

# Kinematyka

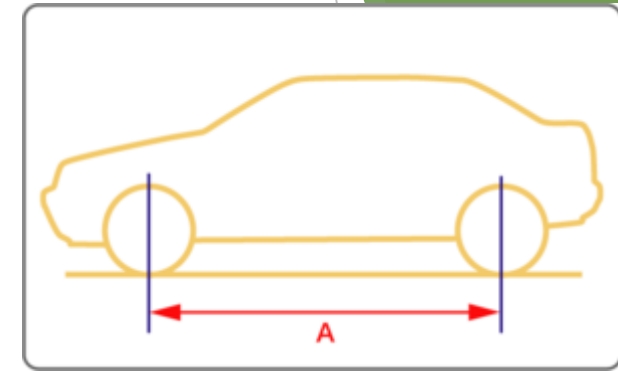
Autorzy:

Tomasz Cichowski

Piotr Dzioba

# Rozstaw osi

- ▶ Mierzony od środka osi przedniej do środka osi tylnej
- ▶ Większy rozstaw osi w stosunku do długości pojazdu:
  - ❑ więcej miejsca dla pasażerów
  - ❑ mniejszy jest przy tym wpływ zmian obciążenia na rozkład masy przypadającej na poszczególne osie
  - ❑ mniejszy jest przedni i tylny zwis nadwozia
  - ❑ mniejsza tendencja do przechyłów wzdłużnych
  - ❑ możliwe zastosowanie bardziej miękkiego zawieszenia w celu zwiększenia komfortu jazdy
- ▶ Mniejszy rozstaw osi poprawia zwrotność - przy takim samym kącie skrętu kół uzyskuje się mniejszy promień skrętu



# Rozstaw osi

- ▶ Dąży się do uzyskania większego rozstawu osi
- ▶ Zależy to od formy nadwozia
- ▶ Samochód o nadwoziu kombilimuzyny z pochyłą ścianą tylną - bardziej zwarta budowa i może mieć większy rozstaw osi w stosunku do swej długości niż samochód o nadwoziu sedan lub pochodnym od niego kombi

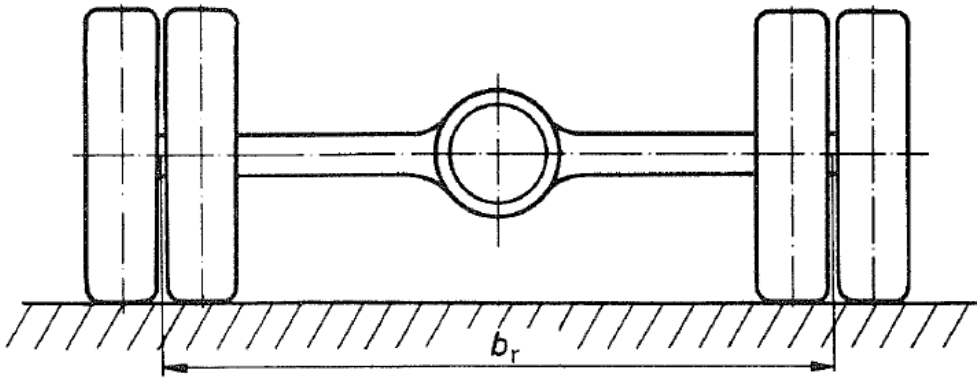
- ▶ Parametr porównawczy  $i_l$

$$i_l = \frac{\text{rozstaw osi}}{\text{długość pojazdu}}$$

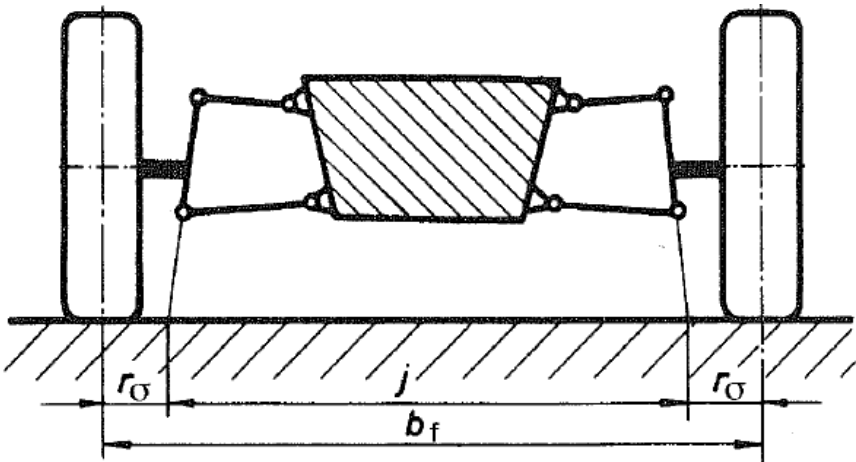
- ▶ Powinien być jak największy i wynosić:
  - 0,57 do 0,67 dla samochodów typu kombilimuzyna
  - 0,56 do 0,61 dla samochodów typu sedan
- ▶ Dla nadwozia typu coupé  $i_l$  może być nawet mniejsze od 0,56
- ▶ Dla samochodów małych  $i_l$  osiąga wartości do 0,72
- ▶ Wartości rozstawu osi mieszczą się zwykle w przedziale  $l = 2160$  do  $3040$  mm

# Rozstaw kół

- Rozstaw kół przednich  $b_f$  i tylnych  $b_r$  ma istotny wpływ na zachowanie się pojazdu w ruchu na zakręcie oraz na jego przechyły poprzeczne



Rys. 3.4. W wypadku ogumienia bliźniaczego jako rozstaw kół  $b_r$  podaje się rozstaw średni. Należy zwrócić uwagę na zmniejszenie nośności opon (patrz punkt 2.2.5.3).



Rys. 3.90. Oznaczenia odległości dla kół osi przedniej:  $b_f$  – rozstaw kół przednich,  $r_\sigma$  – promień zataczania, w danym wypadku dodatni.

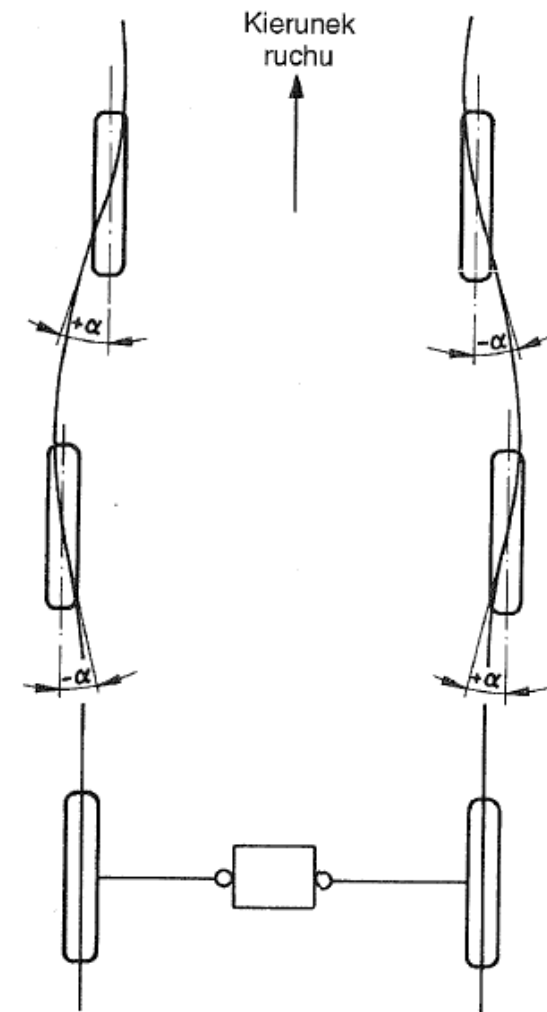
# Rozstaw kół

- ▶ Powinien być jak największy, jednak w stosunku do szerokości pojazdu nie powinien przekraczać pewnej określonej wartości
- ▶ Jeśli chodzi o koła przednie, to przy pełnym ugięciu zawieszenia i maksymalnym skręcie nie powinny one wchodzić w kolizję z błotnikami
- ▶ Rozstaw kół w samochodach osobowych wynosi zwykle  $b_f \text{ lub } r = 1210 \text{ do } 1602\text{mm}$
- ▶ Jako wskaźnik wykorzystania szerokości służy współczynnik  $i_b$ , który powinien być jak największy

$$i_b = \frac{\text{rozstaw kół}}{\text{szerokość pojazdu}} = 0,84 \text{ do } 0,87$$

# Rozstaw kół

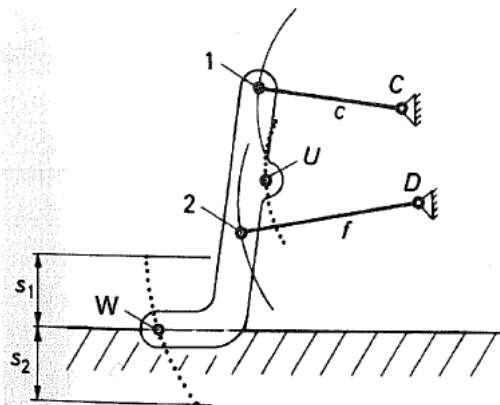
- ▶ Pionowe ruchy kół wywołują zmiany rozstawu kół w zawieszeniach niezależnych
- ▶ Zmiany te prowadzą do:
  - ❑ bocznego znoszenia opon
  - ❑ powstania sił bocznych, zwiększających opór toczenia, utrudniających utrzymanie prostoliniowego kierunku ruchu i wpływających na pracę układu kierowniczego



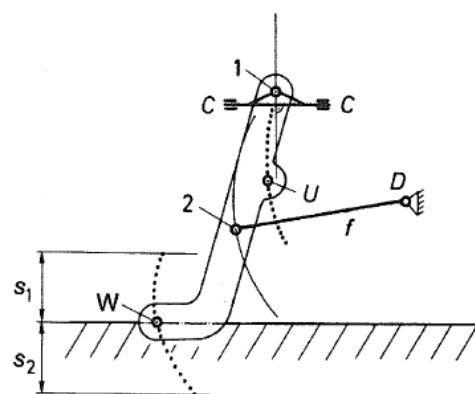
Rys. 3.5. Jeśli zawieszenie jest niezależne, pionowe ruchy kół podczas pokonywania falistych nierówności drogi wywołują zmiany rozstawu kół, czego skutkiem są kąty znoszenia kół  $\alpha$ . Powodują one nie tylko powstanie sił bocznych, ale także utrudniają utrzymywanie prostoliniowego kierunku ruchu oraz zwiększają opór toczenia.

# Rozstaw kół

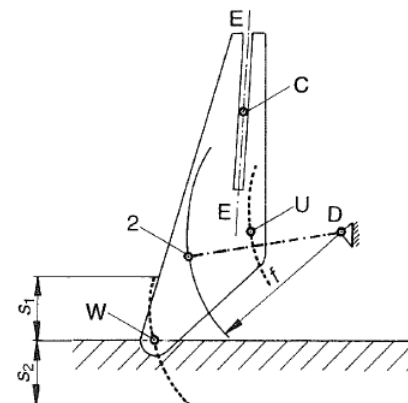
- Konieczne jest wykreślne sprawdzenie zmian rozstawu kół przedniej i tylnej



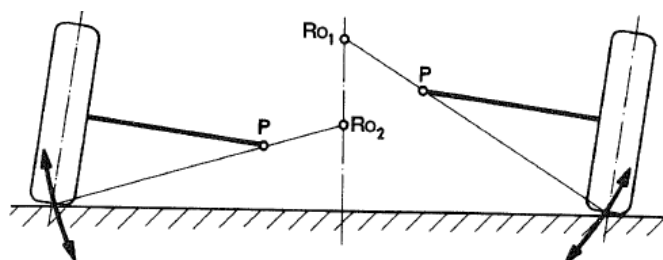
Rys. 3.7. Graficzne wyznaczanie za pomocą szablonu z rys. 3.8 zmian rozstawu kół (w punkcie styku koła z jezdnią  $W$ ) i toru ruchu zewnętrznego przegubu  $U$  drążka poprzecznego dla zawieszenia z podwójnymi wahaczami poprzecznymi.



Rys. 3.9. Wyznaczanie zmian rozstawu kół i toru ruchu zewnętrznego przegubu  $U$  drążka poprzecznego z zastosowaniem szablonu z rys. 3.8 dla zawieszenia z wahaczem wzdłużnym i poprzecznym. Opis zawieszenia na rys. 3.32 i 3.157 oraz w podrozdziale 9.4 w pracy [2].



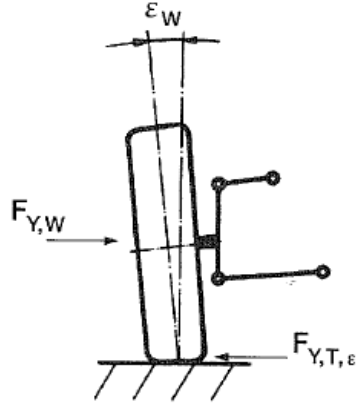
Rys. 3.11. Wykreślne wyznaczanie za pomocą szablonu z rys. 3.10 zmian rozstawu kół oraz toru zewnętrznego przegubu drążka poprzecznego  $U$  dla zawieszenia z kolumnami prowadzącymi. Punkt  $C$  oznacza środek łożyska oporowego kolumny. Na rysunkach 1.8 i 3.139 punkt ten jest oznaczony jako  $E$ .



Rys. 3.12. W wypadku zawieszenia z pojedynczymi wahaczami poprzecznymi niskie położenie punktu obrotu wahacza  $P$  zapewnia zmniejszenie zmian rozstawu kół, powoduje przesunięcie środka bocznego przechyłu w dół z punktu  $Ro_1$  do punktu  $Ro_2$  oraz zapewnia większy rozstaw kół. Już przy obciążeniu pojazdu dwoma osobami występują w takim wypadku ujemne kąty pochylenia obu kół, co zapewnia korzystne zwiększenie zdolności przejmowania przez opony sił bocznych. Niekorzystne jest natomiast zmniejszenie skoku dociskania zawieszenia. Zawieszenie z pojedynczymi wahaczami poprzecznymi opisane jest w podrozdziale 9.1 pracy [2].

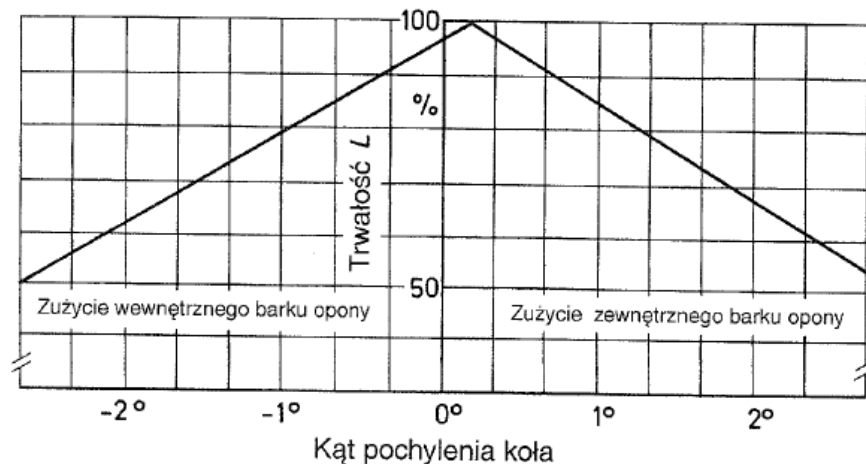
# Kąt pochylenia kół

- ▶ Kąt między płaszczyzną symetrii koła a płaszczyzną prostopadłą do powierzchni jezdni
- ▶ Jest dodatni, gdy koło jest przechylone na zewnątrz, a ujemny gdy do wewnątrz



Rys. 3.45. Kąt pochylenia koła jest dodatni ( $+\epsilon_W$ ), gdy płaszczyzna koła w górnej części odchylona jest na zewnątrz w stosunku do płaszczyzny pionowej. Przedstawione koło pod działaniem siły  $F_{Y,T,\epsilon}$  toczyłoby się w lewo, gdyby równowagi (czyli ruchu na wprost) nie przywracała działająca w prawo siła boczna  $F_{Y,W}$ .

- ▶ Przy obciążeniu 2 lub 3 osobami korzystne niewielkie dodatnie pochylenie kół przednich



Rys. 3.46. Badania wykazały, że gdy kąt pochylenia jest zawarty w przedziale od  $\epsilon_W = +5'$  do  $\epsilon_W = +10'$ , występuje równomierne zużywanie się opony. Większe dodatnie pochylenie koła powodowałoby szybsze zużywanie się zewnętrznego barku opony, ujemne – wewnętrznego.



# Kąt pochylenia koła

- ▶ W celu lepszych właściwości prowadzących opon na zakręcie (poprawa kierowności) zwykle odchodzi się od tych wartości
- ▶ W samochodach osobowych nie obciążonych przewiduje się ujemne kąty pochylenia kół
- ▶ Podaje się wartość nominalną kąta pochylenia koła oraz tolerancję (dopuszczalne odchyłki od zalecanej wartości, dopuszczalna różnica między kątem pochylenia koła prawego i lewego)
- ▶ Zwykle przyjmuje się odchyłki  $\pm 30'$  (pozwała na ekonomiczną produkcję części zawieszenia przedniego)
- ▶ Różnica kątów pochylenia osi zwrotnic koła lewego i prawego nie powinna być większa niż  $\Delta\sigma = 30'$  (uniknięcie ściągania w bok podczas jazdy na wprost)
- ▶ Różnica kątów pochylenia kół nie powinna przekraczać  $30'$
- ▶ Na rysunku zespołu przedniego zawieszenia może być przykładowo podane:  
kąt pochylenia koła  $-40' \pm 30'$   
maksymalna różnica między lewym i prawym kołem  $30'$

# Kąt pochylenia koła

- ▶ W zawieszeniach tylnych niezależnych oraz z wahaczami sprzężonymi stosuje się ujemne kąty pochylenia kół (poprawa własności prowadzących opon)
- ▶ Jako średnie wartości tych kątów w stanie nie obciążonym przyjmuje się:  
kąt pochylenia koła  $-1^{\circ}30' \pm 20'$   
maksymalna różnica pomiędzy lewym i prawym kołem  $20'$
- ▶ W tym wypadku istnieje możliwość regulacji, co pozwala na stosowanie węższych tolerancji
- ▶ W przypadku zawieszenia z wahaczami skośnymi istnieje niebezpieczeństwo wystąpienia zbyt dużych ujemnych kątów pochylenia kół w pojeździe całkowicie obciążonym
- ▶ Prowadzi to do nadmiernego nagrzewania się opon i zużywania bieżnika
- ▶ Producenci starają się zmniejszyć zmiany kątów pochylenia kół wynikające z kinematyki poprzez zmianę kątów  $\alpha$  i  $\beta$  osi obrotu wahaczy

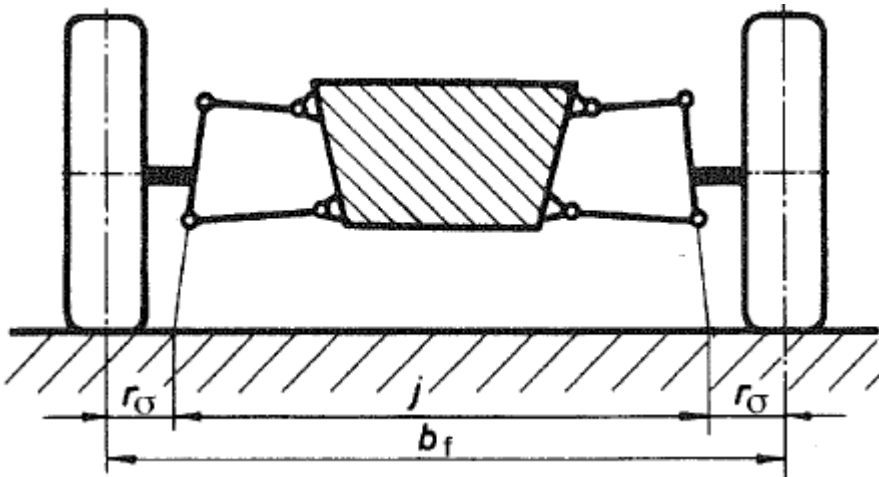
# Kąt skrętu kół

- ▶ Kąty skrętu koła przedniego wewnętrznego  $\delta_i$  i zewnętrznego  $\delta_{A,o}$  powinny być różne
- ▶ Kąt Ackermanna:  $\text{ctg}\delta_{A,o} = \text{ctg}\delta_i + j/l$

$l$  - rozstaw osi

$j$  - mierzona na powierzchni jezdni odległość linii będących przedłużeniami osi obrotu zwrotnic:

$$j = b_f - 2r_\sigma \quad (\text{jeżeli } r_\sigma \text{ ujemne to we wzorze jest } +)$$

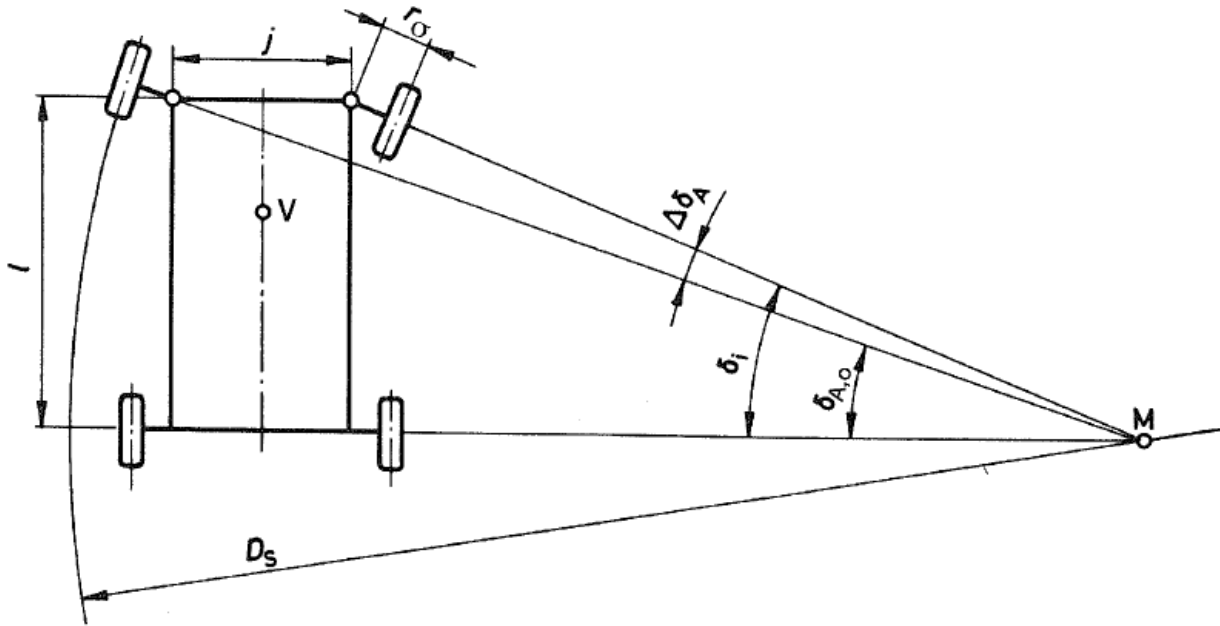


**Rys. 3.90.** Oznaczenia odległości dla kół osi przedniej:  $b_f$  – rozstaw kół przednich,  $r_\sigma$  – promień zataczania, w danym wypadku dodatni.

# Kąt skrętu kół

- Różnica kątów skrętu kół  $\Delta\delta_A$  powinna być zawsze dodatnia

$$\Delta\delta_A = \delta_i - \delta_{A,o}$$



Rys. 3.89. Zależności kinematyczne wg Ackermanna pomiędzy kątem skrętu koła zewnętrznego  $\delta_{A,o}$  a kątem skrętu koła wewnętrznego  $\delta_i$ . Zaznaczono różnicę kątów skrętu kół  $\Delta\delta_A$  i średnicę zawracania  $D_s$  (patrz także rys. 1.68).

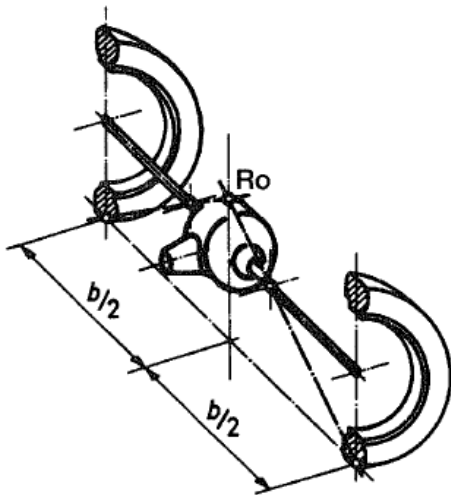
- Teoretyczna średnica zawracania

$$D_s = 2 \left( \frac{1}{\sin\delta_{A,o}} + r_\sigma \right)$$

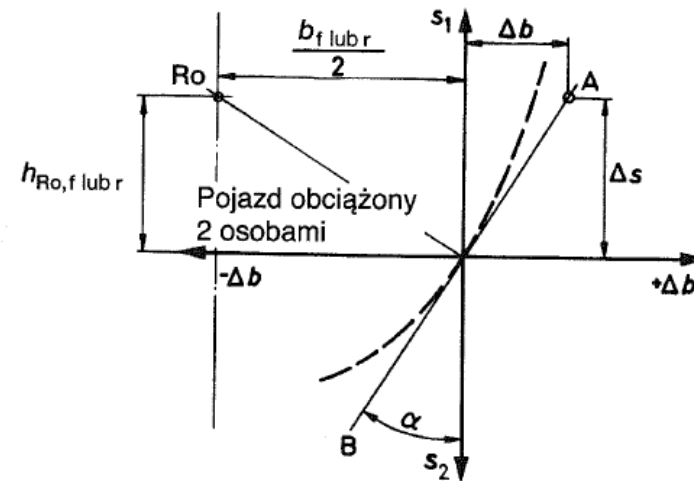
- Mniejszy okrąg zawracania - lepsza zwrotność i łatwiejsze parkowanie

# Środek przechyłu bocznego

- ▶ Środek bocznego przechyłu to punkt  $R_o$  leżący na pionowej płaszczyźnie przechodzącej przez środki kół
- ▶ Charakteryzuje się tym, że przyłożone w tym punkcie do nadwozia siły boczne nie wywołują wynikającego z zależności kinematycznych bocznego przechyłu nadwozia
- ▶ Jest to punkt położony na płaszczyźnie symetrii podłużnej pojazdu i jednocześnie na płaszczyźnie przechodzącej przez środki kół
- ▶ Wokół niego rozpoczyna się obrót nadwozia wywołany przyłożeniem siły bocznej i równoważą się w nim siły działające między nadwoziem a zawieszeniem



Rys. 3.21. Środek bocznego przechyłu  $R_o$  leży w środku rozstawu kół (w widoku z przodu) i w środku osi (w widoku z boku).



Rys. 3.22. Po wyznaczeniu przebiegu wykresu zmian rozstawu kół odniesionych do jednego koła (linia kreskowa) można na podstawie przebiegu stycznej do krzywej wyznaczyć dla danego stopnia obciążenia wysokość położenia środka bocznego przechyłu  $h_{R_o,f \text{ lub } r}$ .

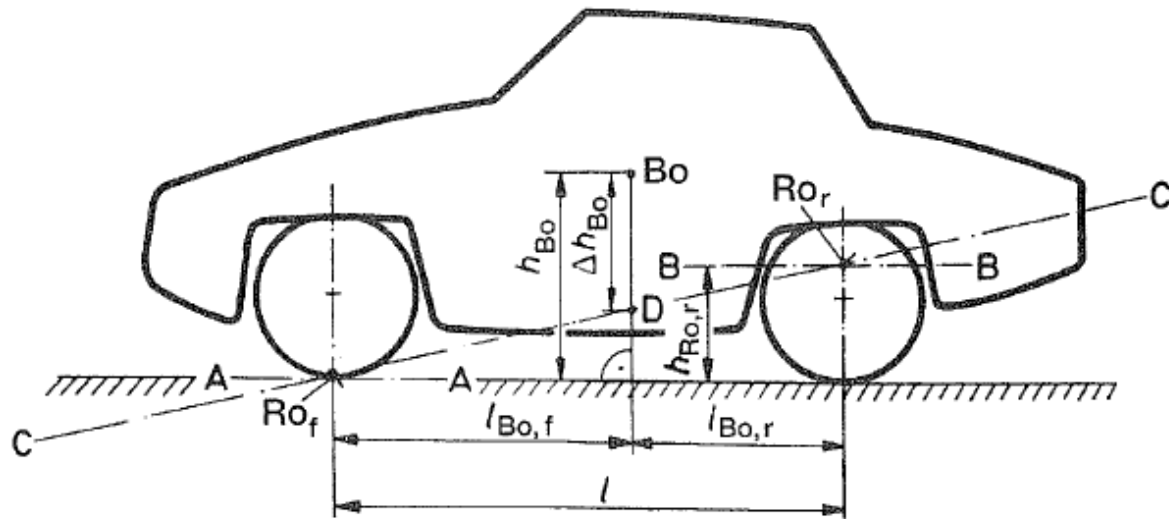
$$h_{R_o,f} = \frac{\Delta b}{\Delta s} \frac{b_f}{2}; \quad h_{R_o,r} = \frac{\Delta b}{\Delta s} \frac{b_r}{2}$$

Wzór odniesiony do dwóch kół

$$h_{R_o, f \text{ lub } r} = \frac{\Delta b \cdot b_{f \text{ lub } r}}{4 \Delta s}$$

# Oś przechyłu bocznego

- Linia łącząca środki bocznego przechyłu przedniego i tylnego zawieszenia



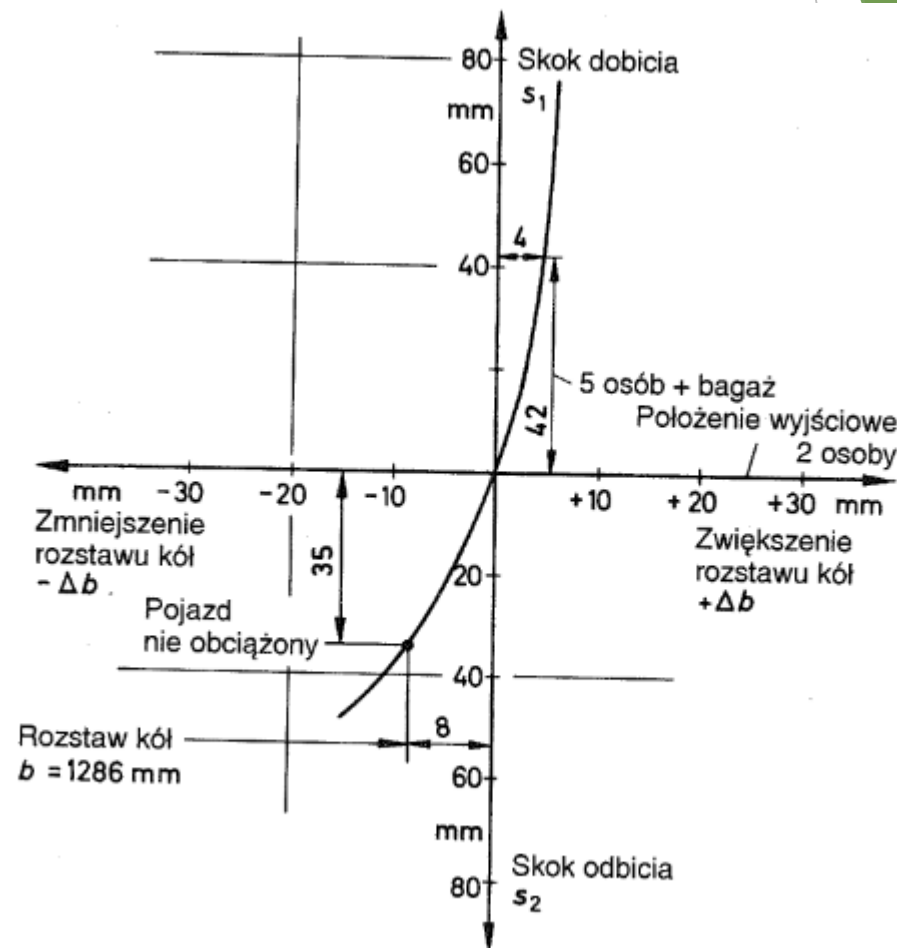
**Rys. 3.23.** Teoretyczna oś bocznego przechyłu  $C$  (tutaj pochyła) jest linią łączącą środki przechyłu bocznego przedniego i tylnego zawieszenia. Odcinek  $\Delta h_{Bo}$ , poprowadzony prostopadle do powierzchni jezdni, jest odległością środka masy nadwozia  $B_o$  od tej linii i stanowi ramię bocznego przechyłu.

# Wysokość położenia środków bocznego przechyłu

- ▶ Wysokość położenia środków bocznego przechyłu i zmiany położenia tych punktów w zależności od pionowych przemieszczeń kół jest wynikiem następujących wymagań:
  - ❑ założonych zmian pionowych obciążeń kół przy jeździe po zakręcie (uzyskanie korzystnej charakterystyki sterowności)
  - ❑ nie wpływających niekorzystnie na dynamikę ruchu zmian rozstawu kół przy ich przemieszczeniach pionowych
  - ❑ nie pogarszającej komfortu sztywności kątowej zawieszenia
  - ❑ korzystnych zmian kątów pochylenia kół
  - ❑ możliwie małych sił przekazywanych na nadwozie
  - ❑ położenia osi bocznego przechyłu
- ▶ Oś przechyłu bocznego powinna unosić się ku tyłowi, co pozwala wykorzystać część tłumienia zawieszenia do tłumienia ruchu obrotowego pojazdu
- ▶ Wysokości położenia środków bocznego przechyłu zawiesznień niezależnych:
  - ❑ z przodu  $h = 30$  do  $100$  mm
  - ❑ z tyłu  $h = 60$  do  $130$  mm

# Skok zawieszenia

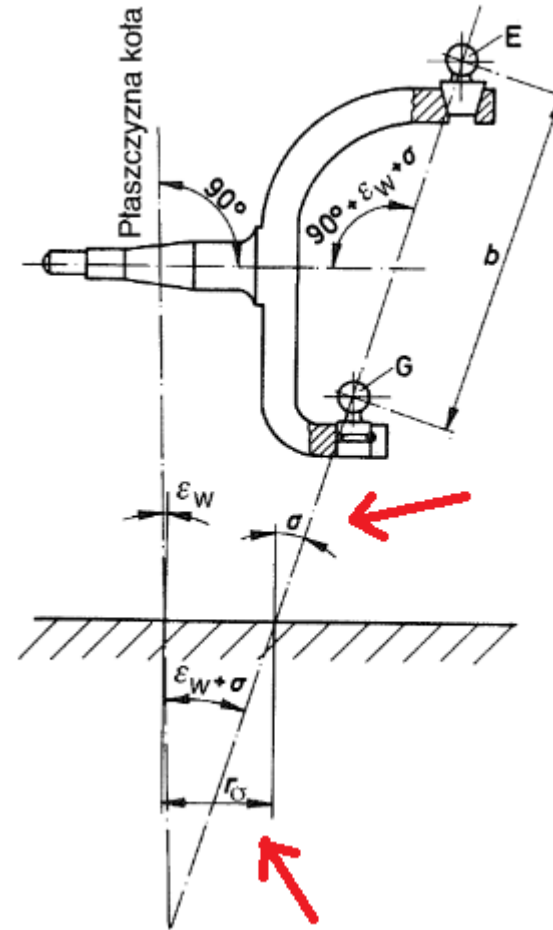
- Skok zawieszenia charakteryzujemy poprzez skok odbicia oraz skok dobicia zawieszenia.
- Wartości zależne są od rozstawu kół oraz od obciążenia pojazdu.
- Położenie zerowe wyznacza się dla obciążenia konstrukcyjnego.





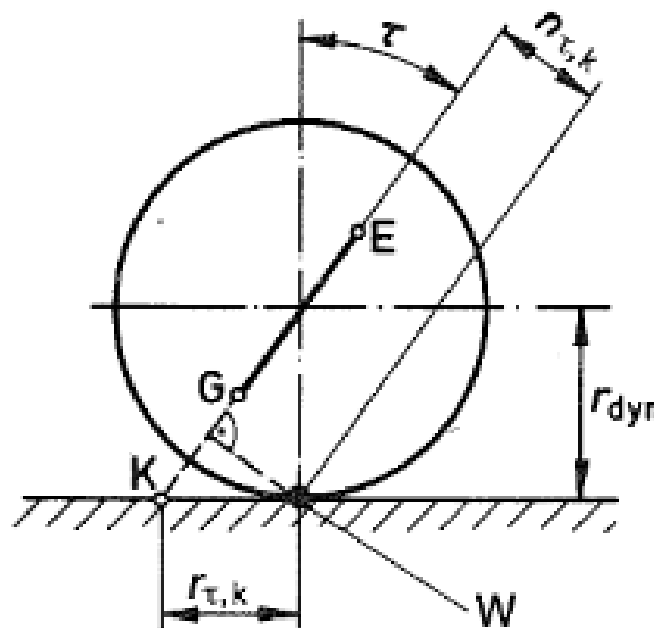
# Kąt pochylenia osi zwrotnicy, a promień zataczania

- ▶ Według normy DIN 70 000 kąt pochylenia osi zwrotnicy to kąt, który oś zwrotnicy EG tworzy z płaszczyzną prostopadłą do powierzchni jezdni.
- ▶ Promień zataczania - odległość punktu przecięcia powierzchni jezdni przez oś zwrotnicy od linii przecięcia płaszczyzny symetrii koła z powierzchnią jezdni.
- ▶ Dla nowoczesnych samochodów kąt pochylenia osi zwrotnicy wynosi od  $11^\circ$  do  $15^\circ 30'$ .
- ▶ Promień oscyluje od -18 do +20mm.



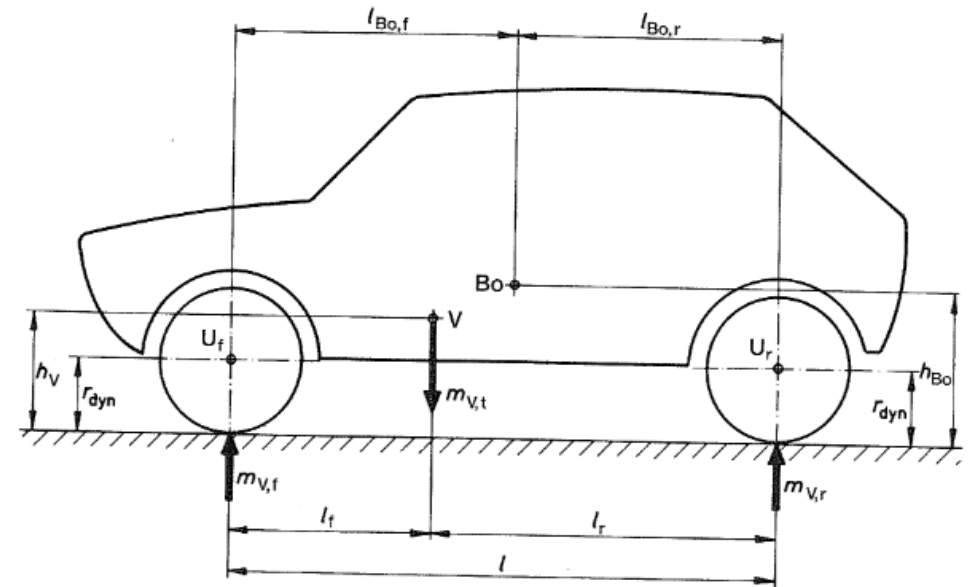
# Kąt wyprzedzenia osi zwrotnicy oraz odcinek wyprzedzenia

- ▶ Według normy DIN 70 020 oraz DIN 70 000 jest to kąt pomiędzy rzutem osi zwrotnicy EG na płaszczyznę xz oraz linią pionową poprowadzoną przez oś koła.
- ▶ Odcinek wyprzedzenia osi zwrotnicy - odcinek między punktami K oraz W na powierzchni jezdni.



# Położenie środka ciężkości

- ▶ Wyróżniamy: położenia środka masy pojazdu ( $V$ ) oraz środka masy nadwozia ( $Bo$ ).
- ▶ Obie wartości w głównej mierze zależą od obciążenia pojazdu, a ich położenie zmienia się wzdłuż pojazdu (oś  $x$ ) oraz w górę (oś  $z$ ).
- ▶ Przykład: zwiększenie obciążenia powoduje ugięcie zawieszenia (obniżenie położenia środka masy nadwozia  $Bo$ ), natomiast środki mas pasażerów leżą znacznie wyżej niż środek masy nadwozia (zwiększenie wysokości położenia środka masy całego pojazdu -  $h_v$ ).



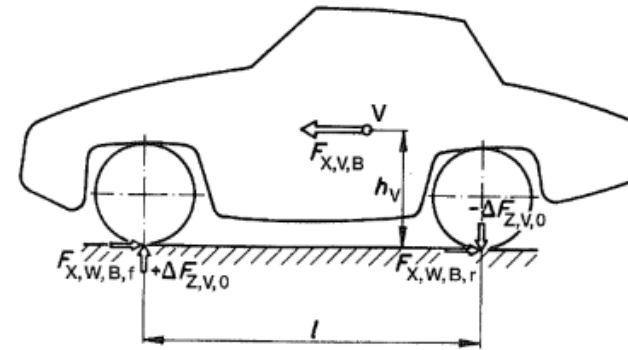
Rys. 6.1. Oznaczenia odcinków służących do określenia położenia środka masy całego pojazdu  $V$  i nadwozia  $Bo$ . Środki mas osi przedniej  $U_f$  i tylnej  $U_r$  można przyjąć jako leżące w osi kół.

# Po co znać środek masy?

Znajomość odległości położenia środków masy  $V$  oraz  $B_0$  od przedniej i tylnej osi oraz ich wysokości nad powierzchnią jezdni jest konieczne do:

- ▶ oceny zachowania pojazdu podczas hamowania i przyspieszenia,
- ▶ obliczenia zdolności pokonywania wzniesień,
- ▶ projektowania układów hamulcowych i układów napędu czterech kół,
- ▶ projektowaniu zawieszek i analizowaniu drgań,
- ▶ badaniu stateczności ruchu,
- ▶ wyznaczaniu masowych momentów bezwładności.

# Droga hamowania



Rys. 6.5. Siła bezwładności  $F_{X,W,B,f}$  lub  $r$ , działająca w środku masy pojazdu  $V$ , wywołuje zmiany obciążeń osi  $\pm \Delta F_{Z,V,0}$  i jest równoważona przez siły hamowania  $F_{X,V,B}$ . Nie uwzględniając sił oporu powietrza i oporu toczenia można te siły łatwo obliczyć.

1) Droga hamowania powiązania jest z prędkością początkową oraz opóźnieniem za pomocą poniższego wzoru:

$$s_B = v^2 / (2 a_X)$$

2) Proces hamowania - w środku masy pojazdu  $V$  przyłożona jest siła równa iloczynowi: współczynnika przyczepności  $\mu_{X,W}$  oraz ciężaru pojazdu  $F_{Z,V,t}$  oraz wyrażona wzorem:

$$F_{X,V,B} = \mu_{X,W} F_{Z,V,t}$$

$$\mu_{X,W} = a_X / g$$

Zależność na współczynnik można przyrównać do opóźnienia podzielonego przez przyspieszenie ziemskie.

W zależności od występującej podczas hamowania siły bezwładności  $F_{X,V,B}$  może być obliczony kąt wzdłużnego przechyłu nadwozia  $\theta_B$ , czyli kąt, o jaki obraca się nadwozie wokół osi poprzecznej

