

Opracowanie innowacyjnej technologii rozdziału granulatów kabli miedzianych pochodzących z recyklingu na czystą miedź (Cu) oraz pobiał (CuSn) poprzez zastosowanie hybrydowych metod separacji mechanicznej



Łukasiewicz
Instytut Metali
Nieżelaznych

Piotr Madej¹, Radosław Zybala¹, Marta Lewandowska¹, Łukasz Myćka¹, Łukasz Korytko¹, Tomasz Sak¹, Dawid Sojka¹, Dariusz Lewandowski¹, Grzegorz Krawiec¹, Łukasz Jaworek¹, Maciej Ryłko², Mirosław Fruhauf²

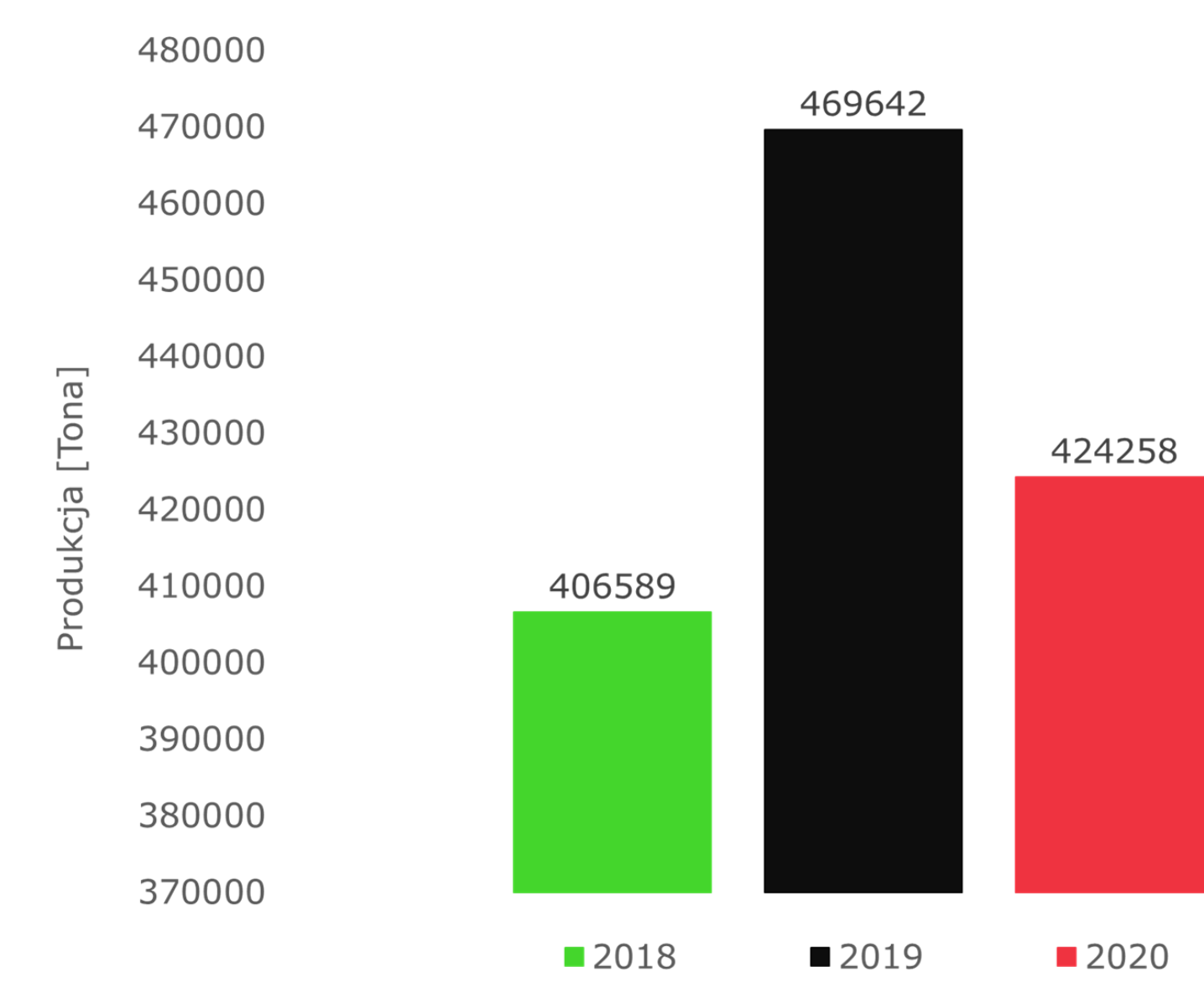
¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych, ul. Sowińskiego 5, 44-100 Gliwice
² Mercury HM Sp. z o.o. Sp. k., ul. Galczyńskiego 6, 43-300 Bielsko-Biała

e-mail: radoslaw.zybala@imn.gliwice.gov.pl, telefon: +48 32 238 02 56

WSTĘP

Rozwój światowej gospodarki wymaga efektywnego wykorzystania surowców pierwotnych, ale także ich ochrony co może zostać osiągnięte poprzez zwiększenie stopnia recyklingu surowców wtórnych. W 2020 r. wyprodukowano w Polsce 424 258 tony kabli miedzianych (Rysunek 1) [1]. Miedź może być nieskończenie przetwarzana i wielokrotnie stosowana bez utraty swoich właściwości. Dlatego dzisiejsze produkty miedziane zawierają średnio ok. 35% miedzi pochodzącej z recyklingu [1]. Recykling miedzi pozwala również na zmniejszenie ilości już wytworzonych odpadów i zminimalizowanie ich oddziaływania na środowisko. Jednym z głównych źródeł miedzi są kable elektro-energetyczne.

Kable elektro-energetyczne, w uproszczeniu, zbudowane są z izolacji zewnętrznej, oplotu, izolacji wewnętrznej i przewodu będącego przewodnikiem prądu (tzw. żyły). Żyłka kabla może być wykonana z drutu lub z linki, która często jest cynowana celem przygotowania jej do montażu w różnego rodzaju złączach czy wtykach. Cynowanie służy również jako ochrona linki przed mechanicznym uszkodzeniem. Dodatkowo niektóre rodzaje kabli zawierają elementy konstrukcyjne wykonane ze stali, których zadaniem jest podniesienie wytrzymałości mechanicznej przewodu. W technologiach stosowanych w recyklingu kabli i przewodów elektrycznych są wykorzystywane linie wielostanowiskowe. Urządzenia składowe linii są przeznaczone do usuwania tworzyw sztucznych, oplotów, stalowych elementów konstrukcyjnych kabli oraz wydzielania miedzi.



Rysunek 1. Produkcja kabli elektro-energetycznych w Polsce w latach 2018-2020 [1]

CEL PROJEKTU

Celem projektu jest opracowanie i wdrożenie innowacyjnej, zautomatyzowanej technologii rozdziału zmieszanych granulatów, uzyskiwanych z przewodów i kabli miedzianych (Rysunek 2) za pomocą mechanicznych metod separacji. Opracowana technologia ma pozwolić na odseparowanie recyklatu polimerowego (izolacji kabli) oraz elementów konstrukcyjnych (stalowych i aluminiowych) od zmieszanego granulatu miedzianego, a następnie jego rozdział na dwie kategorie jakościowe:

- granulat miedzi czerwonej (Cu) o czystości co najmniej 99%,
- granulat miedzi pocynowanej (CuSn) o czystości co najmniej 95%.

Uzyskany w ten sposób granulat miedzi czerwonej (Cu) może być bezpośrednio zastosowany przy produkcji wyrobów miedzianych bez konieczności jego dodatkowej rafinacji co przełoży się pośrednio na ograniczenie emisji CO₂ i ścieków. Realizacja projektu została podzielona na trzy etapy:

- etap 1 – badania laboratoryjne separacji granulatów kabli elektrycznych od elementów konstrukcyjnych i izolacji oraz ich rozdziału na miedź czerwoną (Cu) i pocynowaną (CuSn) wraz z zaprojektowaniem odpowiednich procesów technologicznych,
- etap 2 – budowa i uruchomienie linii pilotowej do weryfikacji opracowanej technologii separacji i rozdziału granulatów kabli elektrycznych,
- etap 3 – badania weryfikacyjne i optymalizacyjne opracowanej technologii na linii pilotowej oraz funkcjonalności gotowych produktów z uzyskanego granulatu miedzi czerwonej (Cu).



Rysunek 2. Przykładowe przekroje badanych kabli elektro-energetycznych

Badania usuwania elementów konstrukcyjnych z kabli

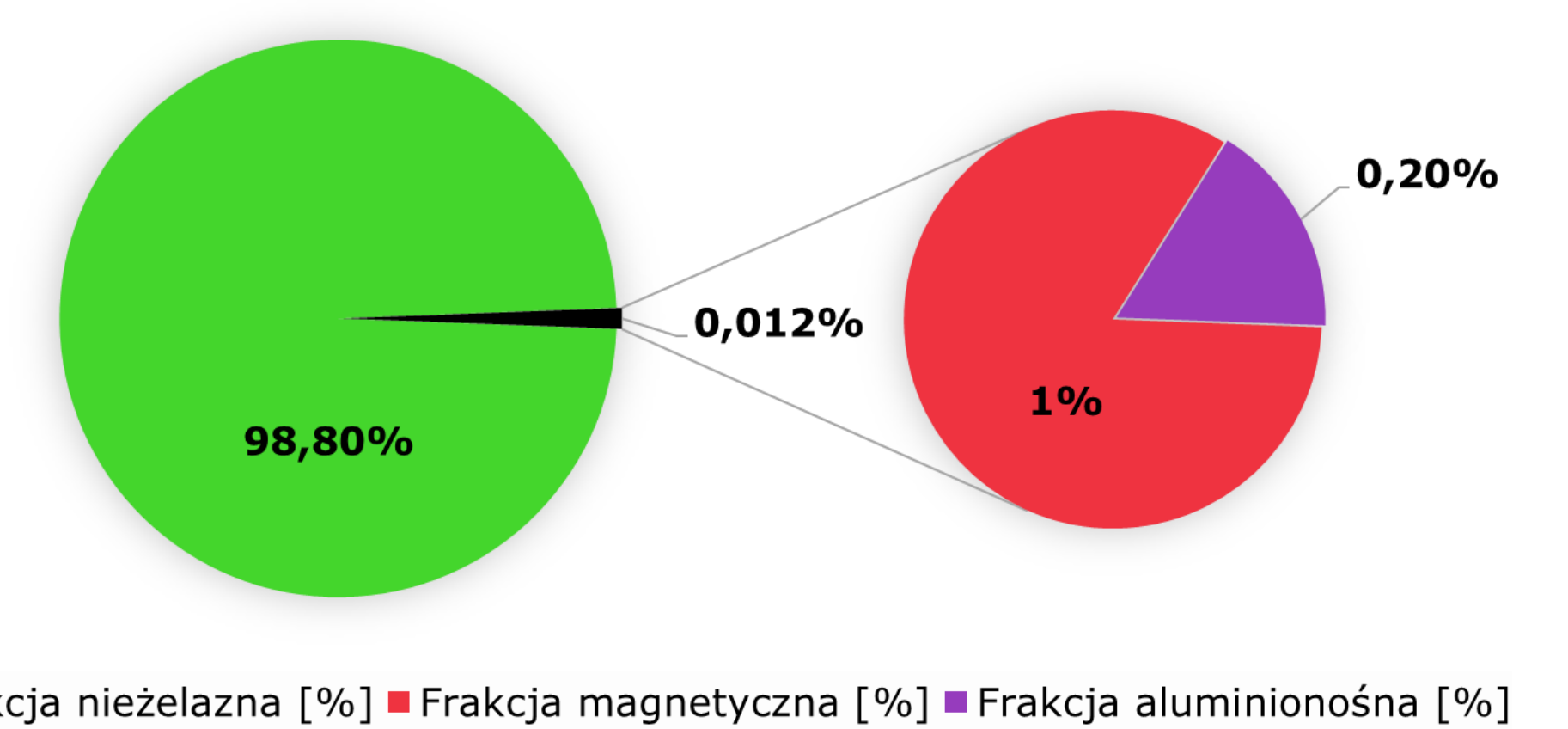
Badania wykonano z wykorzystaniem separatora elektrodynamicznego (Rysunek 3), gdzie głównym jego elementem jest rotor wykonany ze stalowych magnesów. Ruch obrotowy rotora wytwarza zmienne pole magnetyczne, dzięki któremu zachodzi proces separacji. Celem badań było określenie optymalnych parametrów usuwania elementów konstrukcyjnych, wykonanych z żelaza oraz aluminium, z granulatu kabli miedzianych po wstępnym rozdrabnianiu. Pomiar separacji realizowano przy zmiennym natężeniu pola elektro-magnetycznego.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, iż zastosowanie tego typu urządzenia pozwala na usunięcie elementów konstrukcyjnych z wysoką efektywnością (Rysunek 4). Należy jednak zwrócić uwagę, że im bardziej rozdrobniony jest granulat kabli, tym większy jest stopień uwolnienia elementów konstrukcyjnych od miedzi i izolacji, co bezpośrednio wpływa na zwiększenie efektywności separacji.

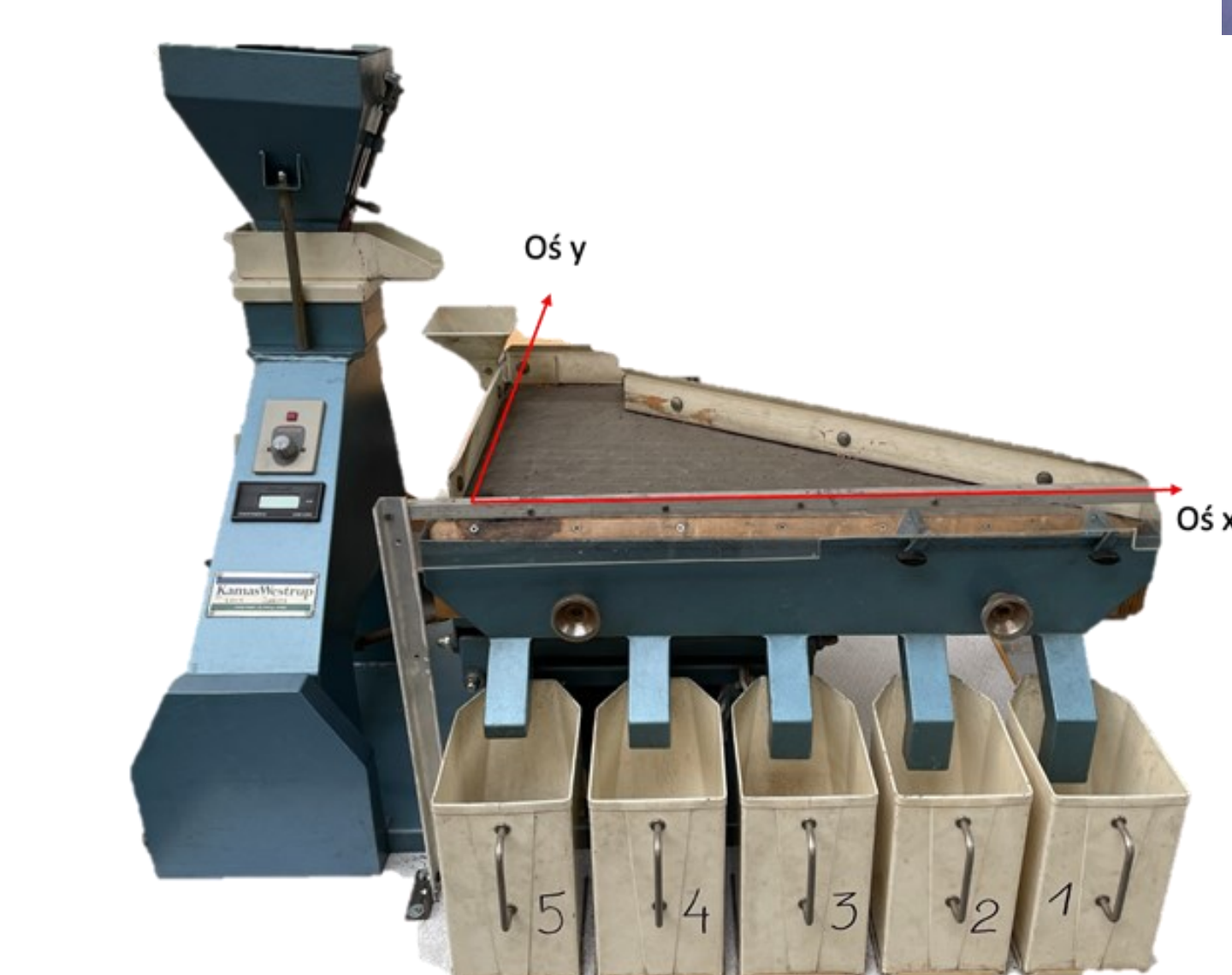
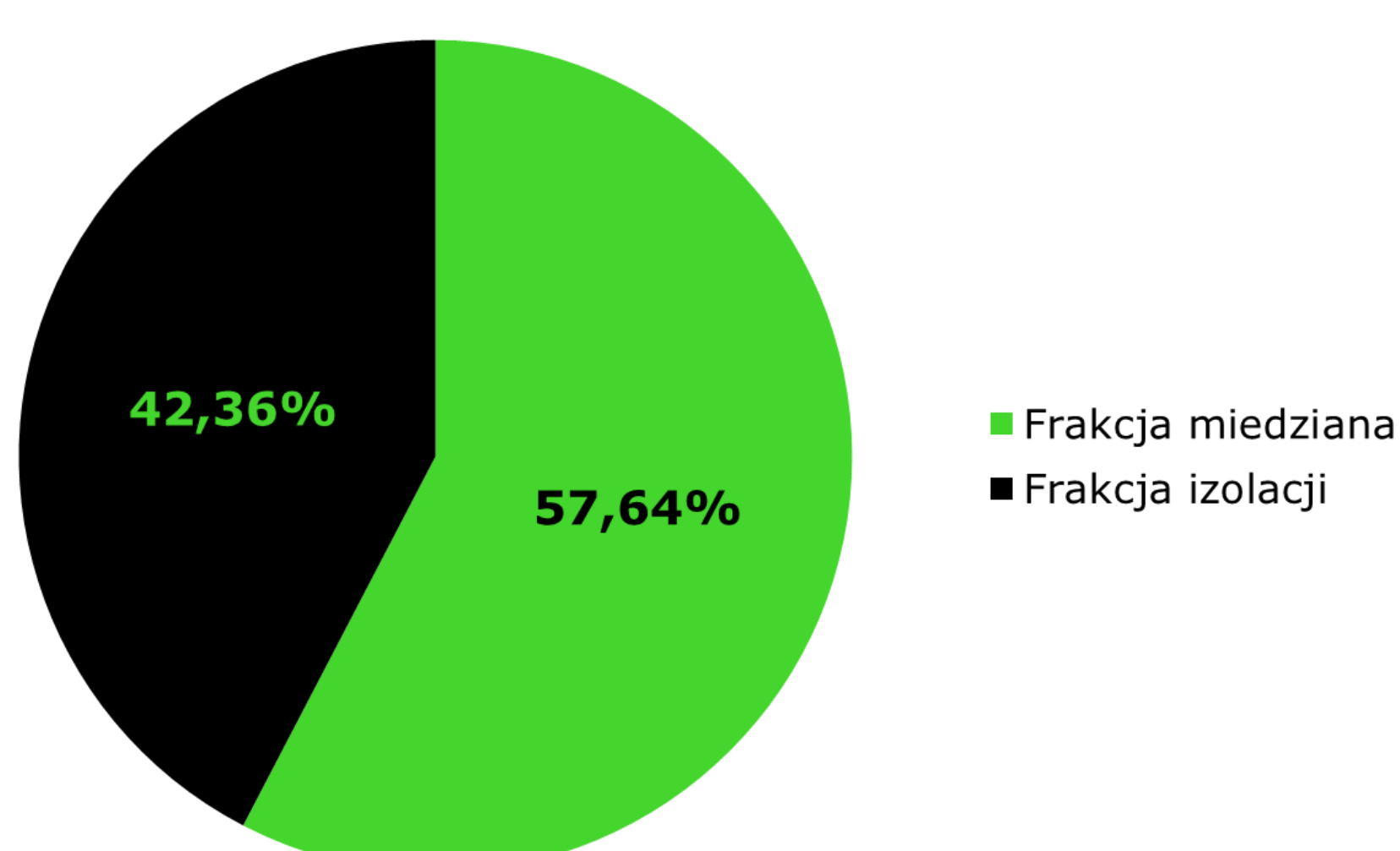


Rysunek 3. Separator elektrodynamiczny firmy Cogelme

Rysunek 4. Udziały poszczególnych frakcji produktów po procesie separacji elektro-magnetycznej



Rysunek 5. Udział frakcji granulatu miedzi oraz frakcji izolacji w próbce kierowanej do separacji



Rysunek 6. Separator stołowo-powietrzno-potrząsalny, typu LAK



PRZED

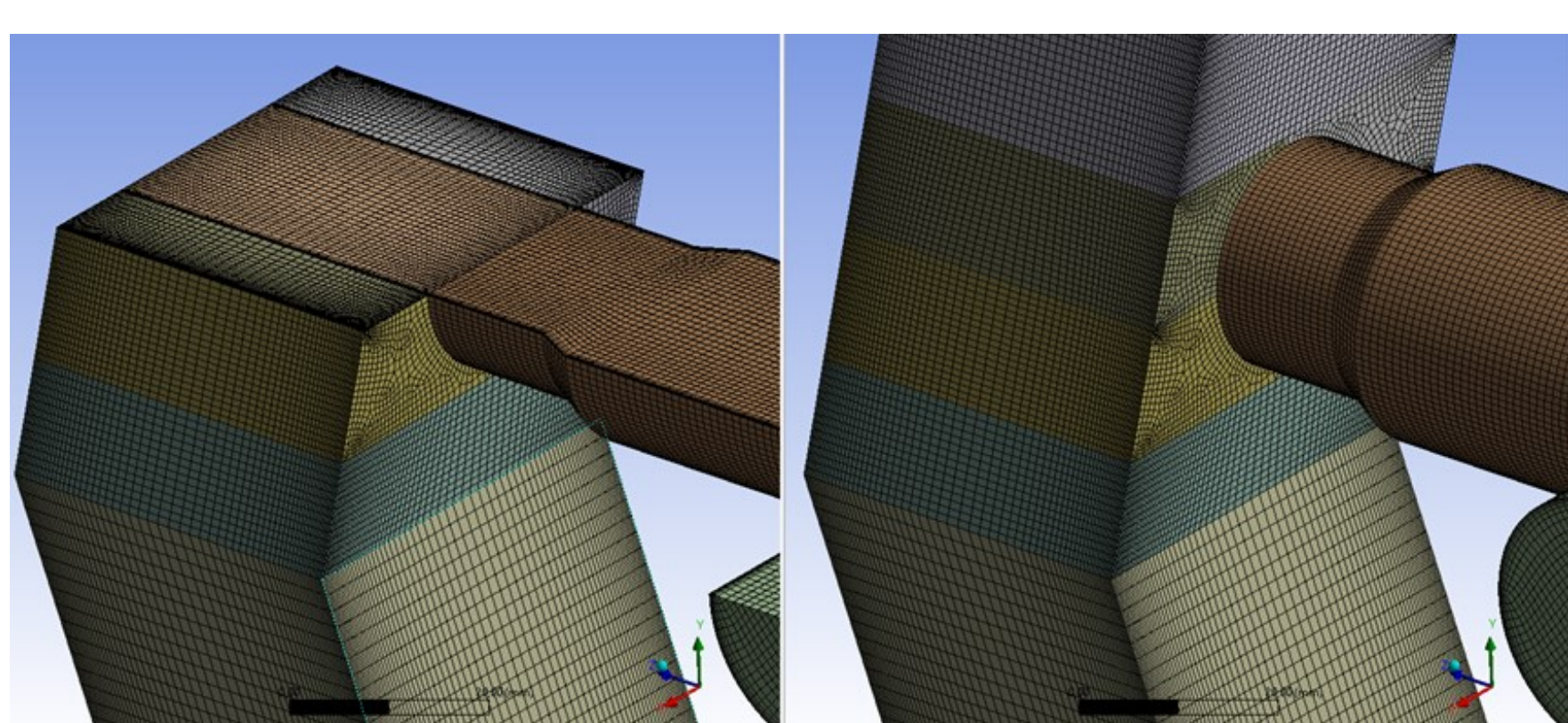


PO

Rysunek 7. Zdjęcie materiału przed separacją i po rozdziale granulatu miedzi od izolacji

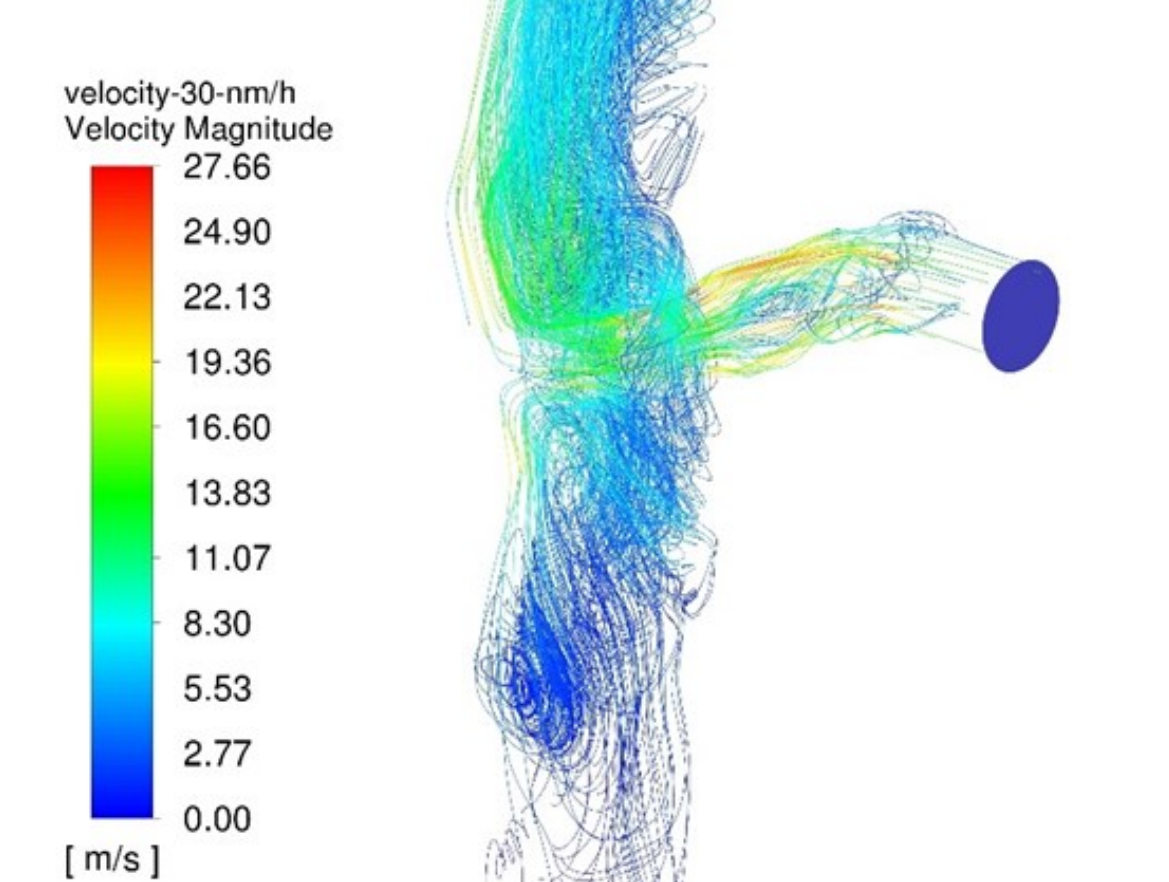
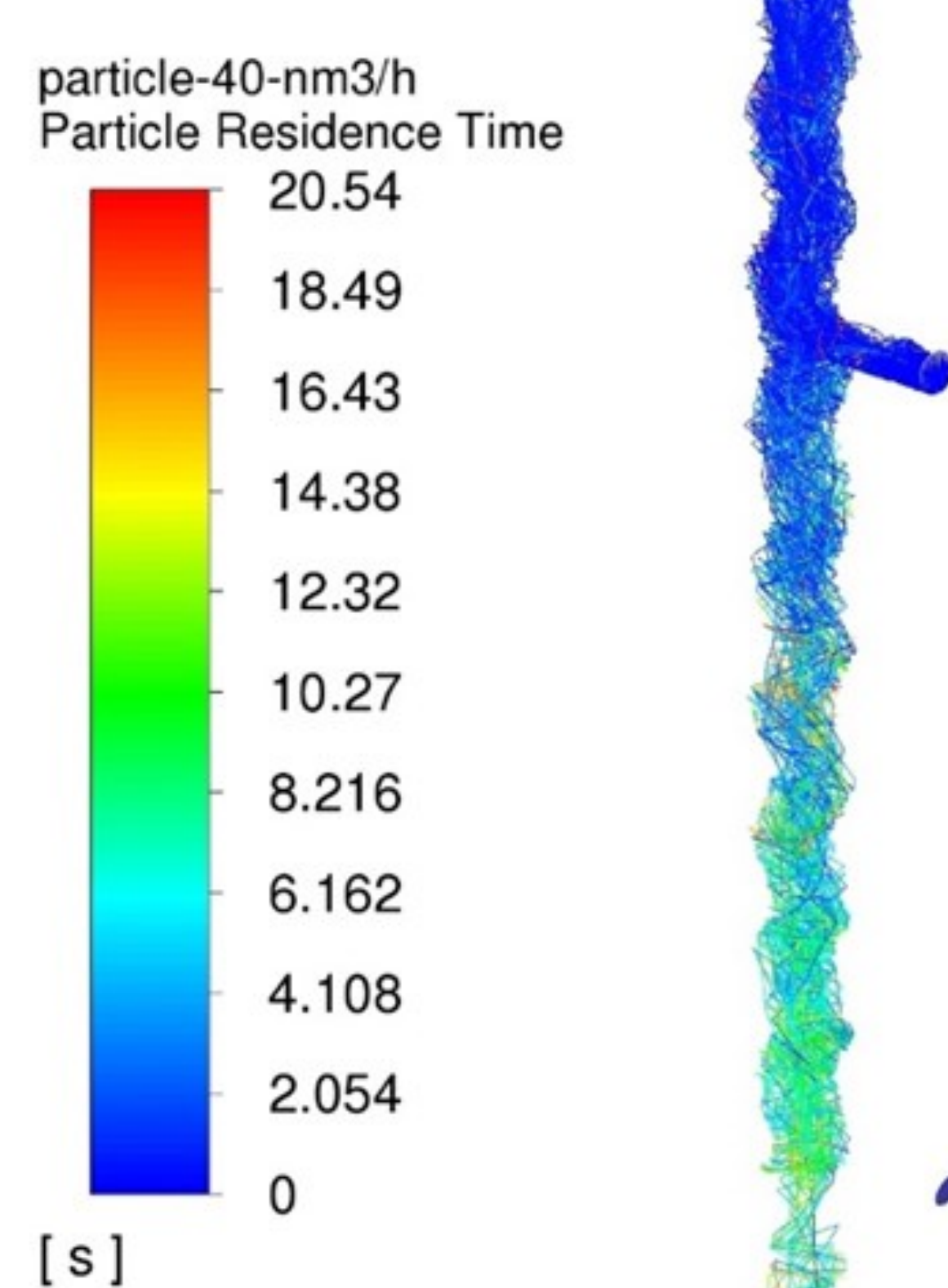
Badania separacji granulatów w separatorze zakosowym, typu „zig-zag”

Celem osiągnięcia głównego założenia projektu, granulat otrzymany po usunięciu elementów konstrukcyjnych oraz izolacji poddano końcowej separacji. Proces rozdziału realizowano w separatorze powietrzno-zakosowym, typu „zig-zag” (przedstawionym na Rysunku 8), gdzie rozdział granułu oparty był na różnicy wyporności cząstek w strudze gazu [2]. Zastosowanie separatora typu „zig-zag”, pozwala na uzyskanie produktu końcowego technologii – granulatu miedzi czerwonej (Cu) o czystości od 99,26 do 99,88% (Rysunek 9).



Rysunek 9. Zastosowana siatka numeryczna

Rysunek 11. Wizualizacja trajektorii cząstek wewnątrz separatora powietrzno-zakosowego



Rysunek 10. Wizualizacja strumieni przepływu powietrza przy wlocie do separatora



Rysunek 8. Separator powietrzno-zakosowy, typu „zig-zag”

Rysunek 9. Zdjęcia frakcji lekkiej oraz ciężkiej granulatu miedzi



FRAKCJA LEKKA



FRAKCJA CIĘŻKA

Opracowanie symulacji CFD procesu separacji

W ramach projektu opracowano model separacji zmieszanych granulatów miedzi przy zastosowaniu oprogramowania ANSYS Fluent, a także przeprowadzono obliczenia symulacyjne separacji ww. granulatów z wykorzystaniem mechaniki płynów (CFD) (Rysunek 9, 10 oraz 11). W efekcie wykonanych badań uzyskano wyniki trajektorii cząstek w przestrzeni roboczej separatora (Rysunek 11) wraz z powiązaniem z nimi czasem przebywania cząstek w tej przestrzeni. Model stworzono na podstawie wykorzystanego w projekcie separatora powietrzno-zakosowego, typu „zig-zag”. Uzyskane wyniki obliczeń porównano z danymi literaturowymi, co pozwoliło na określenie błędów tego modelu, który wyniósł mniej niż 10%. Otrzymane wyniki obliczeń pozwalają na weryfikację parametrów pracy separatora oraz określenie jakości końcowego produktu separacji. Dzięki opracowanemu modelowi separacji, możliwa będzie jego aplikacja do przemysłowego separatora powietrzno-zakosowego typu „zig-zag” wchodzącego w skład budowanej linii pilotowej. Pozwoli to na znaczące skrócenie prac optymalizacyjnych na linii pilotowej oraz obniżenie kosztów badań.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wskazują na skomplikowaną morfologię kabli elektro-energetycznych. Oprócz miedzi w postaci drutu czy linki, kable zawierają tworzywa sztuczne PCV/Pe jako izolację elektryczną, elementy stalowe, aluminiowe, tekstylne, a nawet elementy ceramiczne w postaci włókien światłowodowych. Skutkuje to zróżnicowaną zawartością miedzi w materiale kierowanym do procesu recyklingu. Zrealizowane badania na separatorze elektrodynamicznym wykazały jego dużą wydajność i skuteczność w usuwaniu elementów konstrukcyjnych. W badanym materiale występowały fragmenty stali nierdzewnej o strukturze austenitycznej, których nie można odseparować stosowanymi metodami. Badania usuwania izolacji od miedzi wskazują, że aby uzyskać produkt o pożądanej czystości należy monitorować proces oraz prowadzić okresowe korekty parametrów pracy separatora. Proces separacji granulatu miedzi czerwonej (Cu) i pocynowanej (CuSn) w separatorze powietrzno-zakosowym, typu „zig-zag” jest możliwy do realizacji. Jednak, w tym wypadku na czystość produktu końcowego będzie miała wpływ morfologia kabla. W skład miedzi czerwonej (głównego produktu procesu separacji) wchodzi przede wszystkim granule powstałe na skutek rozdrabniania drutów. Granule powstałe z rozdrabniania linek tworzą granulat o niższej jakości zawierający głównie elementy pocynowane. Wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych wskazują na silną turbulencję przepływu powietrza zaraz za jego wlotem do separatora. Wykonane obliczenia wskazują także na spadek ciśnienia w górnym wlocie z separatora, co będzie poprawiać efektywność usuwania cząstek. Porównanie wyników eksperymentalnych z obliczeniami numerycznymi wskazuje na dobre odwzorowanie procesu, co pozwala w dalszych etapach projektu na stosowanie symulacji w przygotowywaniu prób z wykorzystaniem instalacji pilotowej.

ŹRÓDŁA

Praca została zrealizowana w ramach projektu pt. „Opracowanie innowacyjnej technologii rozdziału granulatu kabli miedzianych pochodzących z recyklingu na czystą miedź (Cu) oraz pobiał (CuSn) poprzez zastosowanie hybrydowych metod separacji mechanicznej” o numerze POIR.01.01.01-00-0216/21

- <https://www.rynekelektryczny.pl/> (przeglądana w dniu 14.09.2021)
- G. G. Rosenbrand, The separation performance and capacity of zigzag air, Helmond: Dissertatiedrukkerij Wilbro, 1986.
- ANSYS Fluent Professional 2021 R2



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejskie Fundusze
Strukturalne i Inwestycyjne

