

WPŁYW KSZTAŁTU I WYMIARÓW PRZESZKODY ORAZ PARAMETRÓW PRACY PRZYCZEPY NA PRZEBIEG TORU ŚRODKA KOŁA

Tadeusz Potocki

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji
Rolnictwa w Warszawie, Oddział w Kłudzienku

W związku z upowszechnianiem na szerszą skalę przyspieszonych badań trwałości i niezawodności kompletnych pojazdów drogowych powstał problem odwzorowania na stanowiskach lub poligonach doświadczalnych wymuszeń działających na koła pojazdu w rzeczywistych warunkach użytkowania. Rozwiązanie tego problemu wymagało przeprowadzenia specjalnych badań wśród pojazdów poruszających się po drogach. Badania te zmierzały do określenia czynników wywierających dominujący wpływ na amplitudę i częstotliwość drgań elementów. Drgania te są bowiem bezpośrednią przyczyną powstawania dynamicznych obciążeń, wywierających decydujący wpływ na zużycie zmęczeniowe.

Obserwując ruch pojazdu po rzeczywistej drodze, można zauważyć, że amplituda i częstotliwość drgań jego elementów zależą głównie od prędkości jazdy, rodzaju nawierzchni, kształtu i wymiarów nierówności oraz obciążenia pojazdu (pomijając cechy konstrukcyjne). Problem ten jest jednak bardziej skomplikowany, gdyż pojazdy poruszają się po drogach lub terenie, gdzie występują na przemian nierówności o różnych wysokościach i odstępach. Ponadto każda pojedyncza przeszkoda powoduje wytrącenie układu z równowagi, po czym następuje cały szereg cykli drgań gasnących, których przebieg zakłócony jest działaniem następnych nierówności [1, 4-6].

Aby określić wpływ pojedynczych przeszkód na częstotliwość i amplitudę drgań elementów przyczepy, w Zakładzie Pomiarów IBMER Oddział Kłudzienko przeprowadzono badania, które polegały na przetaczaniu przyczepy przez przeszkody o różnych kształtach i wymiarach i rejestrowaniu powstających w tym czasie przyspieszeń. Badania te

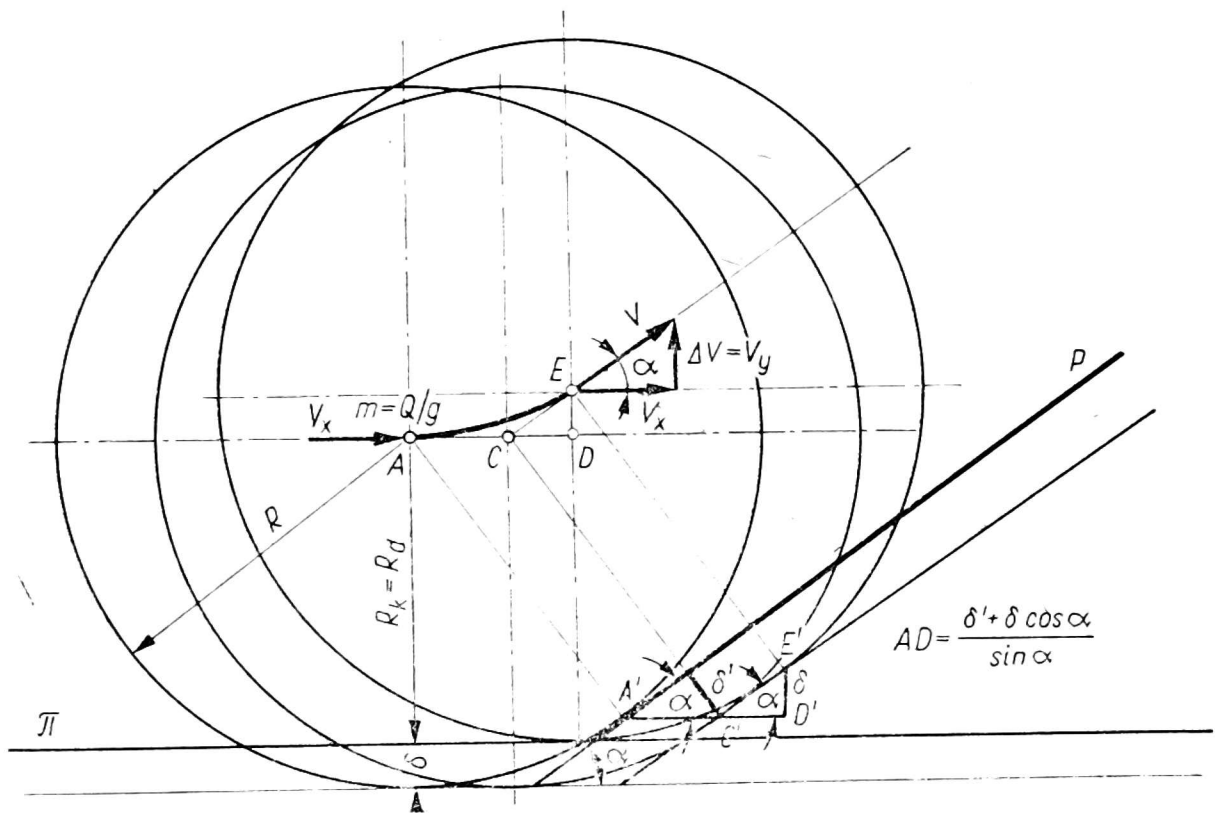
przeprowadzono przy różnych prędkościach jazdy i obciążeniach skrzyni ładunkowej przyczepy.

Podczas opracowywania wyników stwierdzono, że w przypadku przeszkód w kształcie klina (równi pochyłej) kąt α wjazdu nie wywiera wpływu na amplitudę przyspieszenia pionowego osi koła przyczepy, powstającego w chwili wjazdu na przeszkodę. Natomiast analizując zagadnienie od strony teoretycznej wykazano, że zależność taka istnieje.

TEORETYCZNA ANALIZA PROCESU WTACZANIA SIĘ KOŁA NA RÓWNIĘ POCHYŁĄ

Analizę przeprowadzono przy następujących założeniach:

- masa elastycznego koła skupiona jest w jego środku,
- przeszkoda jest idealnie sztywna,
- prędkość pozioma $V_x = \text{const}$,
- siła bezwładności nie wywiera wpływu na strzałkę ugięcia opony.



Rys. 1. Proces wtaczania się elastycznego koła na sztywną równię pochyłą, nachyloną pod kątem α

Koło toczące się z prędkością V_x po powierzchni π (rys. 1) posiada strzałkę ugięcia δ . Od chwili zetknięcia się z równią pochyłą P następuje uginanie się koła na styku z równią, przy jednoczesnym zmniejszaniu się ugięcia na styku z powierzchnią π .

Proces ten trwa do chwili oderwania się koła od powierzchni π .

W tej samej chwili prędkość V środka koła osiągnie wartość maksymalną, strzałka ugięcia będzie wynosić δ' , a kąt γ pochylenia stycznej do toru środka koła zrówna się z kątem α pochylenia równi pochyłej. Przyrost prędkości $\Delta V = V_y$ na drodze AD jest wynikiem pojawienia się pionowego przyspieszenia a_y (droga AD jest równa długości odcinka, o jaki przesunie się koło od chwili zetknięcia się z równią pochyłą do chwili oderwania się od powierzchni π).

W punkcie E prędkość osiąga maksimum, a przyspieszenie a_y spada do zera (punkt przegięcia krzywej toru środka koła). Zakładając, że kąt γ pochylenia stycznej w tym punkcie równy jest kątowi α , składową pionową prędkości $V_{y \max}$ można obliczyć wg wzoru

$$V_{y \max} = V_x \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

Wystąpienie pionowego przyspieszenia a_y , zgodnie z pierwszą zasadą Newtona, pociąga za sobą powstanie pionowej siły bezwładności P_{by} , której składowa pozioma $P_{bx} = P_{by} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ spowoduje wzrost oporu toczenia. Aby prędkość V_x nie zmniejszyła się, należy przyłożyć dodatkową siłę $P_x = -P_{bx}$, która na drodze AE wykona pracę dL , równą iloczynowi skalarnemu wektora siły \bar{P}_x i wektora $d\bar{r}$ przyrostu promienia r poprowadzonego z dolnego punktu

$$dL = \bar{P}_x \cdot d\bar{r} \quad (2)$$

Ponieważ wartość bezwzględna wektora $d\bar{r}$ równa jest przyrostowi $d\bar{s}$ łuku toru, przeto pracę elementarną można zapisać wg wzoru

$$dL = P_x \cdot ds \cdot \cos \gamma \quad (3)$$

gdzie γ jest bieżącym kątem, jaki tworzy styczna do toru i linia działania siły P_x .

Całkowita praca wykonana na drodze AE wyniesie:

$$L = \int_A^E P_x ds \cos \alpha \quad (4)$$

Korzystając z twierdzenia, które mówi [2]: „... przyrost energii kinetycznej punktu materialnego w określonym przedziale czasu równy jest pracy, którą wykonuje w tym samym czasie wypadkowa sił działających na ten punkt...”, można zapisać:

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_x^2}{2} = \int_A^E P_x ds \cos \gamma \quad (5)$$

gdzie:

V — prędkość środka koła w punkcie E ,

V_x — prędkość środka koła w punkcie A .

Stosując twierdzenie o wartości średniej całki otrzymamy

$$P_x ds \cos \gamma = \frac{1}{2} P_x |AE| \cos \gamma \quad (6)$$

gdzie $\frac{1}{2} P_x$ jest równa średniej wartości siły P_x , działającej na drodze AE . Iloczyn $|AE| \cos \gamma$ jest rzutem łuku AE na kierunek działania siły P_x , stąd,

$$|AE| \cos \gamma = AD \quad (7)$$

Wstawiając zależność (6) i (7) do wzoru (5) otrzymamy

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_x^2}{2} = \frac{1}{2} P_x \cdot AD \quad (8)$$

Z rysunku 1 wynika, że w punkcie E prędkość V będzie równa (przy założeniu $\gamma = \alpha$)

$$V = \frac{V_x}{\cos \alpha} \quad (9)$$

Wprowadzając zależność (9) do wzoru (8) otrzymamy

$$\frac{m}{2} V_x^2 \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) = \frac{m}{2} V_x^2 \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{2} P_x \cdot AD \quad (10)$$

Ponieważ

$$m = \frac{Q}{g}; P_x = -P_{bx}; P_{bx} = P_{by} \operatorname{tg} \alpha; P_{by} = -a_y \cdot m \quad (11)$$

więc po wstawieniu zależności (11) do równania (10) i uporządkowaniu otrzymamy

$$a_y = \frac{V_x^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{AD} \quad (12)$$

Tak więc średnie przyspieszenie a_y , powstające na drodze AD , jest proporcjonalne do tangensa kąta pochylenia równi pochyłej oraz odwrotnie proporcjonalne do drogi AD , która jest również funkcją kąta pochylenia α

$$AD = \frac{\delta' - \delta \cos \alpha}{\sin \alpha} \quad (13)$$

gdzie:

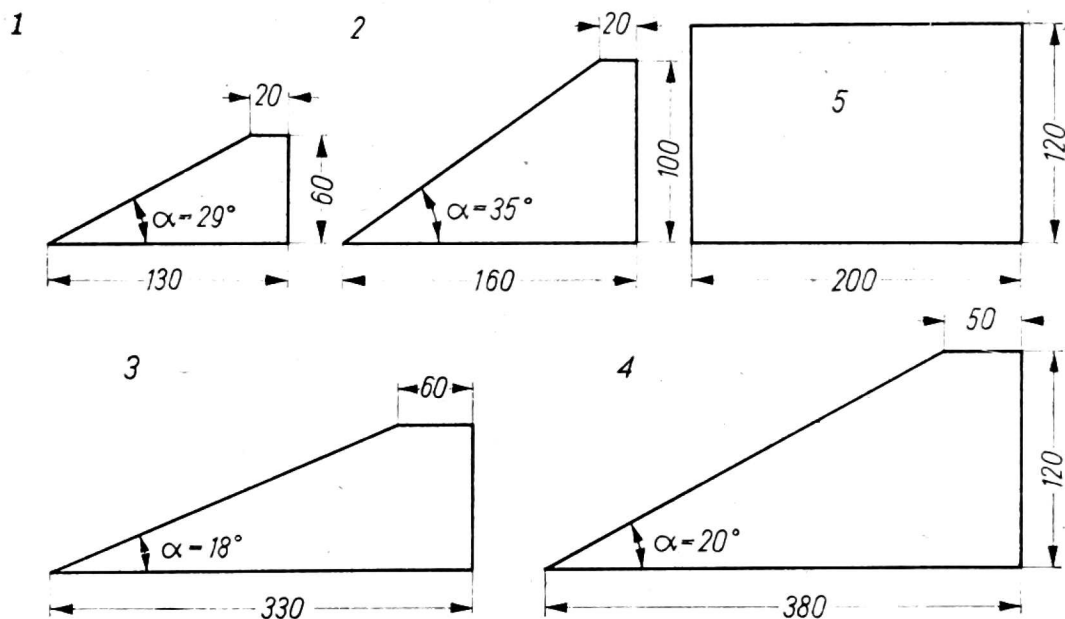
δ' — strzałka ugięcia koła na styku z równią pochyłą,

δ — strzałka ugięcia koła na styku z jezdnią.

Wyniki badań wykazały zupełny brak związku pomiędzy amplitudą rejestrowanego przyspieszenia osi koła i kątem wjazdu α przeszkody.

ZASTOSOWANIE KAMERY FILMOWEJ DO SFILMOWANIA PROCESU WTACZANIA SIĘ KOŁA PRZYCZEPY NA PRZESZKODĘ

Aby wyjaśnić przyczynę powodującą brak zależności pomiędzy kątem α wjazdu przeszkody a amplitudą przyspieszenia, proces wtaczania się koła na przeszkodę sfilmowano za pomocą kamery do zdjęć szybkich Pentazet 16 przy częstotliwości 1000 kl./s. Zastosowano taśmę filmową 16 mm, NP-7 (27 DIN). Badania prowadzono w czerwcu w słoneczny dzień, stosując przysłonę obiektywu 5,6. Filmowanie powtarzano kilkakrotnie, oddzielnie dla poszczególnych kombinacji prędkości V_x i obciążeń skrzyni ładunkowej: $V_x = 3,6$ m/s, $V_x = 5$ m/s, przy nominalnym obciążeniu i bez obciążenia skrzyni ładunkowej przyczepy. Stosowano

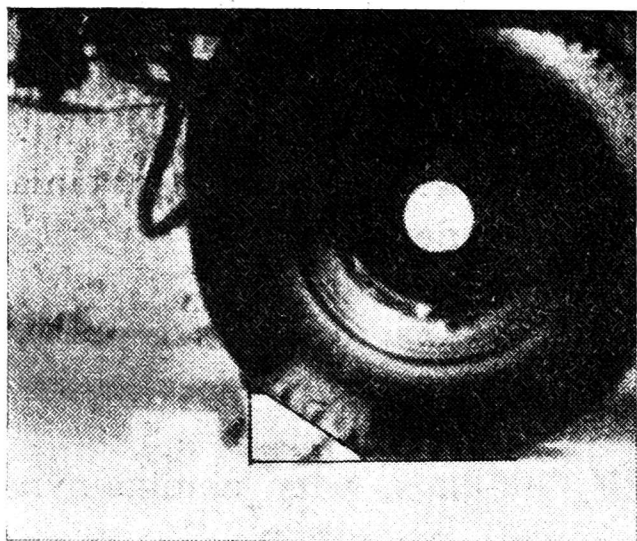


Rys. 2. Przekroje przeszkód stosowanych podczas filmowania

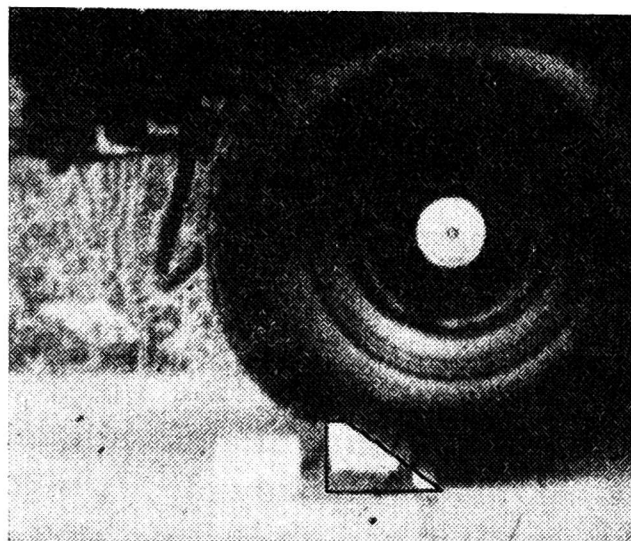
przeszkody nr 1 i 2 przedstawione na rys. 2 i 5. Z taśm filmowych odtworzono przebieg toru środka koła, określono drogę, o jaką przesunie się koło od chwili zetknięcia się z przeszkodą do chwili, kiedy nastąpi przegięcie toru środka koła, jak i chwilę oderwania się koła od powierzchni jezdni. Poza tym prześledzono zmiany kształtu opony koła pokonującego przeszkodę (rys. 3, 4 i 6).

Do odtworzenia przebiegu toru środka koła z taśmy filmowej zastosowano powiększalnik fotograficzny Krokus, ponieważ pozwala on na osiągnięcie odpowiedniej skali powiększenia obrazu. Naprowadzenie każdego kadru w identyczne położenie było możliwe dzięki dwóm kątownikom ustawionym po obydwóch stronach przeszkody.

Na arkusz papieru przymocowany do podstawy powiększalnika rzucony był kadr początku analizowanego odcinka taśmy filmowej. Po skopiowaniu położenia przeszkody i wspomnianych kątowników, każdy następny kadr ustawiano w takim samym położeniu i kolejno nanoszono

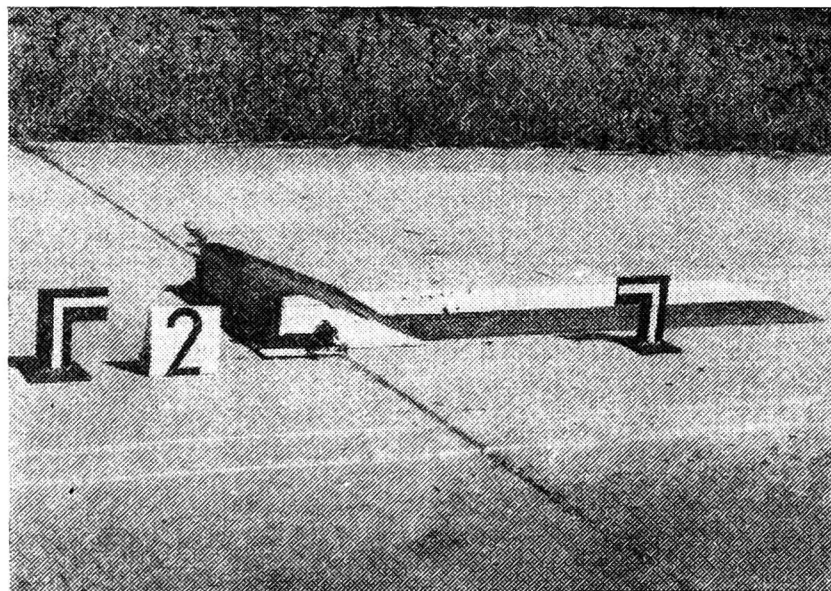


Rys. 3. Zetknięcie się koła przyczepy z przeszkodą
(fot. W. W. Woźniak)



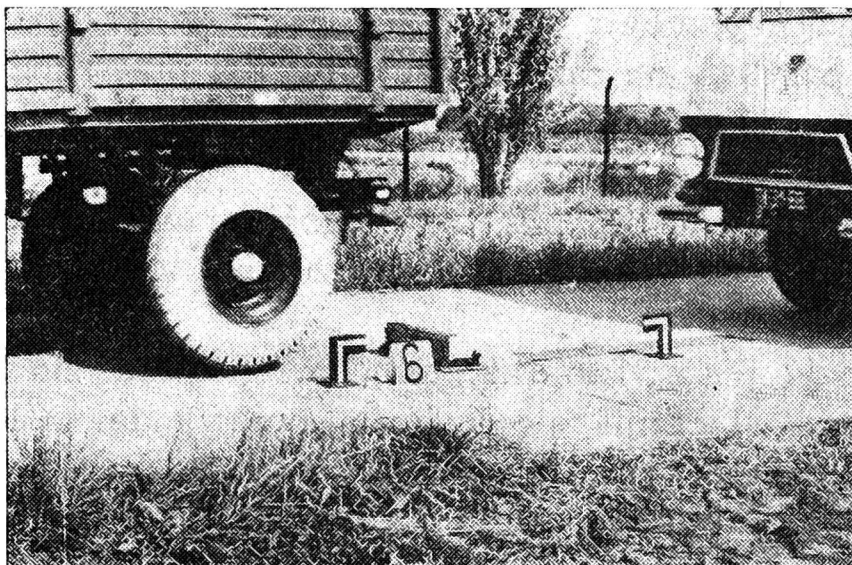
Rys. 4. Głębokie ugięcie opony w chwili oderwania się koła od jezdni
(fot. W. W. Woźniak)

punkty położenia środka koła. Linia krzywa, poprowadzona przez zaznaczone punkty, stanowiła tor środka koła, powstający w chwili pokonywania przeszkody.



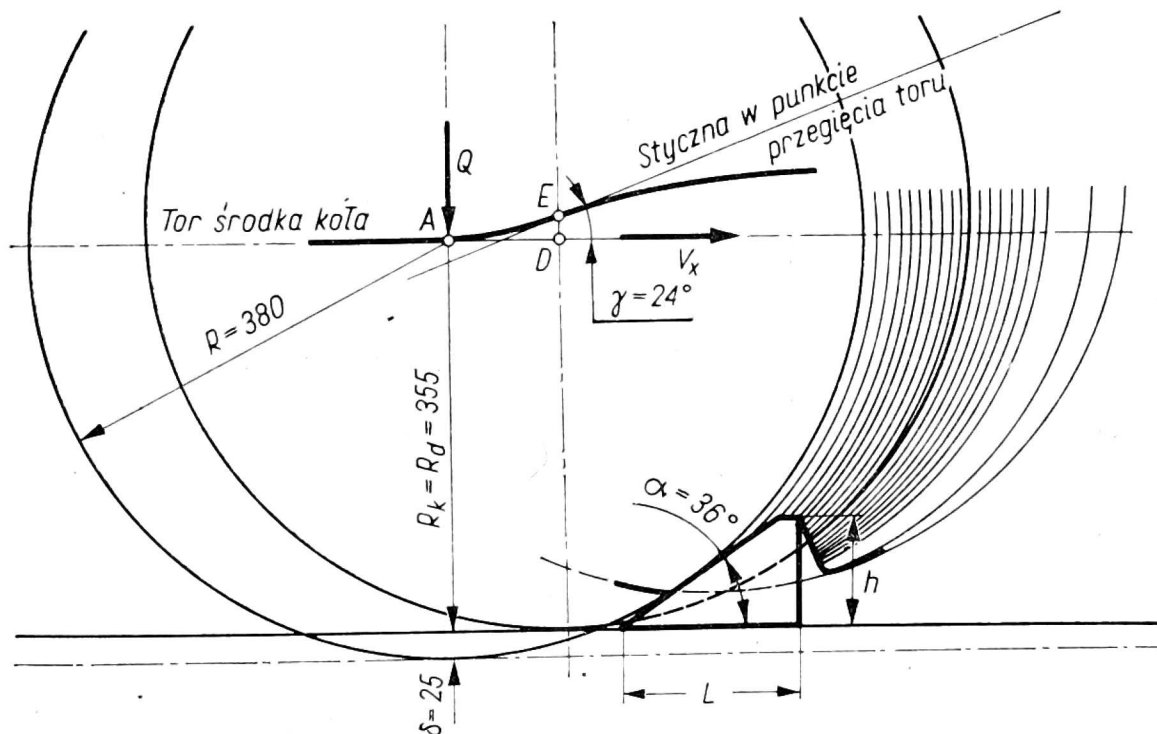
Rys. 5. Przeszkoda przymocowana do betonowej bieżni wraz z oznakowaniem
(fot. W. W. Woźniak)

Analiza otrzymanych wyników wykazała, że stosowane w czasie pomiarów przyspieszenia przeszkody o przekroju klina miały zbyt krótkie podstawy w stosunku do wymiarów koła, więc niemal bezpośrednio po zetknięciu się następował kontakt opony na całej długości przekroju przeszkody (rys. 3), a w dalszej fazie wtaczania się następowało głębokie wgniecenie się przeszkody w oponę (rys. 4). Deformacja opony była znaczna i nieregularna, podobnie zresztą, jak podczas wtaczania się na przeszkodę o przekroju prostokątnym.



Rys. 6. Położenie koła przyczepy w chwilę po przejeździe przez przeszkodę
(fot. W. W. Woźniak)

Tak więc z analizy filmu wynika, że istnieje zasadnicza różnica w odkształceniu opony koła wtaczającego się na przeszkodę o stosunkowo krótkiej podstawie (rys. 7) i elastycznym kołem wtaczającym się na równię pochyłą (rys. 1).



Rys. 7. Odtworzony z taśmy filmowej proces przetaczania się koła przyczepy przez przeszkodę o długości $L = 160 < L_{kr}$ przy prędkości $V_x = 3,02$ m/s i obciążeniu $Q = 1050$ kG

Różnica ta spowodowana jest tym, że w teoretycznie rozważanym przykładzie koło po oderwaniu się od jezdni π styka się z powierzchnią P na długości równej cięciwie ugiętego koła, przy czym długość linii sty-

ku narasta wraz z przebytą drogą. Natomiast w przypadku badanych przeszkód koło przylega na raz do całej długości przeszkody, a następnie w miarę przesuwania się, coraz bardziej deformuje, „otulając” przeszkodę od góry.

Można więc postawić hipotezę, że długość przekroju przeszkody wywiera decydujący wpływ na proces wtaczania się koła i konsekwencje z tym związane.

Aby sprawdzić postawioną hipotezę, przeprowadzono powtórne filmowanie procesu wtaczania się koła na przeszkodę w kształcie klina o podstawie znacznie dłuższej niż poprzednio (przeszkody nr 3 i 4, rys. 2), przy analogicznych prędkościach i obciążeniach.

Analiza taśmy filmowej wykazała, że istnieje duże podobieństwo oddziaływania przeszkody o długiej podstawie na oponę wtaczającego się koła i oddziaływania równi pochyłej na elastyczne koło w rozważanym teoretycznie przykładzie. Niewielkie różnice, jakie wystąpiły, spowodowane zostały wpływem obciążenia skrzyni ładunkowej badanej przyczepy. Tak więc w obydwóch przypadkach (teoretycznym i sfilmowanym) koło po oderwaniu się od powierzchni jezdni stykało się z powierzchnią przeszkody (równi pochyłej) na długości równej cięciwie AB , którą można obliczyć wg wzoru

$$AB = 2\sqrt{2R\delta - \delta^2} \quad (14)$$

gdzie:

R — promień koła swobodnego,

δ — strzałka ugięcia koła.

Na podstawie wyników badań można powiedzieć, że długość cięciwy koła na styku z przeszkodą jest pewną długością krytyczną (L_{kr}), dzielącą przeszkodę (o przekroju klina) na dwie grupy:

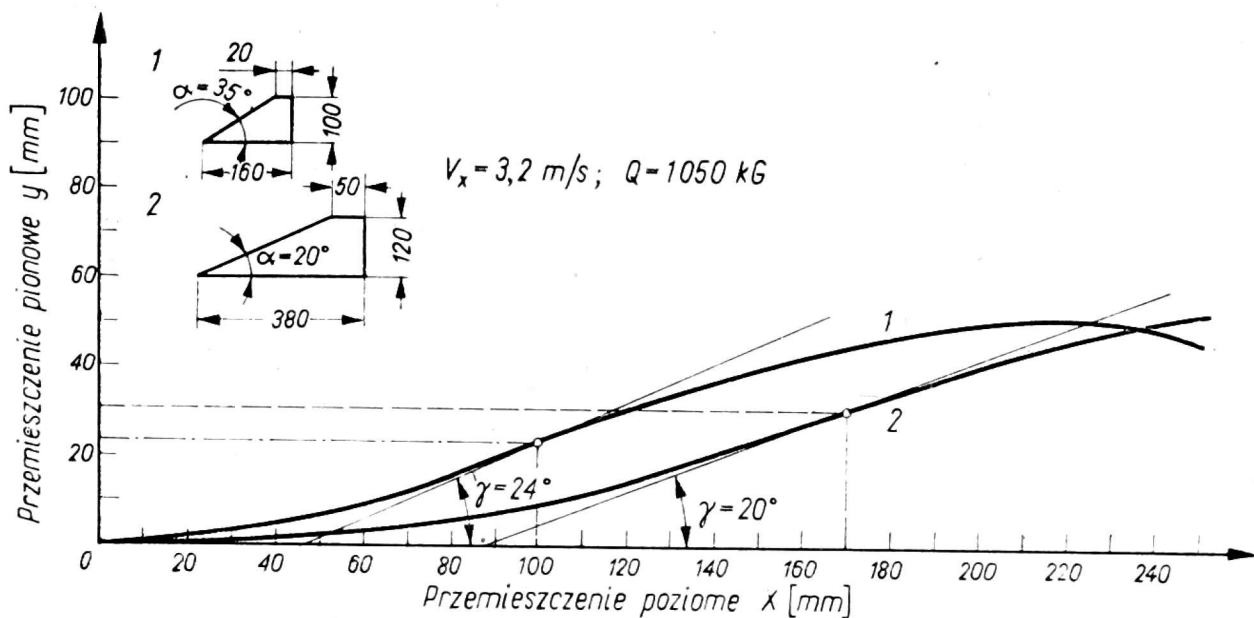
grupa I — przeszkody o długości podstawy przekroju $L < L_{kr}$,

grupa II — przeszkody o długości podstawy przekroju $L \geq L_{kr}$.

Różnice w oddziaływaniu na koło przeszkód każdej z tych grup są znaczne i mają swoje odbicie przede wszystkim w amplitudzie przyspieszenia oraz przebiegu i kształcie toru środka koła.

Podczas wtaczania się koła na przeszkodę grupy I tor środka koła (krzywa 1, rys. 6) przebiega bardziej stromo niż w przypadku wtaczania się na przeszkodę grupy II (krzywa 2, rys. 6). W obydwóch przypadkach obciążenie skrzyni ładunkowej decyduje o kącie pochylenia stycznej do toru środka koła w punkcie przegięcia, jak i o współrzędnych tego punktu.

O ile w przypadku przeszkód grupy II kąt γ pochylenia stycznej w punkcie przegięcia toru środka koła jest zbliżony do kąta α wjazdu prze-



Rys. 8. Wykres toru środka koła powstający podczas wtaczania się na przeszkodę; 1 — przeszkoda o długości $L < L_{kr}$, 2 — przeszkoda o długości $L > L_{kr}$ $x = 0$ styk koła z przeszkodą

szkody, o tyle w przypadku przeszkód grupy I podobieństwa takiego nie ma. Dla przeszkód grupy II charakterystyczne jest to, że kąt γ pochylenia stycznej przy dużych obciążeniach jest niemal dokładnie równy kątowi α wjazdu przeszkody, a przegięcie toru następuje w chwili odrywania się koła od jezdni, czyli zupełnie podobnie jak w rozważanym teoretycznie przykładzie. Natomiast przy małych obciążeniach, kąt γ jest znacznie większy od kąta α , a przegięcie toru następuje po oderwaniu się koła od jezdni.

Wydaje się, że różnice te spowodowane są wpływem siły bezwładności, powstającej w chwili wtaczania się koła na przeszkodę. Przy małym obciążeniu Q koła udział siły bezwładności P_{by} w ugięciu opony jest znaczny, więc w pierwszym etapie tor ma przebieg równie łagodny jak przy dużym obciążeniu, jednak w następnym, kiedy siła bezwładności zanika, opona gwałtownie rozpręża się, więc tor stromo wzrasta aż do punktu przegięcia. Stąd kąt γ pochylenia stycznej jest większy od kąta α wjazdu przeszkody.

Przy dużym obciążeniu Q udział siły bezwładności P_{by} w ugięciu opony jest niewielki, przeto koło wtacza się na przeszkodę, podobnie jak przy pominięciu tej siły (stąd duże podobieństwo do przypadku rozważanego teoretycznie).

Przechodząc do przyspieszeń mierzonych w czasie przejeżdżania przyczepy przez przeszkody grupy I, potwierdza się zasadniczy wpływ ich wysokości na amplitudę przyspieszenia, przy nieznacznym wpływie kąta α wjazdu oraz przeszkód grupy II, gdzie zasadniczy wpływ wywiera kąt

wjazdu α , a nieznaczny wysokość. Dokładniej zilustrują to przykłady liczbowe.

Podczas przejazdu przyczepy przez przeszkody grupy I z prędkością $V_x = 3,1$ m/s i obciążeniem przypadającym na około $Q = 1050$ kG, dla wysokości $h = 100$ mm przyspieszenie pionowe osi koła wynosiło $a_y = 3,2$ g, a dla wysokości $h = 60$ mm przyspieszenie to wynosiło $a_y = 2,3$ g.

Przy przejeździe przez przeszkodę grupy II, z analogiczną prędkością i obciążeniem, dla wysokości $h = 120$ mm i kąta wjazdu $\alpha = 20^\circ$ przyspieszenie pionowe osi koła wynosiło $a_y = 2,2$ g, z kolei dla wysokości $h = 80$ mm i kąta wjazdu $\alpha = 18^\circ$ przyspieszenie wynosiło $a_y = 1,98$ g.

Przykłady te wskazują, że przy tej samej różnicy wysokości wystąpiła znaczna różnica w amplitudzie przyspieszenia podczas przejazdu przez przeszkody grupy I, a bardzo nieznaczna przy przejeździe przez przeszkody grupy II, gdzie niewielka różnica w amplitudzie przyspieszenia spowodowana została różnicą kąta α wjazdu. Poza tym wyższe przeszkody grupy II spowodowały powstanie przyspieszenia o mniejszej amplitudzie niż niższe przeszkody grupy I. Widać więc z tego, że nie wysokość odgrywała tu rolę, lecz długość przeszkód.

Odtworzone z taśm filmowych przebiegi toru środka koła, powstałe w chwili wtaczania się na przeszkody, posłużyły do obliczenia krytycznej długości L_{kr} dzielącej przeszkodę na wspomniane grupy. Dla koła o wymiarach 10-15" przy nominalnym ciśnieniu wynosi ona: $L_{kr} = 210-400$ mm dla przeszkód o kącie wjazdu $\alpha = 0 - 45^\circ$ i obciążeniu skrzyni ładunkowej — od 0 do nominalnego.

WNIOSKI

1. Badania wykazały, że amplituda przyspieszenia pionowego osi koła, powstającego w chwili przejazdu przez przeszkodę w kształcie klina, w zależności od długości przekroju zależy albo od wysokości przeszkody lub od jej kąta wjazdu.

2. Analiza zarejestrowanego na taśmie filmowej procesu wtaczania się koła na przeszkodę pozwoliła na przybliżone określenie pewnej długości krytycznej L_{kr} , dzielącej przeszkodę na dwie grupy: grupa I — przeszkody o długości przekroju $L < L_{kr}$, grupa II — przeszkody o długości przekroju $L \geq L_{kr}$.

Przeszkody każdej z grup oddziałują na koło w zasadniczo różny sposób. Przy wtaczaniu się koła pojazdu na przeszkody grupy I tor jego środka jest bardziej stromy, amplituda powstającego przyspieszenia ma

większą wartość niż w przypadku wtaczania się na przeszkodę grupy II, kiedy tor środka koła ma przebieg łagodniejszy, a amplituda przyspieszenia jest mniejsza przy analogicznej wysokości przeszkód obydwóch grup.

3. Długość krytyczną przeszkody określono jako cięciwę koła na styku z przeszkodą. Nie jest to jednak wielkość stała, gdyż wartość jej zależy od wielu czynników, między innymi od średnicy koła, nacisku, kąta wjazdu przeszkody, prędkości jazdy, itp.

4. Przedstawiony przykład zastosowania kamery do zdjęć szybkich wskazuje na dużą jej przydatność w badaniach naukowych. Za pomocą filmu można przeprowadzić ścisłą analizę kinematyczną (i częściowo dynamiczną) ruchu materiału obrabianego maszynami, jak również podobną analizę ruchomych elementów badanych maszyn.

LITERATURA

1. Bekker M. G.: Introduction to Terrain — Vehicle Systems. Ann. Arbor the University of Michigan Press, 1969.
2. Leyko J.: Dynamika układów materialnych. PWN, Warszawa 1961.
3. Potocki T.: Dobór parametrów kołowego toru przeszkód do badań przyspieszonych trwałości przyczep rolniczych. IBMER, Warszawa 1973.
4. Rifai M.: Beitrag zur technischen priifung von Landwirtschaft Lichen. Landtechnik, 93, 1965.
5. Sołtyński A.: Ocena nierówności podłoża jako jednego z czynników charakteryzujących warunki ruchu pojazdu w terenie. Techn. motoryz., 10, 1967.
6. Wendenborn J. O.: The Irregularities of Farm Roads and Fields as Sources of Farm Vehicles Vibrations. Journal of Terramechanics, Vol 3, 3, 1966.
7. Woźniak W. W.: Zastosowanie zdjęć szybkich w badaniach zespołów maszyn rolniczych. Zesz. probl. Post. Nauk rol., z. 148, 1973.

Т. Потоцки

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВКАТЫВАНИЯ КОЛЕСА НА ПРЕГРАДУ В ФОРМЕ КЛИНОВОГО СЕЧЕНИЯ

Резюме

Проблема влияния формы и размеров преград на амплитуду ускорения вертикальных колёс была поставлена во время разработки проекта полосы препятствий для исследований ускорённых сельскохозяйственных прицепов. Решение этой проблемы требовало проведения измерений ускорений образующихся в момент въезда колеса прицепа на преграду.

Такие исследования были проведены при использовании преграды с сечением прямоугольного треугольника (клина). Разработка результатов показала, что угол α въезда не влиял на амплитуду ускорения. Решающую роль играла высота преград. При рассмотрении теоретических вопросов такая закономерность существует. Чтобы объяснить этот удивительный факт, были при помощи камеры для быстрых съёмок при частоте 1000 кадров/сек проведены киносъёмки вкатывания колеса на преграду. Полученные результаты намекали на то, что угол α въезда преграды может в большой степени влиять на ускорения в том случае, когда его длина L будет больше чем длина тетивы колеса в точке касания спреградой.

Для подтверждения этого наблюдения были приготовлены новые преграды значительно большей длины, чем прежние и опять были проведены киносъёмки.

Сравнение полученных результатов с прежними, показало, что при той же высоте преграды амплитуда ускорения гораздо меньше при длинных преградах, чем при коротких, а также путь середины колеса имеет более равномерный пробег.

Результаты показывают, что существует некоторая критическая длина преград ($L_{кр}$), разделяющая их на две группы. Можем предположить, что этой критической длиной будет длина тетивы колеса в точке касания с преградой. Но это не постоянная величина. Она зависит от диаметра колеса, а также от давления. Так что точное определение этой длины невозможно.

T. Potocki

THE EFFECT OF SHAPE AND DIMENSIONS OF OBSTACLE AS WELL AS THE TRAILER WORK PARAMETERS ON THE TRAJECTORY OF WHEEL CENTRE

Summary

The solution of this question required to measure accelerations that arise when a wheel of trailer runs over the obstacle. Such investigation have been carried out using the obstacles of right angled triangle (wedge) and rectangular sections.

To explain this surprising phenomenon, the rolling process of wheel over the obstacle was filmed by means of high speed camera (at the frequency of 1000 frames per second).

Analysis of obtained films showed, that the applied obstacles were too short in relation to dimensions of the trailer wheel; thus immediately after being touched by the tire the whole surface of the obstacle adhered to the tire and indented when rolling further.

For that reason the drive angle could not highly influence the existing accelerations, whereas the height and/or the length of upper surface of obstacle could.

The above results suggested, that the drive angle over the obstacle can influence the acceleration when its length is longer than the length of wheel chord at its contact with the obstacle.

To confirm the above remarks the new, longer, obstacles were prepared and filmed again and the results were compared with the previous ones.

This comparison showed, that at the same height of obstacle, the amplitude of acceleration is much smaller for long obstacles than for the short ones and the trajectory of the wheel centre runs softer.

The above results indicate, that there exists a critical length of obstacles L_{kr} dividing them into two groups. It can be assumed that the length of wheel chord at contact with the obstacles will be critical. It is not the constant value, however, and depends upon the wheel diameter and the pressure. The accurate definition of this length seems to be impossible.