

Jacek CZYŻEWICZ*, **Michał WASILCZUK***

**WPLYW OPORÓW RUCHU ODPADÓW
W SKRZYNI ZBIORCZEJ POJAZDU
DO USUWANIA ODPADÓW Z POJEMNIKÓW
NA PARAMETRY PROCESU PRASOWANIA**

**THE EFFECT OF THE FRICTION OF THE REFUSE INSIDE
THE REFUSE COLLECTION VEHICLE BODY
ON THE WORKING PARAMETERS OF THE COMPACTION
MECHANISM**

Słowa kluczowe:

pojazd do usuwania odpadów z pojemników, badania eksploatacyjne, obciążenie mechanizmu, wyznaczanie współczynnika oporu

Key words:

refuse collection vehicle, field testing, loads of the mechanism, friction coefficient evaluation

Streszczenie

Mechanizm prasujący pojazdu do usuwania odpadów z pojemników (w skrócie PUOP) spełnia dwie funkcje. W pierwszym etapie zagęszcza zebrane z pojem-

* Politechnika Gdańska, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska, e-mail: jacczyze@pg.gda.pl, mwasilcz@pg.gda.pl.

ników odpady, a następnie przemieszcza je w głąb skrzyni zbiorczej. Znajomość właściwości mechanicznych odpadów znajdujących się wewnątrz skrzyni może w znaczący sposób wpłynąć na poprawę wydajności pojazdu. Celem badań było zwiększenie wydajności PUOP poprzez opracowanie – w oparciu o wyznaczone doświadczalnie współczynniki oporu odpadów – udoskonalonego algorytmu sterowania pracą mechanizmu prasującego. Rejestracja chwilowego położenia mechanizmów PUOP oraz ciśnienia w układzie hydraulicznym umożliwiła wyznaczenie wartości charakterystycznego dla danego typu odpadów współczynnika oporu o wnętrzu skrzyni zbiorczej. W kolejnym etapie prac badawczych wartość wyznaczonego współczynnika oporu wykorzystana została do opracowania nowego algorytmu sterującego pracą mechanizmu prasującego PUOP.

W artykule zamieszczone zostały wybrane charakterystyki współczynnika oporu odpadów o wnętrzu skrzyni zbiorczej obrazujące znaczące różnice otrzymanych wartości w zależności od analizowanej frakcji odpadów. Opisano również metodę ich wyznaczania oraz ograniczenia tej metody.

WPROWADZENIE

Badania ilościowe przeprowadzane przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych wskazują systematyczny wzrost ilości odpadów komunalnych niezależnie od źródła ich pochodzenia, pory roku czy standardu życia mieszkańców. Rosnący wskaźnik objętościowy odpadów przy jednocześnie zmniejszającej się gęstości nasypowej obrazują zmieniający się charakter śmieci [L. 1]. Dane te pozwalają oszacować liczbę pojemników na odpady, pojazdów do ich wywozu i miejsca do składowania niezbędnego dla prawidłowego działania systemu oczyszczania terenów gminnych. Według prowadzonych analiz liczba maszyn takich jak PUOP, których zadaniem jest zbieranie odpadów z rozproszonych lokalizacji i ich transport do miejsca składowania lub przetwarzania będzie rosła. Rosnąć będą również stawiane im wymagania dotyczące przede wszystkim możliwości załadowniczych.

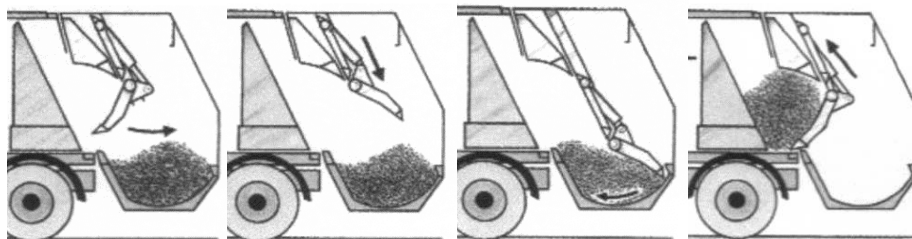
Najprostszą metodą zwiększenia możliwości załadowniczych PUOP jest zwiększenie sił generowanych przez mechanizm prasujący poprzez zwiększenie powierzchni roboczej siłowników hydraulicznych lub podniesienie maksymalnego ciśnienia w układzie hydraulicznym. Chcąc przy takim rozwiązaniu utrzymać trwałość konstrukcji na dotychczasowym poziomie, należy ją wzmocnić. To znowu w większości przypadków powoduje wzrost masy pojazdu. Biorąc pod uwagę ściśle określone przepisy regulujące dopuszczalną masę całkowitą pojazdów poruszających się po drogach publicznych, zwiększenie masy pojazdu obniża jego dopuszczalną ładowność [L. 2]. Wykorzystanie zwiększonej wydajności mechanizmu prasującego jest więc niezgodne z przepisami ruchu drogowego.



Celem prowadzonych badań było zwiększenie możliwości załadowniczych PUOP bez konieczności zwiększania sił generowanych w jego układzie mechanizmu prasującego.

ZASADA DZIAŁANIA PUOP

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem stosowanym do zagęszczania odpadów jest tzw. mechanizm łopatowy, którego cykl pracy przedstawiony został na **Rys. 1 [L. 2]**. Urządzenie takie składa się z płyty nośnej wykonującej ruch posuwisty, poruszającej się w szynach umieszczonych w stalowym korpusie PUOP. Do dolnego końca płyty nośnej przytwierdzona jest wahliwie płyta ugniatająca wykonująca ruch zgodny z kształtem kosza zasypowego. Całość napędzana jest siłownikami hydraulicznymi i wykonuje cyklicznie powtarzane sekwencje ruchów.



Rys. 1. Sekwencja ruchów łopatowego mechanizmu prasującego PUOP [L. 2]

Fig. 1. RCV compaction mechanism movement sequence [L. 2]

Aby w pełni wykorzystać możliwości ugniatające mechanizmu prasującego i utrzymanie zebranych odpadów pod ciśnieniem, skrzynia zbiorcza wyposażona jest w płytę wypychającą, zwaną również ruchomą ścianą przemieszczającą się w jej wnętrzu wzdłuż pojazdu. Dzięki hydraulicznemu mechanizmowi napędowemu ruchomej ściany możliwe jest również opróżnianie pojazdu z zebranego ładunku. Najpopularniejszym rozwiązaniem stosowanym do napędu płyty wypychającej jest siłownik teleskopowy dwustronnego działania. Jednym końcem montowany jest on w przedniej części skrzyni zbiorczej, drugim na ruchomej ścianie.

Jedynym nastawianym parametrem mającym bezpośredni wpływ na wydajność mechanizmu prasującego podczas procesu napełniania skrzyni zbiorczej jest maksymalne ciśnienie robocze siłownika teleskopowego. W sposób bezpośredni determinuje ono siłę oporu ściany ruchomej, umożliwiając sukcesywne zagęszczanie odpadów i napełnianie skrzyni zabudowy. Zwiększająca się objętość zebranych odpadów wywołuje wzrost siły oporu odpadów we-

wnętrz skrzyni, a to zwiększa stopień zagęszczenia odpadów zgniatanych w kolejnych cyklach prasy. Wyznaczenie ciśnienia panującego w siłownikach prasy wymaga zatem znajomości nie tylko siły oporu ruchomej ściany, ale również ilości znajdujących się w skrzyni odpadów. Zmienność położenia płyty wypychającej, parametrów pracy siłownika teleskopowego i objętości zgromadzonych odpadów bezpośrednio wpływa na siły panujące w elementach ugniatających. Zbyt duży opór ruchomej ściany uniemożliwia napełnienie skrzyni zbiorczej. Zbyt niski ogranicza stopień zgniotu i tym samym obniża masę zbieranych przez pojazd odpadów, zmuszając obsługę do częstszych wizyt na wysypisku odpadów. W tradycyjnych rozwiązaniach graniczne ciśnienia panujące w siłowniku teleskopowym utrzymywane jest na stałym poziomie w trakcie całego procesu załadunku.

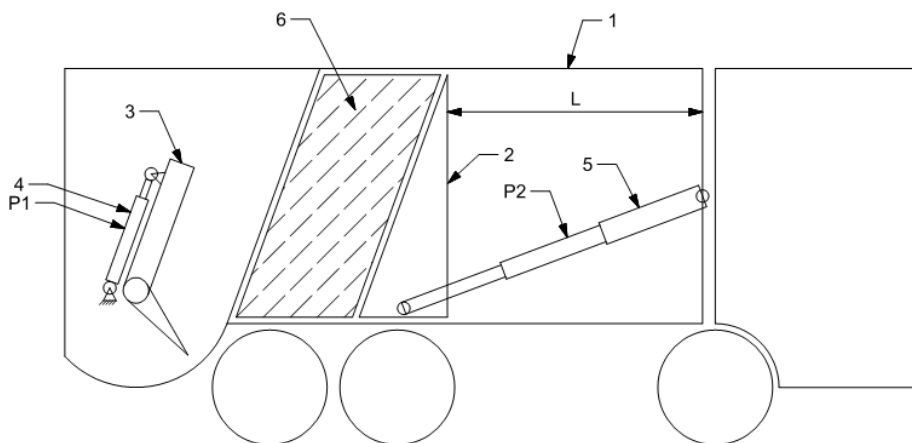
OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

W celu analizy zjawisk zachodzących podczas procesu prasowania odpadów w rzeczywistych warunkach pracy PUOP wyposażono w specjalnie zaprojektowany układ pomiarowy. Trudne warunki działania badanego pojazdu wymagały zastosowania odpowiedniego sprzętu pomiarowego. Układ pomiarowy zbudowano na bazie produktów firmy IFM Electronic przeznaczonych do mobilnych zastosowań. W jego skład wchodził sterownik swobodnie programowalny CR0020 wyposażony w moduł rejestracji danych CANmem CR3101 umożliwiający przechowywanie danych na standardowych kartach pamięci SD (Secure Digital). Kontrolowane były sygnały z przetworników ciśnienia hydraulicznego, dalmierza laserowego, wyjść PWM z kontrolą prądu i binarnych wejść. Całość zamontowana została na dachu skrzyni zbiorczej w szczelnej obudowie wyposażonej w magnetyczne stopki umożliwiające łatwy montaż i demontaż. Schemat pojazdu – stanowiska badawczego przedstawiono na **Rys. 2**. Zasadniczym elementem pojazdu jest skrzynia zbiorcza (1), wewnątrz której porusza się ruchoma ściana (2). Mechanizm prasujący (3) napędzany siłownikiem hydraulicznym (4) transportuje odpady (6) do wnętrza skrzyni. Siłownik teleskopowy (5) podczas napełniania skrzyni stawia opór umożliwiający prasowanie odpadów, zaś podczas opróżniania skrzyni na wysypisku wypycha zebrane odpady ze skrzyni. W układzie pomiarowym mierzono ciśnienie hydrauliczne w siłowniku mechanizmu prasującego (P1), ciśnienie hydrauliczne w siłowniku teleskopowym (P2) oraz położenie ruchomej ściany (L).

W układzie hydraulicznym wybrane zostały dwa punkty pomiarowe umożliwiające ocenę chwilowych parametrów pracy wybranych elementów zabudowy. W pierwszym punkcie mierzono ciśnienie hydrauliczne w siłownikach napędzających płytę nośną w zespole prasy (P1). W drugim mierzono ciśnienie hydrauliczne w siłowniku teleskopowym (P2) zarówno w czasie procesu zała-



dunku, jak i rozładunku pojazdu. Kolejnym mierzonym parametrem był stopień napełnienia skrzyni zbiorczej, który oceniany był na podstawie pomiaru położenia ruchomej ściany (L) za pomocą dalmierza laserowego IFM O1D100. Istotnym źródłem informacji umożliwiających późniejszą analizę zebranych wyników były rejestrowane sygnały sterujące elektrozaworami hydraulicznymi wykorzystanymi w zabudowie, które razem z innymi mierzonymi parametrami podlegały archiwizacji. Rozwiązanie takie pozwoliło na precyzyjną analizę zgromadzonych danych na podstawie aktywności wybranych mechanizmów.



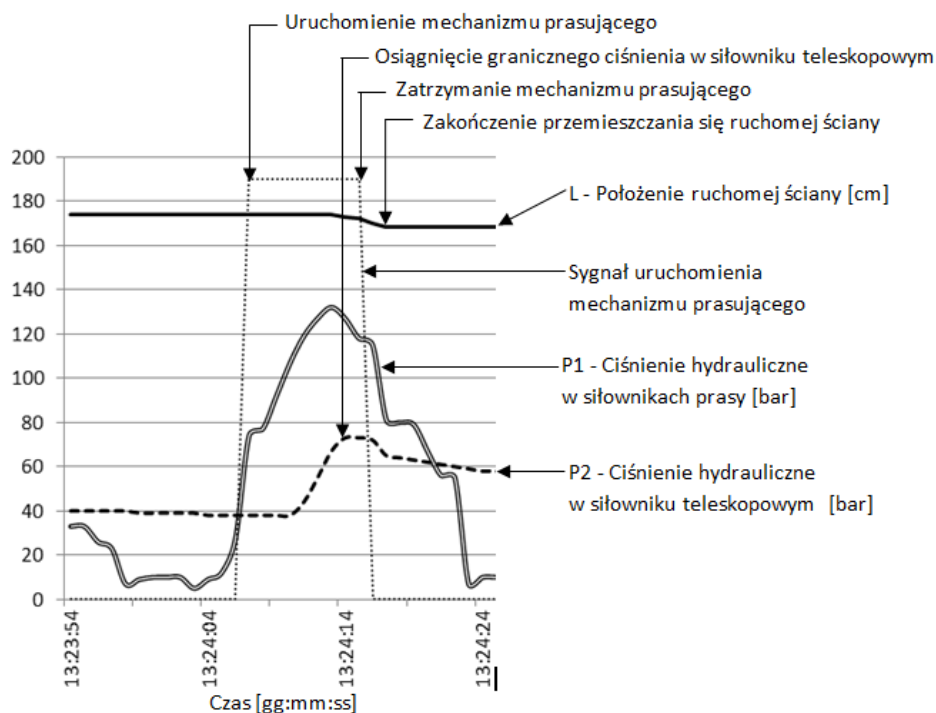
Rys. 2. Schemat pojazdu – stanowiska badawczego

Fig. 2. Schematic drawing of a vehicle serving as a test rig

WYNIKI POMIARÓW I ICH INTERPRETACJA

Analizując wyniki zarejestrowanych wielkości dla pojedynczych cykli pracy mechanizmu prasującego, można zaobserwować moment końca etapu zagęszczania odpadów i rozpoczęcie ich przesuwania wewnątrz skrzyni zbiorczej. Na **Rys. 3** przedstawione zostały wartości zarejestrowanych wielkości w trakcie pracy mechanizmu prasującego. Dodatkowo na wykres naniesiony został przebieg sygnału uruchamiającego zawór hydrauliczny unoszenia płyty nośnej (linia kropkowana). Umożliwia to zaobserwowanie momentu rozpoczęcia ruchu płyty nośnej mechanizmu prasującego ku górze, końca etapu zagęszczania odpadów oraz rozpoczęcia i zakończenia etapu ich przemieszczania wewnątrz skrzyni zbiorczej. Etap zagęszczania odpadów przez mechanizm prasujący rozpoczyna się wraz z pojawieniem się sygnału uruchamiającego zawór hydrauliczny unoszenia płyty nośnej. Ciśnienie hydrauliczne zarejestrowane w tym czasie w siłownikach mechanizmu prasującego oznaczone podwójną linią narasta stopniowo, osiągając maksymalną wartość w momencie zaobserwowanej

zmiany położenia ruchomej ściany (linia ciągła). Moment pojawienia się maksymalnego ciśnienia hydraulicznego w układzie prasy zależy jest od ilości oraz rodzaju odpadów podlegających zagęszczaniu w danym cyklu i może pojawić się nawet na kilka sekund przed końcem ruchu prasy ku górze. Przeszczanie ruchomej ściany następuje po osiągnięciu granicznego ciśnienia hydraulicznego w siłowniku teleskopowym oznaczonego linią przerywaną. W przedstawionym przypadku jest to wartość 75 barów. Charakterystyczny jest fakt kontynuacji etapu przemieszczania odpadów wewnątrz skrzyni zbiorczej mimo zakończenia ruchu prasy ku górze, o czym świadczy zmiana położenia ruchomej ściany (linia ciągła). Wskazuje to na powolne rozprężanie się zagęszczonej w danym cyklu objętości odpadów wewnątrz skrzyni zbiorczej. Koniec etapu przemieszczania odpadów następuje w chwili spadku ciśnienia hydraulicznego w siłowniku teleskopowym poniżej granicznej wartości.



Rys. 3. Przebieg wartości zarejestrowanych wielkości w trakcie pojedynczych cykli mechanizmu prasującego

Fig. 3. Parameters measured during a single cycle of the compaction mechanism movement



WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA OPORU PRZEMIESZCZANIA ODPADÓW WE WNĘTRZU SKRZYNI PUOP

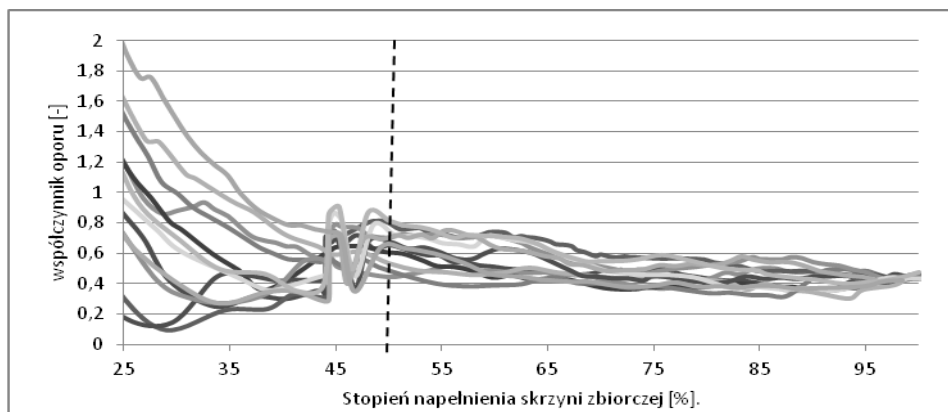
Obserwacja pracujących w rzeczywistych warunkach pojazdów obejmowała nie tylko procesy związane z załadunkiem skrzyni zbiorczej, ale również z jej rozładunkiem. W trakcie opróżniania skrzyni zbiorczej, podobnie jak w trakcie jej napełniania, na bieżąco rejestrowane było położenie ruchomej ściany oraz ciśnienie hydrauliczne we wszystkich elementach wykonawczych, w tym w siłowniku teleskopowym. Na podstawie tych informacji możliwe było określenie siły generowanej w siłowniku teleskopowym niezbędnej do wypchnięcia zgromadzonych odpadów i chwilowej ich objętości. Dodatkową informacją umożliwiającą wyznaczenie poszukiwanego współczynnika oporu były zapisy z wag zainstalowanych na wysypisku odpadów. Na ich podstawie możliwe było skojarzenie ciśnień zarejestrowanych podczas procesu wypychania śmieci z ich masą. Ze względu na duży zakres tolerancji masy ładunku w stosunku do teoretycznej ładowności pojazdu, zestawienie pomiarów dokonanych na pojeździe z pomiarami masy danego ładunku miało zasadnicze znaczenie. Współczynnik oporu odpadów o wnętrzu skrzyni zbiorczej PUOP to stosunek poziomej siły oporu przemieszczania odpadów do ich ciężaru, jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju odpadów.

W dalszym etapie opracowany został model obliczeniowy umożliwiający wyznaczenie poszukiwanego współczynnika oporu. Kluczowym założeniem było pominięcie wpływu oporu odpadów o ściany boczne skrzyni zbiorczej. Wyniki badań prowadzone na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Brescia (Włochy) na PUOP o podobnych parametrach konstrukcyjnych wykazały, iż naciski odpadów na ścianach bocznych skrzyni zbiorczej prostopadłych do kierunku działania siły głównej są nawet 100 razy mniejsze w stosunku do tej siły. Kolejnym zaobserwowanym zjawiskiem jest zmniejszanie się nacisków na ścianach bocznych wraz z wysokością słupa odpadów. Na ścianie górnej naciski osiągają wartości minimalne [L. 4].

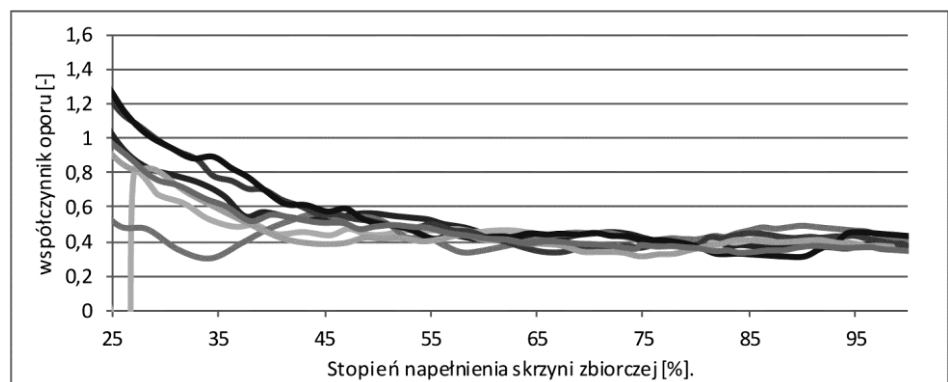
Przykładowe wyniki obliczeń współczynnika oporu odpadów zmieszanych przedstawione zostały na **Rys. 4** w postaci charakterystyk w funkcji stopnia napełnienia skrzyni zbiorczej (położenia ruchomej ściany). Przebiegi wartości współczynnika oporu dla kolejnych procesów opróżniania skrzyni zbiorczej wskazują pewną powtarzalność. Rozbieżności świadczą jednak również o zmienności właściwości mechanicznych odpadów zmieszanych. Wykres należy podzielić na dwa obszary (oddzielone pionową przerywaną linią). Pierwszy od 100% do ok. 50% napełnienia skrzyni zbiorczej, w którym zmienność wartości współczynnika oporu przebiega w płynny sposób i nie wykazuje znacznych odstępstw od średniej. Drugi od 50% do 0% napełnienia skrzyni, w którym wartości współczynnika oporu zmieniają się w sposób chaotyczny. Spowodowane jest to specyfiką procesu rozładunku pojazdu. Wypychane



ze skrzyni odpady rozprężają się i gromadzą tuż za pojazdem, uniemożliwiając jego całkowite opróżnienie bez konieczności przemieszczenia pojazdu. Opór odpadów zgromadzonych za pojazdem uniemożliwia kontynuowanie procesu mniej więcej w połowie jego trwania. Faza dalszego opróżniania skrzyni nie może być zatem źródłem informacji o wyznaczonym współczynniku ze względu na zmienność warunków, w których odbywa się proces. Współczynnik oporu odpadów wyznaczony na podstawie pierwszego przedziału waha się w granicach 0,3–0,7.



Rys. 4. Współczynnik oporu przemieszczania odpadów zmieszanych
Fig. 4. Friction coefficient of mixed refuse



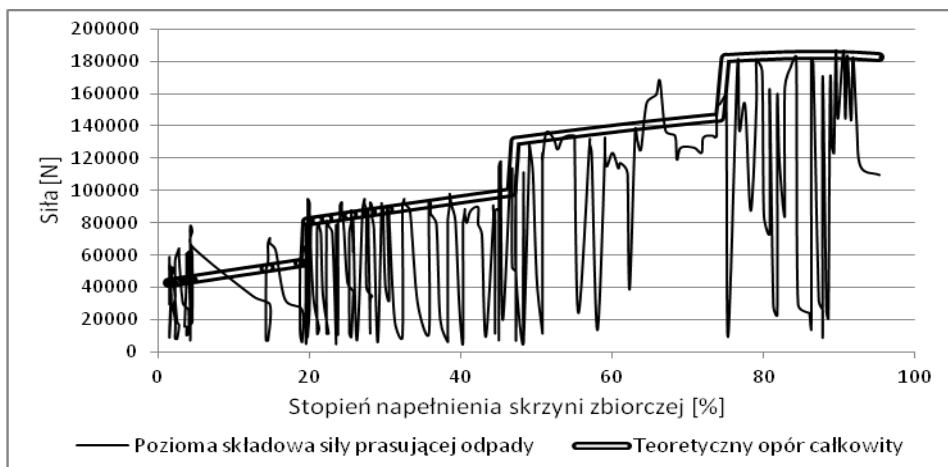
Rys. 5. Współczynnik oporu przemieszczania odpadów plastikowych
Fig. 5. Friction coefficient of plastic refuse

Dla odpadów plastikowych wartości współczynnika oporu wyznaczonego w taki sam sposób przedstawione zostały na **Rys. 5**. Jego wartość jest inna niż dla odpadów zmieszanych i waha się w granicach 0,3–0,5. Przeprowadzone

doświadczenia wskazują większą niż dla odpadów zmieszanych powtarzalność wyników. Spowodowane jest to przede wszystkim jednorodnością analizowanej frakcji odpadów. Świadczy również o braku wpływu takich czynników jak temperatura otoczenia czy wilgotność odpadów na przebieg procesu zagęszczania.

REGULACJA WYDAJNOŚCI MECHANIZMU PRASUJĄCEGO PUOP

Całkowita siła oporu niezbędna do pokonania przez prasę w celu napełnienia skrzyni zbiorczej jest sumą siły oporu generowanej przez zgromadzone w skrzyni zbiorczej odpady oraz siły oporu ruchomej ściany. Po uwzględnieniu wartości współczynnika tarcia odpadów o wnętrze skrzyni zbiorczej metodą analityczną wyznaczony został teoretyczny opór całkowity w trakcie procesu napełniania PUOP. Jego wartość przedstawiona została na **Rys. 6** podwójną linią. Linią pojedynczą ciągłą oznaczono poziomą składową siły prasującej wyznaczoną na podstawie ciśnienia hydraulicznego zmierzonego w siłownikach mechanizmu prasującego. Na wykresie zaobserwować można, jak nierównomiernie wykorzystywany jest potencjał mechanizmu prasującego w trakcie napełniania skrzyni zbiorczej. Sytuacja taka wymusza dostosowanie mechanizmów zabudowy do zbierania odpadów do przenoszenia obciążeń pojawiających się w maksymalnie 25% czasu ich pracy, pod koniec napełniania skrzyni. Gdyby obniżone zostały maksymalne obciążenia, możliwe byłoby zmniejszenie masy zabudowy.

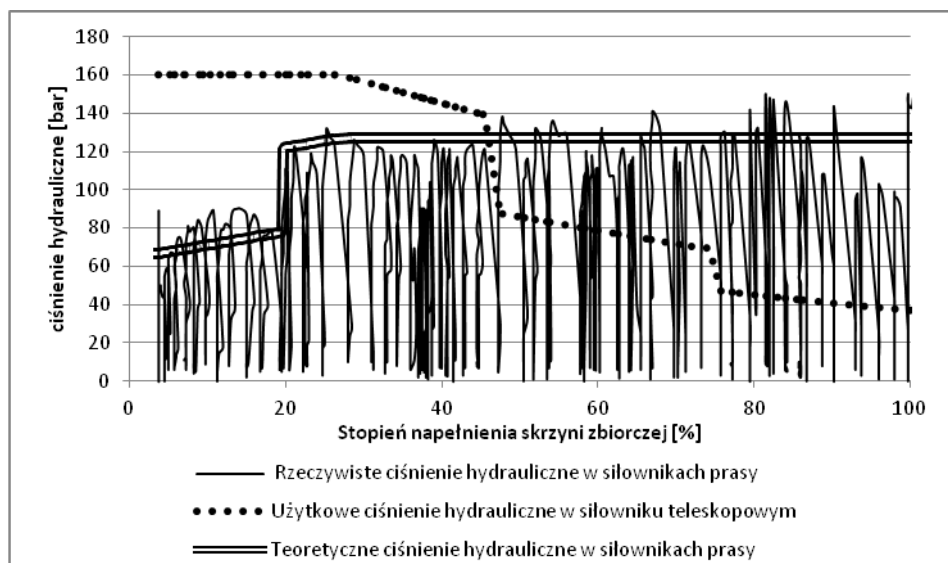


Rys. 6. Rzeczywista pozioma składowa siły prasującej oraz teoretyczny opór całkowity

Fig. 6. Comparison of compaction force horizontal component based on hydraulic pressure measured in compaction mechanism hydraulic cylinders and theoretic total resistance force



Jedynym parametrem podlegającym regulacji w trakcie procesu napełniania PUOP mającym bezpośredni wpływ na efektywność zagęszczania odpadów jest graniczne ciśnienie w siłowniku teleskopowym. Idea modyfikacji układu sterowania pracą zabudowy polega na regulacji oporu ruchomej ściany w taki sposób, aby zapewnić stałą wydajność mechanizmu prasującego niezależnie od stopnia napełnienia skrzyni zbiorczej. Dzięki rozpoznaniu zależności między oporem ruchomej ściany, stopniem napełnienia skrzyni zbiorczej i siłami pojawiającymi się w mechanizmie prasującym możliwe jest wyznaczenie wymaganego ciśnienia w siłowniku teleskopowym zapewniającego założoną wydajność prasy. Na **Rys. 7** linią kropkowaną przedstawiona została charakterystyka użytkowego ciśnienia hydraulicznego panującego w siłowniku teleskopowym oraz wyznaczony na jej podstawie przebieg ciśnienia w siłownikach prasy w funkcji stopnia napełnienia pojazdu (linia podwójna). Dodatkowo wykres uzupełniony został o wartość ciśnienia hydraulicznego zarejestrowanego w układzie prasy na pojeździe z zaimplementowanym nowym algorytmem sterowania pracą zabudowy (linia ciągła). Wyniki zebranych pomiarów wskazują poprawność dokonanych założeń i przeprowadzonych obliczeń. Istniejące rozbieżności na poziomie ok. 15% należy traktować jako typowe zjawisko obserwowane



Rys. 7. Zestawienie wartości wielkości zmierzonych i teoretycznych dla procesu napełniania PUOP

Fig. 7. Comparison of theoretical, real hydraulic pressure in compaction mechanism cylinders and hydraulic pressure in the telescopic cylinder

również w przypadku pasywnego sterowania pracą zabudowy. Związane jest to przede wszystkim z niejednorodnością właściwości fizycznych zbieranych odpadów. Najistotniejszy w tym przypadku jest fakt uzyskania płaskiej charakterystyki sił występujących w mechanizmie prasującym na przewidywanym poziomie gwarantującej osiągnięcie dotychczasowej ładowności PUOP. W analizowanym przypadku rozwiązanie to umożliwiło redukcję ciśnienia hydraulicznego w siłownikach prasy o 29% ze 180 barów do 127 barów.

PODSUMOWANIE

Znajomość relacji między współpracującymi w PUOP mechanizmami oraz właściwości mechanicznych odpadów umożliwiała zarówno wyznaczanie charakterystyki siły oporu ruchomej ściany na podstawie dowolnej charakterystyki pracy mechanizmu prasującego, jak i odwrotnie. Znając użytkową charakterystykę oporu ruchomej ściany, możliwe jest wyznaczenie przewidywanej charakterystyki sił generowanych w układzie prasy.

Korzyści płynące z wdrożenia opracowanego systemu regulacji wydajności mechanizmu prasującego mogą być spożytkowane w zależności od przyjętego kryterium optymalizacji. Jego stosowanie może się przełożyć na zwiększenie ładowności PUOP, zmniejszoną masę lub zmniejszone gabaryty zabudowy. W analizowanym przypadku celem była minimalizacja sił niezbędnych do napełnienia PUOP założoną masą odpadów. Prawidłowa regulacja układu sterowania z uwzględnieniem wyznaczonego współczynnika oporu dla odpadów zmieszanych umożliwiła redukcję ciśnienia w układzie hydraulicznym o ok. 30%. Ma to bezpośredni wpływ nie tylko na naprężenia w konstrukcji stalowej, ale również na intensywność zużywania okładzin ślizgowych, ruchomych połączeń łożyskowych czy starzenia oleju hydraulicznego.

Ograniczeniem prezentowanej metody jest możliwość wyznaczenia właściwości odpadów dopiero po zakończeniu procesu ich zbiórki. Doświadczenia płynące z prowadzonych badań wskazują na znaczące różnice między wartościami współczynnika oporu oraz ciężaru właściwego dla różnych frakcji odpadów. W sposób znaczący utrudnia to parametryzację układu sterowania pojazdu pracującego z różnymi typami odpadów i w przyszłości pożądanym będzie opracowanie algorytmu, w którym adaptacja do rodzaju i właściwości odpadów będzie następowała na podstawie modyfikowanych na bieżąco informacji o zbieranych odpadach.

LITERATURA

1. Sieja L.: Charakterystyka odpadów komunalnych na podstawie badań w wybranych miastach Polski, Ochrona powietrza i problemy odpadów, 2006.



2. PN-EN 1501-1 Pojazdy do usuwania odpadów z pojemników i związane z nimi mechanizmy załadowcze. Polski Komitet Normalizacyjny, 2007.
3. ZOELLER-Gruppe | ZÖLLER-KIPPER – Innovative Entsorgungstechnik. [Online]: <http://www.zoeller-kipper.de/>. [20-styczeń-2010].
4. Donzella G.: Experimental and numerical analysis of the body of a refuse collecting vehicle, Computer Applications in Technology, 2005.

Summary

The compaction mechanism in refuse collection vehicle (RCV) has two functions. In the first step, it compacts collected refuse and then transports them inside the body. The knowledge of the physical properties of the refuse, including friction, may strongly affect the RCV efficiency.

A methodology of determining refuse friction resistance coefficient inside the RCV body was developed. The result was implemented in a RCV working in real conditions. Thanks to the position of the RCV mechanisms and hydraulic pressure measurement, the characteristic for each refuse type parameter was specified. Using this value in a compaction mechanism control algorithm increased its efficiency significantly.

Characteristics of the friction resistance coefficient showing the differences between different refuse types are presented in the paper. It describes the developed methodology, its evaluation, and limitations.

