



**Klaus-Dieter
Brösdorf**

Możliwości i granice analizy śladów kontaktowych kół

Streszczenie

Zarówno w przypadku rzeczywistych kolizji w ruchu drogowym, jak i w przypadku szkód komunikacyjnych, gdy istnieje podejrzenie nieuprawnionej manipulacji zdarzają się przypadki, w których na pojazdach lub na innych przeszkodach można stwierdzić ślady, których cechy wskazują na ich powstanie wskutek kontaktu z kołem innego pojazdu. Od wielu lat prowadzone są badania mające na celu interpretację tych śladów. Artykuł zawiera bardzo szczegółową analizę literatury fachowej oraz wyników badań zarówno praktycznych, jak też modeli teoretycznych opisujących powstawanie śladów od kół. Ze wszystkich badań wynika, że z przebiegu śladów kontaktowych kół można wyprowadzić jedynie wskazówki co do stosunku prędkości pomiędzy prędkością pojazdu ocierającego a prędkością pojazdu ocieranego.

Słowa kluczowe

Pojazd, ślady kontaktowe kół, uszkodzenie samochodu, wyłudzenie odszkodowania.

* * *

Ślady powstałe na pojeździe lub na przeszkodzie wskutek kontaktu z kołem innego pojazdu (dalej w ogólnym znaczeniu: ślady kontaktowe kół) dostarczają do celów rekonstrukcji rzeczywiście zaistniałych kolizji drogowych (ryc. 1) cennych informacji na temat przebiegu zdarzenia. Ślady kontaktowe kół są jednak często spotykane również w przypadku sfingowanych zdarzeń szkodowych (ryc. 2). Zasadniczą rolę odgrywa tutaj aspekt, że kolizja obliczona na uzyskanie rozległego rozmiaru uszkodzeń pojazdu w celu osiągnięcia wysokiego świadczenia odszkodowawczego musi być utrzymywana na dłuższym odcinku styku pojazdów/pojazdu i obiektu kolizyjnego (dalej kolizja otarciowa) poprzez odpowiednie manewry kierującego pojazdem/kierujących pojazdami.



Ryc. 1. Ślady kontaktowe powstałe wskutek kontaktu z kołem na boku pojazdu.



Ryc. 2. Ślady kontaktowe powstałe wskutek kontaktu z kołem na boku pojazdu.

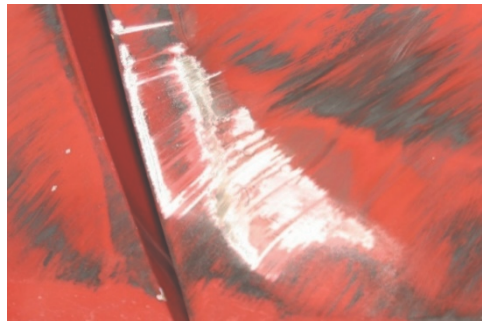
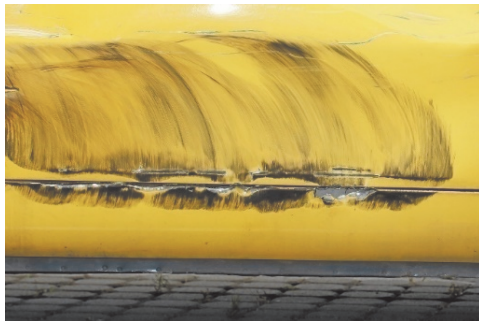
Ślady kontaktowe kół to ślady powstałe podczas ruchu względnego pojazdów lub pojazdu względem innego obiektu biorącego udział w kolizji. W większości przypadków istotnym dla kontaktu jest przednie koło pojazdu. Możliwy jest również kontakt pomiędzy większą liczbą kół pojazdu ocierającego a drugim pojazdem lub innym obiektem biorącym udział w kolizji. Ponadto może dochodzić – na przykład w przypadku kolizji otarciowych prawie równoległych do osi podłużnych dwóch będących w ruchu pojazdów – do powstania na obu tych pojazdach wzajemnie przez nie powodowanych śladów kontaktowych kół. Zaobserwowane zostały również ślady kontaktowe pochodzące z różnych obszarów koła pozostawiającego ślady wskutek kontaktu z oponą, obręczą, kołpakiem, jak również ze śrubami mocującymi koło.

Ślady powstałe na skutek kontaktu z kołem sprawiają wrażenie śladów łatwych do interpretacji. Zależą one jednak od złożonych mechanizmów, dających się prześledzić w oparciu o kinematykę ruchu względnego pomiędzy kołem pozostawiającym ślad (kołem ocierającym) a obiektem, z którym dochodzi do kolizji (obiektem ocieranym), a tym samym o podstawy mechaniki.

Prawidłowa interpretacja śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem może przysparzać problemów. Istotne parametry do oceny śladów kontaktowych kół zostały podane w tabeli 1. Ślady kontaktowe kół na ocieranym obiekcie kolizyjnym to najczęściej naniesienia ciemnego, obcego materiału (ryc. 3 i ryc. 4), otarcia powierzchni (ryc. 4), jak również roztarcia warstw zanieczyszczeń (ryc. 5 i ryc. 6).

Tabela 1. Parametry do oceny śladów kontaktowych kół [5], [8], [12], [13].

Ślady zarysowane przez obracające się koło	Ślady zarysowane przez koło w spoczynku	
Ślady na karoserii otartego pojazdu	Ślady na kole/kołach otartego pojazdu	
Pojazdy poruszające się w tym samym kierunku	Pojazdy poruszające się w przeciwnych kierunkach	
Koło napędzane kreślące ślad (ocierające)	Koło nienapędzane kreślące ślad	
Ślady powstające z kierowania w stronę ocierającego pojazdu (kontakt z przednią zewnętrzną powierzchnią koła)	Przyłożenie boczne koła (kontakt całego koła lub znacznej jego powierzchni)	Ślady powstałe wskutek odbijania pojazdem (kontakt z tylną zewnętrzną powierzchnią koła)
Pojazd ocierający w bezruchu	Oba pojazdy w ruchu	Pojazd ocierany w bezruchu
Koło kreślące ślad w bezruchu	Koła obu pojazdów w bezruchu	Koło ocierane w bezruchu
Koło kreślące ślad w ruchu	Koła obu pojazdów w ruchu	Koło ocierane w ruchu
Pojazd ocierający porusza się szybciej niż pojazd ocierany	Oba pojazdy poruszają się jednakowo szybko	Pojazd ocierający porusza się wolniej niż pojazd ocierany



Ryc. 3. Ślady kontaktowe kół – naniesienia ciemnego materiału obcego i przerwanie ciągłości materiału na ocieranym pojeździe. Ryc. 4. Ślady kontaktowe kół – naniesienia ciemnego materiału obcego i otarcia powierzchni poszycia.



Ryc. 5. Ślady kontaktowe kół – rozrarcia warstwy zanieczyszczeń na pojeździe ocieranym (karoseria).



Ryc. 6. Ślady kontaktowe kół – rozrarcie warstwy zanieczyszczeń na pojeździe ocieranym (opona).

Wczesna literatura dotycząca oceny i analizy obliczeniowej śladów kontaktowych kół znajduje się u Plankensteiner [29]. Dla kolizji otarciowych powstał moduł (FLANSTER) pakietu programów do rekonstrukcji wypadków i kolizji. Inspiracją powstania tego modułu była jednak rekonstrukcja wypadków drogowych, a nie rozpoznawanie szkód z podejrzeniem manipulacji. Plankensteiner wskazuje na istotne parametry oceny śladów kontaktowych kół, w szczególności na to, że na podstawie śladów kontaktowych kół nie można wyciągać wniosków o prędkościach bezwzględnych, a jedynie o stosunku prędkości. Również tutaj znajduje się pierwsza wzmianka dotycząca położenia punktu styczności na kreślącym ślad kole.

Weber [34] opisuje ślady powstałe wskutek kontaktu z kołem jako ślady otarciowe powodowane przez obracające się koło. Przedstawił on prosty model obliczeniowy, przy pomocy którego można badać ślady kontaktowe spowodowane przez krawędź obręczy pojazdu ocierającego.

Analizą śladów kontaktowych kół zajmował się w swoich opracowaniach również Levy [25]. Gerlach [22] badał systematycznie – zarówno eksperymentalnie jak i teoretycznie – ślady kontaktowe kół i omawiał wpływ różnych parametrów na ich przebieg. Gerlach opracował prosty program obliczeniowy oparty na programie Microsoft Excel, przy pomocy którego możliwe jest przedstawianie różnych czynników wpływających na ślady kontaktowe kół.

Mniej więcej w tym samym czasie co Gerlach badano dalej ślady kontaktowe kół, a uzyskane wyniki opublikowano w [5], [11], [17], [18], [19], [23]. W tym okresie został stworzony przez autora prosty program obliczeniowy do analizy śladów kontaktowych kół na bazie programu Microsoft Excel, który został udostępniony do niekomercyjnego użytku i znalazł zastosowanie do tworzenia prezentacji podstawowych przebiegów śladów kontaktowych kół dla różnych prędkości, na przykład w [5], [8], [12], [13].

Tak samo jak u Webera [34] w obliczeniach zostały uwzględnione trzy zmienne początkowe:

- prędkość pojazdu ocierającego,
- średnica koła kontaktującego w pojeździe ocierającym oraz
- prędkość pojazdu ocieranego.

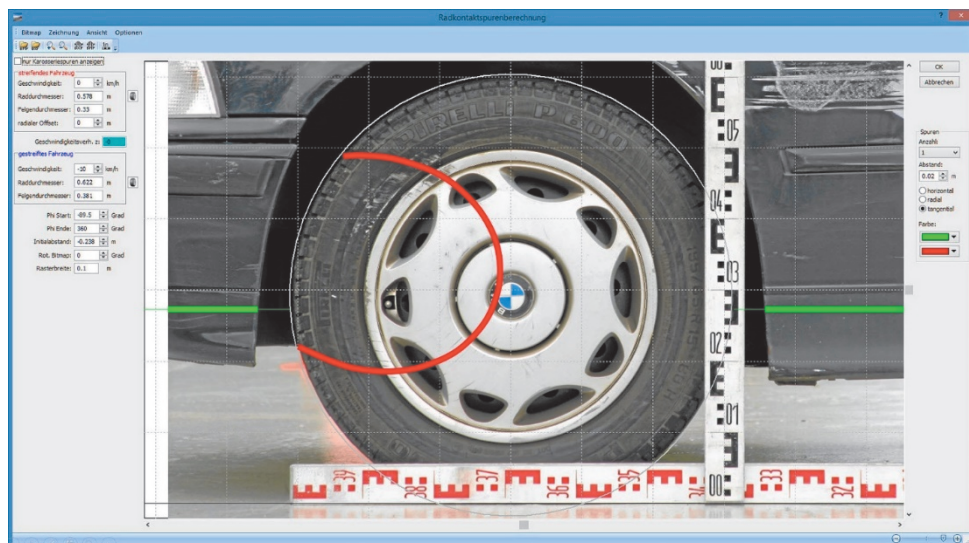
Reinhardt [30] wygenerował program obliczeniowy w oparciu o program Microsoft Excel, przy pomocy którego można obliczać zarówno ślady kontaktowe kół na karoseriach pojazdów ocieranych, jak również ślady kontaktowe kół na kołach pojazdu ocieranego, niezależnie od tego, czy koła są nieruchome, czy są w ruchu.

Pierwszym dającym się praktycznie zastosować rozwiązaniem do obliczania śladów kontaktowych kół na karoseriach i kołach pojazdów po kolizjach otarcio-owych jest model śladów kontaktowych kół w programie PC-Crash [26]. Oprócz czterech podstawowych wielkości wejściowych, którymi są:

- prędkość pojazdu ocierającego,
- średnica koła kontaktującego w pojeździe ocierającym,
- prędkość pojazdu ocieranego oraz
- średnica koła kontaktującego w pojeździe ocieranym

można uwzględnić dalsze czynniki (ryc. 7). W analitycznej prezentacji przedstawionej na ryc. 7 zostały wyraźnie zaznaczone ślady kontaktowe koła na karoserii pojazdu ocieranego (kolor zielony) i na kole pojazdu ocieranego (kolor czerwony). Ponadto nowsze wersje programu symulacyjnego Analizer Pro [1] posiadają również model śladów kontaktowych kół do analizy obliczeniowej.

Znane są badania Varata i in. [33] dotyczące wpływu relacji prędkości na ślady kontaktowe kół w kolizjach bocznych pomiędzy samochodem ciężarowym a samochodem osobowym, poruszającymi się w tym samym kierunku, gdzie samochód ciężarowy był pojazdem ocierającym, a samochód osobowy pojazdem ocieranym. Badania te zostały przeprowadzone zarówno w formie teoretycznej jak i eksperymentalnej. W testach Varata i in. ślady kontaktowe były powodowane głównie przez śruby mocujące przednie koła pojazdu ciężarowego, które wystawały na zewnątrz, poza kontur pojazdu. Przez Varata i in. została stwierdzona zgodność pomiędzy śladami powstałymi wskutek kontaktu z kołem, które zostały ustalone zarówno w sposób eksperymentalny jak i w sposób matematyczny. Ponadto autorzy ci stwierdzają, że z przebiegu śladów kontaktowych kół można wyprowadzić jedynie wskazówki co do stosunku prędkości pomiędzy prędkością pojazdu ocierającego a prędkością pojazdu ocieranego.



Ryc. 7. Obliczenia kontrolne dot. testu z wykorzystaniem modelu do śladów kontaktowych kół w programie PC-Crash [26] w [13].

Często jednak nie śruby mocujące koła, czy nie tylko śruby mocujące koła, ale przeważnie opony pojazdów są elementami, które pozostawiają ślady podczas kontaktu bocznego, jako wyraźne ślady kontaktu koła lub opony na pojeździe ocieranym. Dyskusje na ten temat, zwłaszcza w związku z kolizjami bocznymi przy zmianie pasa ruchu, można znaleźć również na forach internetowych [3], które pokazują, że do analizy śladów kontaktowych kół ewidentnie istnieje potrzeba ich interpretacji.

W związku ze śladami kontaktowymi kół można zadać pytanie biegłemu, czy kierujący pojazdem ocierającym celowo kierował swój pojazd w kierunku pojazdu ocieranego. Ocena, czy kierujący pojazdem działał umyślnie, czy z innych powodów nie należy do biegłego (podkreślenie Redakcja). Na podstawie analizy obiektywnych, odgrywających ważną rolę czynników (tabela 2) można zbadać, czy mogło dojść do aktywnych manewrów pojazdem. W ten sposób można dostarczyć prawnikowi zajmującemu się sprawą materiały i wiedzę pomocną do podejmowania decyzji w kwestiach technicznych, w kontekście przyczyn technicznych.

W tym kontekście ważna jest zatem zarówno techniczna jak i prawna ocena zachowania się kierującego pojazdem. Podczas gdy biegły powinien badać przebieg zdarzenia tylko pod kątem technicznym, nie zajmując się pozatechnicznym podłożem czynności związanych z prowadzeniem pojazdu, prawnik powinien zadać sobie pytanie, z jakich pobudek działał kierujący pojazdem, na przykład czy działał celowo, czy było to działanie niezamierzone.

Szereg badań pokazuje jednak, że wcześniej dokonane oceny, według których kierujący pojazdem ocierającym rzekomo kierował swój pojazd w kierunku pojazdu ocieranego, nie są w tej formie możliwe do obrony. Pfeufer [27] sam, a następnie we współpracy ze współautorami [28] wyprowadził na podstawie badań kolizji otarciowych podczas zmiany pasa ruchu wniosek, że nie jest możliwe wyłącznie na podstawie śladów – w tym przypadku przede wszystkim śladów po kontakcie z kołem pojazdu – wywodzić twierdzeń co do celowego działania kierującego. Wyniki te są poparte badaniami przeprowadzonymi przez Lesera i in. [24] i Wegnera [35].

Tabela 2. Czynniki wpływające na ocenę kąta skrętu kół [5], [8], [12], [13].

Pojazd ocierający	Pojazd ocierany
Rozmiar i konstrukcja opony	
Konstrukcja tarczy obręczy lub ramienia koła i mocowanie koła	
Układ kół w stosunku do nadwozia	
Kontur nadwozia wokół stykającego się koła	Kontur nadwozia w obszarze kontaktu
Zakres uszkodzeń na przednim kole/podwoziu	
Rozmiar uszkodzeń na nadwoziu	Rozmiar uszkodzeń na nadwoziu
	Sztywność konstrukcyjna w obszarze kontaktu
Wspomaganie kierownicy	
Rodzaj napędu (przedni, tylny, 4x4)	
Nierówności podłoża	Nierówności podłoża
Pozostałe działania kierującego pojazdem	
	Położenie, kształt i charakterystyka oraz intensywność śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem

Bazując na aktualnym stanie wiedzy należy przyjąć, że tylko ślady kontaktowe kół pochodzące z pierwszego kontaktu pozwalają na wyciąganie wniosków o ruchu pojazdu i sposobie kierowania pojazdem, jak wyjaśniono np. w [11]. Wskutek intensywnego kontaktu kolizyjnego z pojazdem ocieranym może dochodzić do zmian prędkości kątowej kontaktującego koła, jak również do uszkodzeń koła i zawieszenia. Okoliczności te mogą zainicjować niemożliwy do zrekonstruowania pod względem wielkości ruch samoistny koła w pojeździe ocierającym. W związku z tym zasadnicze znaczenie ma krytyczne rozróżnienie śladów kontaktowych koła zainicjowanych przez świadome i zamierzone działanie kierującego pojazdem i śladów kontaktowych koła będących skutkiem dynamicznych procesów jazdy i kolizji.

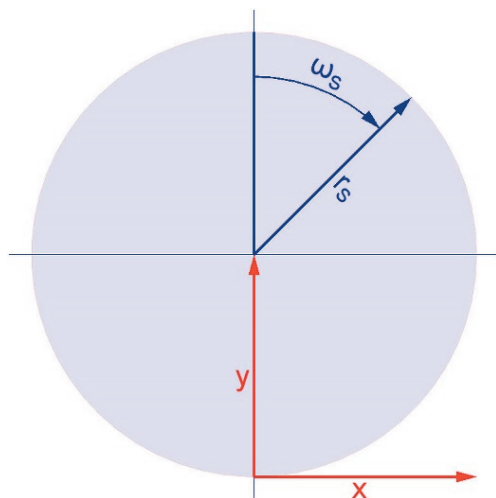
Ślady kontaktowe kół zasadniczo zależą od:

- promienia r_S koła ocierającego i od położenia punktu kontaktowego r_{SZ} na kole ocierającym,
- od prędkości kątowej ω_S koła ocierającego oraz
- od prostolinijnego stosunku prędkości pomiędzy obiektami, między którymi dochodzi do kontaktu.

W przypadku śladów kontaktowych kół na kołach, które są w spoczynku/w ruchu, są również istotne:

- promień r_G koła ocieranego oraz
- prędkość kątowa ω_G koła ocieranego.

Przy pomocy prostego modelowania [5], [12], [13] można przedstawić warunki kinematyczne śladów kontaktowych kół na karoseriach samochodowych lub nieruchomych obiektach kolizyjnych. Podstawę stanowi tutaj pokazany na ryc. 8 zastępczy model swobodnie toczącego się koła o promieniu r_S .



Ryc. 8. Prosty model zastępczy koła [5], [12], [13].

Na podstawie prędkości pojazdu ocierającego v_S , prędkości pojazdu ocieranego v_G oraz promienia koła ocierającego r_S można obliczyć przebieg punktu kontaktowego na pojeździe ocieranym. Odległość punktu styku do środka koła pojazdu ocierającego r_{SZ} może być przy tym mniejsza niż jego promień r_S . Obowiązują tutaj następujące zależności:

$$r_{SZ} \leq r_S \quad (1)$$

$$\omega_S = \frac{v_S}{r_S} \quad (2)$$

$$x = r_{SZ} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \omega_S \cdot t\right) + v_S \cdot t - v_G \cdot t \quad (3)$$

$$y = r_{SZ} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega_S \cdot t\right) + r_S \quad (4)$$

Przebieg śladów kontaktowych powstałych wskutek kontaktu z kołem określa się tylko na podstawie stosunku prędkości \mathbf{z} :

$$z = \frac{v_S}{v_G} \quad (5)$$

Ten prosty model obliczeniowy został rozszerzony w programie symulacyjnym PC-Crash [26] w taki sposób, że – w uzupełnieniu możliwości badania śladów kontaktowych kół na karoseriach pojazdów – istnieje teraz możliwość badania również śladów kontaktowych kół na pojeździe ocieranym. Podczas kolizji na ślady kontaktowe kół na pojeździe ocieranym mogą mieć wpływ inne czynniki. Chodzi tutaj o właściwości konstrukcyjne mających ze sobą kontakt kolizyjny części pojazdu oraz procesy dynamiczne jazdy i kontaktu, takie jak np.:

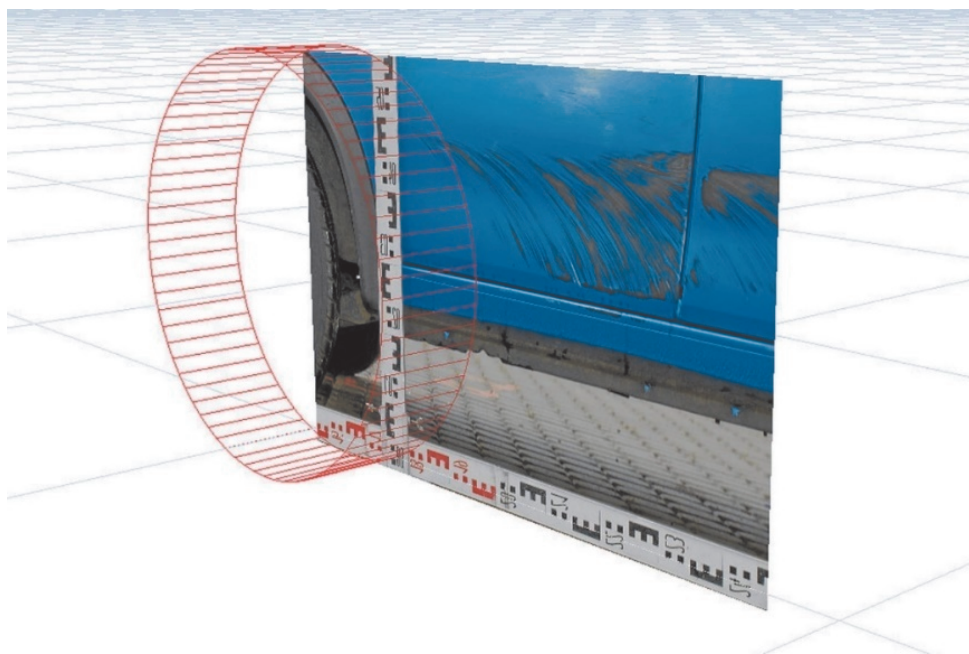
- zmiany prędkości pojazdów w ruchu prostoliniowym,
- poślizg na kole kreślącym ślad (poślizg przy przyspieszaniu lub poślizg przy hamowaniu),
- wychylenie przednich kół (kąt pomiędzy płaszczyzną koła a powierzchnią styku),
- szczególne cechy konstrukcyjne koła kreślącego ślad (opona, obręcz, kołpak),
- deformacja opon,
- kształt i sztywność konstrukcyjna nadwozia pojazdu ocieranego, oraz
- ruchy karoserii (kołysanie poprzeczne, *kiwanie* przód-tył i boczne sprężynowanie).

W zasadzie każdy z tych parametrów daje się również teoretycznie zapisać do celów obliczeniowych, jak już to zapisał Gerlach [22], przy czym zasadniczą zmienną wpływającą na przebieg śladów kontaktowych koła pozostaje stosunek prędkości \mathbf{z} , o ile wyżej wymienione czynniki nie są czynnikami dominującymi. Tych czynników (np. poślizg kół) nie można było jednak określić w praktyce, dlatego też rozszerzenie modelu w tym zakresie niekoniecznie musi prowadzić do lepszych wniosków.

Wynikiem obliczeń dotyczących śladów kontaktowych kół jest sam stosunek prędkości \mathbf{z} . Stwierdzenia odnośnie bezwzględnych prędkości pojazdów uczestniczących w zdarzeniu v_S i v_G jest możliwe tylko wtedy, gdy znane są pewne dane dotyczące prędkości jednego z pojazdów uczestniczących w zdarzeniu. Oprócz kolizji ze stałymi obiektami, które z reguły mają prędkość własną równą zero, jest

możliwe w danym przypadku wyprowadzenie ze śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem jedynie takiego wniosku, że prędkość pojazdu ocieranego leżała poniżej $v_G = 3\text{--}5$ km/h.

Udowodnienie, że pojazd ocierany w czasie kontaktu pojazdów stał, z samego tylko technicznego punktu widzenia zwykle nie jest możliwe. W znanych modelach śladów kontaktowych kół, na przykład w modelu śladów kontaktowych kół w programie PC-Crash, trójwymiarowa rzeczywistość jest zredukowana do dwuwymiarowej analizy czy modelowania. Ten model śladów kontaktowych kół (ryc. 9) jest zaprojektowany w taki sposób, że koło pojazdu ocierającego tworzy pionową obrotową obręcz o parametrach r_S i v_S . Równoległe do obręczy ustawiona jest pionowa i płaska powierzchnia z parametrem v_G .



Ryc. 9. Charakterystyka modelu śladów kontaktowych kół w programie symulacyjnym PC-Crash [26].

Na tę powierzchnię (pojazd ocierany) rzutowane są obliczenia śladów kontaktowych koła. Z tego względu muszą zostać zapewnione dające się skalować zdjęcia śladów kontaktowych kół w widoku ortogonalnym i wypoziomowanym. W związku z tym przy wykonywaniu materiału zdjęciowego obowiązują te same wymagania jakościowe, jak przy wykonywaniu materiału zdjęciowego z przyłożoną łąką mierniczą do nakładania obrazów [7], [8], [10], [12], [13]. Odchylenia od tych norm prowadzą do znacznych błędów przy ocenie śladów kontaktowych kół. Korekta materiału zdjęciowego odbiegającego od widoku ortogonalnego – przy po-

mocy programów do obróbki obrazu lub programów fotogrametrii 2D – jest niedozwolona [14], ponieważ rzeczywiste geometrie koła ocierającego i nadwozia pojazdu ocieranego nie są dokładnie odwzorowane w modelu.

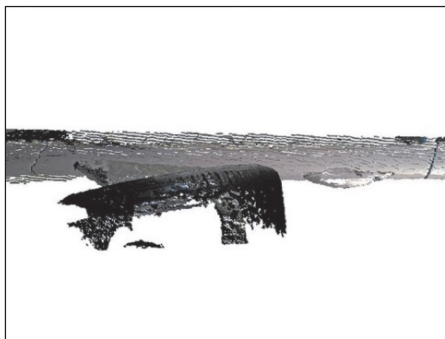
Można byłoby oczekiwać poprawy sytuacji dzięki zastosowaniu modeli trójwymiarowych, przynajmniej w odniesieniu do zrozumienia przestrzenno-geometrycznego zachowania się uczestników kolizji. Pierwsze pozytywne doświadczenia przyniosło zastosowanie niedrogiego skanera ASUS Xtrion [4]. Ryc. 10 przedstawia skan lewego przedniego koła samochodu osobowego, które w fikcyjnym zdarzeniu testowym miało spowodować ślady kontaktowe (pojazd ocierający). Ryc. 11 przedstawia lewe przednie drzwi samochodu osobowego, które w tym fikcyjnym zdarzeniu testowym pełniły rolę nośnika śladów kontaktowych koła (pojazd ocierany).



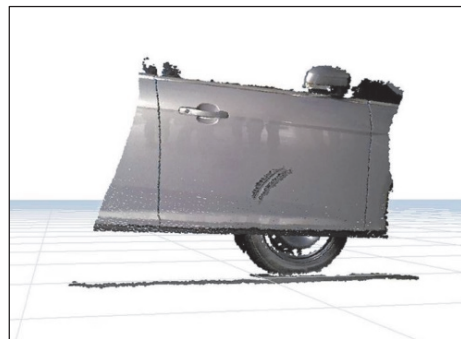
Ryc. 10. Skan lewego przedniego koła samochodu wykonany przy pomocy skanera ASUS Xtrion [4].



Ryc. 11. Skan lewych przednich drzwi samochodu wykonany przy pomocy skanera ASUS Xtrion [4].



Ryc. 12. Ocena częściowych modeli 3D z ryc. 10 i ryc. 11 w widoku z góry.



Ryc. 13. Ocena częściowych modeli 3D z ryc. 10 i ryc. 11 w widoku z boku.

Ryc. 12 i ryc. 13 przedstawiają zestawienie modeli 3D wygenerowanych z ryc. 10 i 11 w programie symulacyjnym PC-Crash [26]. Przy pomocy tej metody możliwe jest, uwzględniając strukturę przestrzenno-geometryczną obiektów biorących

udział w kolizji, dokonanie sprawdzenia, w jaki sposób doszło do pierwszego, ważnego dla analizy śladów kontaktowych kół, kontaktu tych obiektów.

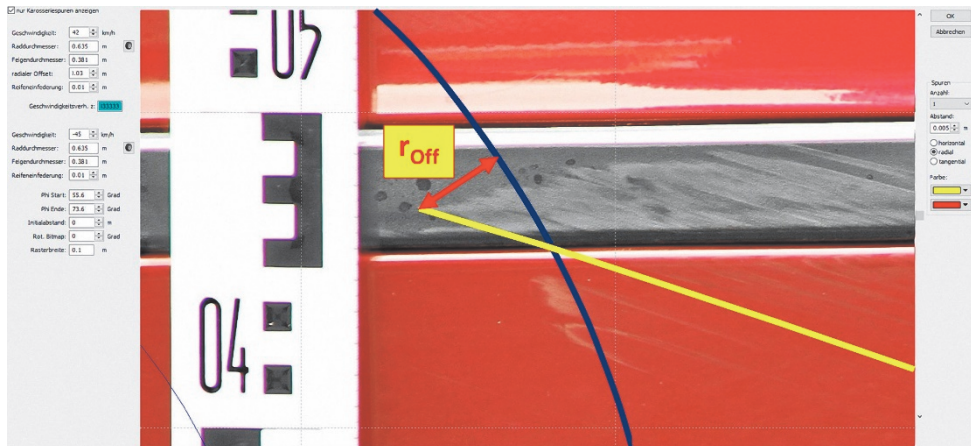
Modelu do śladów kontaktowych kół (ryc. 14) używa się w taki sposób, że dający się skalować, ortogonalny obraz obszaru pierwszego kontaktu przedstawiający ślady kontaktu z kołem jest importowany do modelu śladów kontaktowych kół i skalowany. Skalowalność oznacza, że na poziomie badawczym musi być znany co najmniej jeden wymiar. Po ustawieniu średnicy koła ocierającego d_S oraz w razie potrzeby, średnicy koła ocieranego d_G (dla śladów kontaktowych na ocieranym kole), ortogonalny obraz jest zorientowany na odciętej i przesuwany poziomo, aż do chwili, gdy powierzchnia styku na kole ocierającym znajdzie się w obszarze pierwszego kontaktu śladów kontaktowych koła [11] pojazdu ocieranego. Zmieniając kąt początkowy φ_A oraz kąt końcowy φ_E obliczonych śladów kontaktowych kół, można regulować zarówno wysokość śladów kontaktowych kół nad poziomem styku koła z podłożem, jak również ich długość.

Przez iteracyjne zmiany powyższych parametrów – przede wszystkim prędkości pojazdu ocierającego v_S i prędkości pojazdu ocieranego v_G – można zmieniać położenie i charakterystykę obliczanych śladów kontaktowych koła, dopóki obliczone ślady kontaktowe koła i rzeczywiście istniejące ślady powstałe wskutek kontaktu z kołem nie wykażą ostatecznej zgodności geometrycznej. Należy zauważyć, że w ten sposób daje się określić nadal tylko stosunek prędkości z . Prędkości bezwzględne można określić tylko wtedy, gdy znana jest prędkość bezwzględna jednego pojazdu. Należy tu jednak wziąć pod uwagę dwa szczególne przypadki. Przypadek pierwszy zachodzi wtedy, gdy pojazd ocierany przejeżdża ocierając się o koło stojącego pojazdu ocierającego ($v = 0$), na pojeździe ocieranym powstają poziomo biegnące ślady kontaktowe koła niezależnie od prędkości przejeżdżającego pojazdu ocieranego. Stosunek prędkości z wynosi w każdym przypadku zero i można jedynie powiedzieć, że prędkość pojazdu ocierającego była zbliżona do zera, a pojazd ocierany był w ruchu, a tym samym nie można wyprowadzić konkretnej wartości prędkości pojazdu ocieranego. Drugi przypadek szczególny zachodzi wtedy, gdy pojazd ocierający przejeżdża, ocierając stojący pojazd lub inny nieruchomy obiekt kolizyjny. W takim przypadku niezależnie od prędkości względnej powstają zawsze takie same ślady kontaktowe koła. Tłumaczy się to tym, że na przebieg śladów kontaktowych koła mają wpływ jedynie warunki geometryczne na pojeździe ocierającym – tutaj w szczególności na mającym kontakt kole pojazdu ocierającego. Stosunek prędkości z dąży do nieskończoności, przy czym przypadek graniczny, faktycznie stojącego pojazdu ocieranego o prędkości $v = 0$, z uwagi na dzielenie przez zero, nie jest zdefiniowany. W tym przypadku można jedynie powiedzieć, że prędkość pojazdu ocieranego była zbliżona do zera, a pojazd ocierający był w ruchu. Nie jest możliwe wyznaczenie konkretnej wartości prędkości dla pojazdu ocierającego.

Oprócz wyżej wymienionych zmiennych wpływających na ślady kontaktowe kół należy zwrócić szczególną uwagę na przesunięcie promieniowe r_{off} przy zmianie parametrów (ryc. 14), ponieważ w przypadku pominięcia przesunięcia promieniowego może dojść do znacznych błędów [6], [15]. Przez przesunięcie promieniowe rozumie się przesunięcie rzeczywistego punktu kontaktu na kole ocierającym, począwszy od promienia koła r_s , w kierunku osi obrotu koła. Obowiązuje tutaj następująca reguła:

$$r_{off} = r_s - r_{sz} \quad (6)$$

Problem z przesunięciem promieniowym polega na tym, że w praktyce eksperymentalnej i rekonstrukcyjnej nie można go zmierzyć bezpośrednio, w sposób dynamiczny, przy dającym się uzasadnić nakładzie środków. Pomocniczo można, po odtworzeniu konfiguracji zderzeniowej, a w szczególności po odtworzeniu kąta między osiami wzdłużnymi pojazdów, przy uwzględnieniu tego kąta przyłożyć do otartego nadwozia identyczne pod względem budowy koło i pokazać przy użyciu odpowiedniej metody miejsce pierwszego kontaktu na kole ocierającym. Przy czym chodzi tu jednak o statyczne przesunięcie promieniowe. W jakim stopniu statyczne przesunięcie promieniowe i dynamiczne przesunięcie promieniowe zgadzają się w co najmniej dostatecznym przybliżeniu, można było do tej pory jedynie przypuszczać. Do określenia dynamicznego przesunięcia promieniowego przy uwzględnieniu pozostałych warunków brzegowych kontaktu kolizyjnego mogą być wykorzystywane dobrze udokumentowane testy zderzeniowe.



Ryc.14. Przesunięcie promieniowe w modelu śladów kontaktowych kół w programie PC-Crash [26].

Poprzez ocenę dobrze udokumentowanego testu było możliwe odtworzenie dynamicznego przesunięcia promieniowego bezpośrednio na podstawie dostatecznych danych pomiarowych. Podczas testu dotyczącego kolizji otarciowej w ruchu

dwukierunkowym jeden z samochodów osobowych biorących udział w teście poruszał się w chwili pierwszego kontaktu pojazdów z prędkością $v_S = 42$ km/h (pojazd ocierający) a drugi z prędkością $v_G = 45$ km/h (pojazd ocierany).

Na podstawie wartości geometrycznych obu uczestniczących w kolizji pojazdów oraz ich prędkości w chwili pierwszego kontaktu zostało określone przesunięcie promieniowe na poziomie wartości $r_{off} = 0,03$ m (ryc. 14).

Przy nieuwzględnieniu ugięcia statycznego i przesunięcia promieniowego na kole ocierającym i przy jednoczesnym zachowaniu wszystkich innych warunków obliczeniowych, a także przy utrzymaniu stałej prędkości dla pojazdu ocierającego na poziomie $v_S = 42$ km/h wynik obliczeń przy pomocy modelu śladów kontaktowych kół w programie symulacyjnym PC-Crash [26] dla prędkości pojazdu ocieranego dałby wartość $v_G = 58$ km/h.

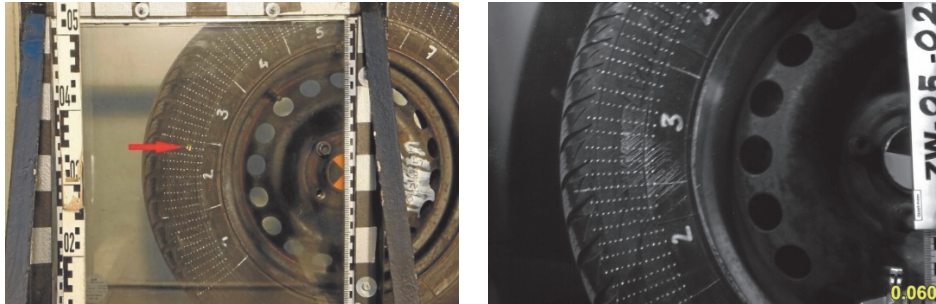
Obliczeniowa analiza dotycząca śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem oznacza w tym kontekście opisaną powyżej procedurę wariacji wielkości wejściowych w ramach fizycznie możliwych i racjonalnie uzasadnionych granic dla analizowanego przypadku do chwili, gdy obliczone ślady kontaktowe koła wykażą wystarczającą zgodność z faktycznie istniejącymi śladami. Nieuwzględnienie ugięcia statycznego i przesunięcia promieniowego spowodowałoby powstanie różnicy pomiędzy obliczoną prędkością pojazdu ocieranego a jego rzeczywistą prędkością $v_G = 45$ km/h w chwili pierwszego kontaktu na poziomie ok. 29%. Przy zastosowaniu modelu śladów kontaktowych kół w programie symulacyjnym PC-Crash, główne zmiany powstają w wyniku z wariacji przesunięcia promieniowego. Nieznaczne różnice pomiędzy przedstawionymi powyżej wynikami a wynikami opublikowanymi w wynikają z powtórnej, szczegółowej analizy danych do celów przeprowadzenia testu.

W ramach pracy dyplomowej Bunk [16] przeprowadziła badania nad określaniem radialnego przesunięcia śladów kontaktowych koła z uwzględnieniem konkretnej geometrii koła i kąta pomiędzy kołem kreślącym ślad (kołem ocierającym) a obiektem ocieranym.

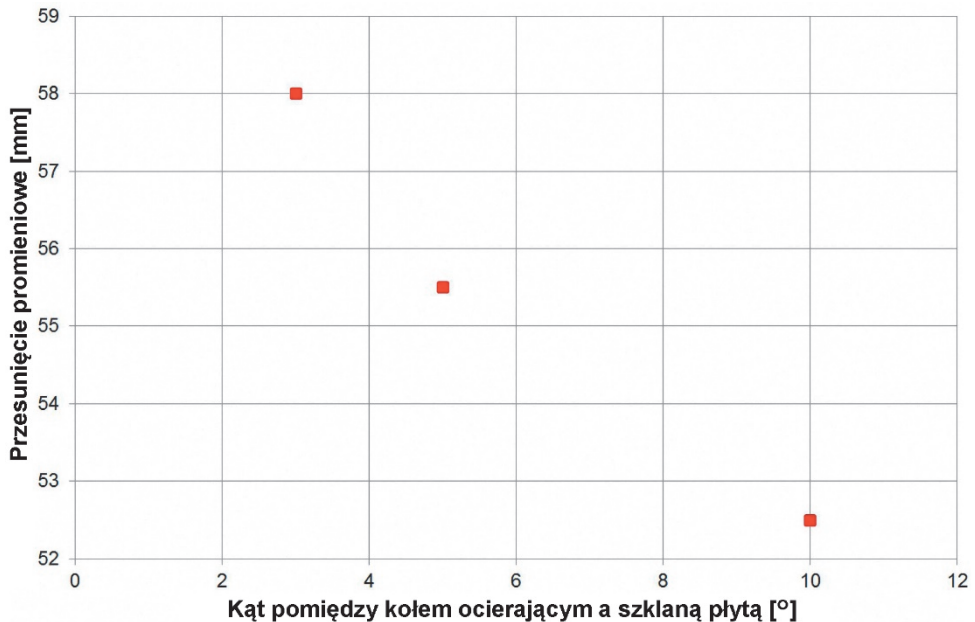
W serii testów Bunk badała zależność przesunięcia promieniowego od kąta (3° , 5° i 10°) – przy niezmiennych pozostałych warunkach brzegowych – między kołem ocierającym a specjalnie przygotowaną szklaną płytą w zakresie prędkości ok. 5 km/h. Podczas testów ustalano położenie punktu pierwszego kontaktu, jak również obraz dalszego obszaru kontaktu przy użyciu techniki wideo (kamery szybkoobrotowej).

Na ryc. 15 przedstawiona została fotografia ze statycznego testu Bunk. Ryc. 16 przedstawia pojedynczą klatkę pobraną z filmu (0,06 s po pierwszym kontakcie) nagranej w czasie testu, w którym kąt pomiędzy kołem a szklaną płytą wynosił 5° . Na ryc. 17 przedstawione zostały wyniki testów Bunk w formie wykresu, przy czym ostatecznie tylko trzy testy serii mogły posłużyć do wszechstronnych badań.

Badania Bunk dostarczają praktycznej wskazówki, że wyniki analizy śladów kontaktowych kół – wychodząc z obecnego stanu wiedzy – można poprawić, jeśli najpierw odtworzy się kąt między kołem ocierającym a ocieranym pojazdem lub obiektem kolizyjnym i przy zastosowaniu uzyskanych wyników, poprzez analizę statyczną zgodnie z rys. 15, skoryguje się przesunięcie promieniowe dla obliczeń śladów kontaktowych koła.



Ryc. 15. Wstępny test statyczny Bunk [16]. Ryc. 16. Test dynamiczny Bunk dla kąta 5° [16].



Ryc. 17. Przesunięcie promieniowe w funkcji kąta pomiędzy kołem ocierającym a płytą szklaną wg Bunk [16].

Aktualny stan wiedzy na temat oceny śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem – również z wykorzystaniem modelu śladów kontaktowych kół w programie PC-Crash [26] – można podsumować w następujący sposób [9], [15]:

- na podstawie przebiegu śladów kontaktowych koła można ocenić, czy ślady te powstały wskutek kontaktu boku przedniej, czy tylnej części koła/opony;
- przy pomocy charakterystyki śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem możliwe jest dokonanie oceny, czy oprócz opony także inne części koła pojazdu ocierającego miały kontakt z pojazdem ocieranym;
- tylko ślady z pierwszego kontaktu nadają się do analizy pozwalającej na wyciągnięcie wniosków dotyczących stosunku prędkości uczestniczących w kolizji pojazdów lub innych obiektów kolizyjnych;
- jakość analizy może zostać podniesiona, jeżeli zostanie przeprowadzona całościowa ocena śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem na nadwoziu i na kołach, a także pozostałych śladów na uczestniczących w kolizji pojazdach;
- prędkość liniowa pojazdu ocierającego musi być zgodna z prędkością kątową koła ocierającego¹. Analogiczne wymogi odnoszą się do pojazdu ocieranego;
- ślady kontaktowe kół powstające w wyniku kolizji otarciowych w przeciwnym ruchu pojazdów są na ogół łatwe do oceny, ponieważ w większości przypadków dość łatwo daje się zlokalizować obszar pierwszego kontaktu;
- ślady kontaktowe kół powstające w wyniku kolizji otarciowych w jednokierunkowym (współbieżnym) ruchu pojazdów są na ogół trudniejsze do oceny, ponieważ powierzchnia pierwszego kontaktu daje się określić tylko w ograniczonym zakresie, względnie w sposób niepewny, z powodu nakładania się śladów;
- ślady kontaktowe kół powstałe w wyniku kolizji otarciowych w ruchu jednokierunkowym, mające niemal okrągły kształt pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że prędkości bezwzględne obiektów, między którymi doszło do kontaktu były prawie identyczne;
- na przebieg śladów kontaktowych kół istotny wpływ ma stosunek prędkości z , przy czym należy uwzględnić wpływ pozostałych czynników;
- w analizie dotyczącej śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem można odnieść się jedynie do stosunku prędkości pojazdu ocieranego do prędkości pojazdu ocierającego z . Nie jest możliwe wyciągnięcie wniosków dotyczących bezwzględnych prędkości pojazdów/obiektów kolizyjnych wyłącznie na podstawie śladów kontaktowych kół;
- na podstawie śladów kontaktowych kół nie można jednoznacznie stwierdzić, czy pojazd ocierany w kolizji otarciowej faktycznie stał ($v_G = 0$);
- przy zastosowaniu modeli obliczeniowych do śladów kontaktowych kół w programach symulacyjnych lub w formie niezależnych rozwiązań programowych należy koniecznie uwzględnić możliwości i granice, a co za tym idzie charakter modelu;

¹ Zgodność prędkości liniowej pojazdu ocierającego i prędkości kątowej koła pojazdu ocierającego zachodzi wtedy, gdy nie występuje poślizg koła (ani wskutek hamowania ani wskutek przyspieszenia).

- nie można w sposób jednoznaczny stwierdzić, czy kierujący pojazdem ocierającym skręcał w stronę pojazdu/obiektu ocieranego, czy tylko jechał na wprost;
- stwierdzenie, że kierujący pojazdem ocierającym w chwili pierwszego kontaktu „nie odbił” od ocieranego pojazdu/obiektu kolizyjnego jest technicznie możliwe;
- ślady kontaktowe kół spowodowane przez tylną powierzchnię opony pojazdu ocierającego przy długości śladu przekraczającej 0,2 m niekoniecznie oznaczają, że pojazd ocierający oddalił się od pojazdu ocieranego wskutek manewru kierującego (np. przy poślizgowym wejściu w kolizję pojazdu ocierającego).

W powyższym podsumowaniu istotnych elementów, które należy uwzględnić przy analizie śladów powstałych wskutek kontaktu z kołem, należy zauważyć, że możliwe są rozbieżności, jeżeli prędkość jednego z pojazdów/obiektów uczestniczących w kolizji w chwili pierwszego kontaktu była zerowa. Ponadto wykazano, że przesunięcie radialne – tj. położenie faktycznego punktu styku w stosunku do teoretycznego punktu styku na podstawie geometrii koła lub opony – ma znaczny wpływ na kształt zarysu śladu i obliczany na jego podstawie stosunek prędkości z . Dotychczasowe badania przeprowadzone przez Ansorge [2], Bunk [16], Charesa [21], Schrödera [31] i Stechera [32] w ramach prac dyplomowych pokazują, że określenie przesunięcia promieniowego – mimo początkowych obiecujących wyników badań – wymaga jeszcze dalszych badań w tej materii. Dotyczy to również złożonych wzajemnych oddziaływań karoserii i kół pojazdu z możliwymi interakcjami.

Bibliografia

1. *Analyzerpro. Software für Unfallrekonstruktion. DWG – Dr. Werner Gratzler, Weitwörth*. Pobrano z: www.analyzer.at (dostęp: 12.04.2016 r.).
2. Ansorge, P. (2013). *Experimentelle Untersuchung zur Entstehung von Radkontaktspuren bei Pkw-Pkw-Streifkollisionen hinsichtlich der Rekonstruierbarkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses und des Lenkverhaltens aus den Schäden und sonstigen Spuren am gestreiften Fahrzeug*, Westsächsische Hochschule Zwickau, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Jens Mehnert, Prof. Dr.-Ing. Jörn Getzlaff, Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf.
3. *Are there photos showing damage and patterns for different type of collisions?* Pobrano z: www.crashforum.info/viewtopic.php?f=26&t=225 (dostęp: 17.03.2016 r.).
4. *ASUS Xtion PRO LIVE*. Pobrano z: www.asus.com/de/3D-Sensor/Xtion_PRO_LIVE (dostęp 18.02.2016 r.).
5. Brösdorf, K-D. (2010). *Bewertung von Radkontaktspuren*. (In) K. Jakubasch (Eds.), *Nachschlagewerk für Sachverständige der Kraftfahrzeuge, des Kraftfahrzeugverkehrs und der Straßenverkehrsunfälle*. Dresden, s. 5.102–a–5.102–g.
6. Brösdorf, K-D. (2014). *Der aktuelle Erkenntnisstand bei der Analyse von Radkontaktspuren*, Vortrag und Unterlagen zur Sachverständigentagung “Technische Analyse von Verkehrsunfällen”, Galanta, 23–24.05.2014 r.

7. Brösdorf, K-D. (2010). Einsatz von Computerprogrammen für Schadenzuordnung und Ermittlung der Kollisionsposition, (In) K. Jakubasch (Eds.), *Nachschlagewerk für Sachverständige der Kraftfahrzeuge, des Kraftfahrzeugverkehrs und der Straßenverkehrsunfälle*, Dresden, s. 5.101-a–5.101-f.
8. Brösdorf, K-D. (2008). Kraftfahrzeug-Versicherungsbetrug aus technischer Sicht, (In) Meschkat N., Nauert R. (Eds.), *Betrug in der Kraftfahrzeugversicherung*, Köln, Luchterhand, s. 253–391.
9. Brösdorf, K-D. (2014). *Möglichkeiten und Grenzen bei der Auswertung von Radkontakts Spuren*, Vortrag zur Tagung “14. Aachener Interdisziplinäres Verkehrssymposium”, Aachen, 14.11.2014 r.
10. Brösdorf, K-D. (2007). Qualitätsanforderungen bei Kompatibilitäts- und Plausibilitätsprüfungen mittels fotografischer Verfahren, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 45, nr 9, 239–249.
11. Brösdorf, K-D. (2007). *Radkontakts Spuren bei den Versuchen von der AREC 2006*, AREC-Tagung in Wildhaus, 14.06.2007 r.
12. Brösdorf, K-D, Depré, K, Göritz, J. (2007). Schadenaufklärung (Abschnitt A17), (In) Burg H., Moser A. (Eds.), *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion*. 1. Auflage, s. 429–519, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.
13. Brösdorf, K-D., Depré, K., Göritz, J. (2009). Schadenaufklärung (Abschnitt A17), (In) Burg H., Moser A. (Eds.), *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion*. 2. aktualisierte Auflage, s. 471–558, Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
14. Brösdorf, K-D., Görtz, M., Kubjatko, T. (2014). 3-D-Photogrammetrie in der Unfallrekonstruktion, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 52, nr 3, 94–105.
15. Brösdorf, K-D., Moser, A. (2015). *Tyrecontacttraces – current development status for the evaluation/Reifenkontakts Spuren – Aktueller Entwicklungsstand für die Beurteilung*, Vortrag und Unterlagen zur 24. EVU-Jahrestagung in Zusammenarbeit mit The Institute of Traffic Accident Investigators, Edinburgh, 15–17.10.2015 r.
16. Bunk, M. (2015). *Experimentelle Untersuchung zur Quantifizierbarkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses anhand von Radkontakts Spuren bei Pkw-Pkw-Streifkollisionen*, Westsächsische Hochschule Zwickau, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Jens Mehnert, Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Müller, Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf.
17. Burg, H., Brösdorf, K-D., Depré, K., Göritz, J. (2001). Weitere Versuche zur Problematik Radandrehspuren, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 39, nr 7/8, 231–233.
18. Burg, H., Brösdorf, K-D., Gerlach, A., Priester, J., Weyde, M. (2003). Bewertung von Radkontakts Spuren, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 41, nr 6, 141–148.
19. Burg, H., Brösdorf, K-D., Martinsohn, M. (2001). Zwei Versuche zur Problematik Radandrehspuren, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 39, nr 2, 51–56.
20. Burgartz, D., Depré, K, Brösdorf, K-D. (2010). *Kölner Crashtage – Versuchsdurchführung und auswertung*, Hürth, 07.10.2010 r.
21. Chares, T. (2014). *Experimentelle Untersuchung zur Entstehung von Radkontakts Spuren bei Pkw-Pkw-Streifkollisionen hinsichtlich der Rekonstruierbarkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses und des Lenkverhaltens des Fahrers im streifenden Fahrzeug*, Westsächsische Hochschule Zwickau, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Jens Mehnert, Prof. Dr.-Ing. Jörn Getzlaff, Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf.
22. Gerlach, A. (2000). *Streifende Kollisionen zwischen zwei Fahrzeugen – Experimentelle Untersuchung zur Bestimmbarkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses zwischen den*

- Kollisionspartnern aus den von der Seitenwand eines Reifens gezeichneten Auftriebspuren*, Technische Universität Berlin, Institut für Straßen- und Schienenverkehr – Fahrzeugtechnik, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Rau, Dipl.-Ing. Michael Weyde.
23. Krause, R., Saat, D. (2004). Interpretation von Reifen-Kontakts Spuren im gleichläufigen Verkehr, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, nr 1, 13–22.
 24. Leser, H., Pfeufer, H. (2016). Fahrstreifenwechsel im Kreisverkehr – was sagen Reifenantriebspuren aus?, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 54, nr 1, 32–38.
 25. Levy, R-A. (2000). Speed Determination in Car-Truck Sideswipe Collisions. *SAE Technical Paper*, 2000-01-0463.
 26. *PC-Crash – Programm zur Simulation von Verkehrsunfällen*. DSD – Dr. Steffan Datentechnik. Pobrano z: www.dsd.at (dostęp: 12.04.2016 r.).
 27. Pfeufer, H. (2002). *Kontaktvorgänge im gleichgerichteten Verkehr bei Fahrstreifenwechsel*, Vortrag und Unterlagen zur 11. EVU-Jahrestagung, Portorož, 6–7.09.2002 r.
 28. Pfeufer, H, Weber, M. Oberländer, T. (2005). Kontaktvorgänge im gleichgerichteten Verkehr bei Fahrstreifenwechsel. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 43, nr 11, 261–265, nr 12, 291–294.
 29. Plankensteiner, K. (1994). Theorie und Praxis der forensischen Unfallanalyse. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 32, nr 3, 79–83, nr 4, 103–108, nr 6, 169–172, nr 7/8, 217–226.
 30. Reinhardt, I. (2007). *Mathematische Beschreibung und experimentelle Untersuchung von Radkontakts Spuren auf Rädern miteinander kollidierender Fahrzeuge*, Westsächsische Hochschule Zwickau, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Volker Liskowsky, Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf.
 31. Schröder, D. (2012). *Experimentelle Untersuchung zur Rekonstruktion der Kollisionsgeschwindigkeit bei streifenden PKW/PKW-Kollisionen durch Schadenanalyse und rechnergestützte Simulation*, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Florian Kramer, Dr. Michael Weyde.
 32. Stecher, J. (2013). *Untersuchungen zur Genauigkeit von photogrammetrischen Verfahren bei der Auswertung von Radkontakts Spuren an Fahrzeugkarosserien*. Zwickau, Westsächsische Hochschule Zwickau, praca dyplomowa, opiekun: Prof. Dr.-Ing. Helmut Eichert, Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Kühn, Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf.
 33. Varat, M-S., Husher, S-E., Kerkhoff, J-F. Armstrong, C-D., Steiner, J-C. (2008). Modeling of Truck-Car Sideswipe Collisions Using Lug Patterns. *SAE Technical Paper*, 2008-01-0179.
 34. Weber, M. (1995). *Die Aufklärung des Kfz-Versicherungsbetrugs. Grundlagen der Kompatibilitätsanalyse und Plausibilitätsprüfung*, Schriftenreihe Unfallrekonstruktion, Münster, Schimmelpfennig + Becke.
 35. Wegner, C. (2002). *Kollisionsversuch zu Radkontakts Spuren zwischen zwei Ford Sierra*, Unveröffentlicht, 19.02.2002 r.

* * *

Capabilities and limitations of wheels contact tracks analysis

Abstract

In the case of both an actual collision in road traffic and traffic damages in which there is an allegation of an illegal manipulation, there may be found traces on the vehicles or other obstacles, whose features indicate that they have resulted from the contact with a wheel of another vehicle. For many years now research has been done aimed at an interpretation of such traces. The paper presents a comprehensive analysis of the specialist literature and the results of both practical tests and theoretical models describing the formation of tracks left by wheels. All the studies indicate that the course of wheels contact tracks may provide only clues as to the speed ratio between the speed of the chafing vehicle and that of the chafed vehicle.

Key words

Vehicle, contact tracks left by wheels, car damage, fraudulent claim for damages.