _a 7d	9,6	8,6	8,9	1,7	10,9
Maksymalna temperatura reakcji [°C]	140	117	147	120	128

Na podstawie wyników wytrzymałościowych klejów niskotemperaturowych (poniżej 130°C) zaobserwowano, że obniżanie temperatury reakcji poniżej 130°C może prowadzić do obniżenia właściwości wytrzymałościowych takich jak wytrzymałość na ściskanie (R_c) i zginanie (R_f). W przypadku kleju nr 2 jest to działanie świadome, poparte wieloletnią praktyką dotyczącą wymagań wysokiej adhezji klejów stosowanych w górnictwie niemieckim, przy minimalizowaniu roli takich parametrów R_c i R_f. Przykład kleju nr 4 świadczy o tym, że wymaganie od kleju jedynie wysokich wytrzymałości na ściskanie i zginanie może skutkować pojawieniem się na rynku klejów o niskich parametrach adhezji. Duża wartość adhezji jest podstawą skutecznego klejenia słabych warstw górotworu zwłaszcza w stropie. W przypadku klejów o wysokiej temperaturze utwardzania (140-150°C), wysokie wytrzymałości R_c i R_f zwykle idą w parze z wysoką adhezją co przekłada się na efekt skutecznego klejenia również w małych szczelinach.

Poniżej 120°C klej może być optymalizowany z uwagi na adhezję (klej nr 2) lub wytrzymałości na ściskanie/zginanie (klej nr 4) – klej utwardza się dobrze w większej objętości, ale w cienkiej warstwie (adhezja) wyniki są niezadowalające. Aby zapobiec mylnej ocenie skuteczności klejenia dla tego typu klejów celowym wydaje się wprowadzenie również na rynku polskim kryterium oceny adhezji kleju.

Dobre właściwości wytrzymałościowe kleju poliuretanowego i jednocześnie wysokie adhezje można osiągnąć przy temperaturach utwardzania w przedziale 125-150°C (klej nr 1, 3, 5). Oczywiście sama temperatura utwardzania nie jest jedynym kryterium zapewniającym dobre właściwości wytrzymałościowe kleju, jest jedynie wskaźnikiem służącym do tego, aby ostrożnie oceniać użytkowe parametry klejów utwardzających się w niskich temperaturach, a zwłaszcza klejów niskobudżetowych.

17.5 PODSUMOWANIE

Zagadnieniem, bez którego nie można analizować kwestii związanych z wytrzymałościami klejów poliuretanowych, są metody pomiaru temperatury

reagującego kleju. Wartość zmierzonej temperatury zależy od początkowej temperatury komponentów, grubości warstwy, dla której dokonuje się pomiaru oraz temperatury otoczenia/podłoża. Mając na uwadze występujące w kopalniach węgla kamiennego zagrożenie wystąpienia pożaru endogenicznego należałoby ujednoczyć metody badania temperatury reakcji klejów w celu uniknięcia sytuacji, w której reagujący w górotworze klej ma temperaturę wyższą niż dopuszczona w przepisach. Kleje o temperaturach reakcji przekraczających 130°C (klej nr 1 i 3) wykazują wysokie wytrzymałości na ściskanie, zginanie oraz wysoką adhezję – narastanie i uzyskiwanie przez klej oczekiwanych właściwości mechanicznych nie budzi wątpliwości.

W przypadku klejów o niższej temperaturze utwardzania istotny staje się wpływ objętości/masy utwardzanego kleju. Efekt egzotermiczny reakcji utwardzania może prowadzić do dużych różnic w sposobie utwardzania kleju. W większych próbkach (np. przygotowanych do pomiaru wytrzymałości na ściskanie) temperatura może być wyższa i spowodować lepsze utwardzenie próbki, ale w niewielkich szczelinach nieprawidłowo skomponowany klej może nie spełniać swojej funkcji. Przejęte powszechnie wymagania w zakresie właściwości mechanicznych, zakładające badanie wyłącznie wytrzymałości na zginanie i na ściskanie może nie zapewnić oczekiwanych właściwości kleju (klej 4). Niezbędne byłoby w tym przypadku wprowadzenie dodatkowego testu adhezji potwierdzającego prawidłowe utwardzanie się kleju w niewielkich szczelinach, gdzie występuje duży odbiór ciepła.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa stosowania, w warunkach wysokiej temperatury pierwotnej skał oraz przy stosunkowo wysokiej temperaturze komponentów, należy używać klejów o niższej temperaturze utwardzania. Jednak obniżenie reaktywności nie może być zbyt duże, aby utrzymać parametry wytrzymałościowe. Na podstawie uzyskanych wyników badań można zauważyć, że optymalną temperaturą reakcji kleju wydaje się być temperatura bliska 130°C. Jednocześnie, jako forma badania identyfikacyjnego, właściwości kleju powinny być potwierdzone przez pomiar wytrzymałości na ściskanie i na zginanie. Pomiar adhezji klejów wydaje się być metodą bardziej zbliżoną do rzeczywistych warunków oraz naprężeń jakim poddawany jest klej poliuretanowy w górotworze.

Niewątpliwie, w obliczu zmieniających się warunków wydobywania w kopalniach węgla kamiennego, istotnym argumentem w dyskusji nad parametrami certyfikacyjnymi, aplikacyjnymi i użytkowymi iniekcyjnych klejów poliuretanowych byłyby wyniki prób dołowych, które byłyby przeprowadzone z uwzględnieniem uwarunkowań opisanych w niniejszym artykule.

LITERATURA

1. J. Franek, M. Makarski, R. Pęczek, M. Rasek. „Ocena właściwości użytkowych materiałów iniekcyjnych na bazie izocyjanianów,” Materiały Konferencyjne „Polyurethanes 2013 – current development trends, Ustroń, 2013.
2. E. Gliwa, W. Miłkowski, P. Szedel. *Wzmacnianie i uszczelnianie górotworu środkami chemicznymi*. Katowice: Wydawnictwo Naukowe Śląsk, 1982.

3. W. Jaskółowski, M. Kasperkiewicz. „Wpływ antypirogenów stosowanych w górnictwie węgla kamiennego na ograniczenie skłonności węgla do samozapalenia.” *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, nr 3, pp. 97-106, 2012.
4. B. Jurkowski, B. Jurkowska, H. Rydarowski. „Niektóre aspekty badań palności kompozytów polimerowych.” *Czasopismo Techniczne*, R. 106, z. 1-M, pp. 145-152, 2009.
5. W. Klimas. *Wybrane zagadnienia materiałoznawstwa górniczego z ćwiczeniami laboratoryjnymi*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010.
6. D. Musioł, P. Pierzyna, Z. Różański. „Parametry termiczne wybranych dwukomponentowych klejów poliuretanowych w przebiegu reakcji polimeryzacji. Część 1, badania in situ.” *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 10, pp. 30-35, 2008.
7. A. Prociak (Ed.), G. Rokicki, J. Ryszkowska. *Materiały poliuretanowe*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 roku, w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. (Dz. U. z 2002 r. Nr 139, poz. 1169 z późn. zm., Dz. U. z 2006 r. Nr 124, poz. 863)
9. *Rozporządzenie z dnia 31 lipca 1991 roku w sprawie ochrony zdrowia górników. Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV.* [On-line] Available: <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gesbergv/gesamt.pdf> [02.2017].

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

mgr inż. Piotr Pawlik
MINOVA EKOCEM S.A.
ul. Budowlana 10,
41-100 Siemianowice Śląskie, Polska
e-mail: minova.ekochem@minovaint.com

mgr inż. Sandra Utko
Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Geomechaniki,
Budownictwa Podziemnego
i Zarządzania Ochroną Powierzchni
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: sandra.utko@polsl.pl

FIZYKOMECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI KLEJÓW STOSOWANYCH DO WZMACNIANIA GÓROTWORU W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono porównanie wymagań i parametrów dwukomponentowych klejów poliuretanowych stosowanych w górnictwie węgla kamiennego w Polsce, Niemczech i w Czechach. Porównano doświadczalnie typowe kleje używane w profilaktyce górniczej. Mając na uwadze zapewnienie bezpieczeństwa stosowania w zmieniających się warunkach wydobywania oraz zapewnienie wysokiej skuteczności klejenia zostały zaproponowane parametry, które należałoby rozważyć jako nowe wymagania certyfikacyjne.

Słowa kluczowe: iniekcja, wzmacnianie górotworu, klej poliuretanowy

PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF ADHESIVES USED FOR ROCK MASS REINFORCING IN HARD COAL MINES

Abstract: The article presents comparison of properties and required parameters of two-component polyurethane adhesives used in hard coal mining in Poland, Germany and Czech Republic. Typical adhesives used in preventive works in mining have been experimentally compared. With regard to application safety under altering exploitation conditions and high binding efficiency, new parameters have been proposed, which are suggested to be considered as new certification requirements.

Key words: injection, rock mass reinforcement, polyurethane adhesive