



<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMEKO2023.4>

Rekuperacja ciepła z istniejących i budowanych składowisk odpadów pogórnich w aspekcie profilaktycznym i odzysku energii

Jacek Korski – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono, w oparciu o dostępne źródła, analizy podstawowych czynników wywołujących pożary składowisk odpadów pogórnich z kopalń węgla. Na podstawie analizy dostępnej wiedzy o przyczynach pożarów składowisk odpadów pogórnich z kopalń węgla przedstawiono koncepcję rozwiązania technicznego łączącego w sobie funkcjonalność w zakresie prewencji pożarowej i możliwości odzysku ciepła z naturalnych procesów powodujących jego wydzielanie. Zaproponowane rozwiązanie ma charakter zintegrowany, bowiem obejmuje cykl spójnych w całym cyklu życia składowiska ciąg działań i rozwiązań technicznych, którego efektem ma być najpierw niedopuszczenie do powstania ognisk pożarowych i jednocześnie zapewnienie późniejszej możliwości wykorzystania składowiska jako źródła ciepła do lokalnego wykorzystania.

Słowa kluczowe: składowiska odpadów górnich, odzysk ciepła, pożary składowisk odpadów, prewencja pożarowa

Heat recovery from old and under construction coal waste dumps in terms of prevention and energy recovery

Abstract: In chapter were analyzed, basing on available sources a literature and practical experiences main factors of coal mining waste dumps. On this knowledge is presented new idea of technical solution integrating functionality in waste dumps fire prevention and heat recovery from this dump in full life cycle. As first proposed solution ought to be a fire prevention and to give availability for heat recover for local use.

Keywords: coal waste dumps, heat recovery, waste dump fires, fire prevention

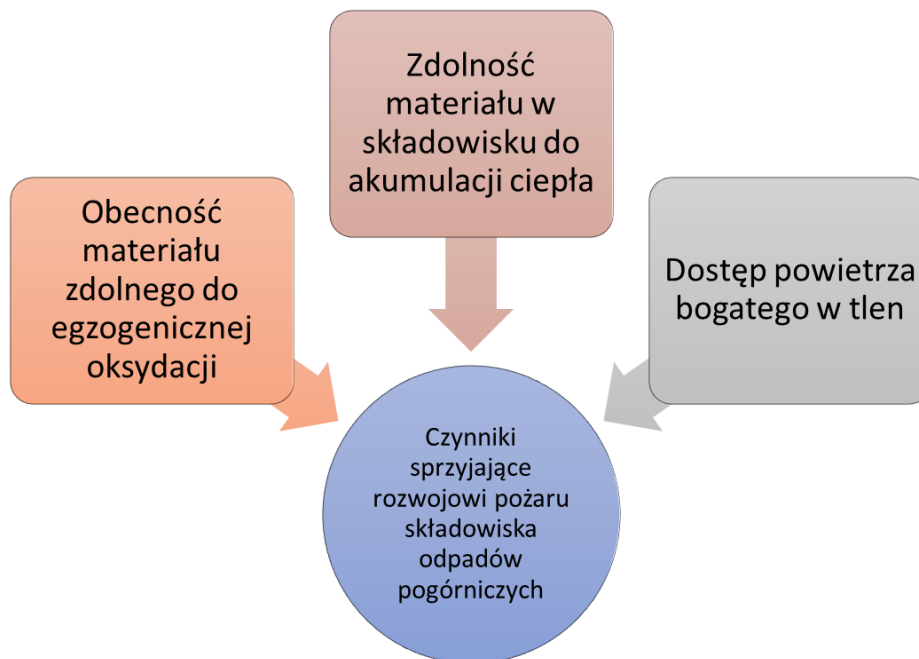
1. Wprowadzenie

Składowiska odpadów pogórnich z operacji podziemnych i procesów wzbogacania (oczyszczania) węgla stanowią w wielu zagłębach węglowych nieodłączny element krajobrazu. Jednak wraz z upływem czasu i rozwojem społecznym dostrzegać zaczęto wady związane z takim sposobem zagospodarowania tej grupy odpadów. Jedną z wad są występujące często pożary takich składowisk związane z obecnością w nich substancji węglowej. Pożary te są czasami źródłem emisji niebezpiecznych gazów i par oraz uciążliwości zapachowej [1, 2].

2. Pożary składowisk odpadów pogórnich z kopalń węgla – przyczyny

W materiale odpadowym z robót górniczych i procesów wzbogacania często występuje substancja węglowa, której udział objętościowy może przekraczać nawet 15%. Bardzo często ta substancja węglowa ma skłonność do endotermicznego utleniania się. W sprzyjających warunkach wydzielające się w procesie samoistnego utleniania węgla ciepło jest gromadzone w składowisku i może doprowadzić do osiągnięcia temperatur powodujących jego zapalenie. Na rysunku 1 pokazano podstawowe czynniki, które mogą doprowadzić do samozapalenia węgla w składowisku odpadów. Prowadzono wiele badań na temat warunków i genezy tego procesu z zastosowaniem, między innymi Oksyreaktywnej Analizy Termalnej (OTA) [3, 4, 5]. Pomocne w ocenie skłonności materiału zgromadzonego na składowiskach odpadów z kopalń węgla (kamiennego i brunatnego) mogą być także badania związane z oceną

skłonności tych węgli do samozapalenia metodami stosowanymi w prewencji pożarowej w kopalniach podziemnych [6], choć OTA wydaje się metodą bardziej wiarygodną. Dla zaistnienia pożaru składowiska odpadów górniczych z kopalń węgla kamiennego konieczne jest łączne wystąpienie pokazanych na rysunku 1 czynników. Należy przy tym zauważyć, że skłonności takich odpadów do samozagrzewania nie da się wyeliminować w już zdeponowanym materiale. Konieczne jest zatem wyeliminowanie przynajmniej jednego z pozostałych czynników sprzyjających powstaniu i rozwojowi pożaru składowiska odpadów pogórnich z kopalń węgla (kamiennego lub brunatnego). Zagadnienie to jest bardzo trudne do zrealizowania zwłaszcza w przypadku składowisk o bardzo dużych objętościach.

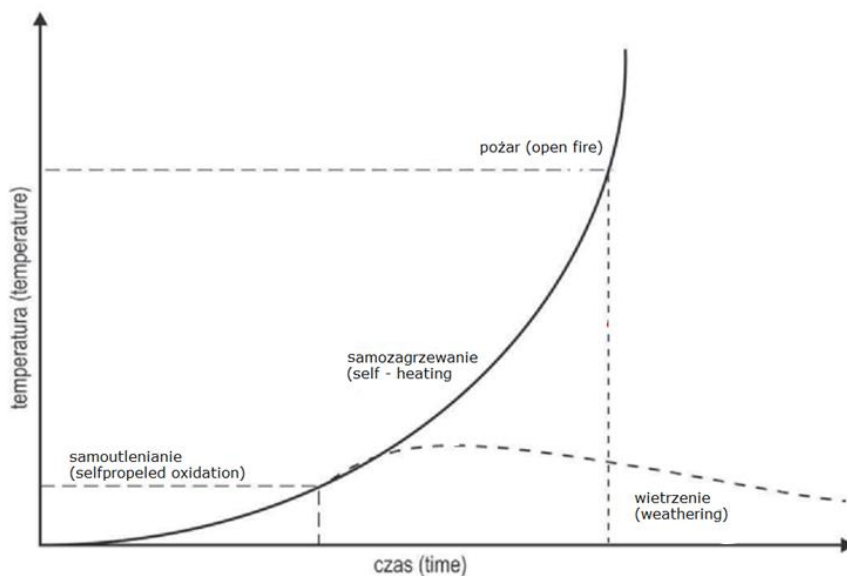


Rys. 1. Główne czynniki sprzyjające pożarowi składowiska odpadów z kopalń węgla

W związku z faktem, iż pożary składowisk odpadów pogórnich z kopalń węgla występują od bardzo dawna zagadnienie to jest bogate w obserwacje [7, 8].

2.1. Obecność w masie składowanych materiałów substancji węglowej skłonnej do samoutleniania

Odpady z procesów oczyszczania (wzbogacania) urobku węglowego oraz czasami urobek z robót udostępniających i przygotowawczych trafiają na składowiska odpadów. Zawierają one z różnym udziałem masowym substancję węglową, której materiał często jest skłonny do samoutleniania się w kontakcie z powietrzem atmosferycznym. Proces ten ma charakter procesu endogenicznego i w pewnych sytuacjach materiał składowiska zaczyna się samozagrzewać, doprowadzając czasami do powstania ogniska pożarowego. Przebieg takiego procesu pokazano na rysunku 2 [9].



Rys. 2. Przebieg procesu powstania pożaru składowiska odpadów pogórnich z kopalń węgla kamiennego [9]

Proces samoutleniania materiału węglowego bez samozagrzewania tego materiału prowadzi do jego naturalnego wietrzenia. Nie wszystkie węgle kopalne mają jednakową skłonność do samoutleniania [3].

2.2. Zdolność materiału zgromadzonego w składowisku do akumulowania ciepła

W materiale deponowanym w składowisku, oprócz węgla, występuje głównie materiał skalny ze skał tworzących otoczenie pokładu węgla lub występujący w pokładzie, czyli tworzące cyklotem węglowy, głównie: ily, łupki ilaste, łupki piaszczyste i piaskowce [10, 11, 12], które mają dobre właściwości izolacyjne. Sprzyja to akumulowaniu ciepła wydzielającego się w trakcie samoutleniania substancji węglowej. Dlatego bardzo istotne jest takie prowadzenie procesów wzbogacania (oczyszczania) węgla surowego, aby zawartość węgla w odpadach deponowanych na składowisku była możliwie najmniejsza i możliwie równomiernie rozproszona w składowanym materiale.

2.3. Dostęp powietrza bogatego w tlen

Tlen zawarty w powietrzu atmosferycznym jest koniecznym czynnikiem do uruchomienia procesu samoutleniania węgla występującego w składowanych odpadach. Powietrze dostające się do bryły składowiska dostarcza z jednej strony tlen do procesu samozagrzewania, ale, w większych ilościach może być czynnikiem chłodzącym. Wobec braku możliwości kontroli przepływu powietrza przez bryłę składowiska należy jednak dążyć generalnie do ograniczania dostępu powietrza atmosferycznego do bryły składowiska. Zadanie to jest jednak bardzo trudne, ze względu na trudność w hermetyzacji bryły składowiska i możliwe sposoby napowietrzania (aeracji) jego bryły pod wpływem różnych czynników.

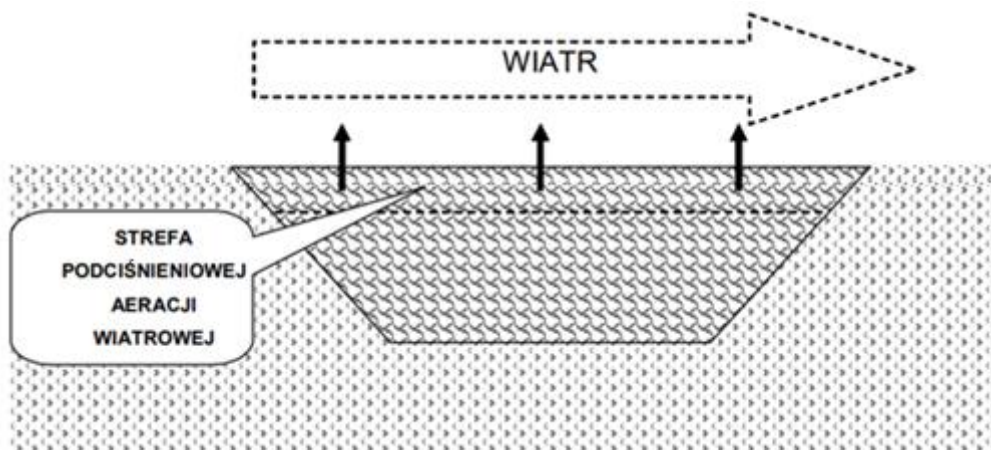
Do podstawowych czynników powodujących napowietrzanie składowiska odpadów pogórnich należą czynniki atmosferyczne i struktura materiału w bryle składowiska (rys. 3).



Rys. 3. Źródła pochodzenia tlenu atmosferycznego do bryły składowiska odpadów pogórnich

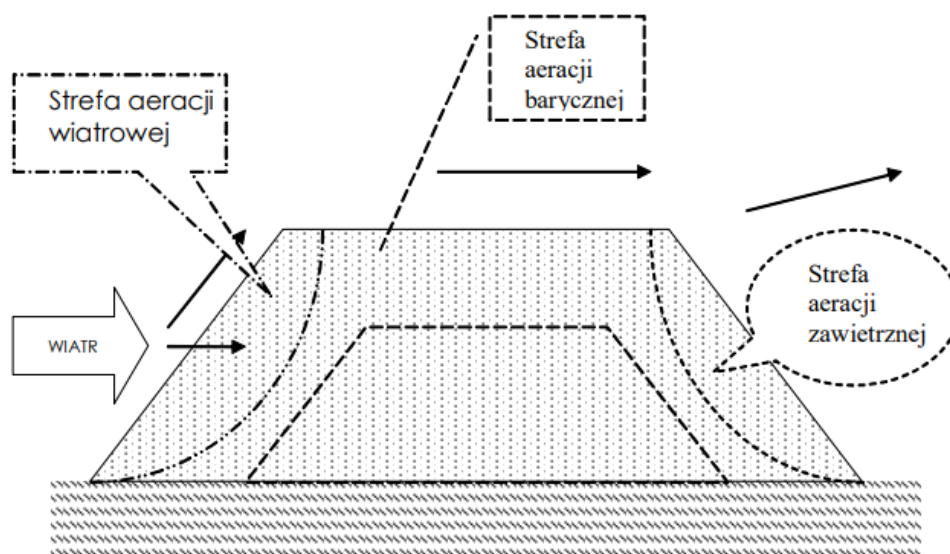
Aerację baryczną powodują zmiany ciśnienia atmosferycznego, które mogą osiągać nawet do 100 Pa w ciągu doby, powodując „oddychanie” bryły składowiska. W sytuacji wymienionej wcześniej, przy zmianach ciśnienia atmosferycznego, głębokość aeracji może sięgać do ok. 2,0÷2,5 m od jego powierzchni. Na większych głębokościach samoutleniający się materiał wobec braku tlenu przestaje się utleniać, ale w warunkach np. otwarcia (wykop) bryły proces samoutleniania może ulec wznowieniu.

Napowietrzanie bryły składowiska odpadów pogórnich z kopalń węgla pod wpływem wiatru (**aeracja wiatrowa**) powoduje zarówno dynamiczne oddziaływanie wiatru na powierzchnię składowiska, jak i zmiany ciśnienia statycznego wywołane przez dopływ powietrza równoległe do jego powierzchni (zgodnie z prawem Bernoulliego), co pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Napowietrzanie bryły składowiska podziemnego wskutek zmian ciśnienia statycznego wywołanego wiatrem

Z obserwacji prowadzonych w przeszłości wynika, że odnotowywano intensyfikację ognisk pożarowych w nadziemnych składowiskach także po stronie zawietrznej w stosunku do dominującego kierunku wiatru – wskazuje to na zmiany ciśnienia przy takich powierzchniach bryły składowiska wywołanych zawirowaniami powietrza. Wszystkie te czynniki napowietrzające składowisko nadziemne pokazano schematycznie na rysunku 5.



Rys. 5. Czynniki napowietrzania bryły nadpoziomowego składowiska odpadów pogórnich

Przy słabo zgęszczonym materiale składowiska i występowaniu zjawiska samozagrzewania materiału może występować przepływ powietrza wywołany konwekcją (**aeracja konwekcyjna**). Taki przepływ powietrza może być wywoływany także przez już powstałe ogniska pożarowe, a przepływ gorących gazów pożarowych może dodatkowo inicjować powstanie kolejnych ognisk pożarowych [13].

2.4. Możliwości ograniczenia prawdopodobieństwa wystąpienia ognisk pożarowych w składowisku

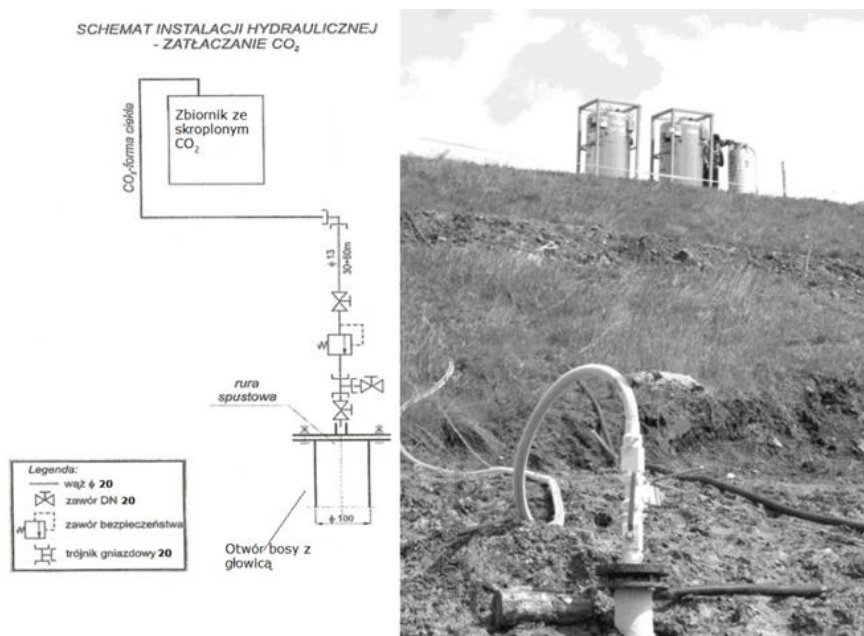
Podstawowe kierunki działań związanych z prewencją pożarową składowisk odpadów pogórnich z kopalń węgla, to ograniczanie możliwości oddziaływania czynników ułatwiających samoutlenianie i samozagrzewanie zgromadzonego na składowisku materiału. Można to realizować poprzez:

- Doskonalenie procesu wzbogacania węgla surowego celem zmniejszania udziału substancji węglowej w masie odpadów lub ich mieszanie z innymi niepalnymi i/lub hermetyzującymi odpadami.
- Ograniczenie możliwości napowietrzania bryły składowiska przez odpowiednie kształtowanie jego bryły, skuteczne zagęszczanie materiału w procesie budowy składowiska czy tworzenie tzw. sarkofagów. Należy zwrócić uwagę, że próby izolacji (hermetyzacji) bryły składowiska przez pokrywanie np. folią niepalną czy innymi substancjami hermetyzującymi jest kosztowne i uciążliwe w utrzymaniu, a także technologicznie trudne do zastosowania w procesie budowy składowiska.
- Niedopuszczenie do samozagrzania materiału składowiska powyżej temperatury powodujące samopodtrzymywanie się procesu samozagrzewania i samozapalenia np. przez odbiór nagromadzonego ciepła. Działania takie nie były dotychczas podejmowane na szerszą skalę, choć wydają się najbardziej celowym kierunkiem postępowania. Jednym z powodów jest sprzeczność celów użytkowników składowiska, często innych w różnych fazach jego istnienia.

Zmiana podejścia do zagadnień pozyskiwania i wykorzystywania dostępnych w otoczeniu źródeł energii wskazuje na celowość podjęcia prac nad ostatnim wymienionym obszarem działań.

3. Obniżanie temperatury w bryły zapożarowanego składowiska – przykład

W trakcie budowy składowiska odpadów pogórnich „Waleska” w Łaziskach Górnych doszło do zjawiska pożaru wywołanego przyczynami zewnętrznymi (pożar egzogeniczny) w wyniku intensywnego pożaru w bezpośrednim sąsiedztwie składowiska. Mimo, że składowisko było budowane w sposób, który ograniczał prawdopodobieństwo samozapalenia składowanego materiału to wskutek wystąpienia czynnika zewnętrznego powstały ogniska pożarowe na niewielkiej przestrzeni. Najprostszym sposobem ich likwidacji mogło być wybranie i usunięcie palącego się materiału, a następnie bezpieczne uzupełnienie bryły zagęszczonym, ubogim w substancje palne materiałem. Było to jednak technicznie niewykonalne i stwarzało ryzyko wystąpienia wtórnych ognisk pożarowych wskutek otwarcia bryły – rozszczelnienia składowiska. Zastosowano więc innowacyjną metodę [14] polegającą na szybkim odbiorze ciepła z bryły składowiska i usunięciu ze strefy zapożarowanej tlenu przez wlewanie do ognisk pożarowych i ich sąsiedztwa ciekłego dwutlenku węgla (CO_2). Istota metody polegała na wywierceniu w strefie zapożarowanej siatki bosych (niezarurowanych na całej długości) otworów wiertniczych o głębokości do około 2,5 m, zacementowaniu w nich krótkich rur z głowicami, a następnie wlewaniu do otworów ciekłego gazu (CO_2) (rys. 6).



Rys. 6. Schemat technologiczny i zdjęcie terenowe wlewni ciekłego CO_2 do bryły składowiska „Waleska”

Podany do bosego otworu ciekły gaz ulegał sublimacji w wyniku rozprężenia (powstawał tzw. suchy lód). Sublimacja dwutlenku węgla powodowała gwałtowne oziębianie otoczenia otworu, a ponadto wszelkie puste przestrzenie wypełniały się obojętną mieszaniną gazów ubogą w tlen. Kilkakrotnie powtórzona operacja wlewania ciekłego dwutlenku węgla doprowadziła do trwałej likwidacji istniejących ognisk pożarowych i zapobiegła powstaniu nowych ognisk. Należy jednak zwrócić uwagę, że metoda ta wiąże się z emisją CO_2 do atmosfery, ale w przypadku działań doraźnych może to być uzasadnione.

4. Zagadnienie odzysku ciepła ze składowiska odpadów górniczych

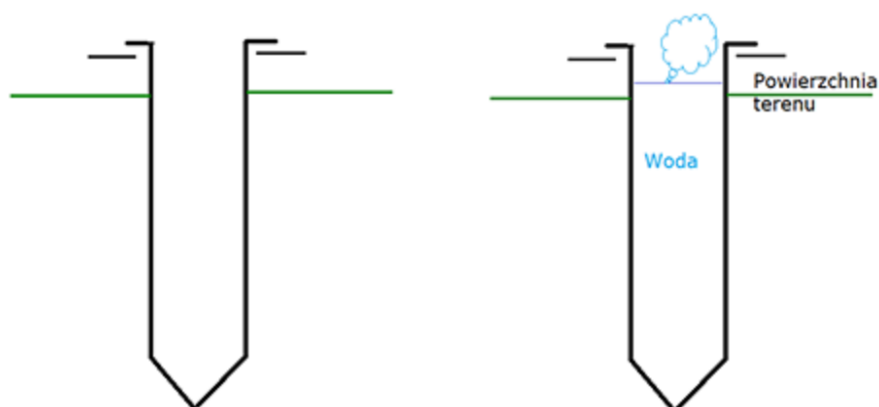
Przeprowadzone próby odbierania ciepła ze składowiska odpadów za pomocą pionowych wymienników ciepła tzw. rury Fielda wykazały możliwość wykorzystania tego ciepła ze składowiska z istniejącymi ogniskami pożarowymi [15, 16]. Badania prowadzono m.in. na składowisku odpadów Skalnych w Łaziskach Górnych w czasie, kiedy nie było w Polsce zainteresowania wykorzystaniem takich źródeł ciepła, a ponadto znajdująca się w bezpośrednim sąsiedztwie elektrownia węglowa dysponowała nadmiarem energii cieplnej oddawanej do atmosfery na chłodniach kominowych. Poszukiwanie alternatywnych źródeł energii, w tym cieplnej, stało się trendem rozwojowym z chwilą stwierdzenia zagrożenia spowodowanego globalnym ociepleniem wywołanym działalnością ludzką wskutek rosnącej emisji gazów cieplarnianych. Składowiska odpadów pogórnich to przeważnie duże objętości, a tym samym masy odpadów, które mogą być rezerwuarem energii cieplnej. Składowiska odpadów z procesów wzbogacania (oczyszczania) węgla surowego i niehandlowego urobku z kopalń węgla zawierające skłoną do samoutlenienia substancję węglową mogą być dodatkowo źródłem ciepła z tych procesów naturalnych. Ciepło to emitowane było dotychczas bezproduktywnie do atmosfery. Obecnie są łatwo dostępne techniki i technologie odbioru ciepła w postaci wymienników poziomych czy pionowych, ale możliwość ich wykorzystania na składowiskach odpadów górniczych w budowie nie może utrudniać procesów technologicznych tam realizowanych. Ponadto stosowane wspólnie wymienniki ciepła są wrażliwe na uszkodzenia.

5. Nowe spojrzenie na prewencję pożarową i korzystanie ze składowiska w cyklu jego życia

Cykl życia składowiska odpadów pogórnich składa się z kilku etapów, z których od każdego oczekuje się spełnienia innych funkcji:

- w fazie budowy: wydajny i nieskomplikowany odbiór i składowanie odpadów, umożliwiające prowadzenie procesów wydobywania i wzbogacania (oczyszczania) węgla surowego bez ograniczeń,
- po zakończeniu składowania: minimalnymi nakładami na monitoring i utrzymanie składowiska, a czasami wręcz ich zaniechanie,
- wtórne wykorzystanie składowiska jako terenu lub surowca antropogenicznego.

Konsekwencją takiego stanu rzeczy może być brak możliwości odzyskania terenu składowiska z powodu występowania zjawisk pożarowych, które jednak mogą wystąpić już w trakcie procesu jego budowy (składowania odpadów). Jednocześnie podjęcie już w trakcie budowy działań nakierowanych na niedopuszczenie do zagrzewania się zdeponowanego materiału i zakończenie jego utleniania wietrzeniem może przyspieszyć odzyskanie terenu składowiska do użytkowania. Poniżej przedstawiono koncepcję metody spełniającej różne funkcje w cyklu życia składowiska. W fazie I obejmującej budowę i przekazywanie składowiska do innego użytkowania istotne jest niedopuszczenie do samopodtrzymującego się zagrzewania substancji węglowej bez utrudniania operacji technologicznych budowy składowiska. W tym celu proponuje się osadzanie w bryle składowiska zaślepionych rur stalowych z kołnierzami na znajdującej się na powierzchni części rury (rys. 7). Rury o długości do około 3 m można osadzać, zależnie od warunków, metodą wbijania lub osadzania w wywierconych wcześniej otworach.



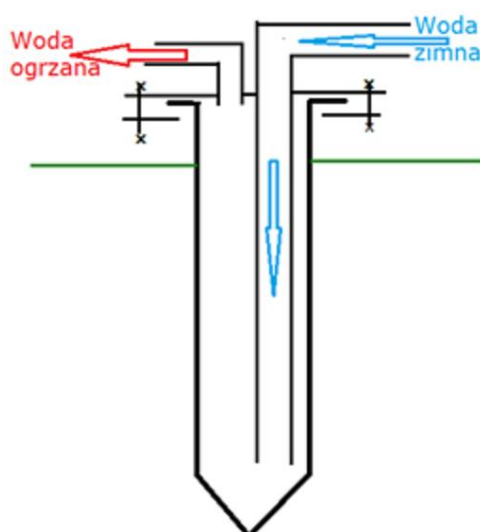
Rys. 7. Faza I metody – schemat osadzania rur w bryle składowiska i wypełniania ich wodą

Po osadzeniu rurę należy napęłnić wodą. Ciepłó dopływające ze składowiska do rury będzie powodowało parowanie wody, więc wodę należy na bieżąco uzupełniać. Należy zwrócić uwagę, że rury ułatwią pomiar temperatury, a intensywne parowanie z rury może świadczyć o rozwoju ognisk pożarowych. Rury należy osadzać na powierzchniach, na których zakończono już operacje technologiczne związane ze składowaniem odpadów (np. na zboczach składowisk nadpoziomych lub skarpowych). Rury mogą być osadzone pionowo lub ukośnie. Operacja okresowego uzupełniania wody w rurach nie wymaga szczególnych instalacji, zwłaszcza, że bardzo często stosuje się wodę do zwalczania zapylenia w operacjach technologicznych i jest ona dowożona.

Po zakończeniu prac związanych ze składowaniem odpadów (lub jeżeli istnieją warunki i potrzeby już w trakcie) należy wykorzystać osadzone w składowisku rury (po ich wypłukaniu) do osadzenia w nich pionowych wymienników ciepła; jest to II faza polegająca na odbieraniu ciepła celem jego gospodarczego wykorzystania (rys. 8).

W przypadku stwierdzenia nadmiernej temperatury powrotnej medium transportującego ciepłó, co może być sygnałem o wystąpieniu w bryle składowiska ogniska pożarowego, należy wyjąć wymiennik z rury i napęłnić ją wodą jak w fazie I.

Kluczowym celem rozwiązania jest prewencja pożarowa w całym cyklu życia składowiska odpadów powęglowych ze stworzeniem od początku podstawowej infrastruktury technicznej dla wykorzystania ciepła z procesów zachodzących w składowisku, w tym jego dużej masy i związanej z rodzajem składowanego materiału dużej pojemności cieplnej. Wspólcześnie powszechnie stosowane są gruntowe pompy ciepła, dla których system osadzonych w bryle składowiska rur jest pierwszym, ale podstawowym elementem infrastruktury.



Rys. 8. Schemat fazy II – wykorzystanie osadzonej w składowisku rury jako wymiennika ciepła

Wszystkie elementy rozwiązania są indywidualnie znane i stosowane.

6. Podsumowanie

Pomimo, że wszystkie elementy rozwiązania są praktycznie stosowane to wymagają one, jako zintegrowana metoda, badań aplikacyjnych celem sprawdzenia jej praktycznej przydatności i ewentualnego dopracowania. Praktycznego ustalenia wymaga m.in. gęstość siatki osadzonych rur.

Literatura

1. Korski J., Fajfer J., Rolka M., Hensłok P., Bodynek P., Świąder J., Kubisiak M.: Przekształcenia środowiska geologicznego spowodowane działalnością przemysłową w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym - problematyka składowania odpadów. W: Geologia i zagadnienia ochrony środowiska w regionie Górnośląskim. LXXVI Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Rudy k/Rybnika, 14-16 września 2005. Materiały konferencyjne. Pod red. J. Jureczki, Z. Buły, J. Żaby. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2005, s. 223-232
2. Korski J.: Zarządzanie kryzysowe w sytuacji zagrożenia ekologicznego – pożaru składowiska odpadów górniczych. Materiały Konferencyjne KOMEKO 2007. KOMAG, Gliwice 2007. s.67-76. ISBN 978-83-60708 -03-3
3. Cebulak S., Śmieja-Król B., Tabor A., Misz M., Jelonek I, Jelonek Z.: Oksyreaktywna analiza termiczna (OTA) - dobra i tania metoda oceny samozapalności węgla na składowiskach - wstępne wyniki badań. In: Jureczko J., Buła Z., Żaba J. [red.]: Geologia i zagadnienia ochrony środowiska w regionie górnośląskim. Państwowy Instytut Geologiczny i Polskie Towarzystwo Geologiczne, Warszawa, 2005
4. Cebulak S., Gawęda A., Jernowaja I.: Application of the Oxyreactive Thermal Analysis to the investigation of the carbonized substances in rocks. Conference and exhibition "Modern exploration and improved oil and gas recovery methods", Kraków 1998
5. Cebulak S., Langier-Kuźniarowa A.: Application of Oxyreactive Thermal Analysis to examination of organic matter associated with rocks. Journal of Thermal Analysis nr 50, 1997



6. Maciejasz Z., Kruk F.: Pożary podziemne w kopalniach. Cz. 1. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice 1977
7. Korski J., Friede R., Henslok P.: Likwidacja egzogenicznych ognisk pożarowych składowiska odpadów pogórnich „Waleska” w Łaziskach Górnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1715: Górnictwo z. 271, Gliwice, 2006
8. Korski J., Henslok P., Bodynek P.: Doświadczenia z likwidacji zapożarowania składowiska odpadów powęglowych "Skalny" w Łaziskach Górnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1650 Górnictwo Z. 261, s. 461-474. Gliwice 2004
9. Wasilewski S., Korski J.: Wczesne wykrywanie pożarów jako element monitoringu składowisk odpadów powęglowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 8(474) Sierpień 2010
10. Książkiewicz M.: Geologia dynamiczna, Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, 1972
11. Gabzdyl W.: Geologia złóż węgla. Złóża świata. Polska Agencja Geologiczna. 1996
12. Misiak J.: Skład petrograficzny i formy litotypów węgla kamiennego w utworach karbonu górnego Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. Gospodarka surowcami mineralnymi – mineral resources management 2017 Volume 33 Issue 3, pp. 109–120
13. Sprawozdanie z wykonanych prac wiertniczych na terenie hałdy „Skalny” w Łaziskach Górnych dla rozpoznania budowy składowiska, warunków gruntowych i termicznych. CBC Geologia, Katowice, kwiecień-maj 2002
14. Buchwald P., Korski J.: Zastosowanie ciekłego CO₂ do profilaktyki i zwalczania ognisk pożarowych składowisk odpadów pogórnich. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków 2006
15. Różański Z.: Pozyskiwanie ciepła ze składowisk odpadów powęglowych podlegających naturalnym procesom utleniania. Praca doktorska, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach, grudzień 2002 [materiały niepublikowane]
16. Różański Z.: Badania doświadczalne i modelowe nad pozyskiwaniem energii cieplnej z aktywnego termicznie zwałowiska odpadów powęglowych. W red.: 10-ta Sesja Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej, Gliwice, Polska 14-18 luty 2005: Referaty. Instytut Geotechnologii, Geofizyki Górniczej i Ekologii Terenów przemysłowych Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Ss. 585-596