

st. kpt. mgr inż. Robert Wolański

*biegły sądowy w zakresie kryminalistycznej rekonstrukcji wypadków drogowych
Szkoła Aspirantów PSP w Krakowie*

WPLYW STANU NAWIERZCHNI NA ZACHOWANIE SIĘ POJAZDÓW

Poruszaniu się po drogach pojazdów towarzyszy szereg sytuacji odbiegających od usystematyzowanych, przewidzianych przez konstruktorów pojazdów i budowniczych dróg. Poziom bezpieczeństwa zależy od działań ludzkich, poziomu technicznego pojazdu, a ostatnio coraz bardziej od poziomu technicznego infrastruktury drogowej. Jednym z jej najbardziej istotnych elementów jest konfiguracja jezdni i nawierzchnia.

Te dwa elementy decydują o bezpiecznym pokonywaniu łuków i wzniesień oraz o skutecznych i bezpiecznych manewrach hamowania. Jednak kształt i poziom techniczny nie zawsze zależą tylko i wyłącznie od konstruktorów i wykonawców. Duży udział w występującej sytuacji mają zmieniające się warunki atmosferyczne i możliwości techniczne utrzymania właściwego stanu jezdni. Samochody o dużej maksymalnej masie rzeczywistej ulegają wypadkom i kolizjom w wyniku zaskakującej sytuacji drogowej lub w wyniku ewidentnego błędu lub uszkodzeń nawierzchni.

Samochody przewożące substancje aktywne chemicznie w tych sytuacjach mogą być źródłem powstania zagrożenia i konieczności realizacji akcji ratownictwa chemicznego.

Dużą zatem rolę w kierowaniu tymi pojazdami odgrywa przewidywanie i skuteczne reagowanie kierującego na wszelkie symptomy pogarszającej się pogody i stanu nawierzchni.

Wzrost przewozów towarowych w naszym kraju oraz nie nadążający za nim rozwój i rozbudowa dróg skutkuje zwiększoną częstotliwością przejazdów tymi samymi drogami i w konsekwencji powstawaniem szeregu deformacji. Deformacje te to przede wszystkim koleiny. Natomiast wyrwy, uszkodzenia tzw. zimowe oraz zmiany w kącie nachylenia jezdni stanowią efekt zaniedbań w utrzymaniu. Deformacje skutkują również ograniczeniem możliwości usuwania śniegu i lodu czy w okresie letnim odprowadzania wody opadowej.

Pogarszający się stan dróg i losowy charakter deformacji ograniczają wypracowanie skutecznej metody. Badania naukowe niestety nie są w stanie wesprzeć niejednokrotnie prac inżynierskich, gdyż nie istnieją metody badawcze mogące tak dużą ilość parametrów i zmiennych wprowadzać. Poza tym wypracowane rozwiązania stojące na gruncie teorii samochodu dają szereg możliwości. Sama zaś poprawa sytuacji drogowej infrastruktury nie leży w gestii kierujących czy przewoźników lecz zarządców dróg. Kierujący zaś mogą wpłynąć na realizację bezpiecznego przewozu uwzględniając i pamiętając o kilku istotnych własnościach pojazdów w ruchu.

Własności te określi przypomnienie kilku istotnych definicji i określeń.

Kierowalność samochodu określona jest przez konfigurację własności konstrukcyjnych określających (wpływających na łatwość i pewność kierowania pojazdem na wybranym torze ruchu).

Stateczność ruchu jest to zdolność samochodu do „samoczynnego utrzymania się na torze ruchu określonym przez położenie kół samochodu zdolnością do samoczynnego powrotu do poprzedniego stanu ruchu po wytrąceniu pojazdu z niego krótkotrwałym zewnętrznym impulsem”.

Przyczepność to zdolność powierzchni opony pojazdu do przylegania do nawierzchni jezdni w określonych warunkach drogowych.

W standardowym definiowaniu tarcia T

$$T = \mu N$$

gdzie:

μ - współczynnik tarcia,
 N - siła nacisku.

Siła tarcia zależy zatem od współczynnika tarcia pomiędzy współpracującymi powierzchniami oraz od siły nacisku pionowego. O wartości tej nie decyduje wielkość powierzchni przylegania. Może ona wynosić tyle samo jeżeli wywierany jest jednakowy nacisk w kilku przypadkach, a powierzchnie się stykające mają identyczny współczynnik tarcia.

Samochód hamowany powinien na utwardzonej powierzchni zahamować na tej samej drodze i w tym samym czasie bez względu na to czy ma założone opony szerokie czy wąskie.

Pogląd ten nie uwzględnia jednak własności opony. Opona nie stanowi bowiem bryły sztywnej i jej elastyczność determinuje inny charakter styku z nawierzchnią jezdni.

Klasyczne opieranie się przy określaniu zjawisk zachodzących na styku opona-jezdnia na współczynniku tarcia jest niewystarczające i niepełne.

Wprowadzony został tzw. **współczynnik przyczepności**. Przyjmuje dwie postaci:

- **współczynnika przyczepności przylgowej;**
- **współczynnika przyczepności poślizgowej.**

Współczynnik przyczepności przylgowej występuje, gdy:

$$\mu_H = F_x / F_n$$

przyjmuje wartość maksymalną, gdzie:

F_x - wartość siły wzdłużnej;

F_n - wartość siły normalnej.

Współczynnik przyczepności poślizgowej, gdy:

$$\mu_G = F_x / F_n,$$

przyjmuje wartość minimalną przy poślizgu 100%.

Szacunkowo przyjmuje się, że dla nawierzchni suchej $\mu_H = 1,2 \mu_G$,
a dla nawierzchni mokrej $\mu_H = 1,3 \mu_G$.

Współczynnik przyczepności w uogólnionym przypadku zależy od:

- chropowatości trących powierzchni,

- poślizgu względnego.

Poślizg względny definiowany jest zależnością:

$$\lambda = (v_k - v_s) 100\% / v_s$$

v_k - prędkość liniowa obwodu koła;
 v_s - prędkość samochodu.

Przy ruchu z zablokowanym kołem wynosi 100%, a przy ruchu ze swobodnym toczeniem 0%

- kąta znoszenia.

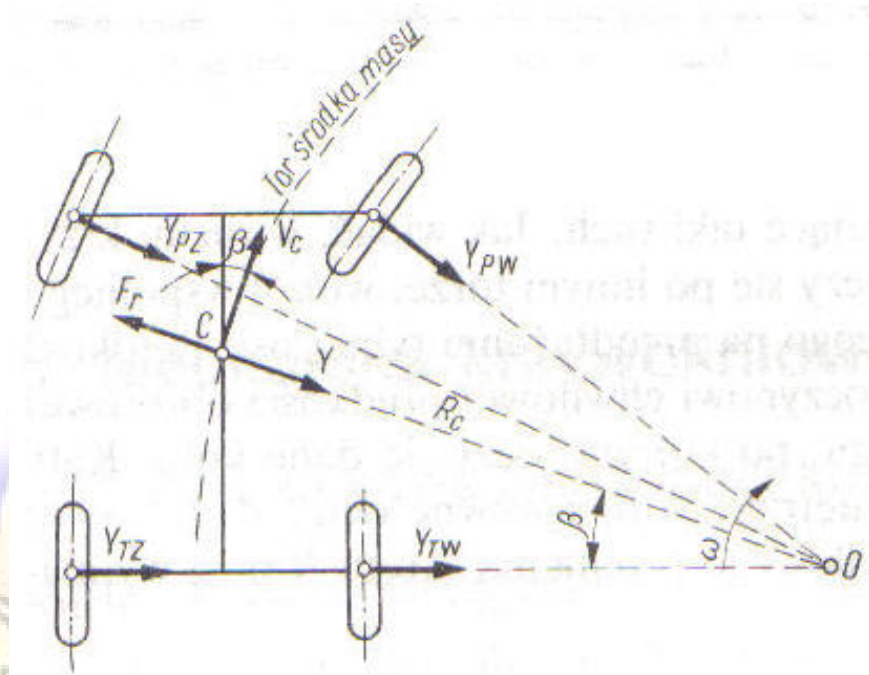
Kąt znoszenia jest efektem tzw. bocznego znoszenia opon. Sytuacja ta ma miejsce w ruchu krzywoliniowym pojazdu i występujących wtedy sił bocznych: wiatru, odśrodkowej i innych oporów. Siły te wywołują odmienny rozkład nacisków i odkształceń na powierzchni styku opony z jezdnią oraz mikropoślizgi o kierunku prostopadłym do kierunku ruchu. Miejsce przylegania kolejnych elementów bieżnika do powierzchni jezdni przesuwa się zatem również w bok w stosunku do poprzedzającego go elementu w bieżniku. **Kąt znoszenia δ** zawarty jest pomiędzy rzeczywistym kierunkiem ruchu pojazdu i płaszczyzną obrotu koła(rys.1).

Parametry te decydujące o rozmiarze współczynnika poślizgu uzależnione są od:

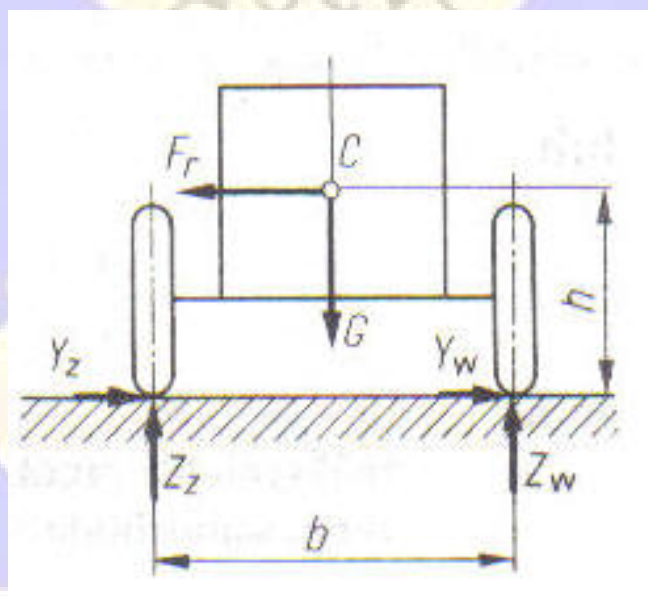
- konstrukcji opony,
- składu mieszanki gumowej,
- kształtu rzeźby bieżnika,
- wielkości i kształtu stykających się powierzchni,
- prędkości,
- temperatury,
- ciśnienia powietrza w ogumieniu,
- własności adhezyjnych.

Własności te składają się na tzw. charakterystykę opony .Jest to zależność pomiędzy współczynnikiem przyczepności:

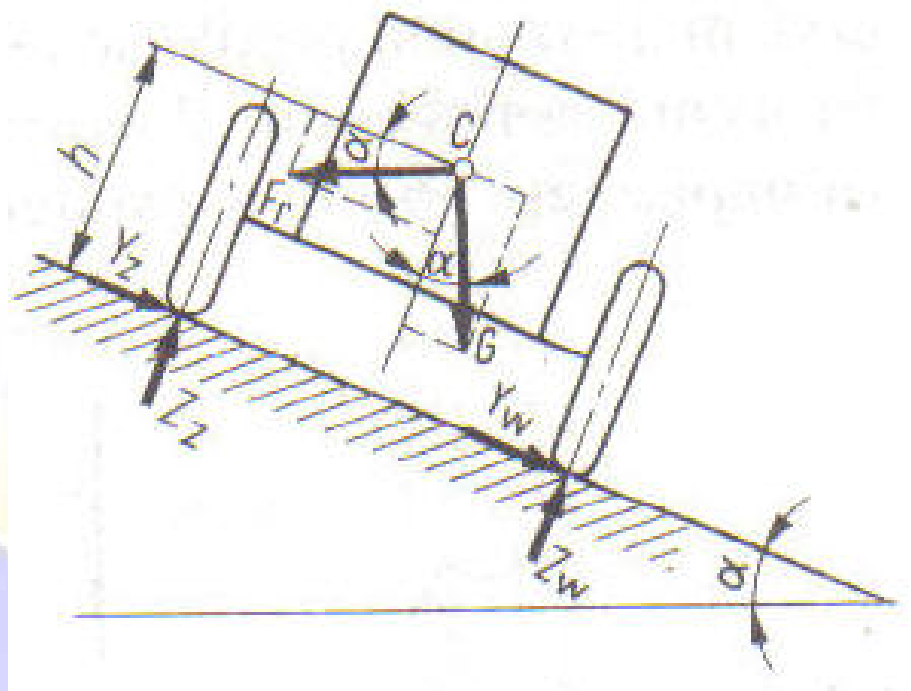
- kątem znoszenia ,
- poślizgiem względnym ,
- prędkością .



Rys.1. Rozkład sił bocznych działających na pojazd na zakręcie



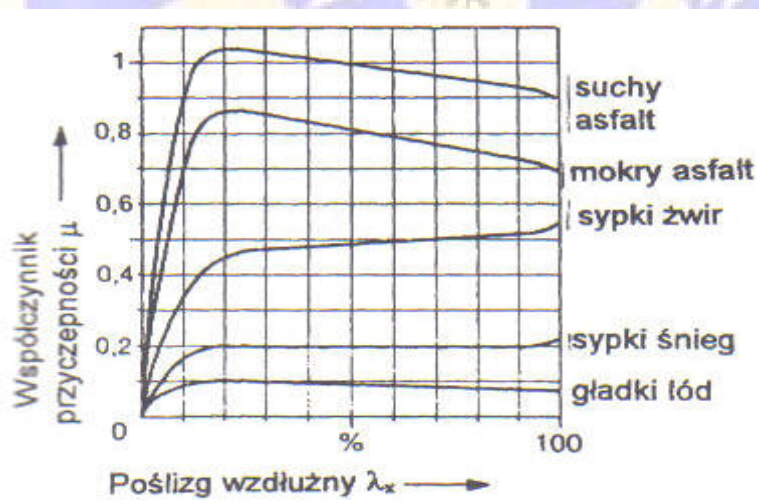
Rys.2. Rozkład sił działających na oś zakręcającego pojazdu. Przypadek jazdy poziomej



Rys.3. Rozkład sił działających na oś zakręcającego pojazdu. Przypadek jezdni pochylonej

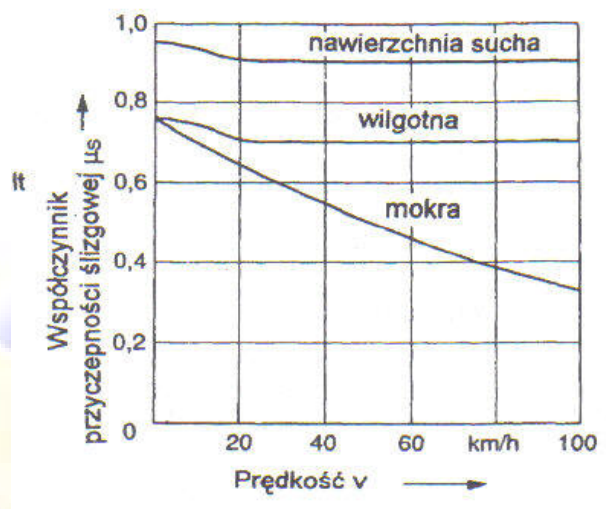
Przyczepność jak widać uzależniona jest od szeregu wielkości, które niezwykle trudno w warunkach doświadczalnych wprowadzić. Dotychczasowe badania w tym zakresie to przeważnie symulacje komputerowe. Celem ich jest określenie wpływu głównych wielkości na możliwości przyczepności. Przyczepność bowiem decyduje o możliwościach hamowania i bezpiecznego prowadzenia pojazdu.

Zależność współczynnika przyczepności od poślizgu względnego na różnych nawierzchniach ilustruje rys (4).



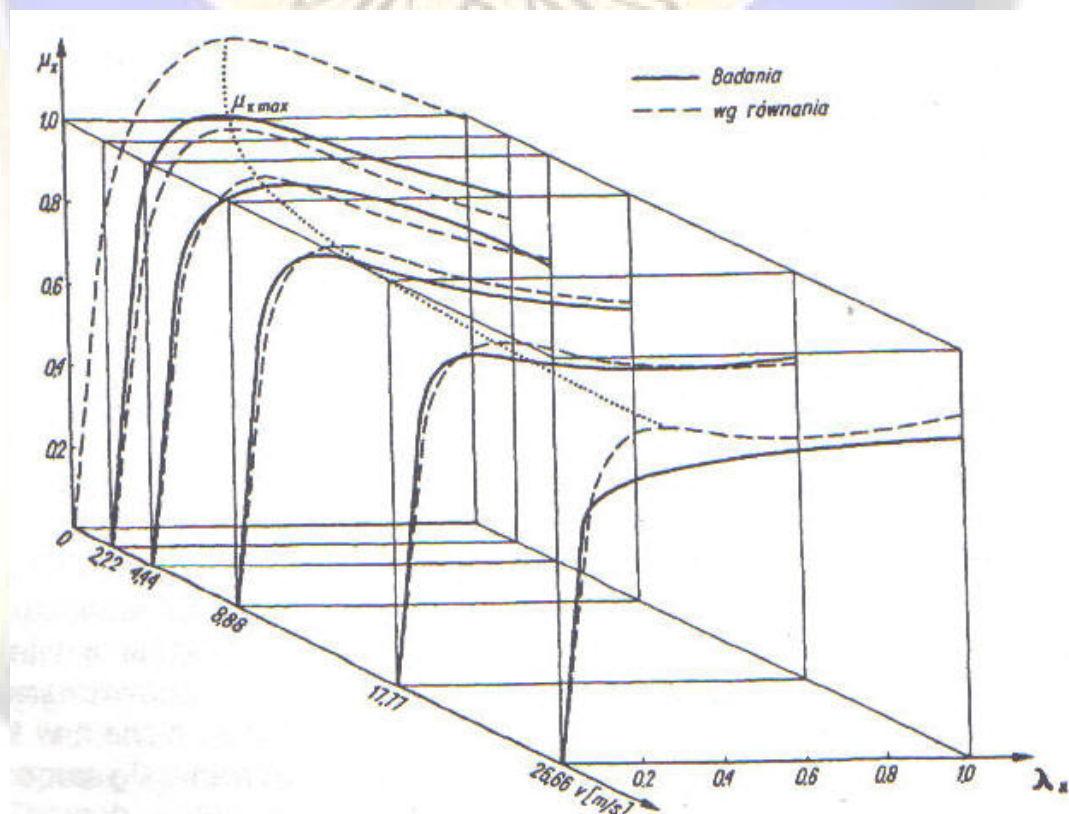
Rys. 4. Wykres współczynnika poślizgu w funkcji poślizgu względnego na różnych nawierzchniach [1]

Zależność współczynnika przyczepności ślizgowej w funkcji prędkości, na nawierzchni betonowej w stanie suchym, wilgotnym i mokrym przedstawia rys. (2)



Rys.5. Współczynnik przyczepności ślizgowej w funkcji prędkości pojazdu [1]

Charakterystyka opony otrzymana na drodze analitycznej przy założeniu kąta znoszenia $\delta=0^0$ (rys. 3).



Rys.6. Charakterystyki opony [1]

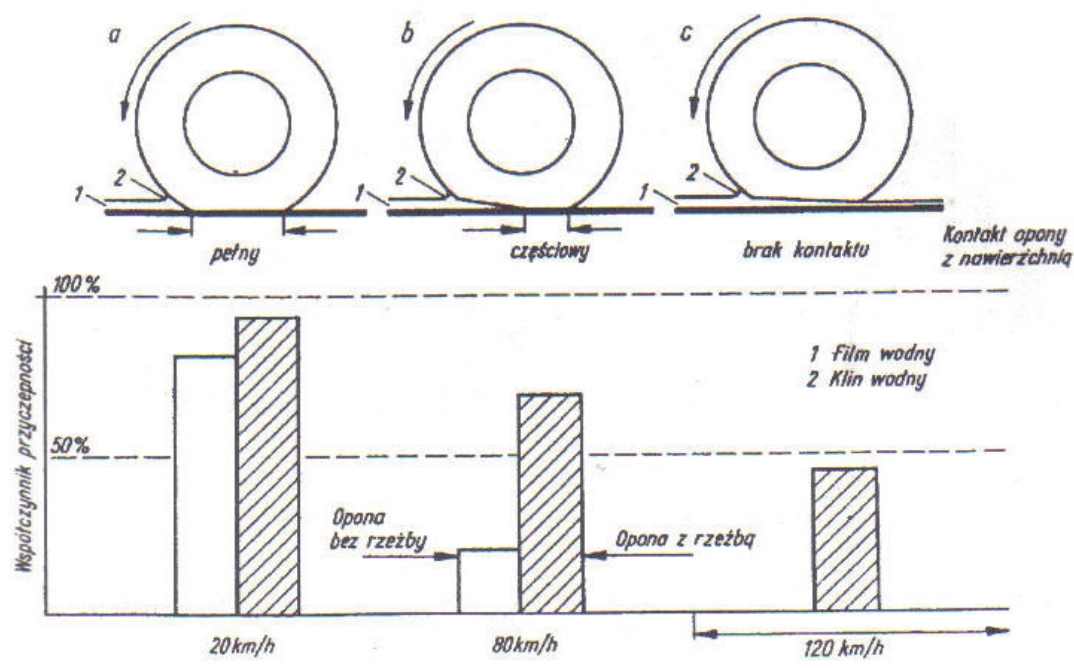
*Tabela współczynników przyczepności
wg badań Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie*

Rodzaj i stan nawierzchni		Współczynnik przyczepności	
		przyłgowej μ_p	ślizgowej μ_s
beton	suchy	0,8 – 1,08	0,7 – 0,9
	mokry	0,25 – 0,75	0,15 – 0,65
asfalt	suchy	0,7 – 1,08	0,6 – 0,9
	mokry	0,4 – 0,6	0,3 – 0,5
kostka kamienna czysta	sucha	0,7 – 0,8	
	mokra	0,4 – 0,5	
kostka kamienna zakurzona	sucha	0,6 – 0,7	
	mokra	0,25 – 0,35	
klinkier	suchy	0,7 – 0,8	
	mokry	0,4 – 0,5	
droga gruntowa twarda	sucha	0,5 – 0,6	0,2 – 0,3
	mokra	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3
żwir		0,45	0,5
droga pokryta śniegiem		0,1 – 0,4	0,1 – 0,3
droga oblodzona		0,05 – 0,15	0,05 – 0,2

Poruszanie się pojazdu po standardowej, suchej nawierzchni asfaltowej pozwala na stosowanie klasycznych manewrów. Współczynnik przyczepności jest zawsze stały. Opóźnienie w hamowaniu również jest stałe w każdym punkcie nawierzchni jezdni. Sytuacja się radykalnie zmienia podczas ruchu po twardej, lecz wilgotnej nawierzchni. W zdecydowanej większości przypadków współczynnik przyczepności nabiera tendencji do spadku wartości wraz ze wzrostem prędkości. Przy dużych prędkościach woda odprowadzona jest niedostatecznie z opony tworząc w konsekwencji tzw. klin wodny. Klin ten obniża powierzchnię styku koła z jezdnią, a w skrajnym przypadku może nastąpić brak kontaktu bezpośredniego. W tym przypadku warstwa wody pomiędzy oponą a nawierzchnią tworzy tzw. film wodny. Współczynnik przyczepności zbliża się do wartości charakterystycznej dla lodu. Oznacza to, że samochód jadący po asfalcie posiada parametry przyczepności jakby jechał po lodzie. To zjawisko nosi nazwę **hydroplaningu** lub **aquaplaningu**.

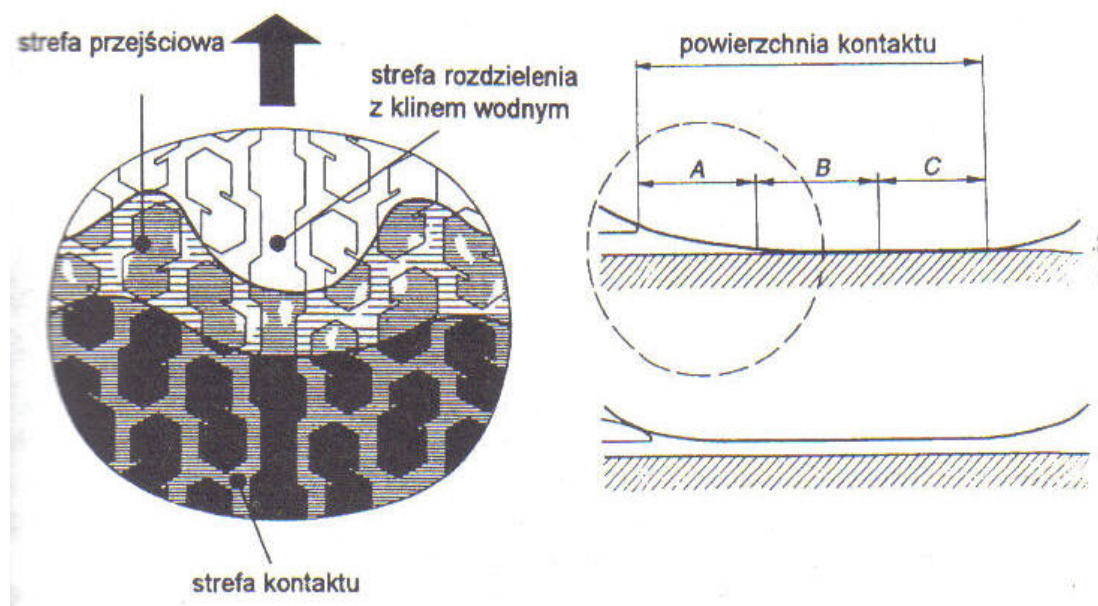
Fazy powstawania aquaplaningu [1]:

- a – opona wyciska wodę na boki zachowując kontakt z nawierzchnią;
- b – klin wodny wdziera się pod oponę, która zachowuje już tylko częściowy kontakt z nawierzchnią;
- c – klin wodny podbił oponę – występuje aquaplaning.



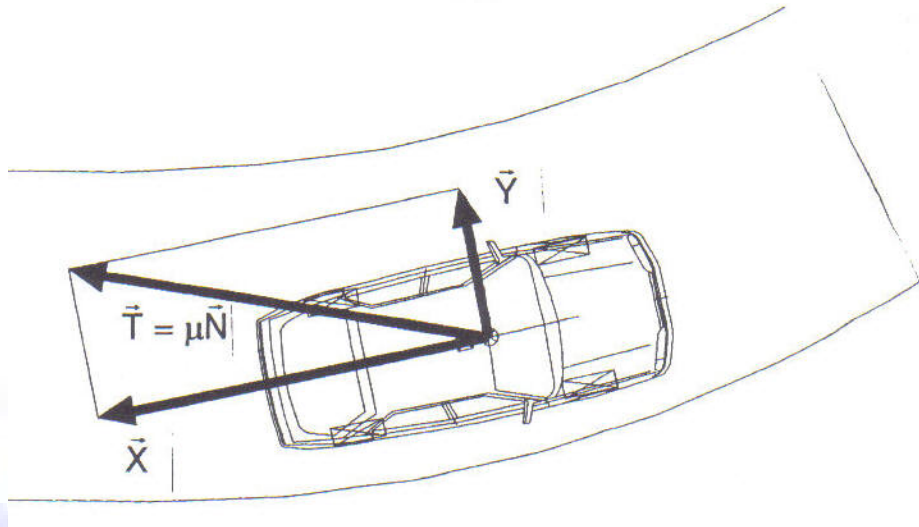
Rys. 7.

Poszczególne strefy w obszarze styku koła z jezdnią podczas powstawania aquaplaningu [1] ilustruje rysunek



Rys. 8. Mechanizm powstawania 'klina wodnego'

Zjawisko takie może mieć również miejsce podczas szybkiego przejazdu przez kałużę wody. Zagrożenie największe jednak występuje podczas wykonywania w czasie ruchu pojazdu w tych warunkach manewru hamowania.



Rys .9. Hamowanie na łuku – rozłożenie siły przyczepności T na składową styczną X i normalną Y do toru jazdy

Reasumując powstanie aquaplaningu wynika z poruszania się pojazdu ze zbyt dużą prędkością. Prędkość ta ustalona doświadczalnie jako graniczna określona została przez tzw. wzór **Horne'a**:

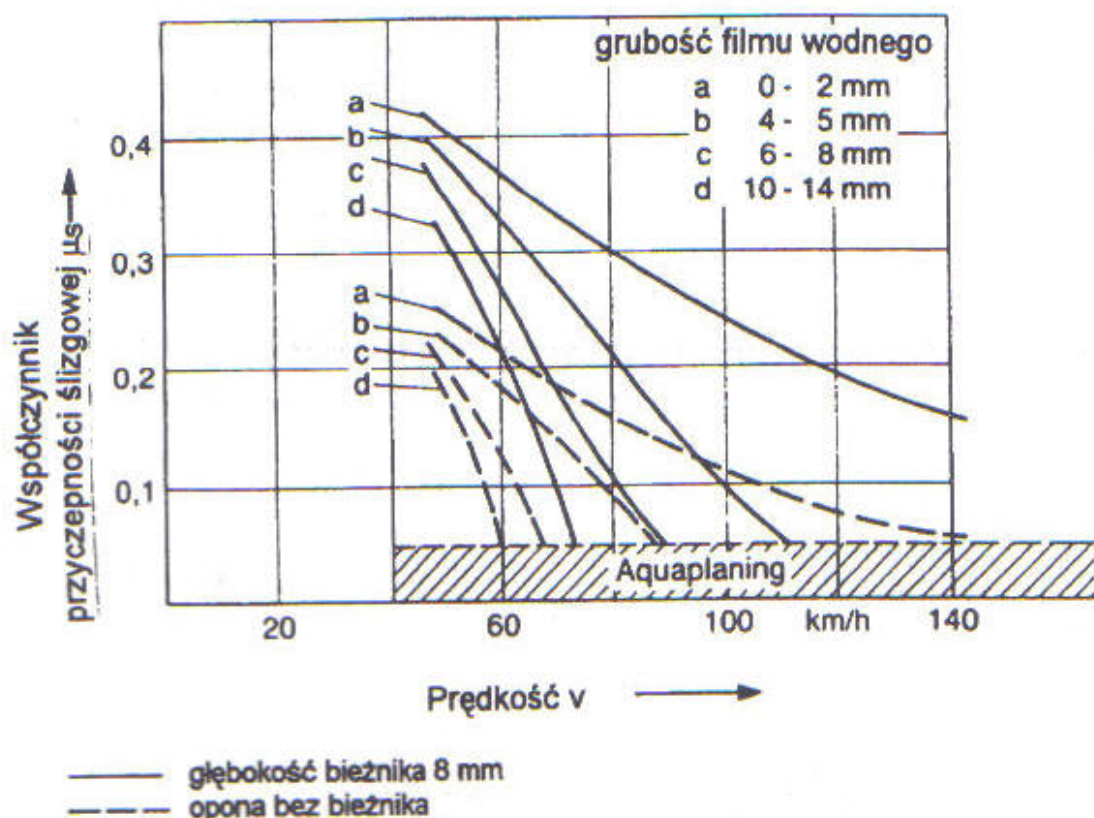
$$v \geq 201,4 \sqrt{p}$$

gdzie:

v – prędkość [km/h],

p - ciśnienie w kole [MPa].

Oczywistym zagrożeniem jest posiadanie w poszczególnych kołach niejednakowego ciśnienia powietrza, skutkuje to możliwością zarzucenia nadwozia. Zjawisko aquaplaningu jest jak następstwem jazdy po utwardzonej jezdni w warunkach deszczu lub zalegania kałuż wody ze zbyt dużą prędkością.



Rys. 10. Współczynnik przyczepności ślizgowej w funkcji prędkości dla różnych grubości filmu wodnego [4]

Zagrożenie, szczególnie częste w polskich warunkach drogowych występuje w obszarze kolein. One to bowiem stają się miejscem gromadzenia, niekiedy nawet grubych warstw wody. Niebezpieczeństwo powstania aquaplaningu jest w tym przypadku realne, nawet podczas jazdy z przeciętnymi prędkościami. Okazać się może, że możliwe do realizacji hamowanie z opóźnieniem standardowym 6 m/s^2 na jezdni suchej i równej w rzeczywistości może być osiągnięte w rozmiarze $2\text{-}3 \text{ m/s}^2$.

Pokonywanie łuków i zakrętów stanowi jeden ze standardowych manewrów, w których istotną rolę odgrywa charakter nawierzchni. Wszystkie wymienione dotąd parametry i zjawiska które opisują występują w tych sytuacjach, pojawiają się natomiast kolejne. Wszelkie uszkodzenia deformacje nawierzchni potęgują konieczność uwzględniania w technice jazdy zmieniające się warunki atmosferyczne, temperaturę, wodę opadową, kałuże zalegające czy koleiny.

Sama konfiguracja powierzchni jezdni winna być ukształtowana na łuku w sposób niwelujący wpływ siły odśrodkowej na bryłę nadwozia. Standardowe pochylenie powierzchni wpływa na możliwość bezpiecznego ich pokonania rys.3.

Przekroczeniu tzw. prędkości granicznej przez kierujących pojazdami decyduje o nabraniu przez bryłę nadwozia tendencji do utraty stateczności i utraty kierowności pojazdu. Decydują o tym ponadto warunki atmosferyczne, śnieg lub czy woda opadowa.

Zależności te opisuje wzór:

$$v_{grs} = \sqrt{\{\mu g r [(1 + \tan \beta / \mu) / (1 - \tan \beta)]\}}$$

Maksymalną prędkość jaką może pojazd pokonać i nie utracić stateczności pionowej:

$$v_{grw} = \sqrt{gr(b + 2h \operatorname{tg} \beta) / (2h - b \operatorname{tg} \beta)}$$

gdzie:

μ -współczynnik przyczepności

g -wartość przyspieszenia ziemskiego $g=9,81 \text{ m/s}^2$,

r -promień łuku mierzony do środka masy pojazdu,

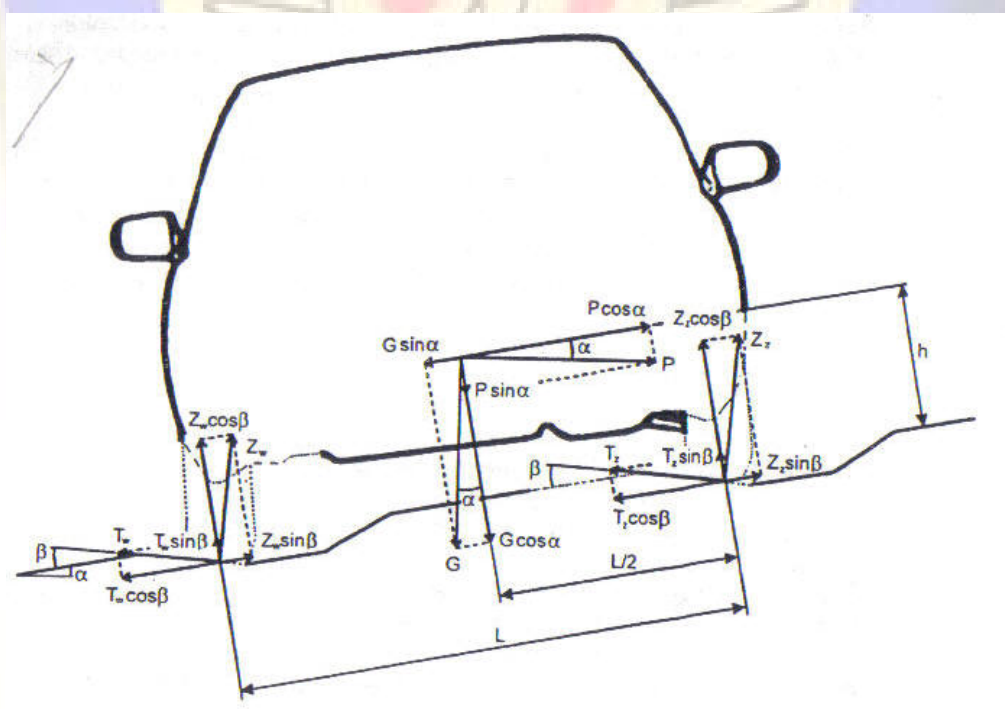
β -kąt nachylenia jezdni(jeżeli występuje nachylenie odwrotne należy podać kąt ze znakiem minus),

b -rozstaw kół ,

h -wysokość środka masy.

Niewłaściwy kąt lub deformacje jezdni na łuku decydują o nieprzewidywalnych zmianach w zachowaniu się pojazdu. Pierwszym istotnym elementem są koleiny. Ich rozmiar i położenie może wpłynąć na zmianę oddziaływania nawierzchni na pojazd. Poprawne ukształtowanie kąta nachylenia nawierzchni może zostać bez wpływu na bryłę pojazdu gdy porusza się on kołami wewnątrz kolein.

Ilustruje to przedstawiony poniżej rysunek:



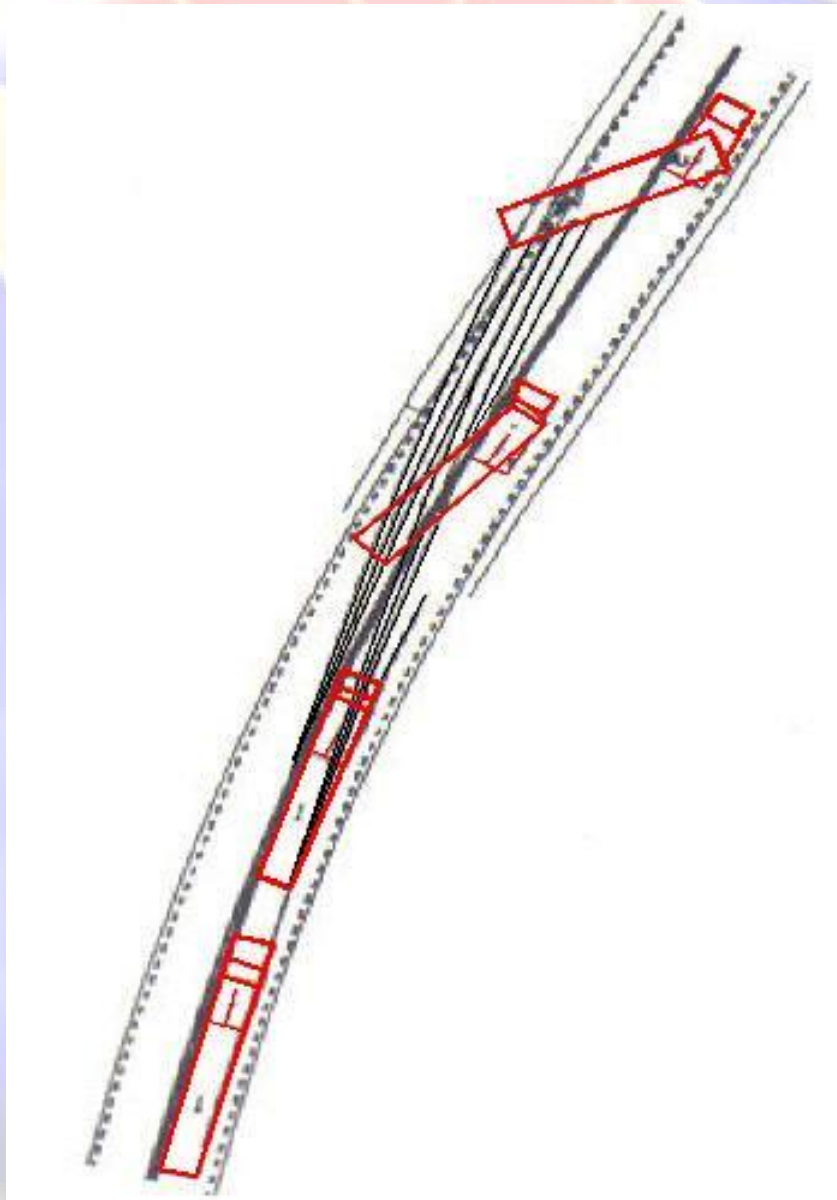
Rys.
11.

Pojazd kierowany brzegiem koleiny w rozkładzie nacisków kół na łuku drogi pochyłonej pod kątem [4]

Innym zagrożeniem na łuku jest możliwość utraty stateczności pionowej pojazdu w przypadku najechania kołami na element pobocza czy nawierzchni o dużo mniejszej nośności. W warunkach zimowych pojazd który jednym z kół zjechał z pobocza traci możliwość włączenia do ruchu i dalszej jazdy. W tych sytuacjach praktyczna możliwość ruchu istnieje tylko po powrocie na pas ruchu.

Ruch po łuku zestawu z przyczepą również może się odbywać w niezwykle trudnej sytuacji tj. z zablokowanymi kołami przyczepy lub naczepy. Ponieważ koła zablokowane nie przenoszą sił bocznych ruch przyczepy przechodzi w ruch niestateczny. Bez względu na prowadzenie pojazdu ciągnącego przy jakiegokolwiek nierównomierności może wystąpić tzw. złożenie pojazdu członowego lub najczęściej zarzucenie pojazdu.

Najczęściej w tej sytuacji stosowana reakcja kierującego to przyspieszenie, ale tylko niewielkie zarzucenie może być zniwelowane tą drogą. Zwykle przyczepa z zablokowanymi kołami wysuwa się na zewnątrz łuku.



Rys. 12. Pojazd z naczepą w trakcie utraty stateczności ruchu na łuku jezdni.

Blokowanie kół w przyczepach może być także źródłem zarzucenia na prostych odcinkach dróg. Pojazdy z naczepą czy przyczepą są szczególnie podatne na oddziaływanie złej nawierzchni czy wszelkich deformacji.

W warunkach zimowych to właśnie ta grupa pojazdów stwarza kierującym najwięcej problemów w utrzymaniu kierowności.

Pojazdy tej grupy są zaledwie jednym z uczestników ruchu, oprócz nich na tych samych jezdniach porusza się szereg innych pojazdów. Ostrożna jazda i pełne profesjonalizmu reagowanie na złe warunki drogowe może się okazać dla kierujących pojazdami z substancjami niebezpiecznymi w wielu przypadkach niewystarczające. Wybranych grupom zagrożeń wymienionych przeze mnie mogą ulegać właśnie kierujący tymi mniejszymi pojazdami i tym samym stwarzać sytuacje trudne dla wszystkich uczestników ruchu. Nie ma zatem w ruchu drogowym zagrożeń, które dotyczą tylko i wyłącznie określonych pojazdów, zazwyczaj dotyczy to wszystkich.

Literatura:

- [1] Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych. Instytut Ekspertyz Sądowych. Kraków 1995.
- [2] Jornsens Reimpell. Podwozia samochodów – Podstawy konstrukcji. Wydawnictwo Komunikacji i łączności. Warszawa 1997.
- [3] Orzełowski Seweryn. Budowa podwozi i nadwozi samochodowych. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne
- [4] Unarski Jan, Wach Wojciech. Koleiny. V Sympozjum-Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych. Zakopane 1996. str. 209-218.