

Tomasz Kleniewski  
mgr inż. Wiesław Kopacz  
mgr inż. Zbigniew Pilat  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

## MECHANIZACJA I AUTOMATYZACJA W RECYKLINGU SPRZĘTU ELEKTRYCZNEGO I ELEKTRONICZNEGO.<sup>1/</sup>

*W referacie przedstawiono proces zagospodarowania odpadów pochodzących ze sprzętu elektrycznego i elektronicznego wycofanego z eksploatacji. Wyróżniono w nim etapy i zadania, które są podatne na mechanizację i automatyzację. Wskazano na możliwe do zastosowania rozwiązania techniczne i organizacyjne. Bliżej został przeanalizowany proces separacji rozdrobnionych materiałów z podzespołów tworzywowo-metalowych, z wykorzystaniem automatycznej detekcji części metalowych.*

### MECHANIZATION AND AUTOMATION IN RECYCLING OF WASTE FROM ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT

*The management of the Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is presented in the paper. The different levels and the tasks on each of them are indicated. The authors point out possible solutions in technology and organisation. The process of separation crushed materials from metal-plastics subassemblies, with us of automatic detection of metal parts, is presented more detailed.*

## 1. WPROWADZENIE

Rozwój cywilizacji nieuchronnie wiąże się ze wzrostem ilości odpadów. Wśród nich, od kilkudziesięciu lat coraz większym problemem staje się sprzęt elektryczny i elektroniczny wycofany z użytku (z ang. WEEE Waste from Electrical and Electronic Equipment). Podzespoły tych urządzeń zawierają często substancje niebezpieczne dla środowiska i zdrowia człowieka. Jednocześnie wiele materiałów zastosowanych do budowy urządzeń elektrycznych i elektronicznych nadaje się do odzysku celem ponownego wykorzystania. Takie rozwiązanie daje duże korzyści zarówno ekonomiczne, jak i ekologiczne. Warunkiem jego wprowadzenia jest sprawnie działający system zorganizowanego zagospodarowania WEEE, począwszy od zbiórki urządzeń wycofanych z eksploatacji, aż po recykling odzyskanych materiałów i składowanie pozostałych odpadów. Problem ten jest na tyle istotny, że Parlament Europejski ustanowił specjalną **Dyrektywę nr 2002/96/WE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE)** [2]. Jej zasadniczym celem jest ograniczenie ilości zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego kierowanego wprost na składowiska odpadów. Ma być on

<sup>1/</sup> Referat prezentuje wyniki prac realizowanych w ramach projektu celowego zamawianego nr PCZ-013-26 „Krajowy system zbiórki i utylizacji wycofywanych z eksploatacji urządzeń elektrycznych i elektronicznych”

osiągnięty przede wszystkim poprzez zwiększenie poziomu ponownego użycia całych urządzeń lub ich podzespołów, recyklingu oraz innych form odzysku materiałów. W dyrektywie określono m.in. tzw. minimalne poziomy odzysku, tzn. jaka część masy wprowadzonego na rynek sprzętu (wyrażona procentowo) powinna być zebrana i objęta recyklingiem. Są one różne dla różnych grup urządzeń elektrycznych i elektronicznych i sięgają nawet 80%. Ustalono również poziom zbiórki w skali roku. Ma on wynieść 4 kg w przeliczeniu na statystycznego obywatela i ma być osiągnięty do końca 2008 roku. Dla Polski oznacza to ponad 150 tys. ton. Wskaźniki te są bardzo wysokie. Ich osiągnięcie będzie możliwe jedynie po wprowadzeniu w kraju zorganizowanego systemu zagospodarowania WEEE. Musi on być nie tylko wydajny organizacyjnie, ale również odpowiednio wsparty rozwiązaniami technicznymi zapewniającymi wydajność i efektywność ekonomiczną. W poszczególnych etapach procesu zagospodarowania WEEE będzie to wymagało wprowadzenia mechanizacji i automatyzacji niektórych prac.

## **2. OGÓLNY SCHEMAT PROCESU ZAGOSPODAROWANIA SPRZĘTU ELEKTRYCZNEGO I ELEKTRONICZNEGO WYCOFANEGO Z UŻYTKU**

Krajowy system zagospodarowania urządzeń elektrycznych i elektronicznych wycofanych z użytku jest obecnie w fazie tworzenia. Jego ogólne ramy nakreśla ustawa [3], wdrażająca postanowienia dyrektywy 2002/96/WE. Konkretny kształt systemu, rozwiązania organizacyjne oraz techniczne będą wynikiem kolejnych działań administracji rządowej, organizacji odzysku, producentów, firm zbierających i recyklingowych. Jedną z koncepcji wykorzystywanych przy tworzeniu systemu krajowego została opracowana w ramach realizacji projektu celowego zamawianego PCZ 013-26 pt. „Krajowy system zbiórki i utylizacji wycofywanych z eksploatacji urządzeń elektrycznych i elektronicznych” [1]. Zaproponowany projekt systemu został oparty na trzech głównych zasadach:

1. Administracja samorządowa (gminna) będzie odpowiedzialna za zorganizowanie i prowadzenie z zachowaniem zasad rynkowych selektywnej zbiórki wyeksploatowanego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.
2. Wprowadzający sprzęt na rynek odpowiadają za zorganizowanie całego systemu na zasadach rynkowych oraz za jego finansowanie (bez finansowania systemów zbierania).
3. Administracja państwowa odpowiada za nadzór/monitoring nad funkcjonowaniem systemu.

Projektowany system zagospodarowania wycofywanego z eksploatacji sprzętu elektrycznego i elektronicznego będzie obejmował swoim zakresem dwa obszary:

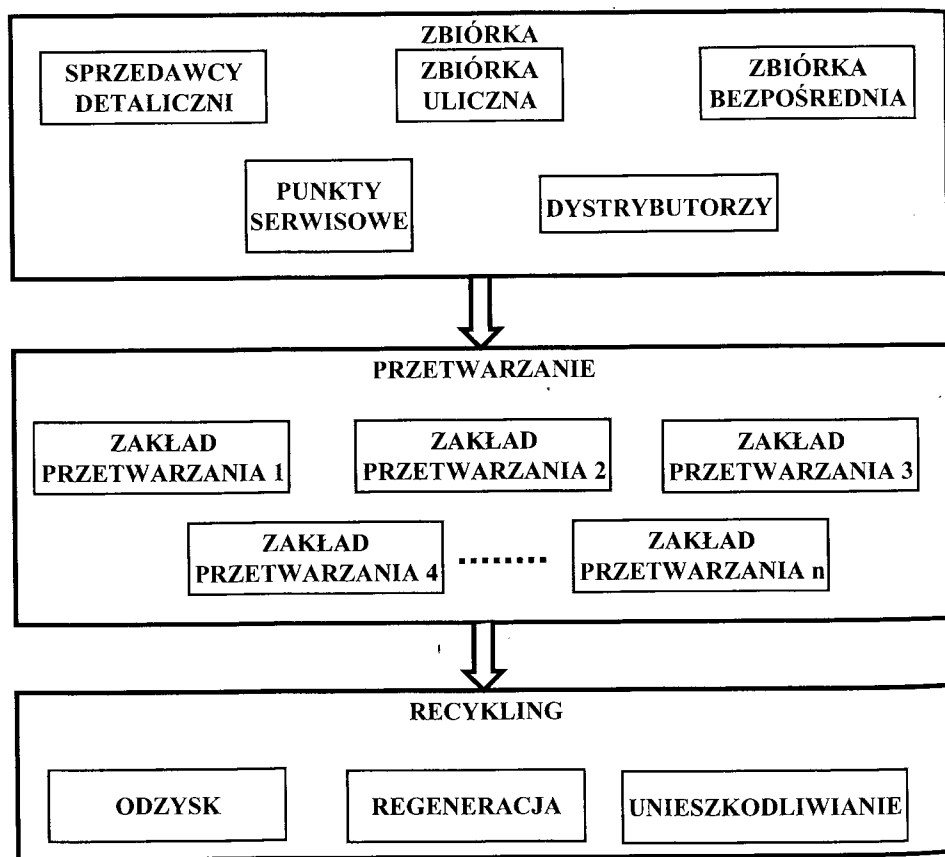
- sektor komunalny – gospodarstwa domowe i istniejącą infrastrukturę (sklepy, rzemieślnictwo, usługi)
- sektor gospodarczy – w tym głównie małe i średnie przedsiębiorstwa różnych branż przemysłowych wykorzystujące sprzęt elektryczny i elektroniczny jako narzędzia produkcyjne, pomocnicze i biurowe

W skład systemu będą wchodziły następujące podsystemy:

- a) zbiórki – obejmujący zbieranie sprzętu, gromadzenie, wstępną segregację i przygotowanie do transportu,

- b) przetwarzania - obejmujący demontaż, wydzielenie substancji niebezpiecznych, wstępne rozdrabnianie i separację,
- c) recyklingu - obejmujący regenerację (skierowanie do ponownego użycia), odzysk (materiałowy i energetyczny) oraz unieszkodliwianie, w tym składowanie pozostałych odpadów.

Schemat blokowy ogólnej struktury systemu zorganizowanego zagospodarowania odpadów WEEE przedstawia rys 1.



Rys. 1. Koncepcja ogólnej struktury krajowego systemu zorganizowanego zagospodarowania odpadów WEEE

### 3. ETAPY PROCESU PODATNE NA MECHANIZACJĘ I AUTOMATYZACJĘ

W procesie zagospodarowania odpadów WEEE większość operacji jest realizowanych przy dużym udziale prac ręcznych. Dotyczy to zwłaszcza etapów: przyjmowania, sortowania wstępnego, demontażu mechanicznego, kontroli, regeneracji części do ponownego użycia. Mechanizacja tych zadań polega głównie na stosowaniu przenośnikowego

transportu między kolejnymi stanowiskami pracy oraz na stosowaniu prostych narzędzi typu wiertarki, szlifierki, młotki pneumatyczne, itp. Wprowadzanie na tym etapie automatyzacji jest trudne technicznie i bardzo kosztowne, głównie z powodu różnorodności produktów odpadowych. Analizując poszczególne fazy procesu, można stwierdzić, że obecnie najbardziej podatne na automatyzację jest zadanie rozdrabniania podzespołów sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz segregacji rozdrobnionego materiału z separacją tworzyw i metali. Ten etap procesu jest też najczęściej automatyzowany w instalacjach pracujących i eksploatowanych w warunkach przemysłowych.

#### 4. MECHANIZACJA I AUTOMATYZACJA ROZDRABNIANIA I SEPARACJI MATERIAŁÓW Z PODZESPOŁÓW TWORZYWOWO-METALOWYCH

Instalacje rozdrabniająco-separujące buduje się na ogół w postaci ciągów technologicznych zbudowanych z różnych stopni rozdrabniania i separacji. O ocenie jakości procesu rozdrabniania i separacji materiałowej odpadów WEEE decydują trzy czynniki:

- wydajność – jest za nią odpowiedzialny w równej mierze stopień rozdrabniający jak i stopnie separujące, dla typowych maszyn stosowanych w przetwarzaniu podzespołów WEEE podaje się wydajności od kilkuset kilogramów do kilku (2-3) ton podzespołów na godzinę,
- jakość – stopień rozdrobnienia i czystość materiału separowanego,
- koszty eksploatacji – głównym czynnikiem jest pobór energii oraz zużywające się części (przede wszystkim elementy rozdrabniające).

##### 4.1. RÓŻNE ROZWIĄZANIA ROZDRABNIANIA I SEPARACJI MATERIAŁOWEJ W LINIACH RECYKLINGOWYCH

Obecnie na rynku oferowana jest cała gama maszyn do rozdrabniania i separacji materiałowej. Są w nich stosowane różne metody i rozwiązania techniczne.

1. **Metoda kriogeniczna** (wychładzanie) dla ułatwienia rozdzielania metalu i tworzywa. Wykorzystuje ona różnicę rozszerzalności tworzywa i metalu dla powierzchniowego oderwania i rozdzielania tworzywa od połączonych z nim (np. przez zatopienie) drobnych części metalowych. Metoda pozwala na dokładne rozdzielanie tworzywa i metalu. Jej wadą są znaczne koszty budowy urządzenia i jego eksploatacji (stosowanie ciekłego azotu).
2. Kilkustopniowa separacja części metalowych z zastosowaniem **czujników wykrywających metal**. Części wykonane z tworzyw sztucznych wraz z wtrąceniami metalicznymi są rozdrabniane do wielkości ok. 10 mm. Otrzymany granulaty jest kierowany do separatora odśrodkowego oddzielającego większe części metalowe od tworzywowych. Następnie przekazywany jest do zaworu 3-drogowego sterowanego detektorem metali, który usuwa ze strumienia tworzywa mniejsze części metalowe. Stosuje się często dwa zawory 3-drogowe, umieszczone szeregowo, jeden za drugim. Nad transporterami montuje się separatory wychwytyjące zanieczyszczenia metalami ferromagnetycznymi (z magnesami stałymi lub elektromagnesami). Na końcu cyklu instalowane są także stanowiska separacji ręcznej na transporterze wy-

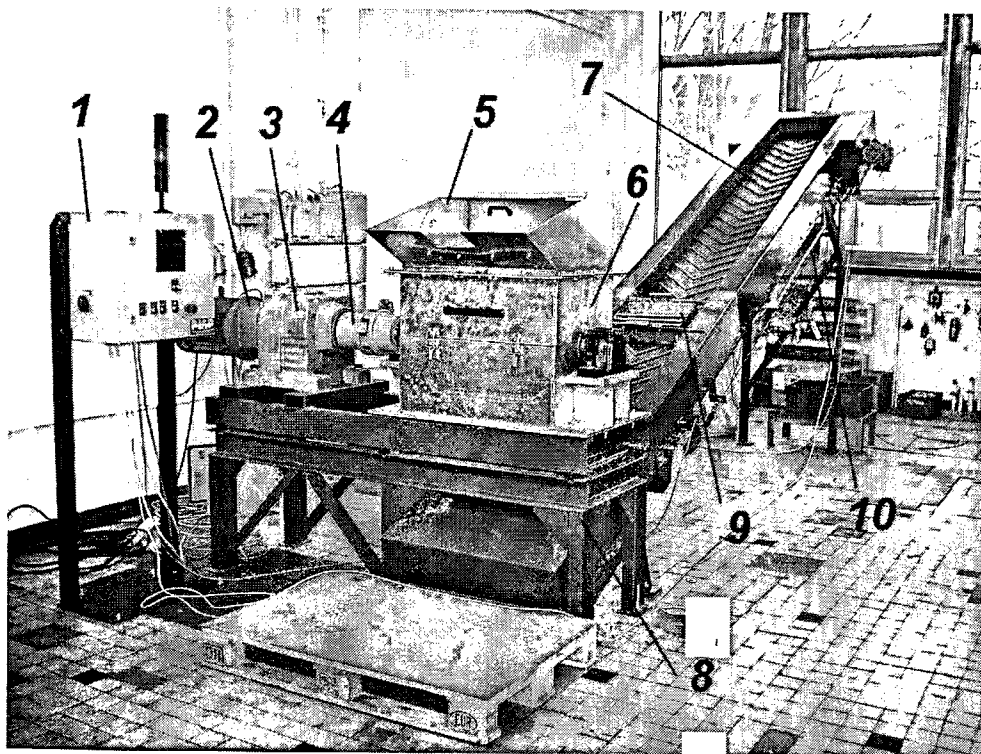
posażonym w detektor metali. Metoda ta w wyniku stosowania kilku stopni separacji zapewnia dobre zabezpieczenie przed pozostawieniem części metalowych w granulacie tworzywowym. Po takiej separacji tworzywo może być ponownie stosowane do produkcji. Z uwagi na wysoką wydajność i stosunkowo niewysokie koszty metoda ta jest stosowana powszechnie do separacji części metalowych istniejących w granulacie tworzywowym podawanym do form wtryskowych. W przetwarzaniu odpadów WEEE metoda ta jest stosowana dla urządzeń, w których udział frakcji metalowej nie jest duży (rzędu maksymalnie kilku procent).

3. **Kilkustopniowa separacja części metalowych z wykorzystaniem podajników magnetycznych i separacji pneumatycznej.** Metoda polega na rozdrabnianiu (przez cięcie) materiałów tworzywowo-metalowych, a następnie ich separacji z wykorzystaniem podajników wibracyjnych (np. magnetycznych) oraz strumienia powietrza. Metoda polega na wykorzystaniu różnicy wartości masy części metalowych i tworzywowych powodującej, iż na podajniku wibracyjnym części metalowe przesuwają się będą szybciej od części tworzywowych, co powoduje, iż opadną one do pojemnika metali, zaś części tworzywowe po przewodnicy podajnika przesuwające się wolniej, będą podsysane pneumatycznie i kierowane strumieniem powietrza do pojemnika. Wykorzystanie podajników wibracyjnych i podciśnienia pneumatycznego sprawdza się bardzo dobrze przy recyklingu kabli elektrycznych.

#### **4.2. URS RECYKLOP – PROPOZYCJA URZĄDZENIA ROZDRABNIAJĄCO-SEPARUJĄCEGO MAŁEJ MOCY**

W ramach realizacji projektu celowego zamawianego PCZ 013-26 opracowano w PIAP urządzenie do przetwarzania elementów tworzywowo-metalowych, powstałych po demontażu sprzętu elektrycznego i elektronicznego wycofanego z użytku, z jednoczesną separacją metali od tworzywa sztucznego. Urządzenie to, o handlowej nazwie „URS RECYKLOP” ma budowę modułową. W jego skład całości wchodzi (fot.1):

- Kruszarka (6) – moduł rozdrabniający, napędzany silnikiem trójfazowym (2) poprzez reduktor (3) i sprzęgło (4), posadowiony na konstrukcji wsporczej (8), z koszem zasypowym (5).
- Transporter (7) – napędzany silnikiem indukcyjnym trójfazowym
- Separator ferromagnetyków (9) – wyposażony w magnesy stałe
- Separator ferromagnetyków i metali kolorowych (10) – wyposażony w detektor i przesyp dwudrogowy sterowany
- Moduł sterujący (1) – szafka sterownicza z zabudowanym sterownikiem PLC, układami wejścia/wyjścia, przełącznikami i lampkami sygnalizacyjnymi oraz układem kontroli impulsów czujnika przeciążenia.



Fot. 1 Urządzenie URS RECYKLOP – podstawowe moduły

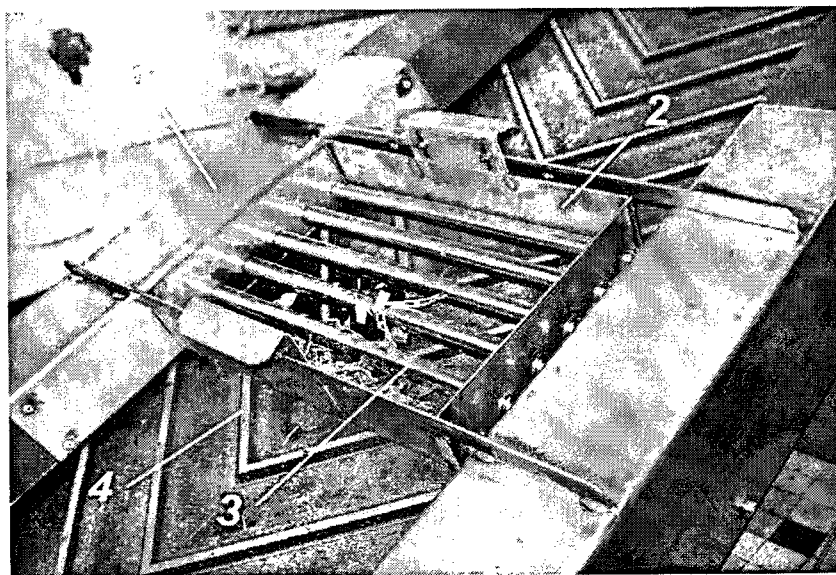
Istotną nowością w URS RECYKLOP jest zrealizowanie dwustopniowego systemu rozdrabniania przy zastosowaniu jednego wału z nożami kruszenia zgrubnego oraz dokładnego.

W URS RECYKLOP zastosowano dwustopniową separację zanieczyszczeń metalowych. Polega ona na wychwyceniu w pierwszym stopniu zanieczyszczeń metalami ferromagnetycznymi. W drugim stopniu eliminuje się zanieczyszczenia metalami niemagnetycznymi oraz metalami które przedostały się przez pierwszy stopień separacji. W zwartej zabudowie urządzenia (mała zajmowana powierzchnia) oba stopnie zintegrowano transporterem progowym:

- Pierwszy stopień to separator zanieczyszczeń metalami ferromagnetycznymi, umieszczony nad transporterem. Przebadano dwa warianty jego wykonania:
  - Wariant I - zastosowano prosty separator magnetyczny z okresowo czyszczonymi magnesami stałymi (fot. 2).
  - Wariant II - zastosowano separator z magnesami stałymi z układem samooczyszczania (rys. 2).
- Drugi stopień to separator metali (również niemagnetycznych), zainstalowany za transporterem, na jego wyjściu. Separator składa się z detektora metalu oraz przepływu dwudrogowego sterowanego pneumatycznie. Konstrukcję stopni i ich efektywność opisano poniżej.

### 4.3. PROBLEMY KONSTRUKCJI, STEROWANIA I EFEKTYWNOŚCI SEPARATORÓW PONAD TRANSPORTERAMI

Pierwszy stopień separacji zanieczyszczeń metalami ferromagnetycznymi zabudowany został na przenośniku transportowym tuż za kruszarką. Nad taśmą przenośnika (wsparty na jego ramie) znajduje się separator magnetyczny z magnesami stałymi zabudowanymi w osłonach rurowych (Fot. 2).

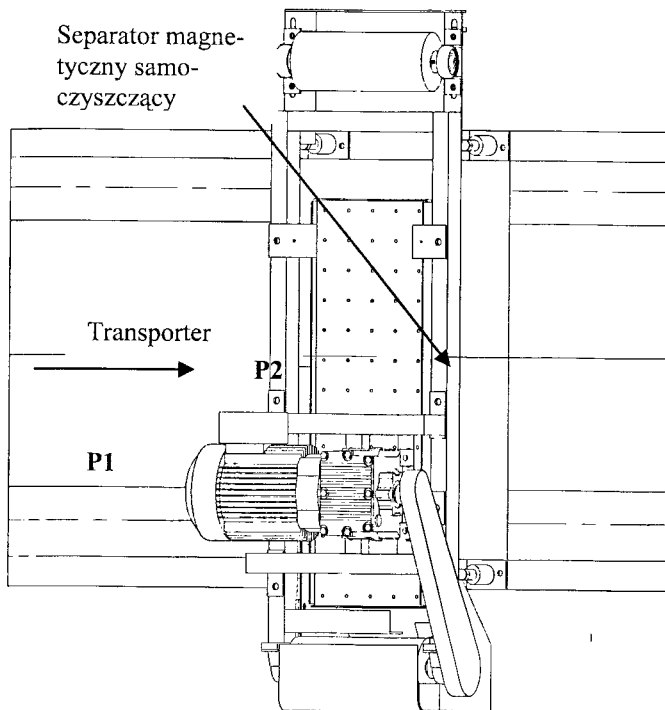


Fot. 2

Separator magnetyczny nad taśmą przenośnika.

Separator ten ma za zadanie wychwycić zanieczyszczenia metalami ferromagnetycznymi. Magnesy separatora są czyszczone okresowo. Czyszczenie polega na wyjęciu szuflady z magnesami, następnie wyciąga się pojedynczo magnesy z ich osłon. Po wysunięciu magnesu zanieczyszczenia odpadają od osłony i są następnie usuwane.

Duża ilość zanieczyszczeń metalami ferromagnetycznymi powoduje konieczność częstego czyszczenia magnesów. Jest to czynność kłopotliwa i długotrwała powodująca przestoje w pracy linii. Po próbach wstępnych opracowano i wykonano w PIAP separator magnetyczny samoczyszczący. Wykorzystano w nim takie same magnesy stałe jak w poprzednim rozwiązaniu. Samooczyszczanie realizowane jest przenośnikiem taśmowym, którego taśma opasuje magnesy stałe. Przyciągnięty przez magnes metal zabierany jest przez taśmę. Po przetransportowaniu metalu poza strefę działania magnesu metal odpada od taśmy i spada do podstawionego pojemnika. Separator samoczyszczący pokazano na rys. 2.



Rys. 2 Separator magnetyczny samoczyszczący.

Skuteczność separatora zanieczyszczeń ferromagnetycznych zależy od kilku czynników, m.in.:

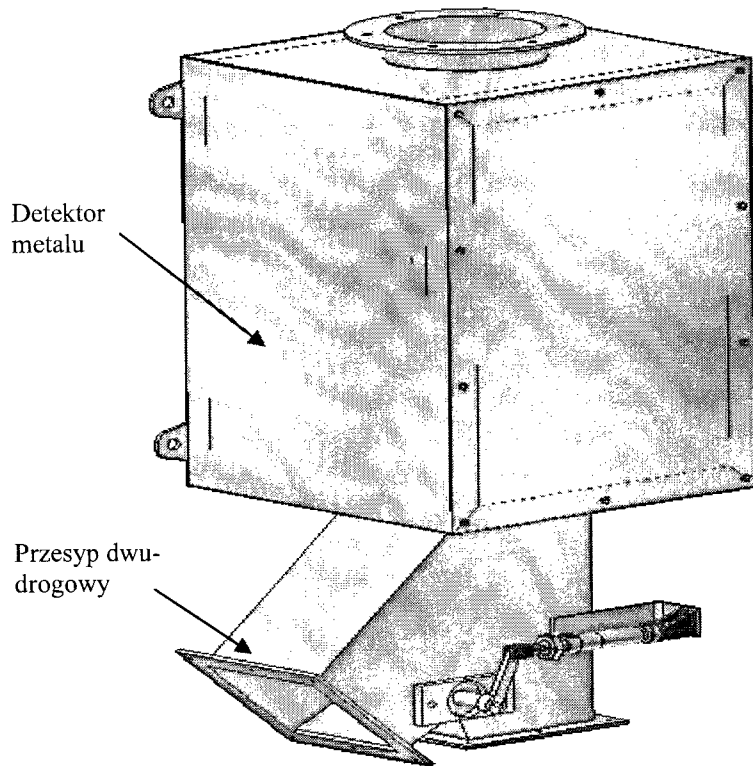
- Stosunku masy zanieczyszczenia do masy tworzywa przyklejonego do tego metalu,
- Grubości strugi transportowanego materiału pokruszonego i położenia w tej strudze zanieczyszczenia,
- Szybkości przesuwu transportera z materiałem oczyszczanym,
- Stopnia rozdrobnienia materiału oczyszczanego,
- Wysokości magnesów nad strugą materiału.

Skuteczność separacji magnetycznej przy zastosowaniu przedstawionych rozwiązań, jest wysoka. W przeprowadzonych badaniach uzyskano około 97% (wagowo) ilości zanieczyszczeń metalami magnetycznymi. Przepuszczane były tylko kawałki metalu z przyklejonym tworzywem o dużej masie lub zanieczyszczenia o niewielkiej masie znajdujące się na spodzie strugi materiału (daleko od magnesów). Skuteczność separacji poprawiała się przy spowolnieniu ruchu transportera. Była także lepsza przy równomiernym podawaniu wsadu do kruszarki – brak spiętrzeń materiału na transporterze.

#### 4.4. PROJEKTOWANIE I STROJENIE PRZESYPOWYCH UKŁADÓW SEPARACJI

Opracowany w PIAP separator metali (magnetycznych i niemagnetycznych), wykorzystujący detektor metali pokazano na rys. 3.





Rys. 3 Separator metali magnetycznych i niemagnetycznych.

Separator składa się z detektora metalu oraz przesypu dwudrogowego sterowanego pneumatycznie. Zainstalowany jest u wylotu przenośnika. Rozdrobniony surowiec spada z transportera do gardzieli separatora i przelatuje przez rurę elastyczną, wokół której jest zamontowany czujnik detektora metalu. Sygnał z czujnika jest przekazywany do jednostki sterującej detektora, umieszczonej na konstrukcji wsporczej transportera. Wykrycie metalu w lecącym surowcu powoduje zadziałanie (z pewnym ustawianym opóźnieniem) klapy przesypu dwudrogowego na określony, nastawiany, czas. Powoduje to wyrzucenie zanieczyszczenia razem z niedużą porcją surowca do kanału odpadowego przesypu. Kanał ten jest skierowany do pojemnika odpadów, które należy poddać ponownej obróbce. Rozdrobniony surowiec, pozbawiony zanieczyszczeń, jest kierowany poprzez kanał główny przesypu do pojemnika materiału czystego. Ten materiał może być przekazywany do dalszej obróbki (np. granulacji) lub oferowany na sprzedaż. Jednostka sterująca detektora umożliwia również ustawienie jego czułości, oprócz wspomnianych czasów opóźnienia i zadziałania przesypu. Dobór tych trzech parametrów pozwala dostroić separator tak, aby zapewniał 100% czystość surowca użytecznego przy maksymalnej wydajności. Strojenie takie powinno być powtarzane przy zmianie rodzaju materiału na wejściu kruszarki.

## 5. PODSUMOWANIE

Obecnie w Polsce zbiórką i demontażem zużytych urządzeń elektrycznych i elektronicznych zajmuje się niewielka liczba podmiotów gospodarczych. Większość tych urządzeń nadal trafia wprost na składowiska odpadów. Zbierane urządzenia są demontowane głównie w celu pozyskiwania materiałów, które najłatwiej odzyskać i sprzedać, takich jak złom stalowy i metale nieżelazne. Demontowane są też elementy i podzespoły zawierające metale szlachetne lub posiadające wartość handlową jako części zamienne. Pozostałość zawierająca 60-80% odpadów niemetalicznych, w tym elementy i materiały użyteczne oraz substancje niebezpieczne, trafia najczęściej na składowiska odpadów komunalnych. Aby tę pozostałość zagospodarować, a tym samym zapewnić ochronę środowiska i jednocześnie spełnienie wymogów prawnych [2, 3], konieczne jest wprowadzenie ogólnokrajowych rozwiązań systemowych. Do efektywnego funkcjonowania takiego systemu niezbędne będzie wyposażenie podmiotów realizujących zadania poszczególnych jego stopni w odpowiednie środki techniczne. W uzasadnionych przypadkach, gdy pomoże to w uzyskaniu efektywności ekonomicznej całego systemu, stosowane urządzenia muszą zawierać elementy mechanizacji i automatyzacji. Dotyczy to w szczególności procesu rozdrabniania i separacji elementów tworzywowo-metalowych. URS RECYKLOP jest propozycją rozwiązania problemu automatyzacji tego procesu przy wykorzystaniu krajowej myśli technicznej.

## LITARATURA

- [1] Baic I., Karuga S., Waclawik B., Ostatkiewicz A.: Projekt Krajowego Systemu Zbiórki i Utylizacji Odpadów Sprzętu Elektrycznego i Elektronicznego. IMBiGS Warszawa 2004.
- [2] Dyrektywa nr 2002/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE).
- [3] Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, Dz.U. 2005 nr 180 poz. 1495
- [4] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz. U. 2001 nr 62, poz. 628
- [5] Uchwała nr 219 Rady Ministrów z dnia 29 października 2002 r. w sprawie krajowego planu gospodarki odpadami – Monitor Polski 2002 nr 11
- [6] PCZ 013-26 Krajowy system zbiórki i utylizacji wycofywanych z eksploatacji urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Temat 2.2.2 Opracowanie dokumentacji specjalizowanego urządzenia do przetwarzania podzespołów i elementów metalowo-tworzywowych po procesach demontażu drobnego sprzętu gospodarstwa domowego. Etap 2.2.2.1 Opracowanie projektu prototypu urządzenia. Sprawozdanie PIAP nr arch. 8078. Warszawa 2003.