

SIMULATION RESEARCH ON KINEMATIC BEHAVIORS OF VIRTUAL MODEL CASING FOR EMPTYING AND DISINFECTION OF MUNICIPAL WASTES CONTAINERS

Summary

The article presents the use of modern methods of kinematic simulation during the designing of casing for emptying and disinfection of the containers for municipal wastes, which take into account their actual working conditions. The work results in implementation into a production of the product filling a gap in the market in Poland, in which two operations are performed: emptying of different volume containers and disinfection (operations carried out simultaneously during one check for the collection of impurities).

Key words: *community facilities, construction, modelling, analysis of stability*

BADANIA SYMULACYJNE ZACHOWAŃ KINEMATYCZNYCH WIRTUALNEGO MODELU ZABUDOWY DO OPRÓŻNIANIA I DEZYNFEKCYJ POJEMNIKÓW NA ODPADY KOMUNALNE

Streszczenie

Przedstawiono wykorzystanie nowoczesnych metod symulacji kinematycznej podczas projektowania zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne uwzględniających jego rzeczywiste warunki pracy. Wymiernym rezultatem prowadzonych prac jest wdrożenie do produkcji wyrobu wypełniającego lukę na rynku produkowanych w Polsce, w którym wykonywane są dwie czynności jednocześnie w czasie jednego przyjazdu po odbiór nieczystości, opróżnianie pojemniki o różnej pojemności i ich dezynfekcja.

Słowa kluczowe: *urządzenia komunalne, konstrukcja, modelowanie, analiza stateczności*

1. Wprowadzenie

Sprawdzenie stateczności i działania układów kinematycznych maszyn, na etapie założeń konstrukcyjnych, można przeprowadzić stosując symulacyjne metody badań, z wykorzystaniem modelowania matematycznego na komputerowych stanowiskach badawczych. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu dysponuje nowoczesną aparaturą badawczą, obejmującą komputerowe stacje graficzne wyposażone w oprogramowanie do prowadzenia symulacji zachowań kinematycznych układów mechanicznych, poddanych obciążeniom statycznym i dynamicznym.

Uzyskane modele i wyniki zostały wykorzystane nie tylko do oceny jakości konstrukcji na aktualnym etapie prac projektowych, ale także jako dane wejściowe do dalszych analiz dokonywanych, np. w zakresie oszacowania wytrzymałości konstrukcji nośnej.

Przeprowadzana analiza wymuszeń kinematycznych i dynamicznych konstrukcji zabudowy, zagregowanej na wielofunkcyjnym samojezdnym pojeździe, podczas postoju i przemieszczania w różnych warunkach, obejmuje wyznaczenie nacisków pochodzących od kół na podłożu. Analizy wykonano przy: pustej skrzyni ładunkowej i pod obciążeniem. Analizy obejmują:

- rozładunek skrzyni ładunkowej,
- załadunek skrzyni ładunkowej,
- przejazd po drodze prostej z uwzględnieniem nierówności nawierzchni,
- przechyły poprzeczne i podłużne.

2. Opis modelu obliczeniowego. Implementacja obciążeń

Modelowanie wybranych zespołów podwozia samochodu ciężarowego DAF FA LF55 oraz zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników przeprowadzono w syste-

mie komputerowym *SolidWorks*. Ugięcie w zespole zawieszenia pod pełnym obciążeniem zamodelowano z danych technicznych pojazdu bazowego.

Na rys. 1 przedstawiono model obliczeniowy przygotowany na potrzeby analiz kinematycznych. Model obliczeniowy odwzorowuje z dużą dokładnością całą konstrukcję zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne wraz z podwoziem. Ładunek wypełniający skrzynię ładunkową zabudowy zamodelowano w postaci siły przyłożonej w środku ciężkości, którego wartość i punkt przyłożenia zmienia się w trakcie pracy urządzenia. Pozostałym elementom konstrukcyjnym przypisano gęstość stali, tj. $7820 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Ciężar konstrukcji program komputerowy oblicza automatycznie na podstawie objętości zamodelowanej bryły oraz gęstości przypisanego do niej materiału. W przypadku pojazdu bazowego, masę oraz jego środek ciężkości, zadano tak, aby był zgodny z danymi technicznymi zaproponowanego pojazdu.

W modelu kinematycznym wykorzystano wiązania dostępne w module symulacji kinematycznych Motion systemu *SolidWorks*. Do zamodelowania połączenia więzów między kołami pojazdu bazowego a podłożem wykorzystano kontakt typu 3D (rys. 1). Wiązanie to umożliwia elastyczne połączenie i zrywanie kontaktu między współpracującymi elementami.

Ugięcie w zespole zawieszenia pod pełnym obciążeniem zamodelowano z danych technicznych pojazdu bazowego i ustalono na 70 mm, natomiast opon na 20 mm.

Wymuszenie zadano w postaci ruchu prostoliniowego wzdłuż drogi, utwierdzonego w przedniej części pojazdu bazowego. Prędkość jazdy wynosiła $1,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) i $5,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Wyznaczenie wymuszeń kinematycznych i dynamicznych konstrukcji nośnej zabudowy przeprowadzono na

wcześniej przygotowanym modelu drogi (rys. 3). Na zamodelowanej drodze znajdowały się następujące przeszkody:

1. karb – wys. 50 mm, dł. 250 mm,
2. karb – wys. 50 mm, dł. 500 mm,
3. karb – wys. 70 mm, dł. 500 mm,
4. dwa karby (naprzemienne) – wys. 150 mm, dł. 1000 mm,
5. zagłębienie jednostronne (tarka) – 4 szt., gł. 150 mm, dł. 1000 mm, odległość między sąsiednimi 2000 mm.

Na tak przygotowanym torze przeszkód model został poddany analizie kinematycznej. Przyjęto dwa przypadki dla każdej z prędkości jazdy:

- obciążenie pochodzące od masy pojazdu bazowego oraz zabudowy z pustą skrzynią ładunkową,
- obciążenie pochodzące od masy pojazdu bazowego oraz zabudowy ze skrzynią ładunkową wypełnioną obciążeniem 68 670 N (7000 kg).

Analiza kinematyczna została przeprowadzona w systemie *SolidWorks* wyposażonym w moduł symulacji kinematycznych *Motion*. Przypadki obliczeniowe badań symulacyjnych i warianty ich obciążenia zaprezentowano w tab. 1, a przykładowe modele dla poszczególnych symulacji na rys. 2-3.

3. Analiza wyników stateczności

Wyniki przeprowadzonej analizy kinematycznej przedstawiono w postaci wykresów sił na rys. 4-11. Dla symulacji nr 1-6 (tab. 1) wyznaczano siłę nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże.

Wykresy dla symulacji nr 1, 2, 5 i 6 wyskalowane są w tych samych jednostkach, tak więc oś X to czas symulacji w sekundach [s], oś Y z lewej strony wyraża siłę w niutonach [N], natomiast oś Y z prawej strony w symulacjach nr 1 i 2 wyraża wskaźnik sterowności pojazdu bazowego [%]. Dla symulacji nr 3 i 4 oś X to kąt przechylenia pojazdu bazowego.

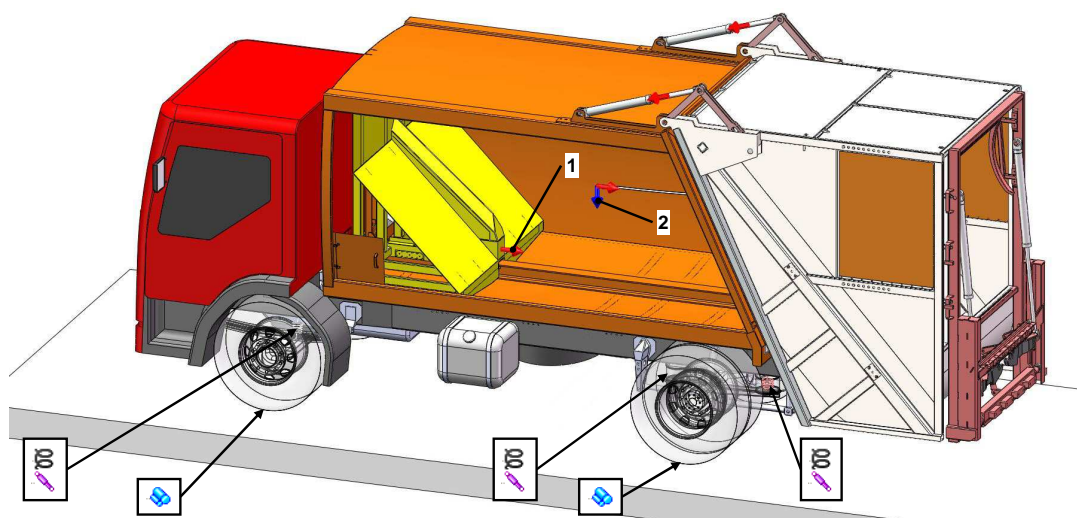
Na wszystkich wykresach w początkowej fazie ruchu (do 3 s) widoczne jest charakterystyczne zaburzenie. Wynika to z tego, że w momencie startu obliczeń model znajduje się w położeniu nierównowagi statycznej.

Analiza otrzymanych w wyniku obliczeń komputerowych wykresów pozwala ocenić wpływ warunków jazdy na stateczność wozu bazowego. Pojazd posiada bardzo dobre własności trakcyjne w przypadku przechylania poprzecznego i podłużnego a także jazdy po nierównościach.

W trakcie rozładunku skrzyni ładunkowej z uniesionym odwłokiem, przy odległości skrzyni ładunkowej od przedniej osi 730 mm, wskaźnik sterowności osiągnął wartość poniżej wymaganych 25% (symulacja nr 1 – rys. 4). Po przesunięciu skrzyni ładunkowej bliżej przedniej osi pojazdu o 200 mm wskaźnik sterowności osiągnął wartość powyżej wymaganych 25% (symulacja nr 1 – rys. 5).

Tab. 1. Przypadki obliczeniowe badań symulacyjnych i warianty ich obciążenia
Table 1. Cases of computational simulation research and variations of loads

Przypadek obliczeniowy	Opis
Symulacja nr 1	Rozładunek skrzyni ładunkowej
Symulacja nr 2	Załadunek skrzyni ładunkowej
Symulacja nr 3	Podłużne przechylenie pojazdu. Kąt przechylenia od -14° do 8,3°. Trzy warianty: bez ładunku, z ładunkiem, z otwartym odwłokiem i najbardziej nie korzystnym rozłożeniem ładunku
Symulacja nr 4	Poprzeczne przechylenie pojazdu. Kąt przechylenia od 0° do 30°. Dwa warianty: bez ładunku, z ładunkiem
Symulacja nr 5	Przejazd po torze przeszkód z prędkością 5 km·h ⁻¹ . Dwa warianty: bez ładunku, z ładunkiem
Symulacja nr 6	Przejazd po torze przeszkód z prędkością 20 km·h ⁻¹ . Dwa warianty: bez ładunku, z ładunkiem

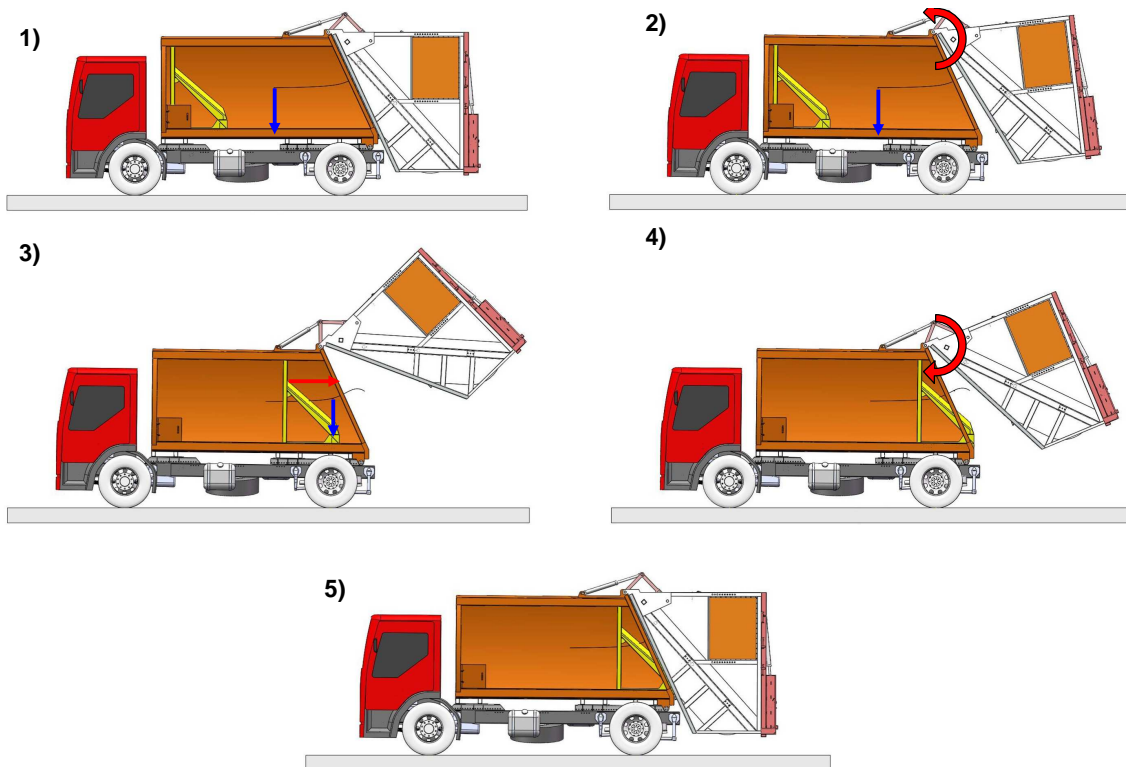


Rys. 1. Model kinematyczny zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne z pojazdem bazowym

5 – kontakt 3D, 3 – sprężyna, 4 – tłumik, 1 – wymuszenie ruchu prostoliniowego, 2 – ciężar ładunku

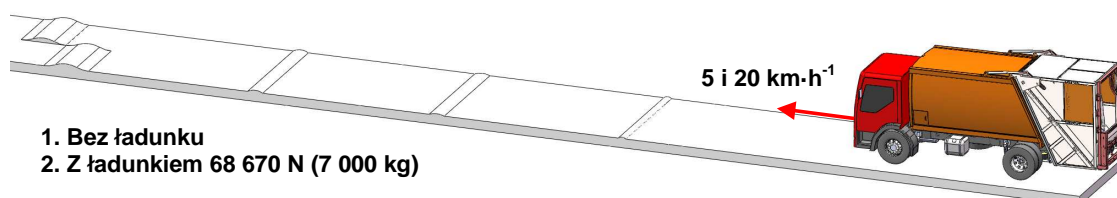
Fig. 1. The kinematic model of casing for emptying and disinfecting the containers for municipal wastes from the basic vehicle

5 – 3D contact, 3 – spring, 4 – damper, 1 – forcing a linear motion, 2 – weight of load



Rys. 2. Symulacja nr 1 fazy rozładunku skrzyni ładunkowej zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne: 1 - początek symulacji, 2 - podnoszenie odwłoka, 3 - wypychanie ładunku przez płytę wypychającą, 4 - opuszczanie odwłoka, 5 - koniec symulacji

Fig. 2. Simulation number 1 of the unloading phase of load box casing for emptying and disinfecting the containers for municipal wastes: 1 - beginning of the simulation, 2 - raising abdomen, 3 - pushing cargo by the stuffing plate, 4 - lowering abdomen, 5 - end of simulation



Rys. 3. Symulacja nr 5 i 6 – przejazd po torze przeszkód z prędkościami 5 i 20 km·h⁻¹

Fig. 3. Simulation number 5 and 6 – passage through the obstacle course at speeds 5 and 20 km·h⁻¹

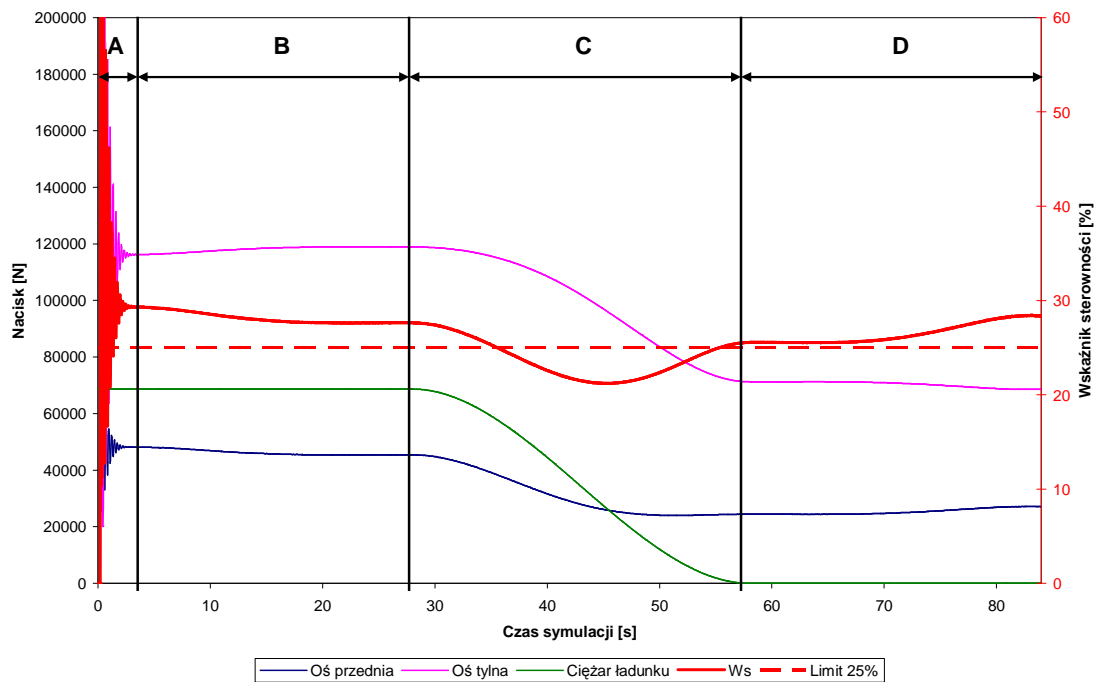
W czasie załadunku skrzyni kontenera (symulacja nr 2 – rys. 6) wskaźnik sterowności w początkowej fazie uzyskuje wartość na poziomie 30% następnie obniża się do wartości minimalnej 26% (przy wypełnieniu skrzyni ładunkowej w 40% ciężaru nominalnego 68,7 kN) i dochodzi w końcowej fazie załadunku do ponad 33%, a więc jest powyżej wymaganego limitu 25% wymaganego przez zleceniodawcę badań firmę Komunal Partner.

Pojazd bazowy wraz z zabudową w zakresie możliwych przechyłów podłużnych (-14-8,3°), w przypadkach bez obciążenia i z maksymalnym obciążeniem nie traci sterowności (rys. 7). Najbardziej niekorzystnym przypadkiem przechyłów podłużnych jest przypadek z otwartym odwłokiem i wypełnieniem skrzyni ładunkowej ciężarem 26,6 kN (38,7% nominalnego obciążenia skrzyni ładunkowej – rys. 8). Jest to przypadek rozładunku skrzyni ładunkowej na pochyłościach podłużnych. W tej symulacji wskaźnik sterow-

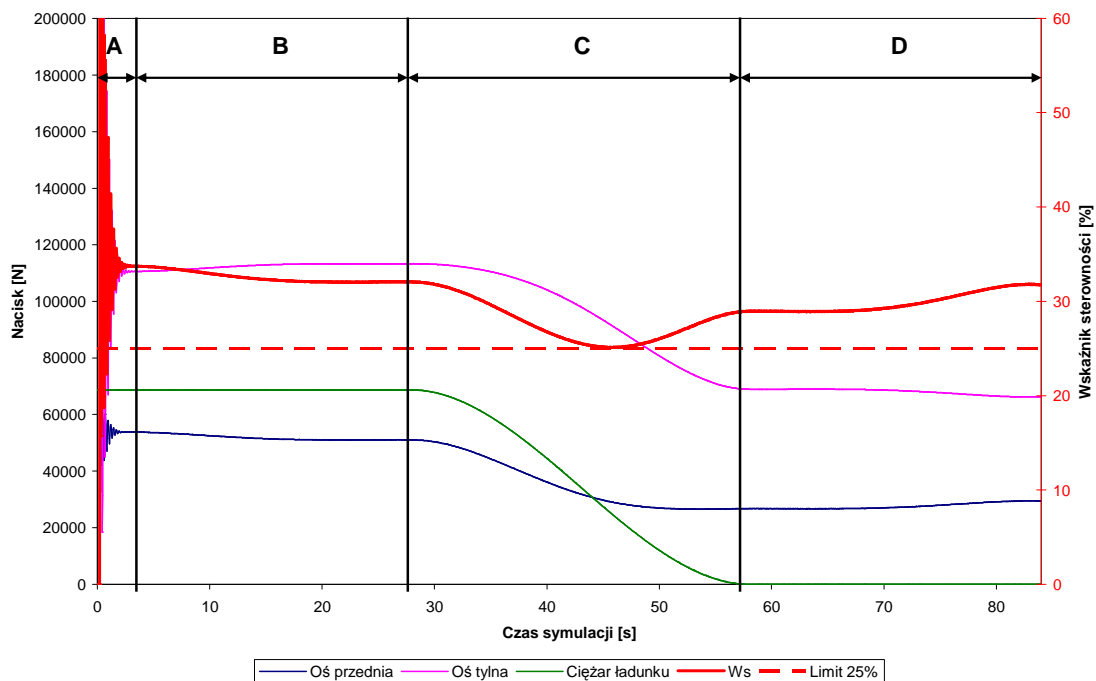
ności osiąga wartość poniżej 25% już przy kącie podniesienia przednich kół o kąt 1°. Jednak opróżnianie skrzyni odbywa na postoju i manewr opróżniania jest bezpieczny. W końcowej fazie przechyłu podłużnego (przechył 8,3°), przy tych warunkach obciążeniowych, wskaźnik sterowności wynosi ponad 20%.

Przy kącie pochylenia poprzecznym 15°, nie występuje niebezpieczeństwo wywrócenia pojazdu (symulacja nr 4 – rys. 9).

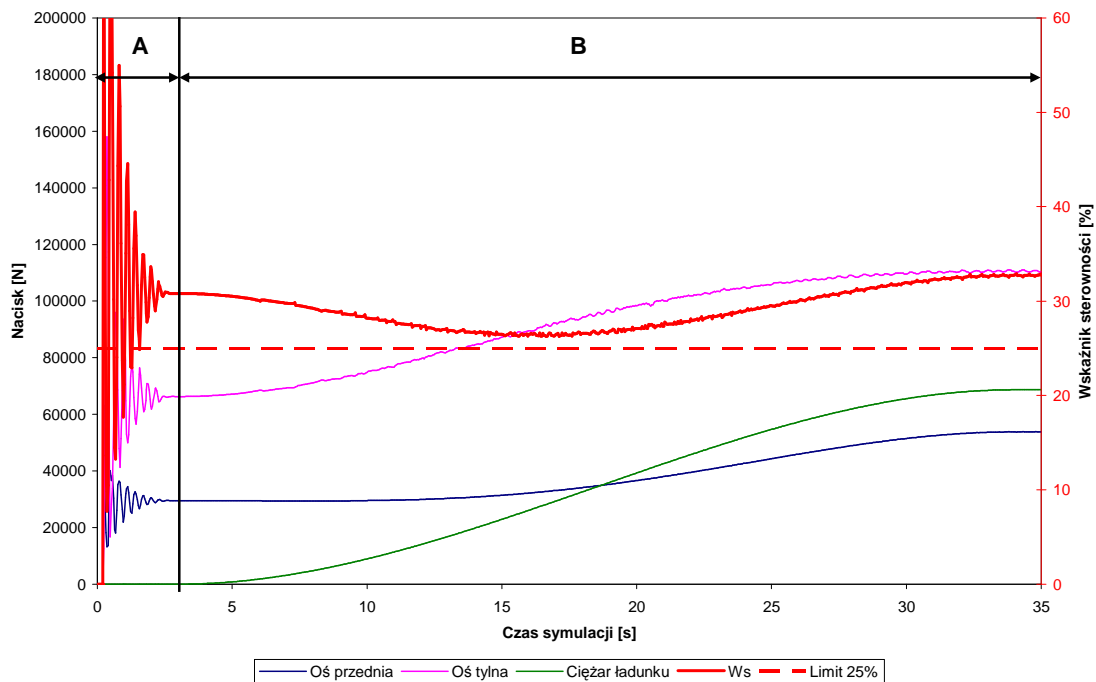
Zaobserwowano dużą podatność konstrukcji na wymuszenia dynamiczne od nierówności drogi typu karby poprzeczne na drodze bądź zagłębienia poprzeczne drogi (symulacje nr 5 i 6 – rys. 10 i 11). W związku z powyższym przejazdy przy tego typu przeszkodach powinny odbywać się z dużą ostrożnością kierującego i przy mniejszych prędkościach (poniżej 20 km·h⁻¹).



Rys. 4. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas rozładunku kontenera – symulacja nr 1 (odległość przedniej osi pojazdu od kontenera 730 mm): A – stabilizacja modelu, B – podnoszenie odwłoka, C – wypychanie ładunku przez płytę wypychającą, D – opuszczanie odwłoka
 Fig. 4. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during unloading of the container – simulation number 1 (distance of front axle to container 730 mm): A – stabilization of the model, B – abdomen raising, C – pushing of cargo by the stuffing plate, D – lowering of abdomen

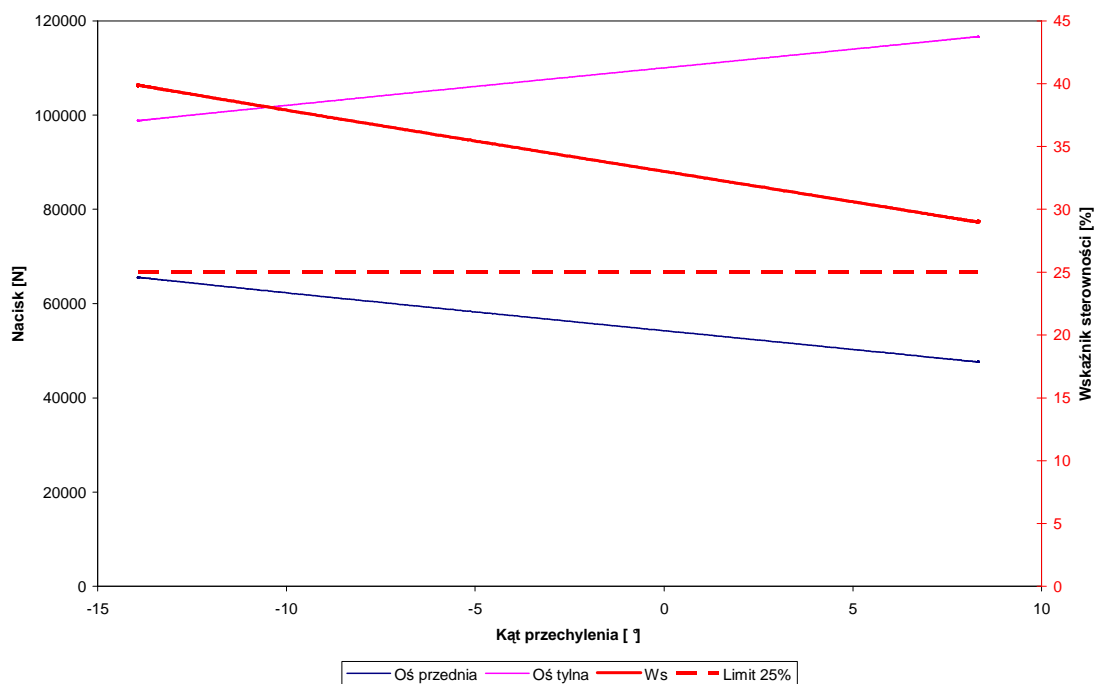


Rys. 5. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas rozładunku kontenera – symulacja nr 1 (odległość przedniej osi pojazdu od kontenera 530 mm): A – stabilizacja modelu, B – podnoszenie odwłoka, C – wypychanie ładunku przez płytę wypychającą, D – opuszczanie odwłoka
 Fig. 5. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during unloading of the container – simulation number 1 (distance of front axle to container 530 mm): A – stabilization of the model, B – abdomen raising, C – pushing of load by the stuffing plate, D – lowering of abdomen



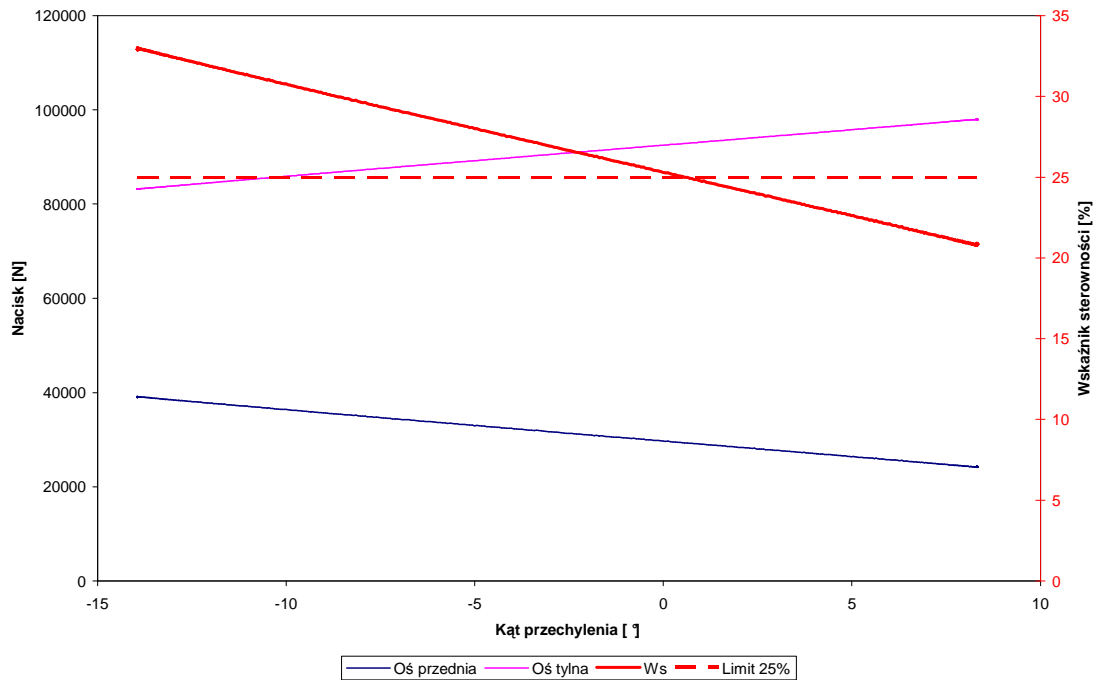
Rys. 6. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas załadunku kontenera – symulacja nr 2: A – stabilizacja modelu, B – załadunek kontenera – wpychanie płyty wypychającej powodowane zgniataniem ładunku przez łyżkę prasującą

Fig. 6. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during loading of the container – simulation number 2: A – stabilization of the model, B – loading of container, C – pushing of the stuffing plate caused by crushing of load by pressing spoon



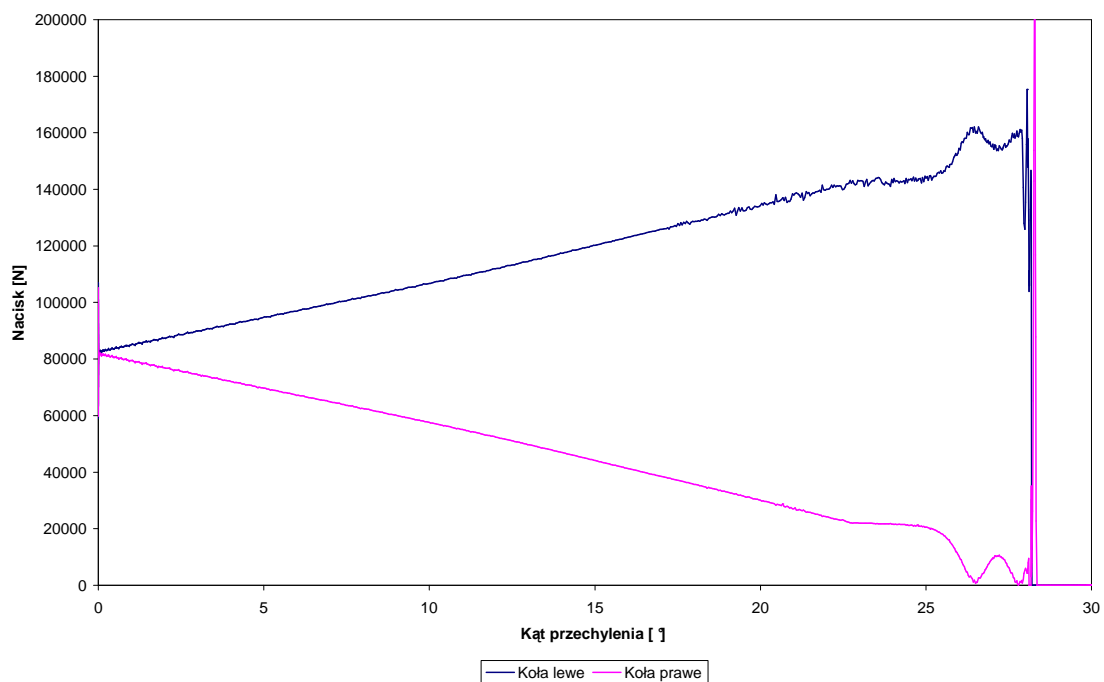
Rys. 7. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas przechylenia podłużnego – symulacja nr 3 – z ładunkiem

Fig. 7. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during oblong tilting – simulation number 3 – with load



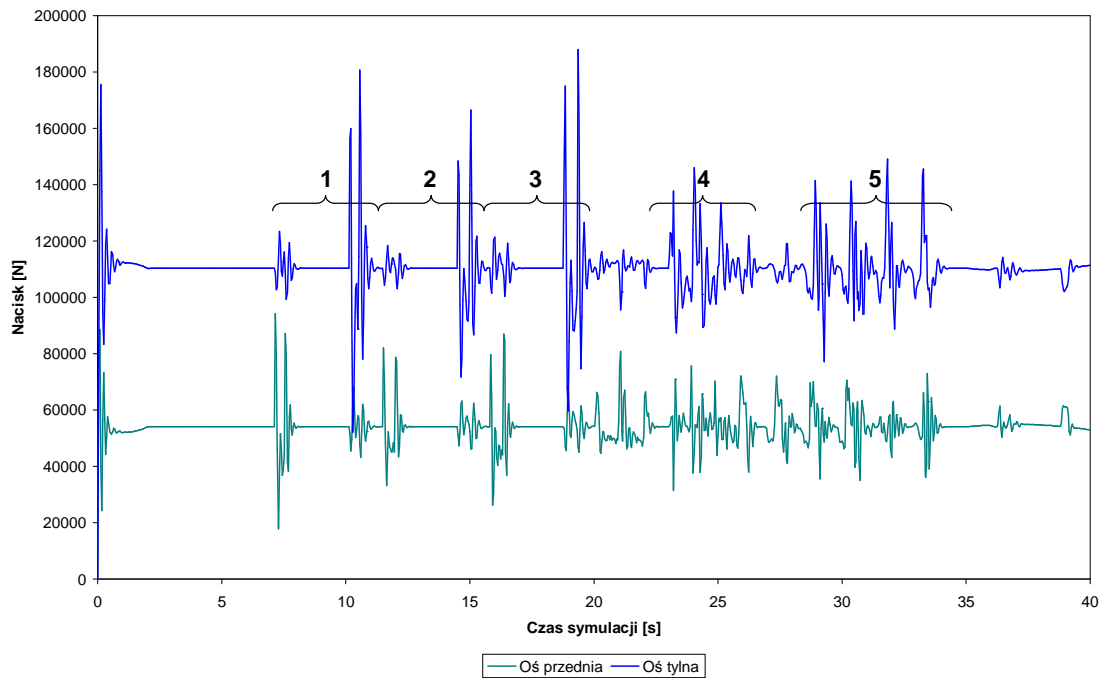
Rys. 8. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas przechylenia podłużnego – symulacja nr 3 – przy najbardziej niekorzystnym położeniu płyty wypychającej z ładunkiem 38,7% nominalnego i otwartym odwołku – wyladunek na nierównym terenie

Fig. 8. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during oblong tilting - simulation number 3 – at the most unfavorable position of stuffing plate with 38.7% of the nominal load and open abdomen - unloading on rough ground



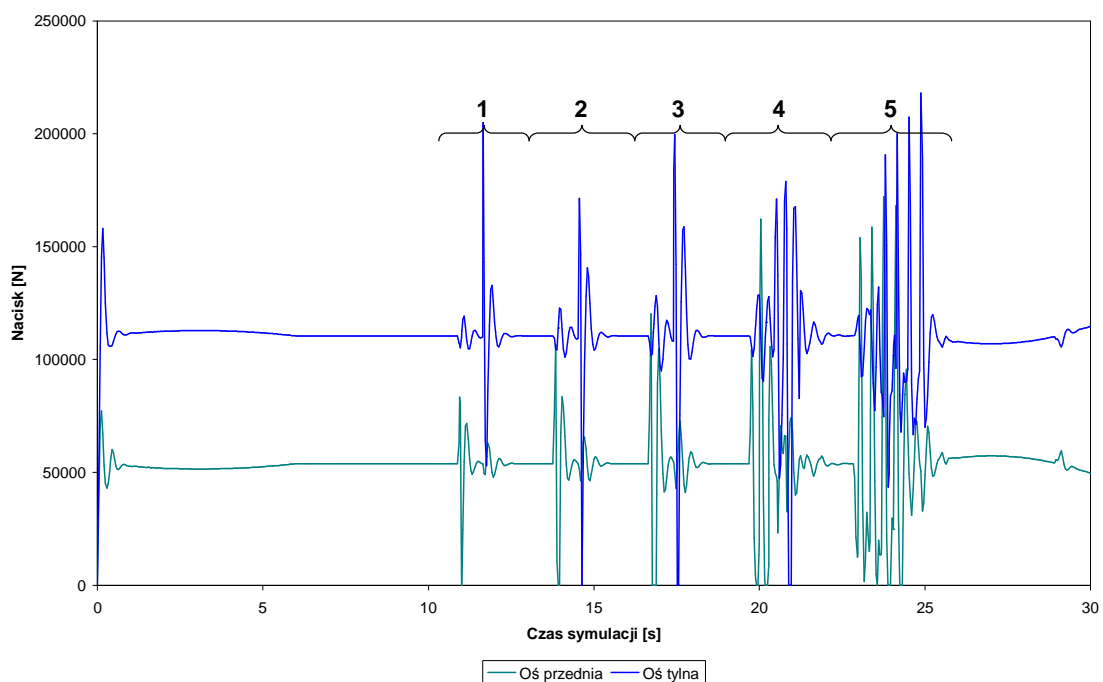
Rys. 9. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas przechylenia poprzecznego – symulacja nr 4 – z ładunkiem

Fig. 9. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during transverse tilting – simulation number 4 – with load



Rys. 10. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas przejazdu po torze przeszkód z prędkością $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ – symulacja nr 5 – z ładunkiem (1-5 – oznaczenie przeszkód, opis w tekście)

Fig. 10. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during passage through the obstacle course at speeds $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ – simulation number 5 – with load (1-5 – marking of obstacles, the description in the text)



Rys. 11. Wykres sił nacisku osi pojazdu bazowego na podłoże podczas przejazdu po torze przeszkód z prędkością $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ – symulacja nr 6 – z ładunkiem (1-5 – oznaczenie przeszkód, opis w tekście)

Fig. 11. Graph of base vehicle's axes pressure on the ground during passage through the obstacle course at speeds $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ – simulation number 6 – with load (1-5 – marking of obstacles, the description in the text)

4. Podsumowanie

Po przeprowadzeniu badań symulacyjnych stateczności na modelu wirtualnym zabudowy do opróżniania i dezyn-

fekcji pojemników na odpady komunalne wraz z pojazdem bazowym w czasie jazdy oraz rozładunku/załadunku przy maksymalnym wypełnieniu skrzyni ładunkowej stwierdza się, że zostały przekroczone dopuszczalne naciski osi tylnej

pojazdu na podłoże. W celu ograniczenia tych nacisków należy ograniczyć ładowność lub przesunąć zabudowę do przodu pojazdu w celu odciążenia osi tylnej, dociążając oś przednią.

Zaobserwowano dużą podatność konstrukcji na wymuszenia dynamiczne od nierówności drogi. W związku z powyższym przejazdu pojazdu bazowego z zabudową do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne na bardzo nierównym terenie powinny odbywać się z dużą ostrożnością kierującego pojazdem.

Nie występuje niebezpieczeństwo wywrócenia pojazdu bazowego z zabudową podczas załadunku/rozładunku oraz przechylania w kierunku podłużnym i poprzecznym.

Wyniki przeprowadzonych symulacji wykorzystano w dalszych etapach projektowania zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne.

5. Bibliografia

- [1] Szulc T.: Zabudowa do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne. Zad. 1. Opracowanie modelu komputerowego 3D zabudowy do opróżniania i dezynfekcji pojemników na potrzeby badań w warunkach symulacji komputerowych. PIMR, Poznań, 2012.
- [2] Szulc T.: Zabudowa do opróżniania i dezynfekcji pojemników na odpady komunalne. Zad. 5. Badania symulacyjne na modelu wirtualnym w zakresie zachowań kinematycznych. PIMR, Poznań, 2006.
- [3] Szulc T., Rogacki R.: Badania symulacyjne zachowań kinematycznych i ocena parametrów inżynierskich wirtualnego modelu paszowozu. Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna, 2007, nr 4, s. 12-16.