

Marta Wójcik

Azbest w odpadach motoryzacyjnych. Współczesne metody recyklingu odpadów azbestowych z sektora motoryzacyjnego

JEL: Q01. DOI: 10.24136/atest.2018.016.

Data zgłoszenia: 27.03.2018. Data akceptacji: 21.04.2018.

Rosnące wymagania w zakresie ochrony środowiska i gospodarki odpadami skutkują koniecznością poszukiwania nowych, a zarazem efektywnych, metod recyklingu różnych frakcji odpadów. Z punktu widzenia nauk technicznych i przyrodniczych niezwykle istotna jest utylizacja odpadów niebezpiecznych, które – niewłaściwie zagospodarowane – prowadzą do degradacji środowiska. Szczególnie niebezpiecznym odpadem jest azbest, stosowany do niedawna w wielu sektorach gospodarki, w tym również w przemyśle motoryzacyjnym. Pomimo wprowadzonego w wielu krajach zakazu produkcji i użytkowania, odpady zawierające minerały azbestowe są nadal obecne w środowisku.

Potrzeba utylizacji odpadów azbestowych doprowadziła do rozwoju badań nad opracowaniem wysokoefektywnych metod recyklingu, opartych na zastosowaniu różnych technologii. W artykule zaprezentowano obecny stan wiedzy dotyczący odpadów zawierających azbest, ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu motoryzacyjnego. Przedstawiono również sposoby recyklingu azbestu, stosowane zarówno w skali przemysłowej, jak i testowane w warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: azbest, recykling, przemysł motoryzacyjny, odpady, ekologia, bezpieczeństwo ekologiczne.

Wstęp

Brak dostrzegania problemu zanieczyszczenia powietrza i gleby przez transport drogowy w połowie XX w. skutkowało stosowaniem w pojazdach szkodliwych i nierzadko rakotwórczych, stosowanego również obecnie w sektorze motoryzacyjnym, jest azbest.

Azbest jest włóknistym minerałem klasyfikowanym do grupy uwodnionych krzemianów metali, zawierających magnez, sód, wapń lub żelazo [26]. Specyficzne właściwości fizyko-chemiczne, w tym odporność na działanie wysokich temperatur i substancji żrących, oraz niskie koszty pozyskiwania spowodowały jego powszechne użycie w wielu dziedzinach gospodarki. Wytrzymałość na działanie różnych czynników oraz brak zdolności do biodegradacji powodują, że azbest jest materiałem praktycznie niezniszczalnym i po wprowadzeniu do środowiska może w nim pozostać przez setki lat [8, 28].

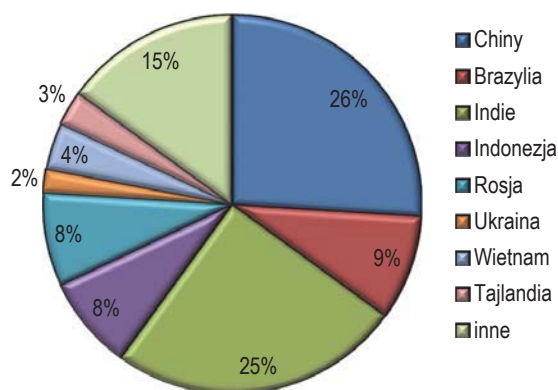
Pomimo występowania już od czasów starożytnych, apogeum wydobycia azbestu przypada na lata 70. i 80. XX w. (nawet blisko 5 mln t rocznie) [2]. Głównymi dostawcami minerału na światowy rynek były: Kanada, Włochy, Chiny, RPA oraz ZSRR [12]. W Polsce nie występują złoża azbestu, jednak materiał ten może stanowić zanieczyszczenie innych naturalnych surowców, zwłaszcza na terenie Dolnego Śląska [38]. Pomimo wprowadzonego w wielu krajach zakazu stosowania, obecnie światowa produkcja azbestu szacowana jest na około 2 mln t [36].

Charakterystyka fizyko-chemiczna oraz korzystne właściwości mechaniczne umożliwiły zastosowanie azbestu jako głównego komponentu do produkcji blisko 3 tys. wyrobów przemysłowych [25]. Minerale azbestowe znalazły zastosowanie w budownictwie, motoryzacji, przemyśle chemicznym, maszynowym oraz włókienniczym do produkcji [31]:

- ♦ wyrobów azbestowo-ceramicznych, m.in. płyt falistych, elewacji budynków (zawartość azbestu do 20%);
- ♦ sznurów i tkanin ognioochronnych oraz koców gaśniczych (zawartość azbestu: 16÷30%);
- ♦ okładzin ciernych i tarcz hamulcowych (zawartość azbestu do 75%);
- ♦ materiałów okładzinowych (zawartość azbestu: 20÷40%);
- ♦ rur wodociągowych i kanalizacyjnych (zawartość azbestu: 10÷18%).

Wzrost świadomości społecznej dotyczącej szkodliwości wyrobów zawierających azbest spowodował ograniczenia w zakresie jego eksploatacji. Efektem podjętych działań były wprowadzane w wielu krajach ograniczenia w produkcji wyrobów z domieszkami azbestu. Po raz pierwszy zakaz stosowania azbestu wprowadzono w latach 80. w Islandii i w Szwecji, a obecnie w całej Unii Europejskiej zabroniona jest eksploatacja minerałów azbestowych. W Polsce konsumpcja azbestu zabroniona jest od 28 marca 1999 r. na mocy Ustawy z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest [37]. Dodatkowo unijne prawodawstwo narzuca obowiązek wyeliminowania z terenu Polski wszystkich odpadów zawierających azbest najpóźniej do końca 2032 r. [27]. Wprowadzone w kraju ograniczenia produkcyjne i eksploatacyjne spowodowały spadek zużycia materiałów azbestowych niemal do zera. Niemniej jednak nadal wysokim zużyciem azbestu charakteryzują się m.in.: Brazylia, Chiny, Rosja, Indie oraz Tajlandia (rys. 1) [11].

Stosowanie azbestu wpływa na zanieczyszczenie środowiska, ale także oddziałuje niekorzystnie na zdrowie i życie człowieka. Pomimo udowodnionych właściwości rakotwórczych azbestu, problemem tym zainteresowano się dopiero pod koniec lat 80. XX w. Eksploatacja wyrobów azbestowych przyczyniła się w ostat-



Rys. 1. Zużycie azbestu w wybranych krajach w 2012 r.

Tab. 1. Zastosowanie azbestu w przemyśle motoryzacyjnym

	Zastosowanie	Charakterystyka
Układ hamulcowy		W krajach, gdzie nie obowiązuje zakaz stosowania azbestu, jest on powszechnie stosowany w produkcji pedałów i tarcz hamulcowych. Użycie azbestu stanowi izolację przed ciepłem generowanym na skutek tarcia.
Sprzęgła		Zastosowanie azbestu do produkcji sprzęgieł chroni je przed korozją i nadmiernym zużyciem. W krajach, gdzie nie obowiązuje zakaz stosowania azbestu, materiał ten nadal jest powszechnie stosowany do wyrobu sprzęgieł.
Uszczelki		Zastosowanie materiałów azbestowych w produkcji uszczelnień zwiększa ich trwałość i chroni przed przenikaniem ciepła. Produkcja uszczelnień z azbestu jest nadal praktykowana, zwłaszcza w krajach Azji.
Pierścienie zaworów		Pierścienie zaworów zawierających domieszkę azbestu nadal stosowane są w samochodach produkowanych w krajach, gdzie nie obowiązuje zakaz stosowania azbestu.
Izolacje termiczne		Podobnie jak i inne części motoryzacyjne, nadal w Azji produkowane są izolacje zawierające azbest. Chronią one przed przenikaniem ciepła między różnymi elementami silnika.
Elementy pierścieni tłokowych		Azbest znalazł zastosowanie w produkcji pierścieni tłokowych celem zmniejszenia zużycia ścianek cylindrów pojazdów samochodowych. Nadal stanowi komponent samochodów i autobusów produkowanych w niektórych krajach azjatyckich.
Elementy silników samochodowych		W wielu samochodach, zwłaszcza produkowanych na rynek azjatycki, azbest stosowano jako komponent części silnikowych w celu ochrony przed działaniem wysokiej temperatury.
Materiały izolacyjne nadwozia		Azbest znalazł również zastosowanie jako materiał izolacyjny nadwozia pojazdów w celu utrzymania odpowiedniej temperatury we wnętrzu.
Akumulatory		Azbest stosowano również jako izolację termiczną w obudowach akumulatorów samochodów i autobusów. Materiał może być nadal obecny w akumulatorach produkowanych w Chinach lub innych krajach azjatyckich.

Źródło: fotografie [15].

nich dziesięcioleciach do ponad 100 tys. zgonów rocznie, co umożliwiło zaklasyfikowanie minerałów azbestowych do najbardziej rozpowszechnionych czynników rakotwórczych w środowisku i wprowadzenie ograniczeń produkcyjnych i importowych [16].

Stopień szkodliwości azbestu uzależniony jest od jego zdolności emisyjnych [23]. Chorobotwórcze działanie minerału jest skutkiem wdychania włókien zawartych w powietrzu. Badania wykazały, że największe zagrożenia dla zdrowia ludzi stanowią tzw. włókna respirabilne o średnicy poniżej 3 μm oraz długości powyżej 5 μm, które pozostają na stałe w płucach [31]. Skutkiem narażonej ekspozycji na działanie azbestu mogą być liczne choroby układu oddechowego, m.in. pylica azbestowa, przewlekłe zapalenie oskrzeli oraz rak płuc [10].

Azbest w przemyśle motoryzacyjnym i transporcie

Jednym ze źródeł azbestu w środowisku są odpady motoryzacyjne. Pomimo obowiązującego od końca lat 90. zakazu stosowania materiału w motoryzacji i transporcie, odpady zawierające azbest mogą nadal zalegać na składowiskach i skutkować degradacją środowiska wodnego i glebowego.

Minerały azbestowe, w szczególności azbest amfibolowy, stosowane były od początku produkcji klocków hamulcowych i okładzin ciernych do różnych typów pojazdów, w tym autobusów [19]. W krajach azjatyckich, gdzie dotychczas nie obowiązują zakazy stosowania azbestu, materiał jest również powszechnie wykorzystywany do wytwarzania uszczelnień i części układu spalania, w sprzęgłach, uszczelnieniach, akumulatorach, pierścieniach zaworów, a nawet w elementach silników (tab. 1). Głównymi zaletami produkcji części motoryzacyjnych zawierających azbest były: trwałość, odporność na działanie wysokich temperatur (nawet do 1 400 °C), kwasoodporność oraz wysoka wartość współczynnika tarcia [19]. Elementy zawierające minerały azbestowe stosowano ponadto powszechnie w samolotach, pociągach oraz w przemyśle okrętowym do budowy statków pasażerskich i marynarki wojennej [18]. Projektując azbestowe tarcze i klocki hamulcowe, początkowo uwzględniano wyłącznie cechy mechaniczne materiału, zupełnie pomijając aspekty środowiskowe.

Rozwój badań nad kancerogennym wpływem wyrobów azbestowych na zdrowie człowieka skutkowało wprowadzeniem zakazu stosowania azbestu w produkcji materiałów hamulcowych. Wykazano, że podczas pracy klocki hamulcowe emitują pył o zdolności do penetracji w płucach oraz do rozwoju nowotworów [34].

Pomimo wprowadzonych restrykcji w 53 krajach Europy i Ameryki, nadal w Azji dozwolona jest produkcja pojazdów zawierających komponenty azbestowe. W 2012 r. obecność minerałów azbestowych wykryto w silnikach oraz układach wydechowych chińskich marek samochodów, m.in. Great Wall oraz Chery [17]. Z kolei w 2005 r. ujawniono obecność azbestu w częściach samochodowych kilkunastu koncernów, m.in. Toyota, Suzuki Motors, Isuzu Motors, Nissan, Hino Motors, Mitsubishi oraz Yamaha [21]. Według danych statystycznych na światowych drogach może poruszać się nawet do 2 mln pojazdów zawierających części wykonane z minerałów azbestowych [20].

Na rynku europejskim pojazdy zawierające azbest nie znajdują się w powszechnym użyciu, jednak niebezpieczeństwo związane z emisją szkodliwego pyłu nie zostało



Fot. 1. Nielegalnie składowane wraki samochodowe zawierające części azbestowe [20]

zredukowane do zera. Źródłem rakotwórczych włókien mogą być również niewłaściwie unieszkodliwione wraki pojazdów z lat 80. i 90. XX w. (fot. 1). Z tego względu niezbędne jest opracowanie i wdrożenie wysokoefektywnych procesów recyklingu wyeksploatowanych części motoryzacyjnych zawierających azbest, które pozwolą w znacznym stopniu ograniczyć szkodliwy wpływ na środowisko naturalne oraz zdrowie i życie ludzi.

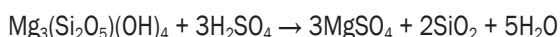
Metody recyklingu odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest

Od lat prowadzone są intensywne prace badawcze nad opracowaniem efektywnej i zarazem bezpiecznej pod względem ekologicznym metody utylizacji odpadów azbestowych. Większość z nich działa w oparciu o zniszczenie szkodliwej struktury włókien azbestu i przekształceniu jej w amorficzną substancję o potencjalnej zdolności do dalszego wykorzystania. Wśród najczęściej stosowanych technologii recyklingu azbestu wymienia się [40]:

- ♦ rozpuszczanie w środowisku kwaśnym z zastosowaniem kwasów nieorganicznych (m.in. H_2SO_4 , H_3PO_4) lub kwasów organicznych;
- ♦ rozpuszczanie w środowisku mocnej zasady, np. przy udziale stężonego NaOH;
- ♦ działanie freonów w atmosferze przegrzanej pary wodnej;
- ♦ obróbkę mechaniczną z zastosowaniem młynów wysokoenergetycznych;
- ♦ obróbkę termiczną z wykorzystaniem metod konwencjonalnych;
- ♦ zeszkliwanie, wityfikację i stapianie razem z topnikami przy użyciu metody plazmowej.

Oprócz ww., zastosowanie na etapie testów laboratoryjnych znalazły również metody niekonwencjonalne, warunkujące przydatność otrzymanego recyklatu w różnych dziedzinach gospodarki, zwłaszcza w sektorze budowlanym.

Laboratoryjne metody utylizacji azbestu prowadzone są w większości z zastosowaniem kwasów organicznych lub nieorganicznych, wśród których największą popularność zyskał kwas siarkowy (VI). Proces recyklingu odpadów azbestowych oparty jest na reakcji chemicznej (1) [14]:



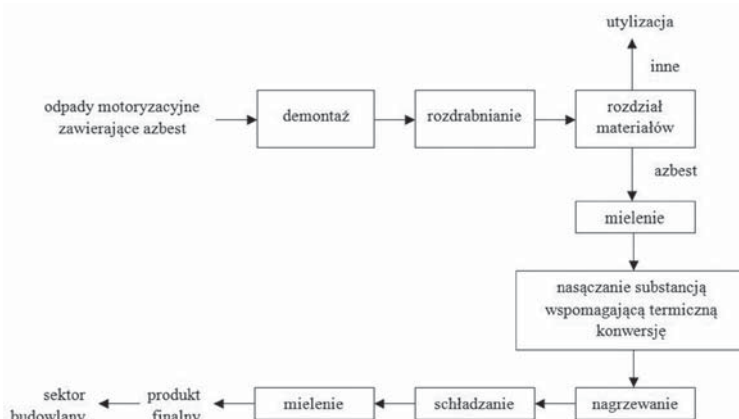
Wadą metody jest jednak ograniczona zdolność do odzysku magnezu na skutek utrudnionego transportu jonów przez wąskie kanały znajdujące się w warstwie nieaktywnej krzemionki. Wydajność procesu można zwiększyć poprzez zastosowanie drugie-

go kwasu, np. fluorowodorowego, jednak z uwagi na potencjalne zagrożenie dla środowiska metoda nie znajduje powszechnego zastosowania. Obróbka z użyciem 2 kwasów generuje również wysokie koszty, dochodzące do nawet 2 500 zł za utylizację 1 t odpadów azbestowych [40].

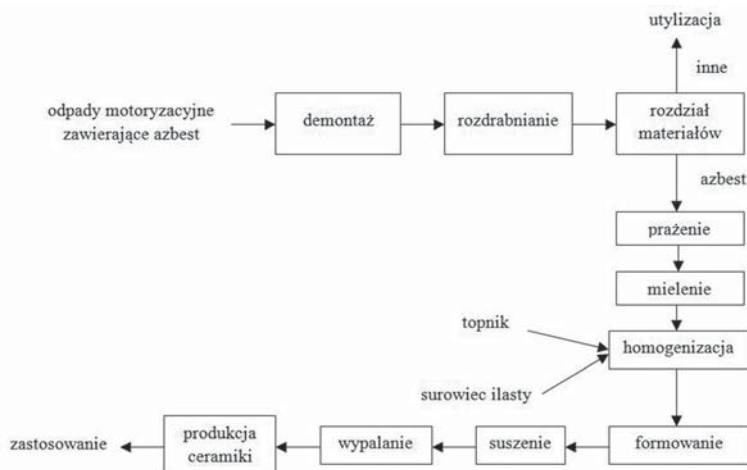
Skuteczną metodą recyklingu odpadów azbestowych, stosowaną w szczególności w krajach wysokorozwiniętych, jest wityfikacja. Mechanizm procesu polega na destrukcji włókien azbestowych w temperaturze rzędu $1\ 200 \pm 1\ 600\ ^\circ C$ [35]. Oprócz zniszczenia włókien azbestowych, metoda zapewnia nawet 50-procentowe zmniejszenie objętości przetwarzanych odpadów [24]. Końcowym produktem wityfikacji jest amorficzna substancja o wysokiej twardości, wykazująca przydatność jako zamiennik kwarcu i bazaltu w budownictwie [3]. Modyfikacją tradycyjnej metody wityfikacji może być również proces działający na zasadzie tzw. ogrzewania Joula. Instalacje działające w oparciu o wspomnianą technologię zapewniają nawet 80-procentowe zmniejszenie objętości przetwarzanego azbestu względem początkowej wartości [34]. Oprócz wysokiej skuteczności działania, metoda wityfikacji wykazuje wady związane z kosztami dostarczania energii elektrycznej [13].

Recykling odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest może być prowadzony przy łącznym użyciu metod mechanicznych i termicznych. Proces oparty na bezodpadowej technologii MTT (*Microwave Thermal Treatment*) polega na mechanicznej obróbce materiału oraz unieszkodliwieniu go w wysokoenergetycznym reaktorze w warunkach wysokiej temperatury (około $1\ 000\ ^\circ C$) – por. rys. 2.

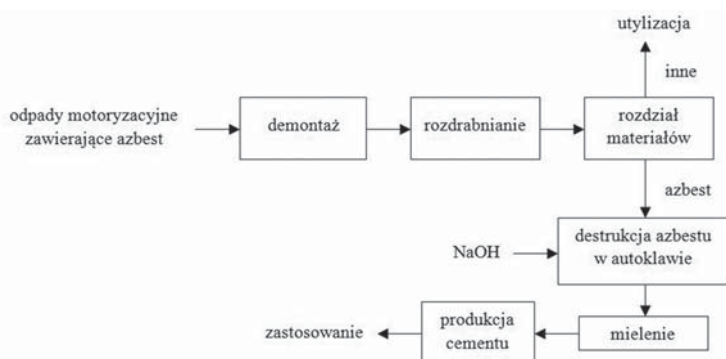
Pierwszy etap procesu polega na mechanicznej obróbce odpadów, składającej się z kruszenia oraz wydzielenia frakcji azbestu. Celem zwiększenia powierzchni reakcyjnej rozdrobniony azbest poddaje się dodatkowemu mieleniu w hermetycznej komorze. Degradację azbestu wspomaga się również poprzez wymieszanie z niewielką ilością substancji wspomagającej termiczną konwersję. Rozdrobnione oraz nasączone odpady za pomocą transportera ślimakowego kierowane są do komory reaktora mikrofalowego, gdzie przy wykorzystaniu energii mikrofal następuje właściwy proces recyklingu. W wyniku nagrzewania do temperatury około $1\ 000\ ^\circ C$ w czasie od 15 do 45 min krystaliczna struktura azbestu na skutek rozerwania włókien azbestowych ulega konwersji do formy bezpostaciowej. Dodatkowo odparowanie części wilgoci zawartej w odpadach warunkuje wstępne nagrzewanie przez gazy odlotowe. Uzyskany na etapie recyklingu spopielony produkt doprowadzany jest następnie do komory schładzania, w której



Rys. 2. Recykling odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest przy wykorzystaniu technologii MTT



Rys. 3. Recykling odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest w produkcji materiałów ceramicznych



Rys. 4. Recykling odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest z zastosowaniem NaOH i autoklawu

odzyskiwana jest część ciepła wykorzystywana następnie do wstępnego podgrzewania odpadu. Metoda recyklingu azbestu przy zastosowaniu technologii MTT warunkuje nawet kilkunastokrotne zmniejszenie objętości przetwarzanych odpadów. Dodatkowo końcowy produkt utylizacji wykazuje przydatność w sektorze budowlanym, w tym również w budownictwie drogowym [29, 33].

Innowacyjna metoda recyklingu odpadów azbestowych została zaproponowana przez Politechnikę Śląską. Według badań Zaremby i Kusiorowskiego [40] zmielony azbest może stanowić substytut piasku kwarcowego w produkcji ceramiki o spieczonym cieple (rys. 3).

Wyprażony oraz zmielony w hermetycznym urządzeniu azbest poddawany jest homogenizacji z surowcem ilastym oraz topnikiem. Otrzymany produkt podlega następnie formowaniu, suszeniu oraz wypalaniu w wysokiej temperaturze, co zapewnia rozkład szkodliwych włókien azbestowych. Dodatkową korzyścią zaproponowanej metody recyklingu jest również ograniczenie zużycia piasku kwarcowego [40].

Nową metodę recyklingu azbestu zaproponował Debailleul [6]. Wstępnie przetworzony azbest pochodzący z odpadów motoryzacyjnych poddaje się działaniu NaOH w autoklawie w temperaturze od 175 do 200 °C i pod ciśnieniem 0,3÷1,0 MPa (rys. 4). W efekcie następuje destrukcja szkodliwych włókien azbestowych i wytworzenie amorficznej substancji, która wykazuje przydatność w budownictwie drogowym. Pomimo udowodnionych zalet (m.in. niska szkodliwość dla środowiska) metoda wykazuje trudność we wdrożeniu na szerszą skalę.

Recykling azbestu w oparciu o działanie metod termicznych i chemicznych został również zaproponowany przez Pawełczyka i wsp. [32]. Odpady azbestowe mieszane są z węglanem sodu w proporcji 1:8 i stopniowo podgrzewane do temperatury około 800 °C w czasie 45 min. W efekcie następuje reakcja materiału azbestowego z Na_2CO_3 . Uzyskaną substancję podaje się działaniu wody królewskiej przez 30 min. Końcowym produktem procesu jest materiał zawierający znaczne ilości wapnia i magnezu, wykazujący przydatność w budownictwie. Z kolei odzyskana z fazy ciekłej krzemionka może być stosowana jako wypełniacz w produkcji tworzyw sztucznych i wyrobów gumowych [32].

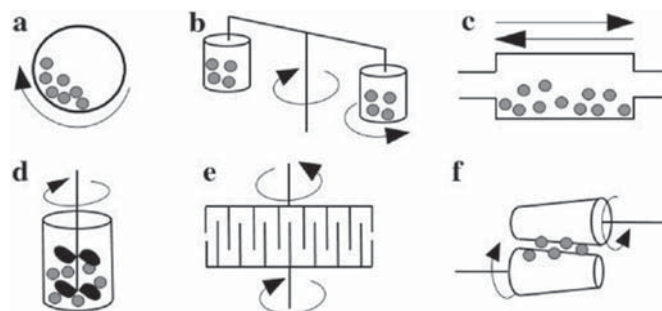
W celu ograniczenia zużycia chemicznych reagentów utylizacja azbestu może być prowadzona przy wykorzystaniu wysokoenergetycznych młynów (rys. 5). Wydzielony z odpadów motoryzacyjnych azbest poddaje się mieleniu z szybkością około 650÷700 obr./min w czasie 1÷3 h (rys. 6). Na skutek transferu energii i zmniejszenia wielkości krystalitów materiał ulega amorfizacji. Finalnym produktem zaproponowanej metody jest drobnoziarnisty proszek o średnicy poniżej 100 μm, dużej powierzchni właściwej i korzystnych właściwościach mechanicznych [25]. Badania Colangelo i wsp. [5] wykazały, że otrzymany w procesie recyklingu azbestu proszek może stanowić alternatywę dla dodatków pucolanowych stosowanych przy produkcji cementu lub betonu.

Wśród niekonwencjonalnych metod recyklingu azbestu należy wymienić sposób zaproponowany przez Martina i wsp. [30]. Metoda oparta na działaniu napięcia rzędu 100÷200 kV skutkuje zmianą struktury materiału na nieszkodliwą dla otoczenia. Głównym mechanizmem modyfikacji azbestu są w tym przypadku procesy jonizacji. Brak szczegółowych analiz skuteczności powoduje, że dotychczas proces znajduje się w fazie testów laboratoryjnych.

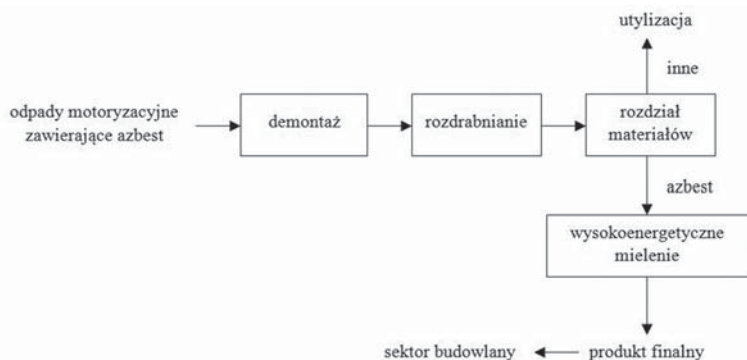
Podsumowanie

Oprócz niewątpliwych korzyści dla społeczeństwa, sektor motoryzacyjny generuje negatywne skutki ekologiczne [4]. Pomimo stosowania nowoczesnych konstrukcji i materiałów, transport samochodowy i autobusowy jest nadal jednym z najmniej przyjaznych środowisku sposobów przemieszczania się [1].

Chociaż problematyka emisji zanieczyszczeń z transportu publicznego jest zagadnieniem omawianym w licznych opracowaniach naukowych [9, 39], w krajowej literaturze niewiele jest informacji o stosowaniu azbestu w sektorze motoryzacyjnym. Powszechnie uważa się, że zakaz produkcji i eksploatacji azbestu w wielu krajach wyeliminował problem związany z jego szkodliwym



Rys. 5. Rodzaje młynów przydatnych w procesie recyklingu odpadów azbestowych: a) młyn kulowy, b) młyn planetarny, c) młyn wibracyjny, d) młyn miedzadłowy, e) młyn palcowy, f) młyn walcowy [34]



Rys. 6. Recykling odpadów motoryzacyjnych zawierających azbest z zastosowaniem młyna wysokoenergetycznego

wpływem na zdrowie i środowisko. Minerale azbestowe należą jednak do materiałów nieulegających biodegradacji i niewłaściwie zagospodarowane mogą pozostać w środowisku przez wieki. Dodatkowy problem stanowi fakt, że w krajach azjatyckich, gdzie użycie azbestu w sektorze motoryzacyjnym nie jest zabronione, intensywnie rozwija się produkcja pojazdów zawierających komponenty z azbestu. W efekcie po drogach na całym świecie może poruszać się nawet kilka milionów takich samochodów i autobusów.

Brak możliwości wyeliminowania azbestu na etapie wytwarzania nowych pojazdów wymaga opracowania i wdrożenia efektywnych metod recyklingu, które spowodują degradację szkodliwych włókien azbestowych z jednoczesnym spełnieniem wymogów prawnych.

Na etapie zarówno badań laboratoryjnych, jak i w skali technicznej, zastosowanie znalazły procesy mechaniczne, chemiczne, termiczne lub kombinacje kilku z powyższych. Jako alternatywne rozwiązanie zaproponowano również metodę działającą w oparciu o działanie napięcia elektrycznego lub młynów wysokoenergetycznych. Wszystkie metody skutkują wytworzeniem amorficznej i obojętnej dla środowiska substancji o potencjalnym zastosowaniu w wielu sektorach gospodarki, w tym również w budownictwie drogowym. Dodatkowo zaproponowane rozwiązania są zgodne z propagowaną w Unii Europejskiej zasadą gospodarki o obiegu zamkniętym i ideą recyklingu [7].

Bibliografia:

- Babula M., Pietruszczak D., *Wybrane aspekty ekologicznych pojazdów samochodowych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
- Bajorek R., Parosa R., *Technologia mikrofalowa – nowatorski sposób utylizacji azbestu*, Dom Wydawniczy Medium, Warszawa 2009.
- Bernardo E., Scarinci G., Edme E., Michon U., Planty N., *Fast-Sintered gehlenite glass-ceramics from plasma-vitrified municipal solid waste incinerator fly ashes*, „Journal of the American Ceramic Society” 2009, Vol. 92 (2).
- Caban J., Sopoćko M., Ignaciuk P., *Eco-driving, przegląd stanu zagadnienia*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
- Colangelo F., Cioffi R., Lavorgna M., Verdolotti L., Stefano L. de, *Treatment and recycling of asbestos-cement containing waste*, „Journal of Hazardous Materials” 2011, Vol. 195.
- Debailleul G., *Process for the treatment of waste containing asbestos*, Patent USA nr 6391271.
- Doliński A., Wojciechowski A., Pietrzak K., Dolińska K., Wołosiak M., *Odzysk materiałowy w recyklingu wielomateriałowych*

części pojazdów samochodowych jako etap wdrażania gospodarki zamkniętego obiegu, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 12.

- Dyczek J., *Azbest i materiały zawierające azbest. Ocena ryzyka emisji włókien azbestu*, [w:] tenże (red.), *Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest*, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2007.
- Dyr T., Osuch M., *Szanse i zagrożenia dla rozwoju przedsiębiorstw PKS*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2007, nr 1–2.
- Foltyń M., *Azbest – kłopotliwa spuścizna*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2007, nr 4.
- Frank A. L., Joshi T. K., *The global spread of asbestos*, „Annals of Global Health” 2014, No. 4 (80).
- Gibbons W., *The Exploitation and Environmental Legacy of Amphibole Asbestos: A Late 20th Century Overview*, „Environmental Geochemistry and Health” 1998, No. 20.
- Gomez E., Rani D. A., Cheeseman C. R., Deegan D., Wise M., Boccaccini A. R., *Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review*, „Journal of Hazardous Materials” 2009, Vol. 161 (2).
- Gronow J. R., *The dissolution of asbestos fibers in water*, „Clay Minerals” 1987, No. 1 (22).
- <http://asbestosglobal.org/asbestos-in-cars/> (dostęp: 12.03.2018).
- <http://biznes.onet.pl/wiadomości/swiat/azbest-wciąż-popularny/w6w20> (dostęp: 12.03.2018).
- http://moto.pl/MotoPL/1,88389,12316088,Chinskie_samochody_z_azbestu.html (dostęp: 12.03.2018).
- <http://www.gospodarkamorska.pl/Porty,Transport/-statki-pzm-wolne-od-azbestu.html> (dostęp: 12.03.2018).
- <http://www.magazynvip.pl/organiczne-klocki-hamulcowe-wady-zalet/> (dostęp: 12.03.2018).
- <http://mycarquest.com/2017/01/asbestos-in-older-cars-how-to-protect-yourself.html> (dostęp: 12.03.2018).
- <http://www.rm24.pl/fakty/swiat/news-japonia-azbest-w-samochodach-toyota,nld,90477> (dostęp: 12.03.2018).
- <http://www.wirtualnemedi.pl/artykul/japonia-w-poltora-miliona-aut-uzyto-azbestu> (dostęp: 12.03.2018).
- <https://portalkomunalny.pl/historia-azbestu-od-euforii-zakazu-314159/2/> (dostęp: 12.03.2018).
- Inaba T., Iwao T., *Treatment of waste by dc arc discharge plasma*, „IEE Transactions on Dielectrics and Industrial Insulation” 2000, Vol. 10 (5).
- Iwaszko J., Zawada A., Lubas M., *Influence of high-energy milling on structure and microstructure of asbestos-cement materials*, „Journal of Molecular Structure” 2018, No. 1155.
- Jawecki B., *Program usuwania azbestu na szczelbu lokalnym – propozycja wytycznych. Część 1*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2008, nr 9.
- Kowalczyk A., Kozłowska E., Pacian J., *Narażenie zawodowe i środowiskowe na azbest w świetle obowiązujących aktów prawnych*, „Journal of Education, Health and Sport” 2015, No. 5 (9).
- Lee R., Strohmeier B., Bunker K., Order D. van: *Naturally occurring asbestos – A recurring public policy challenge*, „Journal of Hazardous Materials” 2008, No. 153.
- Linert S., *Utylizacja azbestu w technologii MTT – w aspekcie badań i analiz laboratoryjnych*, Włocławek 2008.
- Martin J., Beauparlant M., Sauvén S., Espérance G., *Effect of accelerating voltage on beam damage of asbestos fibers in the transmission electron microscope (TEM)*, „Micron” 2017, Vol. 96.

31. Mazur P., Mięka J., Kowalski J. S., *Odporność na korozję geopolimeru na bazie popiołu lotnego*, „Archives of Foundry Engineering” 2013, No. 15 (1).
32. Pawełczyk A., Bożek F., Grabas K., Chęćmanowski J., *Chemical elimination of the harmful properties of asbestos from military facilities*, „Waste Management” 2017, Vol. 61.
33. Pawluk K., *Nowe metody unieszkodliwiania odpadów budowlanych zawierających azbest*, „Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” 2010, nr 3 (49).
34. Spasiano D., Pirozzi F., *Treatments of asbestos containing wastes*, „Journal of Environmental Management” 2017, No. 204.
35. Tu X., Yu L., Yan J., Cen K., Chéron B. G., *Plasma vitrification of air pollution residues from municipal solid-waste incineration*, „IEEE Transactions on Plasma Science” 2010, Vol. 38 (12).
36. Urbaniak W., Staniszewski B., *Azbest – problem ciągle aktualny*, „Recykling” 2005, nr 3.
37. Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest: Dz. U. 1997, Nr 101, poz. 628.
38. Więcek E., *Azbest – narażenie i skutki zdrowotne*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2004, nr 2.
39. Wójcik M., *Technologie recyklingu filtrów cząstek stałych (DPF) z wyeksploatowanych autobusów z silnikiem wysokoprężnym*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 10.
40. Zaremba T., Kusiorowski R., *Możliwości wykorzystania eternitu w przemyśle ceramicznym*, „Materiały Ceramiczne” 2011, nr 63 (2).

Asbestos in automotive waste. Contemporary recycling methods of waste from automotive industry

Increasing requirements concerning the environmental protection and waste management result in the development both new and effective recycling methods of various fractions of waste. From the technical and natural sciences point of view, the utilization of hazardous waste is essential. The inappropriate utilization of hazardous waste causes the environmental degradation. Particularly harmful waste is asbestos using not so long ago in many sectors of economy, including automotive industry. Despite of the ban of production and exploitation of asbestos, waste containing asbestos minerals are still in the environment.

The necessity of the utilization of asbestos waste leads to the development of high-efficiency recycling methods with the application of different technologies. This paper shows the current state of knowledge concerning the asbestos waste with particular reference to the automotive industry. The recycling methods of asbestos used both in laboratory and industrial scale are also presented.

Keywords: asbestos, recycling, automotive industry, waste, ecology, ecological safety.

Autorka:

dr inż. **Marta Wójcik** – Katedra Przeróbki Plastycznej, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza



Adam Szeląg, Zbigniew Drązek, Tadeusz Maciołek

Elektroenergetyka miejskiej trakcji elektrycznej

ISBN 978-83-62805-42-6

Liczba stron: 338

Format: B5

Oprawa: twarda

Rok wydania: 2017

Cena 100,00 zł (w tym 5% VAT)

Monografia stanowi podsumowanie wieloletnich prac naukowo-badawczych i wdrożeniowych oraz zajęć dydaktycznych prowadzonych przez autorów w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej w zakresie elektroenergetyki miejskiego transportu elektrycznego. Omówiono typowe rozwiązania stosowane w miejskiej trakcji elektrycznej, przede wszystkim wśród najbardziej rozpowszechnionych systemów tramwajowych, trolejbusów i metra.

Pełna oferta wydawnicza:

www.inw-spatium.pl