



Wpływ wybranych związków organicznych na parametry mieszanin zatłaczanych do zrobów zawałowych

Influence of selected organic compounds on the parameters of mixtures injected into goaf caving equipment

Mgr inż. Henryk Świnder^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, których głównym celem było uzyskanie danych związanych z możliwością wykorzystania plastyfikatorów do betonu jako dodatków poprawiających właściwości reologiczne mieszanin zatłaczanych do zrobów zawałowych. Przebadany został wpływ wybranych związków chemicznych na właściwości mieszanin popiołowo-wodnych oraz mieszanin na bazie pyłu cementowego i wody. Wykonane badania materiałów odpadowych posłużyły do określenia kryteriów doboru materiałów pod kątem ich uziarnienia, poprawy zdolności do zwiększenia penetracji w rumoszu zawałowym oraz stopnia wypełnienia i doszczelnienia zrobów zawałowych.

Abstract: This paper presents the results of laboratory tests whose main purpose was to obtain data referring to the potential use of concrete plasticizers as additives improving the rheological properties of mixtures injected into goaf caving. The influence of the selected compounds on the properties of ash and water mixtures and mixtures based on cement dust and water was tested. The tests of waste materials were used to define the criteria for the selection of materials considering their granulation, improvement of the ability to increase penetration in the rubble rocks and the degree of filling and sealing the abandoned workings caving.

Słowa kluczowe:

eksploatacja pokładu węgla, wypełnianie i doszczelnianie zrobów zawałowych, plastyfikatory, odpady

Key words:

exploitation of coal seam, filling and sealing goaf caving, plasticizers, waste

1. Wprowadzenie

Eksploatacja pokładów w górnictwie podziemnym często wiąże się z trudnością wybrania całej grubości pokładu jedną warstwą [10] oraz jest przyczyną problemów związanych z ochroną powierzchni [4] oraz bezpieczeństwem pożarowym. Niszczenie struktury calizny węglowej, wzrost szczelin umożliwiających penetrację powietrza do masy węglowej oraz opad do wyrobiska skał i węgla często wywołuje pożary endogeniczne w niewybranych jeszcze warstwach pokładu lub w opadłym do wyrobiska rumoszu zawałowym. Wzrost zagrożeń pożarowych oraz opady węgla i skał z warstwy wyższej do niższej wybranej skutkuje również nieopłacalnością ekonomiczną eksploatacji oraz zaniechaniem wydobywania węgla z pokładu [8]. W latach osiemdziesiątych XX wieku w Głównym Instytucie Górnictwa została opracowana metoda eksploatacji grubych pokładów węgla od stropu do spągu, z wykorzystaniem podsadzki samozestalającej się. Do jej sporządzenia zostały wykorzystane w głównej mierze odpady powęglowe, modyfikowane dodatkami substancji wiążących, takimi jak: cementy, gips, anhydryt, wapno gazzone, popioły lotne z kotłów pyłowych, pyły cementowe, wapno magnezowe [9].

Podstawowym kryterium, określającym przydatność materiałów zastosowanych do wypełniania i doszczelniania zrobów

zawałowych, jest uzyskanie odpowiedniej wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie rumoszu zawałowego w warunkach jednoosiowego ściskania, a także ściśliwość zapewniająca minimalizację negatywnych oddziaływań prowadzonej eksploatacji na powierzchnię. Jednym z kryteriów umożliwiających uzyskanie wymaganych parametrów wytrzymałościowych jest odpowiednie zagęszczenie zatłaczanych do wyrobisk mieszanin mineralno-wodnych. Przy dużej zawartości części stałych w tego typu mieszaninach (powyżej 1 kg na dm³ wody) następuje jednak znaczny wzrost ich lepkości i ograniczenie rozlewności, co uniemożliwia transport hydrauliczny z wykorzystaniem kopalnianych instalacji podsadzkowych.

W ramach prowadzonych badań, jako dodatki poprawiające właściwości reologiczne mieszanin zatłaczanych do rumoszu zawałowego w zrobach zostały przebadane substancje stosowane do poprawy plastyczności betonów. Wytypowano związki na bazie lignosulfonianów, pochodnych kwasu poliakrylowego, żywicy melaminowo-formaldehidowych oraz pochodnych nonylofenyli oksyetylowanych [11].

Badania składu mineralogicznego oraz składu chemicznego ubocznych produktów spalania oraz pyłów cementowych wykonano korzystając z analizatora wielkości, kształtu i liczby cząstek z przystawką ramanowską do identyfikacji chemicznej – Morphologi G3S-ID firmy Malvern oraz uniwersalnego, cyfrowego skaningowego mikroskopu elektronowego z przystawką EDS i napyłarką- HITACHI Model SU-3500N.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

2. Wypełnianie i doszczelnianie zrobów zawałowych z wykorzystaniem mieszanin mineralno-wodnych.

Powierzchnia graniczna pomiędzy fazą stałą (cząstkami) i fazą ciekłą (wodą lub roztworem różnych związków chemicznych) jest miejscem występowania wielu zjawisk natury fizykochemicznej (adsorpcja, kohezja itp.) [2]. Zjawiska te mają istotny wpływ na jakość i pracę gruntu, decydują o jego strukturze, ścisłości i wytrzymałości oraz o możliwości naturalnej rekonsolidacji lub wzmocnienia danego gruntu za pomocą odpowiednich środków fizycznych lub chemicznych.

Środki chemiczne stosuje się w górnictwie od ponad 30 lat. Do wzmocnienia i konsolidacji górotworu, uszczelniania i strefowego wzmocnienia mas skalnych w obszarach o znacznym stopniu zdeformowania (zawał) stosuje się preparaty mineralne i organiczne. Ze względu na częste występowanie w rumoszu zawałowym (obok niepalnych łupków i piaskowca), znacznych ilości substancji palnych w postaci węgla oraz palnych łupków dochodzi do nim do naturalnych procesów utleniania, co prowadzi do samozagrzewania i inicjowania pożarów endogenicznych.

W celu uniemożliwiających lub utrudniających dostęp powietrza oraz wypełnienia szczelin i pustek w zawałach, a tym samym poprawienie stopnia doszczelnienia i wytrzymałości materiału skalno-węglowego wypełniającego zroby, najczęściej zatłaczane są zawiesiny wodne substancji mineralnych i dodatków modyfikujących.

Najczęściej stosowane są zawiesiny popiołowo-wodne lub wodno-cementowe. Jako lepiszcza wykorzystywane są również gipsy, odpady z przemysłu cementowego oraz ilaste frakcje odpowiednich odpadów pogórnicznych [16, 18].

Wszystkie wymienione materiały są drobnoziarnistymi, pozbawionymi części palnych substancjami, których zadaniem jest zwiększenie zagęszczenia materiału, obniżenie zawartości substancji palnej oraz wzbogacenie krzywej ziarnowej rumoszu zawałowego najdrobniejszymi frakcjami (<0,06 mm).

Zakres stosowania tego typu mieszanin i ich często ograniczona skuteczność wynika z braku możliwości uzyskania odpowiedniego zagęszczenia substancji stałych, koniecznego do maksymalnego wypełnienia pustek międzyziarnowych w strefie zawału. Stężenie frakcji stałych w stosowanych mieszaninach nie przekracza zazwyczaj 1000 g na litr wody. Przy większej zawartości substancji stałych w mieszaninie, nie jest możliwe uzyskanie wymaganych właściwości reologicznych, niezbędnych do optymalnej penetracji w strukturze zawału [13]. Stosowanie wyższych stężeń stałej wiązki wiąże się również z problemami technicznymi związanymi z procesem aplikacji takich mieszanin przy prowadzeniu robót związanych z przepompowywaniem i ich transportem rurociągami w kopalniach.

W celu uzyskania maksymalnego zagęszczenia materiału zawałowego wykorzystywane są związki chemiczne, które w kontakcie z gazami porowymi i rozpuszczonymi w wodzie porowej, np. CO₂, wytwarzają w porach ziaren (kamienia) osady nierozpuszczalnych soli.

Powstałe w wyniku reakcji mas skalnych z tego typu związkami sole są nierozpuszczalne i wytrącają się w postaci osadu, powodując wypełnienie i zasklepienie porów materiału wypełniającego np. zroby zawałowe. Tym samym tworzy się trwała powłoka na materiale skalnym. [14,15]. Do wypełnienia porów (zmniejszenie powierzchni kontaktu z tlenem) mogą być stosowane estry kwasu krzemowego tzw. silikony [np. metylosilikonian sodu (ahydrosil)], organiczne związki krzemu (nanokompozyty [17]), nieorganiczne związki wapnia i magnezu oraz krzemiany metali ziem alkalicznych, które po naniesieniu na powierzchnię materiału reagują z CO₂ zawartym w gazach porowych i gazach rozpuszczonych w wodach porowych.

Działania doszczelniające i scalające rumosze zawałowe przez związki wapnia i magnezu spowodowane jest wytworzeniem słabo rozpuszczalnych węglanów, zasklepiających pory i otaczających powierzchnie ziaren [17]. Dzięki temu następuje uszczelnienie bryły zawałowiska i ograniczenie dostępu tlenu do strefy zawału. Dodatek związków wapnia i magnezu, zawartych np. w popiołach lub odpadach cementowych, jako substancji niepalnych oraz powstające węglany, zmniejszają również udział substancji palnych w całości rumoszu zawałowego, a tym samym ograniczają ryzyko powstania pożarów endogenicznych w kopalniach prowadzących wydobycie węgla.

W literaturze brak jest przykładów mówiących o możliwości wykorzystania tzw. plastyfikatorów (upłynniaczy) używanych w technologii betonu do poprawy właściwości mieszanin używanych do wypełniania i doszczelniania zrobów zawałowych i wytwarzania np. tzw. „sztucznego stropu”. W oparciu o prace i doświadczenia własne [11, [19] przyjęto założenie, że podobnie jak w przypadku cementu, wytypowane środki poprawią właściwości reologiczne mieszanin na bazie odpadów z energetyki i przemysłu cementowego zatłaczanych do strefy zawału oraz pozytywnie wpłyną na poprawę wytrzymałości nowo powstałej struktury skalnej np. sztucznego stropu oraz doszczelnienia zrobów zawałowych.

3. Badania laboratoryjne mieszanin

3.1. Metodyka badań

Celem prowadzonych w ramach pracy badań było otrzymanie danych pozwalających na określenie wielkości parametrów ilościowych i jakościowych materiałów odpadowych oraz modyfikujących, pod kątem efektywności zwiększenia stopnia zagęszczenia przy zachowaniu wymaganych parametrów reologicznych (rozlewności).

W prowadzonych badaniach laboratoryjnych założono również, że głównym składnikiem mieszanin podawanych do zrobów powinny być uboczne produkty spalania z energetyki oraz odpadowe pyły cementowe. Stanowiły one bazę do utworzenia mieszanin wypełniających i doszczelniających.

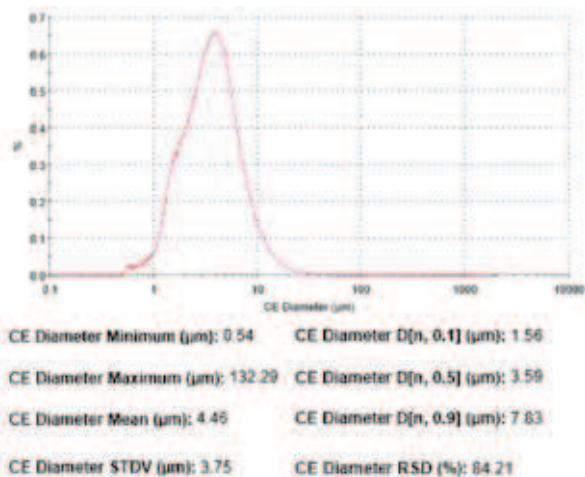
Jako dodatki poprawiające właściwości reologiczne mieszanin zatłaczanych do rumoszu zawałowego zostały przebadane substancje stosowane do poprawy plastyczności betonów. Wytypowano związki na bazie lignosulfonianów, pochodnych kwasu poliakrylowego, żywicy melaminowo-formaldehydowych oraz pochodnych nonylofenyli oksyetylowanych.

Badania składu mineralogicznego oraz składu chemicznego ubocznych produktów spalania wykonano korzystając z analizatora wielkości, kształtu i liczby cząstek z przystawką ramanowską do identyfikacji chemicznej – Morphologi G3S-ID firmy Malvern oraz uniwersalnego, cyfrowego skaningowego mikroskopu elektronowego z przystawką EDS i napyłarką- HITACHI Model SU-3500N.

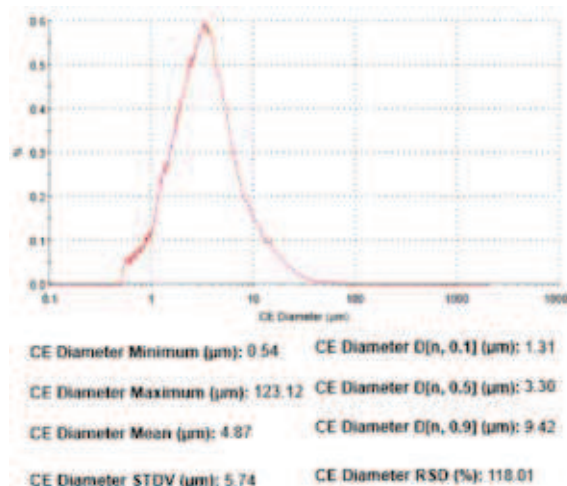
Badaniu poddano następujące materiały:

- popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z),
- popiół lotny ze współspalania z biomasa w kotle fluidalnym (próbka L),
- popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J),
- odpadowy pył cementowy z odpylania chłodnika rusztowego (próbka C).

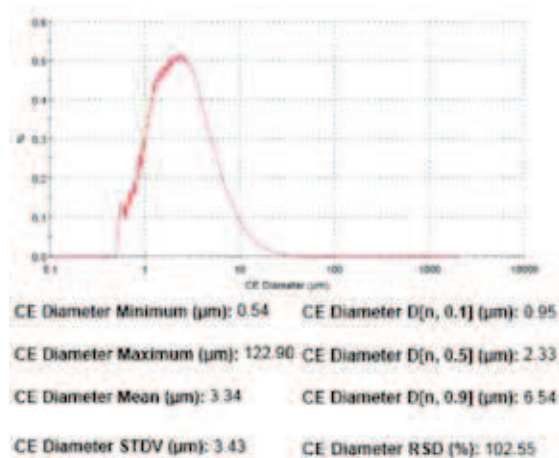
Wykonane analizy fizykochemiczne materiałów odpadowych oraz dodatków modyfikujących do sporządzania mieszanin rekonsolidacyjnych, posłużyły do określenia kryteriów doboru materiałów pod kątem ich uziarnienia, po-



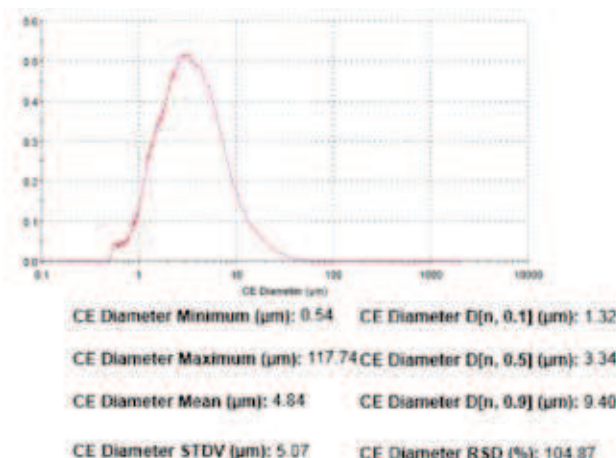
Rys. 1. Popiół Z
Fig. 1. Ash Z



Rys. 2. Popiół L
Fig. 2. Ash L



Rys. 3. Popiół J
Fig. 3. Ash J



Rys. 4. Pył C
Fig. 4. Dust C

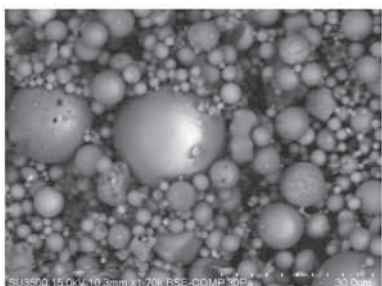
prawy zdolności do zwiększenia penetracji oraz wypełnienia rumoszu zawałowego.

Badania składu ziarnowego oraz typu ziaren (owalności) w poszczególnych klasach ziarnowych próbki substancji mineralnych dodawanych do mieszanin zostały wykonane za pomocą analizatora wielkości, kształtu i liczby cząstek z przystawką ramanowską do identyfikacji chemicznej – Morphologi G3S-ID firmy Malvern. Parametry przygotowania dyspersji i warunków badania: ciśnienie [bar] – 1,0; czas dozowania [ms] – 20,0; czas pomiaru [s] – 60,0.

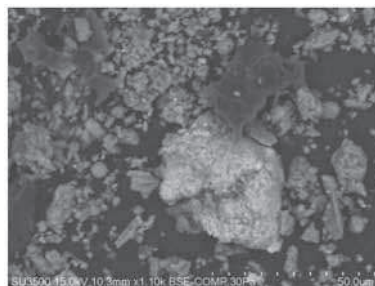
Wyniki przedstawiono na rysunkach 1 – 4.

Badania struktury powierzchni oraz składu chemicz-

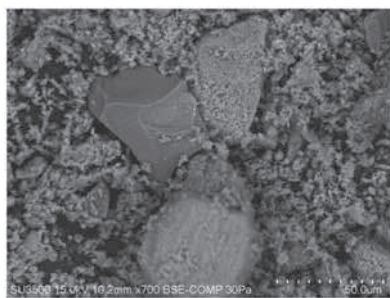
nego badanych substancji przeprowadzono wykorzystując uniwersalny, cyfrowy skaningowy mikroskop elektronowy z przystawką EDS i napyłarką- HITACHI Model SU-3500N. Zastosowania tego zaawansowanego urządzenia umożliwiło obserwację struktury badanych materiałów w powiększeniu do 300 000 razy. Analiza otrzymanych obrazów umożliwiła wytypowanie charakterystycznych dla poszczególnych rodzajów odpadów cech materiałowych i krystalograficznych. Wybrane, charakterystyczne struktury badanych materiałów zostały przeanalizowane pod kątem zawartości poszczególnych pierwiastków oraz składu chemicznego. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 5-8 w formie zdjęć.



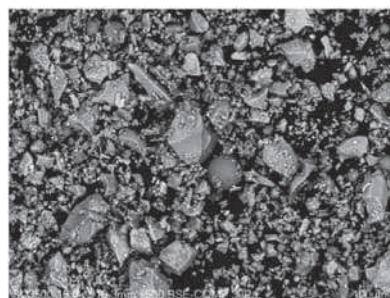
Rys. 5. Popiół Z
Fig. 5. Ash Z



Rys. 6. Popiół L
Fig. 6. Ash L



Rys. 7. Popiół J
Fig. 7. Ash J



Rys. 8. Pył C
Fig. 8. Dust C

Określając optymalny skład mieszanki dla poprawy stopnia wypełnienia i doszczelnienia zrobów zawałowych ustalono, jako bazową, mieszankę odpadu mineralnego z wodą w stosunku 1:1. Następnie przeprowadzono badania własności mieszanki bazowej w zakresie rozlewności. Badania wpływu dodatków na rozlewność mieszanin wykonano sporządzając mieszanki mineralno-wodne (o różnym stosunku wody do substancji mineralnej), do których dodawano różne ilości wybranych związków organicznych używanych jako plastyfikatory w technologiach betonów.

Pomiar rozlewności przeprowadzono na podstawie normy PN-85/G-02320 „Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych”. Określenia rozlewności badanych mieszanin dokonano przy wykorzystaniu stożka typu AzNII. Zasada pomiaru polega na wypełnieniu stożka zawiesiną na całą jego wysokość, a następnie przez jego szybkie podniesienie, doprowadzenie do rozlania się jej na płaskiej, szklanej powierzchni. Wielkość rozlewności określa się średnicą rozlanej na szkle zawiesiny.

Dla wszystkich sporządzonych mieszanin przeprowadzono badania porównawcze rozlewności. Parametr ten przyjęto jako główne kryterium przydatności mieszanki do poprawy stopnia wypełnienia i doszczelniania zrobów zawałowych.

3.2. Wyniki badań laboratoryjnych rozlewności mieszanin

Wyniki badań rozlewności przedstawiono w tabelach 1÷20.

Mieszanki popiołowo wodne i cementowo-wodne bez dodatków modyfikujących.

Tablica 1. Popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z)
Table 1. Fly ash from coal combustion in a pulverized coal boiler (sample Z)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	183	146	134	118	108	81

Tablica 2. Popiół lotny ze współspalania z biomasą w kotle fluidalnym (próbka L)
Table 2. Fly ash from co-firing with biomass in a fluidized bed boiler (sample L)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	200	159	141	124	86	79

Tablica 3. Popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J)
Table 3. Fly ash from the combustion of biomass in a fluidized bed boiler (sample J)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	223	140	129	114	108	82

Tablica 4. Odpadowy pył cementowy z odpylania (próbka C)
Table 4. Waste cement dust from dedusting (sample C)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	194	158	143	132	114	91

Wpływ dodatku 0,20 % wagowych lignosulfonianu (w stosunku do masy popiołu lub odpadowego pyłu cementowego).

Tablica 5. Popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z)
Table 5. Fly ash from the combustion of coal in a pulverized-fuel boiler (sample Z)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	194	160	148	129	125	90

Tablica 6. Popiół lotny ze współspalania z biomasą w kotle fluidalnym (próbka L)
Table 6. Fly ash from co-firing with biomass in a fluidized-bed boiler (sample L)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	227	174	154	136	128	105

Tablica 7. Popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J)
Table 7. Fly ash from the combustion of biomass in a fluidized bed boiler (sample J)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	227	174	154	136	128	105

Tablica 8. Odpadowy pył cementowy z odpylania (próbka C)
Table 8. Waste cement dust from dedusting (sample C)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	233	198	176	157	141	109

Wpływ dodatku 0,20% wagowych pochodnych kwasu poliakrylowego (w stosunku do masy popiołu lub odpadowego pyłu cementowego).

Tablica 9. Popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z).

Table 9. Fly ash from the combustion of coal in a pulverized-fuel boiler (sample Z)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	198	166	158	136	129	91

Tablica 10. Popiół lotny ze współspalania z biomasa w kotle fluidalnym (próbka L).

Table 10. Fly ash from co-firing with biomass in a fluidized-bed boiler (sample L)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	229	179	157	140	134	107

Tablica 11. Popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J).

Table 11. Fly ash from the combustion with biomass in a fluidized-bed boiler (sample J)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	229	176	159	138	131	106

Tablica 12. Odpadowy pył cementowy z odpylania (próbka C).

Table 12. Waste cement dust from dedusting (sample C)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	235	204	187	169	151	119

Wpływ dodatku 0,20% wagowych pochodnych żywicy melaminowo-formaldehadowej (w stosunku do masy popiołu lub odpadowego pyłu cementowego).

Tablica 13. Popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z).

Table 13. Fly ash from the combustion of coal in a pulverized-fuel boiler (sample Z)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	196	165	152	131	127	90

Tablica 14. Popiół lotny ze współspalania z biomasa w kotle fluidalnym (próbka L).

Table 14. Fly ash from co-firing with biomass in a fluidized-bed boiler (sample L)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	224	170	151	138	130	104

Tablica 15. Popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J).

Table 15. Fly ash from the combustion of biomass in a fluidized-bed boiler (sample J)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	224	170	151	132	127	102

Tablica 16. Odpadowy pył cementowy z odpylania (próbka C).

Table 16. Waste cement dust from dedusting (sample C)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	205	204	1827	157	141	116

Wpływ dodatku 0,20% wagowych pochodnej nonylofenylu oksyetylowanego (w stosunku do masy popiołu lub odpadowego pyłu cementowego).

Tablica 17. Popiół lotny ze spalania węgla w kotle pyłowym (próbka Z).

Table 17. Fly ash from the combustion of coal in a pulverized-fuel boiler (sample Z)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	198	168	153	134	129	92

Tablica 18. Popiół lotny ze współspalania z biomasa w kotle fluidalnym (próbka L).

Table 18. Fly ash from co-firing with biomass in a fluidized-bed boiler (sample L)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	221	167	154	136	131	102

Tablica 19. Popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym (próbka J).

Table 19. Fly ash from the combustion of biomass in a fluidized-bed boiler (sample J)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	50	52,5	53,25	54,0	55,0	57,5
Rozlewność, mm	225	169	152	130	126	100

Tablica 20. Odpadowy pył cementowy z odpylania (próbka C).

Table 20. Waste cement dust from dedusting (sample C)

Zawartość popiołu w mieszaninie, %	70	72,5	72,7	73,5	74,0	75,0
Rozlewność, mm	211	206	182	159	143	117

3.3 Analiza wyników badań

Wykonane prace laboratoryjne bazowały na konieczności opracowania nowych, innowacyjnych metod oceny i analizy przydatności różnych materiałów i odpadów do wypełniania i doszczelnienia zrobów zawałowych, a tym samym poprawy stopnia rekonsolidacji wypełniającej je antropogenicznej struktury skalnej rumoszu zawałowego. Oznaczając charakterystyki ziarnowe wybranych rodzajów odpadów na poziomie pojedynczych cząsteczek, uzyskano wiedzę związaną z oceną możliwości ich zastosowania, w zależności od rodzaju i charakteru skał występujących w zrobach zawałowych. Znajomość uziarnienia, udziału cząstek o określonej średnicy i stopniu rozdrobnienia, pozwala na optymalizację składu mieszanin do poprawy stopnia wypełnienia i doszczelnienia zrobów zawałowych. Możliwość opracowania najlepszego rozwiązania w zakresie dozowania mieszanin dla konkretnego obiektu powinna być oparta na znajomości charakterystyki fizykochemicznej środowiska zawału skał stropowych oraz właściwości mineralnych składników mieszanin podawanych do zrobów zawałowych. Ze względu na uziarnienie (średnicę ziaren) największa ilość (10,9%) najdrobniejszych

ziaren (poniżej 1,0 μm) znajduje się w popiołach lotnych z kotła fluidalnego spalającego biomasę (próbka J). Najbardziej jednorodnym materiałem ze względu na odchylenie standardowe średnic ziaren w badanej próbce charakteryzuje się próbka popiołu lotnego z kotła pyłowego spalającego węgiel (próbka Z). Próbka popiołu lotnego z kotła fluidalnego (L) ma zbliżoną powierzchnię ziaren do materiału uzyskanego z cementowni odpowiednio 0,9 objętości próbki ma ziarna o powierzchni 69,31 μm^2 (L) i 69,09 μm^2 (C).

Zastosowanie plastyfikatorów do betonów jako środków umożliwiających zwiększenie stopnia zagęszczenia, przy zachowaniu wymaganych właściwości reologicznych (rozlewności), umożliwiło uzyskanie stopnia zagęszczenia na poziomie od 1350 g suchej masy na 1 dm^3 wody do 3000 g suchej masy na 1 dm^3 wody (w zależności od rodzaju składnika mineralnego w mieszaninie). Wyniki te znacząco przekraczają zagęszczenia substancji mineralnych uzyskiwane w tradycyjnych mieszaninach do wypełniania i doszczelniania zrobów zawałowych, przy zachowaniu wymaganego stopnia rozlewności i zdolności do penetracji matrycy skalnej i rumoszu zawałowego. Uzyskanie tak wysokiego stopnia zagęszczenia nie spowodowało także wystąpienia ograniczeń technicznych w zakresie wykorzystania funkcjonujących na kopalniach instalacji do transportu hydraulicznego z wykorzystaniem instalacji do podsadki hydraulicznej.

Stosowane plastyfikatory uszeregowano według skuteczności zwiększenia rozlewności w następującej kolejności: pochodna kwasu poliakrylowego, pochodna żywicy melaminowo-formaldehidowej, lignosulfonian, pochodna nonylofenylu oksyetylowanego.

Stwierdzono, że zwiększenie stopnia dyspersji części stałych, np. w popiołach z kotła pyłowego spalającego węgiel w stosunku do popiołów z kotła fluidalnego ze spalania biomasy, powoduje poprawę rozlewności mieszaniny o ponad 40 %. Dodatek upłynniacza uniemożliwia również wtórną aglomerację cząsteczek zawiesiny, co pozwala na wydłużenie czasu penetracji w górotworze, a tym samym dokładne wypełnienie szczelin i pustych przestrzeni.

Zwiększenie zawartości części stałych w zawiesinach podawanych do zrobów zawałowych wpływa również na poprawę stopnia zagęszczenia struktury skalnej matrycy skalnej i rumoszu zawałowego. Z punktu widzenia poprawy stabilności i wytrzymałości górotworu jest to korzystne zjawisko. Wzrost zagęszczenia oraz kolmatacja pustych przestrzeni porowych w masie skalnej rumoszu zawałowego zwiększa również bezpieczeństwo pożarowe, ze względu na ograniczenie dostępu powietrza do strefy zawału.

4. Podsumowanie

Zrealizowana praca badawcza jest pierwszym etapem zmierzającym do opracowania metody badań zestalonej struktury skalnej sztucznego stropu. Ze względu na brak doświadczeń w zakresie wykorzystywania plastyfikatorów do betonu jako środków modyfikujących właściwości mieszanin rekonsolidacyjnych i doszczelniających, konieczne było doświadczenie sprawdzenie ich efektywności dla konkretnych rodzajów materiałów stosowanych w mieszaninach.

Decydującym kryterium wyboru upłynniacza dla konkretnej mieszaniny iniekcyjnej było uzyskanie odpowiedniego efektu technologicznego, tj. maksymalnego zagęszczenia przy utrzymaniu odpowiedniej rozlewności i zdolności penetracji w bryle zwałowiska. Ważnym aspektem był również koszt jednostkowy otrzymania mieszaniny o określonych właściwościach gaśniczych i reologicznych.

Wyniki badań potwierdzają, że możliwe jest wykorzystanie technik analizy właściwości fizykochemicznych (klasyfikacji ziarnowej) oraz wykorzystanie wybranych dodatków organicznych i nieorganicznych do poprawy stopnia zagęszczenia i doszczelnienia struktur skalnych występujących w rumoszu zawałowym.

Znajomość przebiegu krzywej uziarnienia oraz możliwość jej uzupełnienia o brakujące frakcje umożliwia uzyskanie optymalnego składu mieszanin do wypełniania i doszczelniania warstwy rumoszu zawałowego w zrobach.

Zastosowanie plastyfikatorów (upłynniaczy) do zwiększenia stopnia zagęszczenia mieszanin oraz stwierdzenie jego korzystnego wpływu na poprawę stabilności i szczelności struktur skalnych znajdujących się w zrobach zawałowych potwierdza możliwość wykorzystania tego typu dodatków do wytwarzania odpowiednio stabilnych i wytrzymałych elementów środowiska kopalń węgla kamiennego np. „sztucznego stropu” na bazie rumoszu zawałowego.

Niniejszy artykuł powstał jako efekt prowadzonych badań prowadzonych w ramach prac realizowanych w Głównym Instytucie Górniczym pt.: „Opracowanie metody badań zestalonej struktury skalnej sztucznego stropu” finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

1. *Chmura K.*: Własności fizykotermiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1970.
2. *Derski W., Izbiński R., Kisiel I., Mróz Z.*: Mechanika skał i gruntów PWN Warszawa 1982.
3. *Kaczmarezyk A., Musiał S.*: Wpływ czasu i składu petrograficznego na własności rekonsolidowanego rumowiska zawałowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górniczo-geologiczna z. 138. 1985.
4. *Kidybiński A.*: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1982.
5. *Kisiel I., Sobociński J., Stachoń M.*: Reologiczne właściwości gruntów ilowych. Archiwum Hydrotechniki. Geotechnika. Tom XXIII, z. 3, 1976.
6. *Kozielska-Sroka E.*: Próba oceny i klasyfikacji podatności karbońskich skał ilastych na rozmakanie na podstawie badań modelowych i budowy petrograficznej. Zimowa szkoła mechaniki górotworu: XXVII Zimowa szkoła mechaniki, 2004 (Teberia-portal górniczy).
7. *Lojas J., Kidybiński A., Hładysz Z.*: Możliwości wybierania grubego pokładu węgla warstwami z góry na dół pod zrekonsolidowanym rumowiskiem zawałowym. Przegląd Górniczy nr 2, 1974.
8. *Lojas J.*: „Technologia wielowarstwowej eksploatacji grubych pokładów od stropu do spągu z podsadką hydrauliczną samozestalającą się” GIG, Katowice 1988.
9. *Lojas J., Konopko W., Bąk E., Maślanka L.*: „Technologia wytwarzania, transportu i podawania zapraw wiążących w ścianowym systemie wybierania grubych pokładów warstwami z góry na dół z rekonsolidacją rumowisk zawałowych” GIG Katowice 1985).
10. *Nierobisz A., Prusek St.*: Zasady bezpiecznego prowadzenia wyrobisk korytarzowych pod zrobami zawałowymi i podszkawkowymi. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górniczym. Nr. 4/12; 1994.
11. *Świnder H., Łączny J.M., Lubosik Z., Prusek S.*: Badania wybranych parametrów mieszanin do poprawy rekonsolidacji gruzowiska zawałowego. Wybrane zagadnienia wentylacyjne i pożarowe w kopalniach, Jaworze, 4-6 września 2013r. GIG 2013r.
12. *Stoch L.*: Minerale ilaste. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa, 1974.
13. *Łączny M.J., Olszewski P., Gogola K., Bajerski A.*: Czynniki praktycznego wyboru technologii prewencyjnych, profilaktycznych i gaśniczych stosowanych na obiektach uformowanych z odpadów powęglowych. Kwartalnik GIG 4, 2011.

14. *F.Gerard, J.Ranger, C.Menetrier, P. Bonnaud*, Chem. Geology, 2003, 202, 443.
15. *N. Patlas, T. Manusov, M. Rudnik*, Sci. Israel⁷-Techn. Adv., 2000, 2, 96.
16. *Stryczek S., Gonet A.*: Wpływ współczynnika wodno-cementowego na parametry reologiczne zaczynów pucolanowych. *Wiertnictwo Nafta Gaz* 2002 R.19/2 s.441÷450.
17. *Kakizawa M., Yamasaki A., Yanagisawa Y.*: A new CO₂ disposal via artificial weathering of calcium silicate accelerated by acetic acid. *Energy* 26, 2001, p. 341÷354.
18. *Milkowski W., Głina E.*: Wzmacnianie i uszczelnianie górotworu środkami chemicznymi.
19. *Łączny M.J.*: Fenomenologiczne ujęcie problematyki wykorzystania ubocznych produktów spalania węgla. XVIII Międzynarodowa Konferencja POPIOŁY Z ENERGETYKI, 19-21.10.2011, Zakopane

***Zwiększajmy prenumeratę
najstarszego – czołowego miesięcznika
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!