

# ZASTOSOWANIE KOMPUTEROWO WSPOMAGANEGO PROJEKTOWANIA W WIZUALIZACJI PROCESÓW DEMONTAŻU, NA PRZYKŁADZIE LINII PRZETWARZANIA ZUŻYTEGO SPRZĘTU ELEKTRYCZNEGO I ELEKTRONICZNEGO

Piotr NOWAKOWSKI, Paweł WOJDAS

**Streszczenie:** Recykling odpadów zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE) jest prowadzony w zakładach demontażowych, które dysponują odpowiednio wyposażonymi liniami do demontażu takiego sprzętu. Systemy komputerowo wspomaganego projektowania pozwalają nie tylko na przygotowanie projektu takiej linii, ale jednocześnie dysponują bogatymi możliwościami wizualizacji maszyn i środków transportu niezbędnych do prowadzenia demontażu.

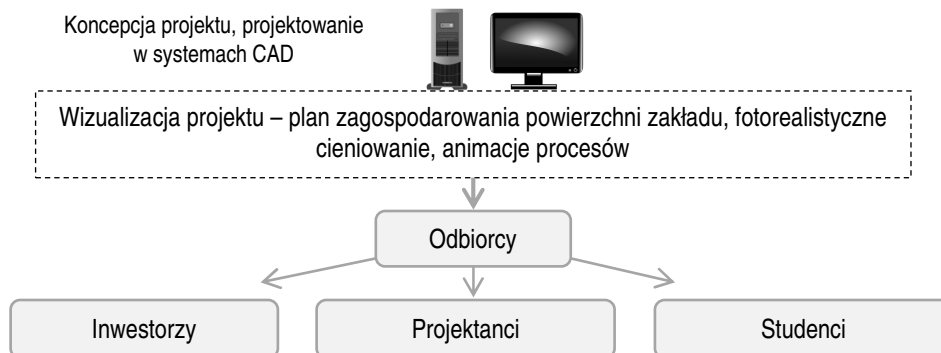
W artykule przedstawiono projekt linii demontażu w zakładzie przetwarzania ZSEE wraz z wizualizacją procesów. Opracowano trójwymiarowe modele środków transportu oraz maszyn do mechanicznego przetwarzania zużytego sprzętu, które zostały zestawione na linii demontażowej. Wykorzystując dodatkowe narzędzia do tworzenia animacji zobrazowano procesy dostaw, rozładunku i przetwarzania ZSEE. Przygotowana symulacja demontażu jest dobrym sposobem na przedstawienie wstępnej koncepcji projektu linii demontażu, prezentację jej funkcjonowania dla inwestorów oraz w kształceniu inżynierskim dla studentów.

**Słowa kluczowe:** zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, przetwarzanie ZSEE, demontaż, wizualizacja procesów, systemy CAD,

## 1. Wprowadzenie

Systemy komputerowo wspomaganego projektowania (ang. computer aided design – CAD) sukcesywnie są udoskonalane w celu ułatwienia wizualizacji projektów. Obecnie wiele systemów dysponuje zaawansowanymi narzędziami fotorealistycznego cieniowania oraz wizualizacji kinematyki komponentów wykorzystanych w złożeniach. Możliwe jest także przedstawienie animacji i rejestracja filmu, ze wskazaniem kinematyki zespołów i funkcjonalności całych maszyn. Wspomniane wyżej możliwości umożliwiają projektantom skuteczną komunikację nie tylko z osobami z zarządu firmy, ale również klientami i osobami odpowiedzialnymi za montaż i utrzymanie danego urządzenia. Niewątpliwie istotnym elementem w przedstawieniu funkcjonalności urządzeń, maszyn lub kompletnych linii technologicznych jest możliwość wykorzystania przygotowanych wizualizacji w kształceniu inżynierskim.

Na rysunku 1 zostały przedstawione grupy celowe odbiorców wizualizacji projektów wykonanych w systemach CAD.



Rys. 1. Grupy celowe wizualizacji projektów przygotowanych w CAD,  
Źródło: opracowanie własne

## 2. Wizualizacja modeli obiektów przygotowanych w systemach CAD

Projekt modeli trójwymiarowych części i zespołów ukierunkowany jest na odtworzenie ich cech konstrukcyjnych. Na tej podstawie można przygotować dokumentację wykonawczą dla poszczególnych części oraz rysunki zestawieniowe [1]. Dużo bardziej zaawansowane możliwości systemów CAD ukierunkowane są na wizualizację i różne rodzaje prezentacji modeli trójwymiarowych maszyn i urządzeń. Celem ich przygotowania jest m. in. przedstawienie zasady działania urządzenia, jego kinematyki, sposobu obsługi przy serwisie, a także montażu i demontażu. Fotorealistyczne cieniowanie obiektu pozwala uzyskać efekt, dzięki któremu trudno odróżnić model trójwymiarowy przygotowany w systemie CAD od rzeczywistego obiektu [2, 3]. Do najważniejszych sposobów wizualizacji projektów w systemach CAD można zaliczyć [4]:

- fotorealistyczne cieniowanie (ang. rendering),
- widok rozstrzelony z opcją prezentacji torów montażu,
- prezentacja animowana z możliwością zapisu w formacie wideo,
- prezentacja wirtualnej rzeczywistości (vrmf - ang. virtual reality modelling language) przystosowana do wyświetlania w przeglądarkach internetowych,
- poszerzona rzeczywistość (ang. augmented reality).

Przygotowanie wizualizacji w systemach CAD jest pracochłonne. Teoretycznie najprostsze jest fotorealistyczne cieniowanie trójwymiarowego modelu obiektu. Polega ono na określeniu materiału konstrukcyjnego dla poszczególnych części, wyborze tła lub scenarii i uruchomieniu polecenia cieniowania. Do przygotowania wizualizacji w formacie wideo konieczne jest określenie dodatkowych parametrów, np. oświetlenie obiektu (liczba i rodzaj światła), lokalizacja i ruch kamery. Dodatkowo, można przygotować zanikanie obiektów lub ustawić pewien stopień przezroczystości dla lepszego ukazania wnętrza mechanizmu. Wizualizacja wykonana w ten sposób ma największy potencjał zastosowań. Zaliczają się do nich szkolenia ekip montażowych, serwisowych oraz pracowników zakładów demontażowych.

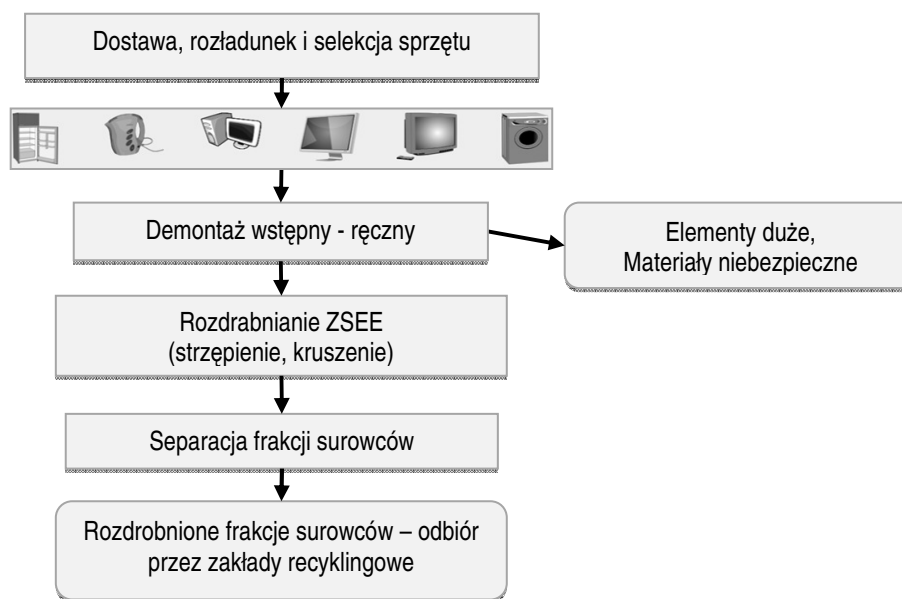
Prezentacje przygotowane w formacie wideo mają stosunkowo duży rozmiar pliku. Dla potrzeb odtwarzania w przeglądarkach internetowych stosuje się format wirtualnej rzeczywistości oparty o język vrmf [5]. Obiekty w formacie vrmf można zapisywać bezpośrednio z aplikacji CAD, a także z innych środowisk graficznych aplikacji [6].

### 3. Zasady i wymagania prowadzenia demontażu ZSEE w zakładach przetwarzania

ZSEE musi być zebrany i transportowany zgodnie z wytycznymi dotyczącymi właściwego sposobu transportu [7]. Ogólne zasady prowadzenia demontażu w zakładach przetwarzania zostały zawarte w dyrektywie UE i Ustawie o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym [8,9]. Jedną z najważniejszych czynności jest usunięcie substancji niebezpiecznych ze sprzętu. Zaliczają się do nich baterie, akumulatory, kondensatory elektrolityczne, ekrany ciekłokrystaliczne oraz kineskopy. Inne substancje niebezpieczne dla środowiska naturalnego występują w sprzęcie chłodniczym i klimatyzatorach. Są to oleje i czynniki chłodnicze. Ze względu na specyfikę przetwarzania określonych grup sprzętu wykorzystuje się różne konfiguracje linii demontażu, dostosowanych do różnych grup ZSEE takich jak [8,9]:

- sprzęt chłodniczy i klimatyzacyjny (np. chłodziarki, zamrażarki, klimatyzatory),
- sprzęt wielkogabarytowy (np. pralki, suszarki, zmywarki),
- sprzęt zawierający inne substancje niebezpieczne (np. drukarki, ksero),
- sprzęt zawierający znaczną zawartość metali szlachetnych i metali ziem rzadkich (np. komputery, laptopy, serwery, kamery oraz telefony komórkowe),
- telewizory i monitory,
- pozostały sprzęt o małych lub średnich gabarytach.

Na rysunku 2 przedstawiono ogólny schemat przetwarzania różnych grup zużytego sprzętu.



Rys.2. Schemat przetwarzania ZSEE w zakładach demontażu

Źródło: opracowanie własne

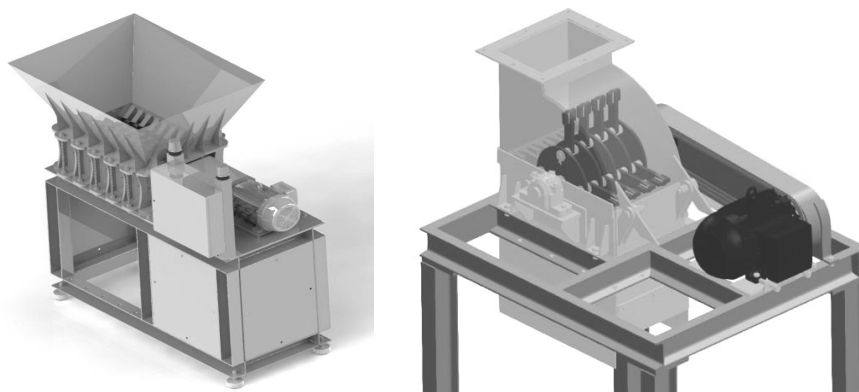
Głównym celem właściwego demontażu ZSEE jest usunięcie substancji niebezpiecznych oraz rozdrobnienie poszczególnych komponentów w celu uzyskania jednorodnych frakcji. Po sortowaniu będą one stanowić główne źródło przychodu zakładu przetwarzającego ZSEE.

### 3.1. Maszyny do rozdrabniania ZSEE stosowane w zakładach przetwarzania

Proces demontażu ZSEE może być prowadzony w sposób ręczny, mechaniczny, a także na liniach w pełni zautomatyzowanych. Zużyte urządzenia trafiające do zakładu o dużej wydajności – zdolnego przetworzyć powyżej 10 ton na dobę - są wstępnie segregowane ze względu na wymagania Ustawy o ZSEE. Do mechanicznego przetwarzania ZSEE wykorzystuje się maszyny, których zadaniem jest rozdrobnienie komponentów składowych przetwarzanych urządzeń lub całych urządzeń o małych gabarytach. Rozdrobnienie ma na celu uzyskanie ziaren materiału o określonych rozmiarach w celu łatwiejszej ich separacji na dalszych maszynach linii przetwarzania sprzętu. Do rozdrabniania ZSEE w zakładach przetwarzania wykorzystuje się następujące maszyny rozdrabniające [10]:

- strzypiarki jedno-, dwu- i czterowałowe,
- młyny młotkowe,
- kruszarki.

Na rysunku 3 przedstawiono wirtualne modele wybranych maszyn rozdrabniających ZSEE.



Rys. 3. Model strzypiarki jednowałowej (po lewej) oraz młyna młotkowego do rozdrabniania odpadów ZSEE

Źródło: opracowanie własne

### 3.2. Separacja materiałów w trakcie przetwarzania ZSEE

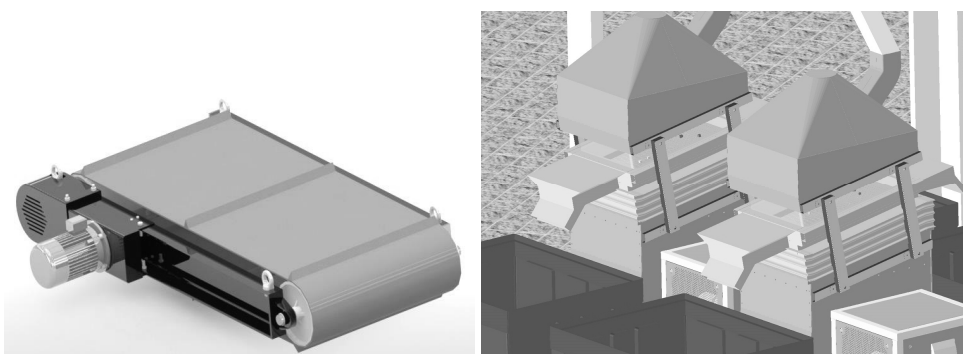
Po rozdrobnieniu zużytego sprzętu frakcje materiałów przemieszczają się na przenośnikach i trafiają do sekcji linii, na których ustawione są maszyny pozwalające na rozdzielanie materiałów o zróżnicowanych własnościach fizycznych. Na tym etapie przetwarzania ZSEE wykorzystuje się procesy [11]:

- klasyfikacji - rozdzielania tylko wg wielkości ziarna,
- separacji - wydzieleniu z układu wielofazowego dwu lub więcej produktów, różniących się od materiału wyjściowego ilościowo lub jakościowo pod względem, co najmniej jednej cechy,
- sortowania - rozdzielaniu układu wieloskładnikowego na frakcje, które różnią się cechami fizycznymi takimi jak: gęstość materiału, właściwości magnetyczne i elektryczne itp.

Do najczęściej stosowanych maszyn do rozdzielania materiałów w zakładach przetwarzania ZSEE zaliczają się separatory [12]:

- magnetyczne,
- wiropędowe (indukcyjne),
- sitowe,
- wibracyjne,
- powietrzne (cyklonowe).

Na rysunku 4 przedstawione zostały dwie z wyżej wymienionych maszyn – separator magnetyczny i grawitacyjny wibracyjny.



Rys. 4. Model separatora magnetycznego (po lewej) oraz separatorów grawitacyjnych wibracyjnych (po prawej)

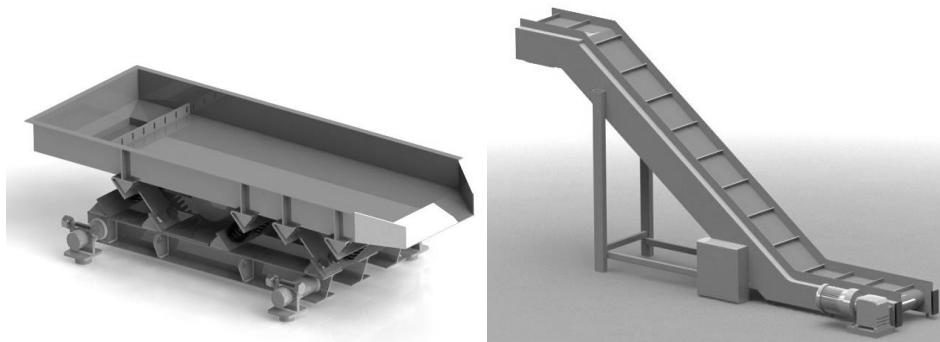
Źródło: opracowanie własne

### 3.3. Środki transportu wykorzystywane w zakładach demontażu ZSEE

Wózki widłowe oraz maszyny przeładunkowe wyposażone w chwytaki hydrauliczne wykorzystywane są w zakładach przetwarzania ZSEE do rozładunku odpadów z kontenerów i pojazdów dostawczych. W przypadku przemieszczania urządzeń wielkogabarytowych ZSEE, konieczne jest uchwycenie obudowy urządzenia w sposób uniemożliwiający przemieszczenie się urządzenia w czasie jego manipulacji i transportu. W tym celu stosuje się specjalne chwytaki mocowane do wózków widłowych. Mały i drobny ZSEE jest przeładowywany z wykorzystaniem ładowarek lub maszyn wyposażonych w chwytak hydrauliczny wielopalczasty do złomu. W transporcie ZSEE z rampy rozładawczej lub placu składowego do stanowisk demontażu, mogą być również stosowane wózki paletowe [13].

W zakładach o dużej wydajności, która przekracza 10t/dobę, wykorzystywany jest transport przerośnikowy. Z ich pomocą jest realizowany przepływ frakcji materiałów pomiędzy poszczególnymi maszynami przetwarzającymi odpady ZSEE. Do podstawowych typów przerośników stosowanych na liniach demontażowych można zaliczyć [14]:

- przerośniki rolkowe,
- przerośniki taśmowe z taśmą zwykłą,
- podajniki wibracyjne (rys. 5),
- przerośniki nachylone z taśmą z progami (rys. 5).



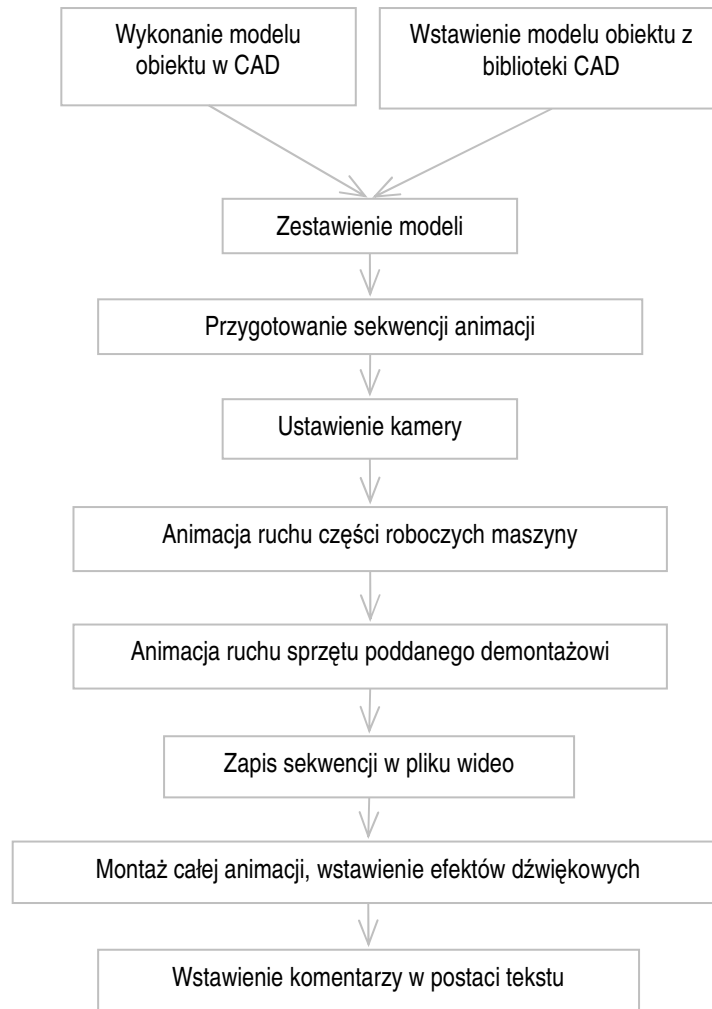
Rys. 5. Model podajnika wibracyjnego (po lewej) oraz przenośnika z taśmą z progami (po prawej)  
Źródło: opracowanie własne

Przenośniki rolkowe wykorzystywane są na etapie wstępnym procesu przetwarzania. Odbywa się na nich demontaż ręczny ZSEE, głównie dużych komponentów, np. obudów, silników i innych części roboczych. Przenośniki rolkowe pracują często w trybie pracy przerywanej – w zależności od prędkości załadunku zużytych urządzeń lub czasu trwania demontażu ręcznego.

Przenośniki taśmowe z taśmą zwykłą umożliwiają transport kawałków materiału po rozdrabnianiu wstępnym odpadów w strzępiarce. Kawałki postrzępionych urządzeń mają rozmiar od kilkudziesięciu do ok. 200 mm. Podczas przemieszczania się cząstek materiału na przenośniku, pracownicy fizyczni mogą zlokalizować i usunąć obiekty zawierające substancje niebezpieczne. Transport frakcji surowców po rozdrabnianiu oraz po separacji lub sortowaniu odbywa się z wykorzystaniem przenośników z taśmą profilowaną z progami. Ich zastosowanie na linii przetwarzania pozwala na przemieszczanie materiału pod znacznymi kątami wzniosu, dzięki czemu w hali przemysłowej o ograniczonej powierzchni można ustawić nawet rozbudowaną linię przetwarzania sprzętu.

#### **4. Wizualizacja linii demontażowej ZSEE z wykorzystaniem modeli trójwymiarowych maszyn do rozdrabniania i sortowania oraz środków transportu**

Wizualizacja procesów zachodzących na liniach demontażu może być wykonywana w większości nowoczesnych systemów CAD. Zaliczają się do nich m.in. Solid Edge, Solid Works, Autodesk Inventor. Bardziej rozbudowanymi możliwościami dysponują takie aplikacje jak np. Autodesk Factory i najnowszy produkt Autodesk Navisworks [15]. Bez względu na wybór systemu CAD, konieczne jest wykonanie modeli poszczególnych komponentów linii technologicznej lub pobranie ich z wcześniej przygotowanych bibliotek. Pełna wizualizacja procesów występujących na linii przetwarzania ZSEE wymaga wstawienia do projektu maszyn rozdrabniających sprzęt, maszyn sortujących frakcje oraz środków transportu. Ogólny schemat wykonania animacji działania linii przetwarzania ZSEE został przedstawiony na rysunku 6.

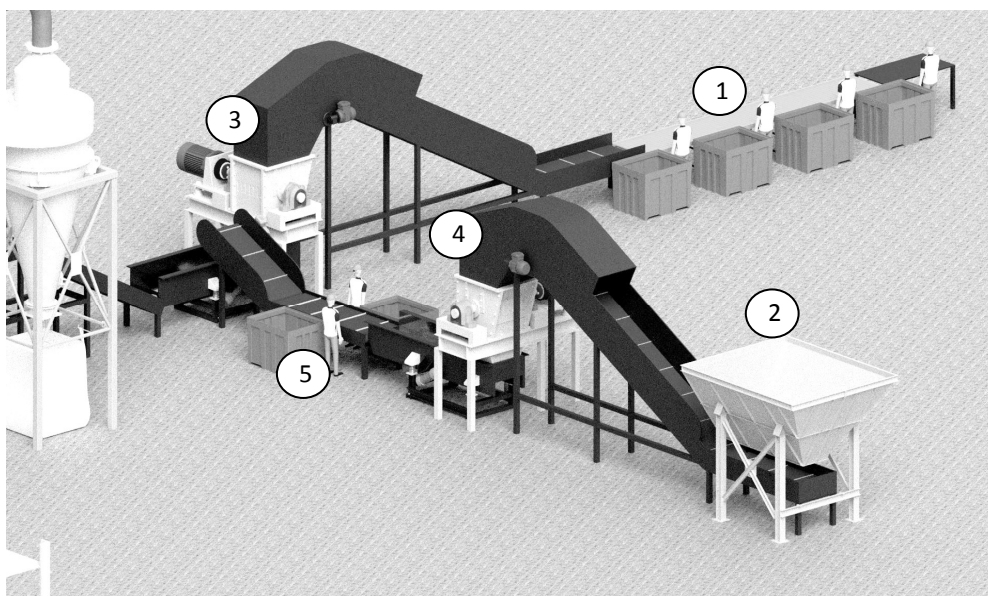


Rys. 6. Schemat postępowania w przygotowaniu multimedialnej wizualizacji procesów demontażu ZSEE zrealizowany w ramach pracy  
Źródło: opracowanie własne

Przygotowanie prezentacji polegało na wykonaniu lub modyfikacji modeli wybranych maszyn i środków transportu. Zostało to wykonane w systemie Autodesk Inventor 2017. Część z elementów została pobrana z dostępnych bibliotek zasobów GrabCAD, pozostałe zostały wykonane w ramach projektu linii. Po wstawieniu wszystkich niezbędnych obiektów linii demontażu ZSEE, które zamierały również modele trójwymiarowe pracowników fizycznych, zostały wybrane najważniejsze procesy, dla których przygotowano animacje. Część z procesów przebiega w maszynach o zamkniętych obudowach. Do uwidocznienia efektów zachodzących wewnątrz takich maszyn elementy obudowy określono, jako półprzezroczyste. Animację ruchu poszczególnych urządzeń należących do grup ZSEE wykonano poprzez zapis ich przemieszczania w odpowiedniej

osi, gdy znajdowały się na poszczególnych środkach transportu – np. na przenośnikach rolkowych – całe urządzenia, a na przenośnikach taśmowych – rozdrobnione frakcje materiałów. Po zakończeniu wszystkich ujęć przeprowadzono montaż całego filmu. Dla celów szkoleniowych naniesione zostały napisy wyjaśniające każdy z przedstawionych procesów. Na zakończenie wstawiono ścieżkę dźwiękową, która oprócz motywu muzycznego zawiera charakterystyczne dźwięki, występujące w trakcie przetwarzania sprzętu (np. dźwięk cofania wózka widłowego, rozdrabnianie sprzętu itp.).

Na rysunku 7 przedstawiono model sekcji początkowych na linii przetwarzania ZSEE. Na stanowiskach demontażu wstępnego (1) wyjmowane są większe komponenty ze zużytych urządzeń wielkogabarytowych. Lej zasypowy (2) jest przewidziany dla sprzętu małogabarytowego. Rozdrabnianie wstępne ZSEE prowadzone jest na strzeżniarkach jednowałowych (3,4). Stanowisko 5 przewidziane jest do usunięcia części i podzespołów zawierających substancje niebezpieczne (np. baterie, kondensatory) z rozdrobnionego sprzętu małogabarytowego.



Rys. 7. Wizualizacja linii demontażowej ZSEE – sekcje demontażu ręcznego i wstępnego rozdrabniania (opis w tekście)  
Źródło: opracowanie własne

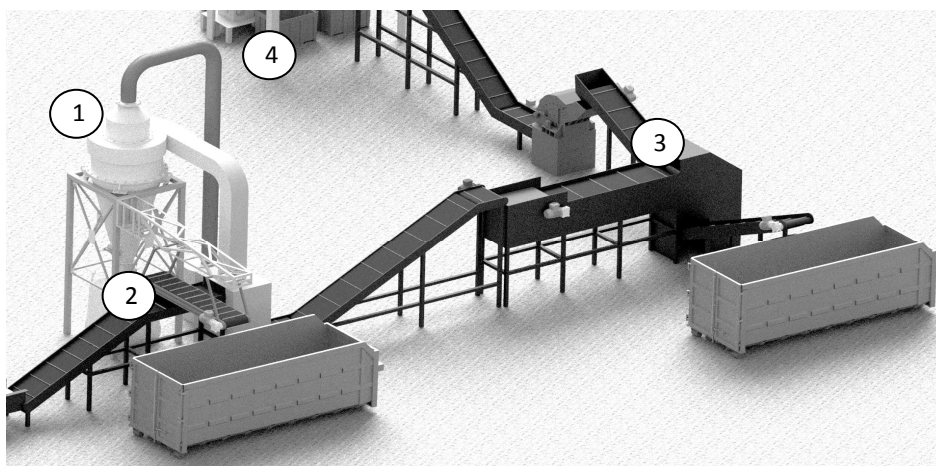
Na rysunku 8 przedstawiono maszynę przeładunkową z chwytakiem hydraulicznym wielopalczystym do złomu. ZSEE jest ładowany do leja zasypowego (widocznego również na rys. 7). Chwytaaki, dzięki specjalnej budowie wielopalczastej, umożliwiają pewne i stabilne uchwycenie ładunku, który jest dosyć zróżnicowany zarówno pod względem materiałów konstrukcyjnych jak i wymiarów.





Rys. 8. Wizualizacja załadunku drobnego ZSEE przez maszynę przeładunkową z chwytakiem hydraulicznym  
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 9 uwidocznione są cztery typy separatorów: separator powietrzny cyklonowy (1) do usunięcia pyłów i drobnych lekkich zanieczyszczeń, głównie w postaci folii, styropianu i innych elementów z tworzyw sztucznych, separator magnetyczny nadtaśmowy (2) zastosowano do wizualizacji usuwania metali o właściwościach ferromagnetycznych, separator wiroprowadowy (3) służy do rozdzielania tworzyw i pozostałych metali. We fragmencie widoczne są separatory grawitacyjne (4) do rozdzielania metali (miedzi i jej stopów od metali lekkich stopów aluminium i magnezu).



Rys. 9. Wizualizacja sekcji separacji rozdrobnionych frakcji ZSEE (opis w tekście)  
Źródło: opracowanie własne

Dla przedstawionych linii demontażu sprzętu wielkogabarytowego i małogabarytowego zostały wykonane filmy wraz z animacją procesów i efektami dźwiękowymi.

## 5. Wnioski

Współczesne systemy CAD mają duże możliwości w przygotowaniu wizualizacji modeli projektowanych urządzeń, maszyn oraz kompletnych linii technologicznych. Po wykonaniu trójwymiarowych modeli obiektów można zastosować dla nich fotorealistyczne cieniowanie oraz zaawansowane animacje.

Wzrost dbałości o środowisko naturalne, a także wprowadzone regulacje prawne powodują konieczność przetwarzania odpadów ZSEE w wyspecjalizowanych zakładach demontażowych. W ostatnim czasie powstało kilka nowych zakładów w Polsce, a inne są w trakcie modernizacji.

Zakres niniejszego artykułu obejmował wykonanie wizualizacji procesów na linii demontażu ZSEE z pomocą nowoczesnych systemów CAD oraz narzędzi do obróbki filmów. Został zaprezentowany kompletny proces demontażu kilku grup ZSEE. Wizualizacje tego typu mogą być wykorzystane do wstępnej oceny konfiguracji rozmieszczenia poszczególnych maszyn i urządzeń w zakładzie przetwarzania, także do przedstawienia ich funkcjonalności oraz wydajności procesów dla inwestorów. Dodatkową zaletą jest wykorzystanie prezentacji multimedialnych tego typu w przygotowaniu kursów kształcących dla studentów oraz przygotowaniu materiałów szkoleniowych przy kształceniu na odległość. Wykonane wizualizacje mogą stanowić cenne narzędzie dla zapoznania się z tematyką przetwarzania ZSEE i zachętą do kształcenia się w zakresie projektowania z wykorzystaniem CAD. Planowane jest udostępnienie przygotowanych materiałów na ogólnie dostępnych platformach komunikacyjnych np. YouTube.

## Literatura

1. Chlebus E.: Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji, Wyd. Naukowo Techniczne, Warszawa, 2000.
2. Li D.X., Wang Ch., Bi Z., Yu J.: AutoAssem: An Automated Assembly Planning System for Complex Products, *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, vol. 8, no. 3, 2012 p. 669–678.
3. Nowakowski P.: Zastosowanie nowoczesnych systemów CAD do wizualizacji montażu i demontażu maszyn transportowych, *Transport Przemysłowy*, nr 4, 2007, s. 52–55.
4. Nowakowski P.: Wybrane techniki komputerowe w projektowaniu i wytwarzaniu, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
5. Weiss Z., Konieczny R.: Interaktywne projektowanie z zastosowaniem narzędzi VRML, *Mechanik*, nr 11, s. 775–779, 2004.
6. Jezernik A., Hren G.: A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 11–12, 2003, p. 768–774.
7. CENELEC: European Standard EN 50625-1 - Collection, logistics & Treatment requirements for WEEE - Part 1: General treatment requirements. European Committee for Electrotechnical Standardization, 2013.
8. Dziennik Ustaw: Ustawa z dnia 11 września 2015 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. 2015.
9. European Commission: Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). 2012.
10. Pichtel J.: Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial, Taylor & Francis, 2010.

11. Drzymała J.: Podstawy mineralurgii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
12. Letcher T., Vallerio D.: Waste: A Handbook for Management, Elsevier Science, 2011.
13. Prochowski L., Żuchowski A.: Technika transportu ładunków. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
14. Nowakowski P.: Logistyka recyklingu zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Od projektowania po przetwarzanie - Monografia. Wyd. Politechniki Śląskiej, 2015.
15. [www.autodesk.com/products/navisworks/overview](http://www.autodesk.com/products/navisworks/overview). Dostęp 08.01.2017.
16. Matuszek J., Kurczyk D.: Projektowanie procesów i systemów produkcyjnych z wykorzystaniem technologii komputerowej wirtualizacji. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, t II, s. 741-752. Opole, 2017

Dr inż. Piotr NOWAKOWSKI  
Mgr inż. Paweł WOJDAS  
Wydział Transportu, Katedra Logistyki i Technologii Lotniczych  
Politechnika Śląska  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice  
tel./fax: (0-32) 6034149  
e-mail: Piotr.Nowakowski@polsl.pl;  
pawewoj376@student.polsl.pl