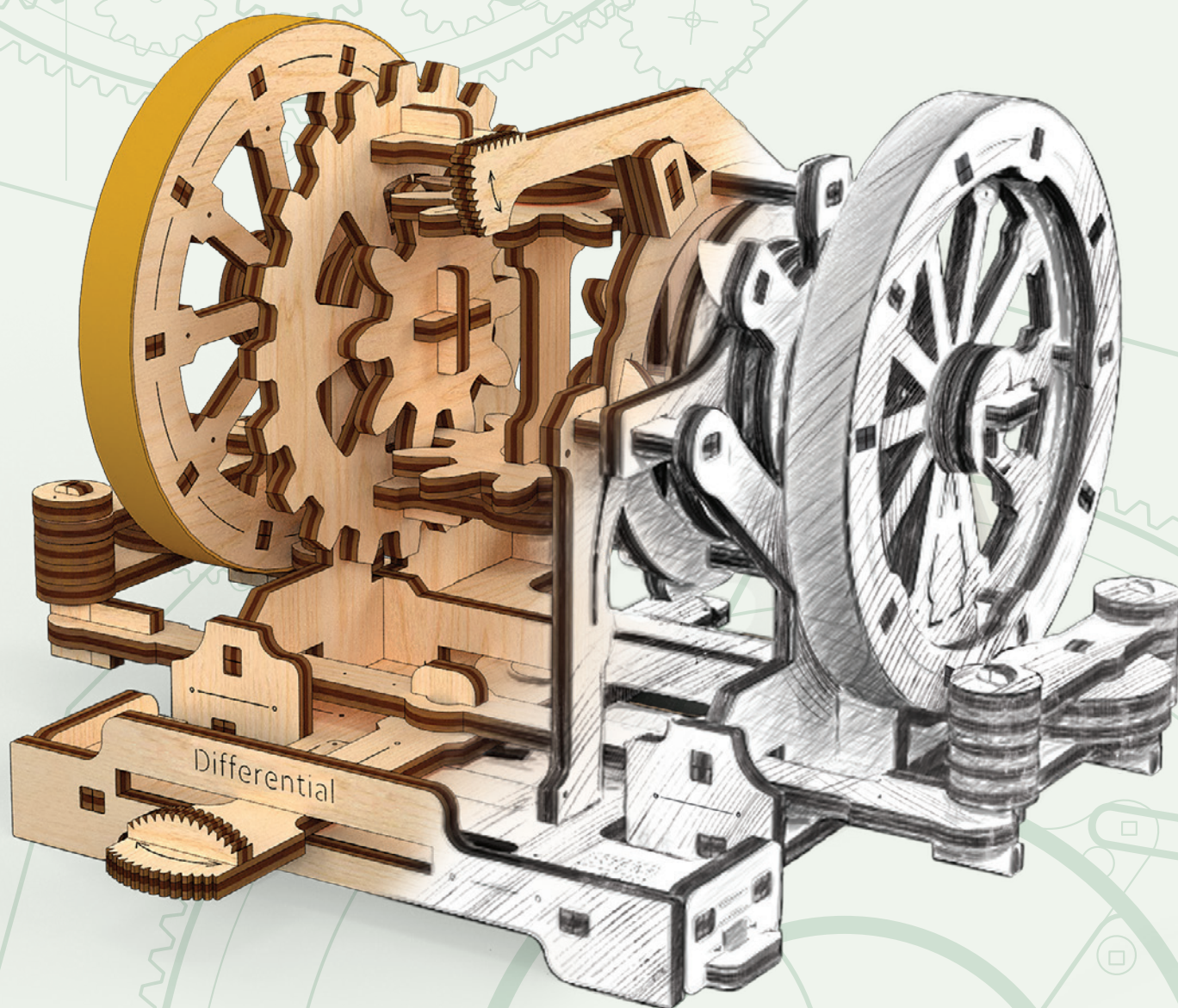


MODEL MECHANICZNY

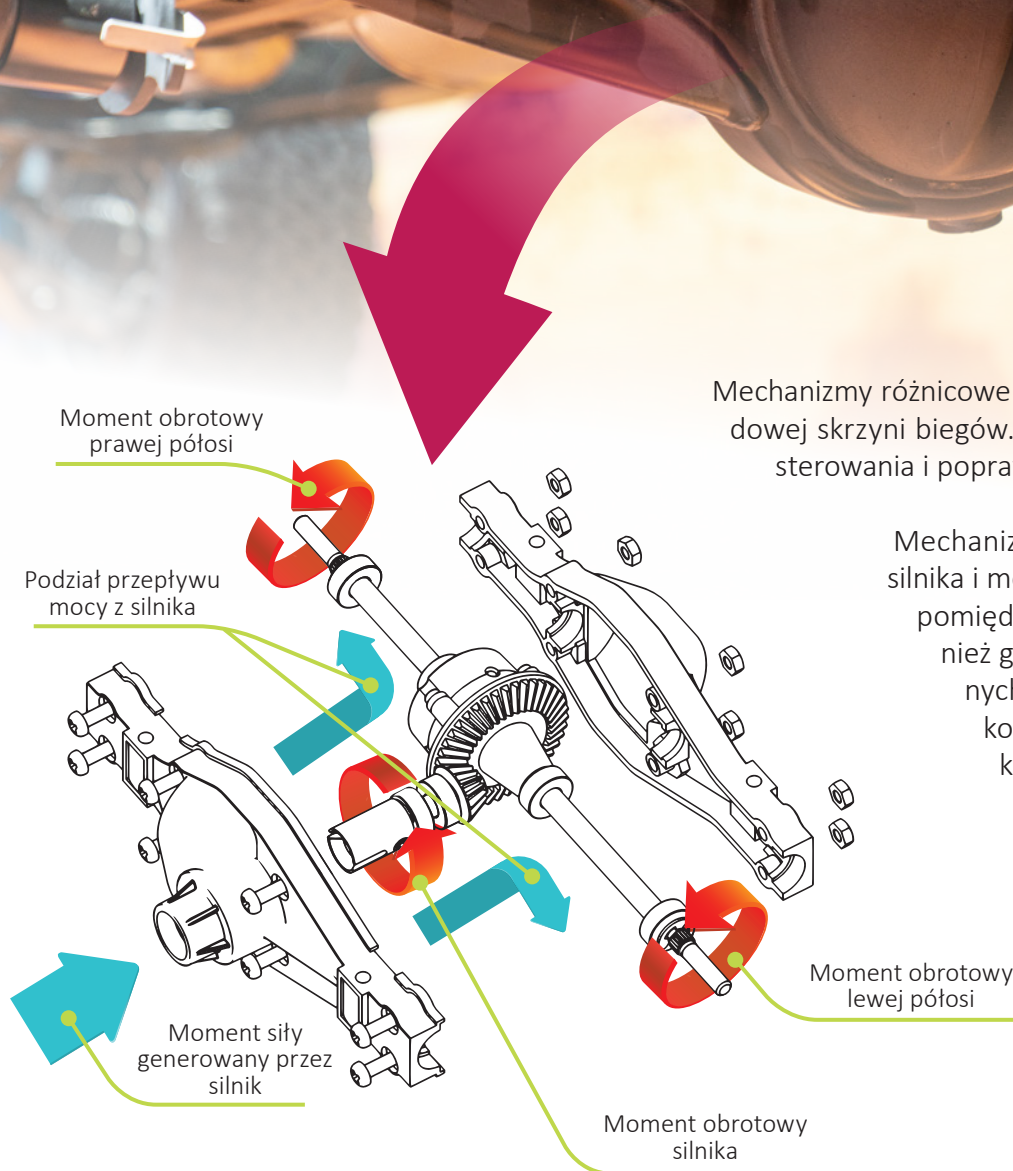
# MECHANIZM RÓŻNICOWY



Podręcznik młodego inżyniera

# §1 Wstęp

Nowoczesny samochód składa się z wielu części i detali. Każdy z nich jest bardzo ważny. Na pewno nie zajdziesz daleko w samochodzie bez silnika, kół, czy na przykład pedału gazu. Dziś chcemy przyjrzeć się jednemu z najważniejszych układów - mechanizmowi różnicowemu. Urządzenie, które odgrywa ważną rolę w utrzymaniu stabilności samochodu i utrzymuje go stabilnie i szybko na każdym torze jazdy.



Mechanizmy różnicowe są stosowane głównie w samochodowej skrzyni biegów. Ich główną funkcją jest ułatwienie sterowania i poprawa zwrotności pojazdu.

Mechanizm różnicowy przenosi i dzieli moc silnika i moment obrotowy na dwa przepływy pomiędzy kołami na tej samej osi (jak również łożyska lub śmigła stosowane w innych rodzajach pojazdów). Dzięki temu koła mogą obracać się z różnymi prędkościami, co sprawia, że pojazd jest bardziej stabilny poprzez zmniejszenie tarcia kół i zużycia opon, jeśli jedno z kół ma słabą trakcję, na przykład podczas skręcania lub jazdy po śliskich nawierzchniach.

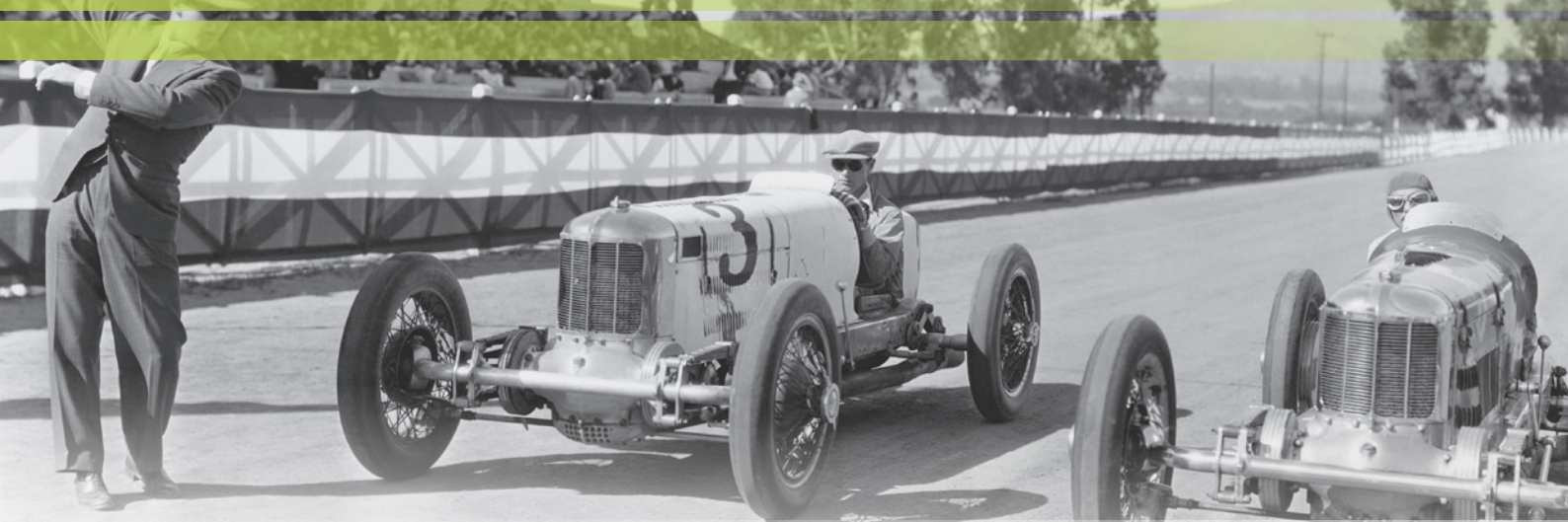
Następnie dowiesz się szczegółowo, do czego służy mechanizm różnicowy, kto go wynalazł i kiedy, jak działa oraz jak i gdzie jest stosowany obecnie.

Model «Mechanizm Różnicowy» pomoże Ci zrozumieć w praktyce działanie mechanizmu. Montując go własnymi rękami, odkryjesz wszystkie tajemnice tego ważnego urządzenia.

Transmisja (z łaciny transmissio). W samochodach te mechanizmy łączą silnik i koła napędowe.

\*W tym przypadku moment obrotowy jest obrotowym efektem działania siły na elementy i części mechanizmu. W międzynarodowym układzie jednostek (SI), moment siły (w naszym przypadku moment obrotowy) jest mierzony w niutonometrach (Nm).

# §2 Tło historyczne



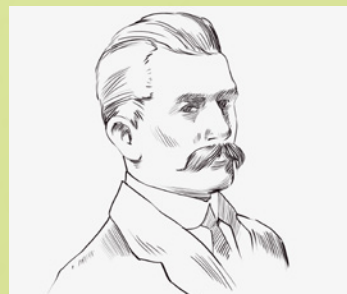
Pierwsze samochody były znacznie mniej wyrafinowane niż nowoczesne. Ale jazda jednym z tych staroci stawała się coraz trudniejsza. Jednym z głównych problemów, z którymi kierowcy musieli się zmierzyć na początku ery samochodowej, był poślizg kół na zakręcie. W procesie skręcania koła kręciły się z tą samą prędkością, a rozkład masy znacznie się zmieniał. Sprawiało to, że jazda była trudna do opanowania i również ograniczała to prędkość. Mechanizm różnicowy stał się idealnym rozwiązaniem tego problemu, dzięki któremu samochody stały się szybsze i bezpieczniejsze.



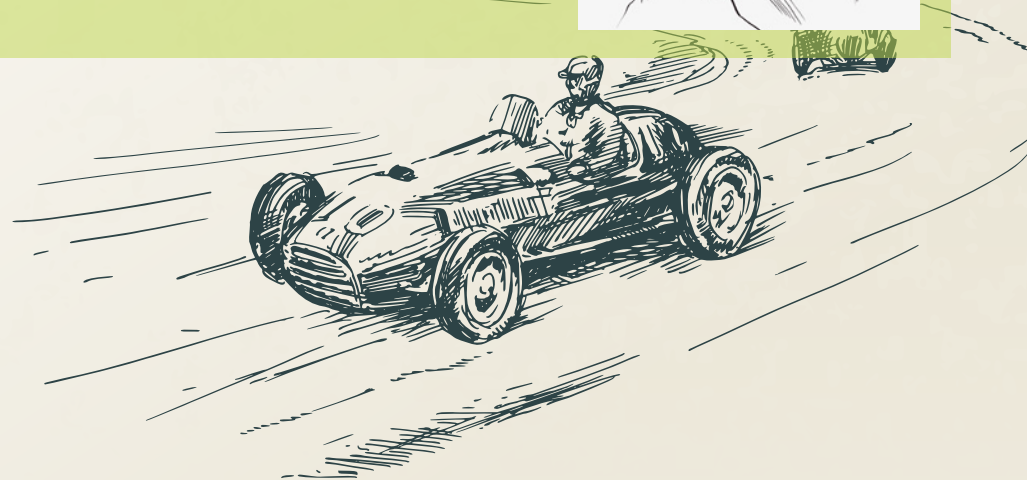
Mechanizm różnicowy samochodu został wynaleziony przez francuskiego inżyniera Onesiphora Pecqueura w 1825 roku. Stworzony przez niego mechanizm działał dobrze na twardych, suchych nawierzchniach, ale był nieskuteczny w warunkach oblodzenia lub na mokrej drodze. Oczywiście, konieczne było kilka ulepszeń.



Zostały one wprowadzone przez słynnego austriacko-niemieckiego inżyniera samochodowego Ferdinanda Porsche, który znacznie zmodernizował mechanizm. Zajęło mu to trzy lata badań, testów i udoskonaleń, ale w końcu wyprodukował bezźębny mechanizm różnicowy - pierwszy wrażliwy na zmiany prędkości mechanizm różnicowy z automatyczną blokadą.

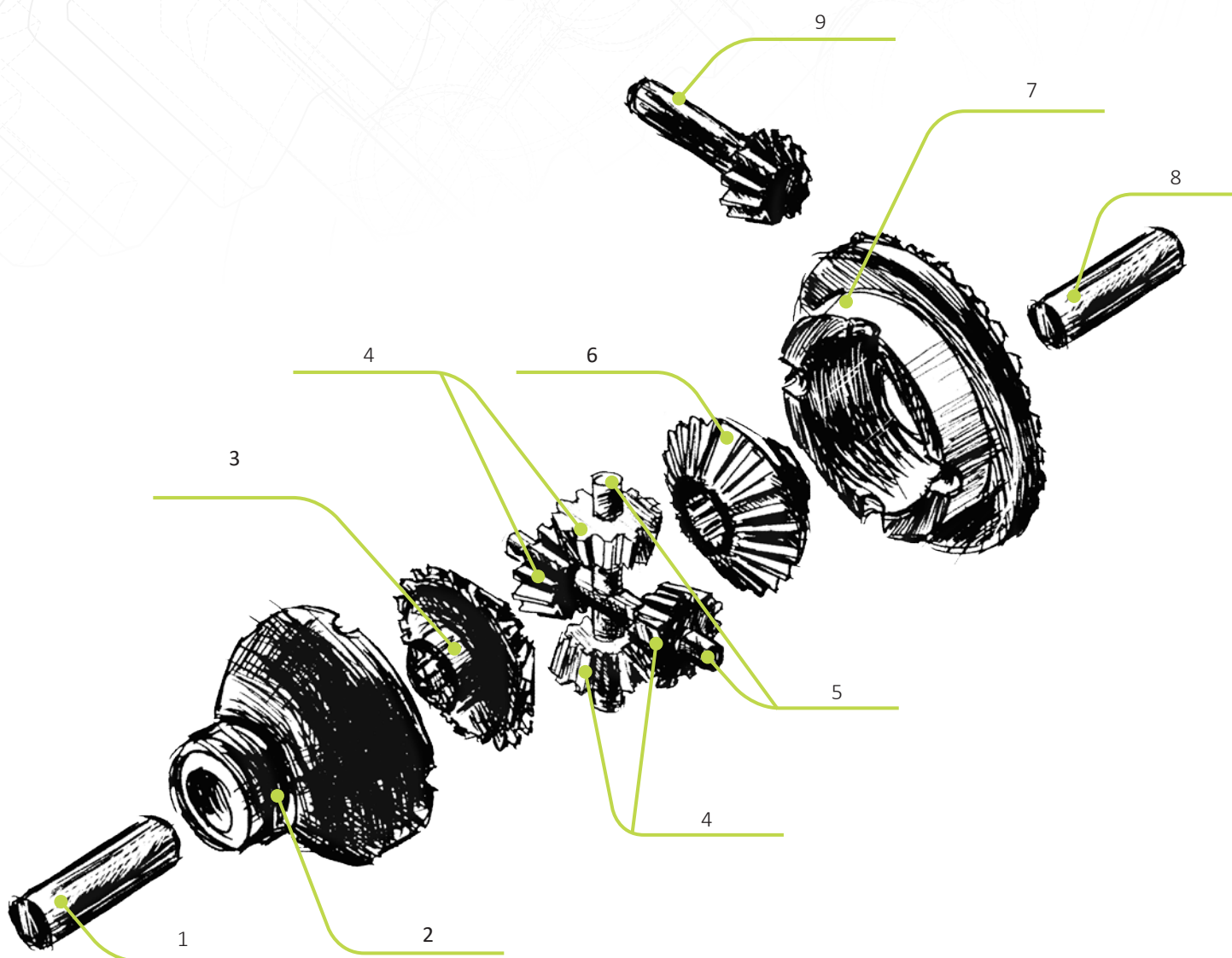


Po raz pierwszy zainstalowany był w Volkswagenach. Ta ulepszona wersja mechanizmu różnicowego jest używana w samochodach od tamtej pory.



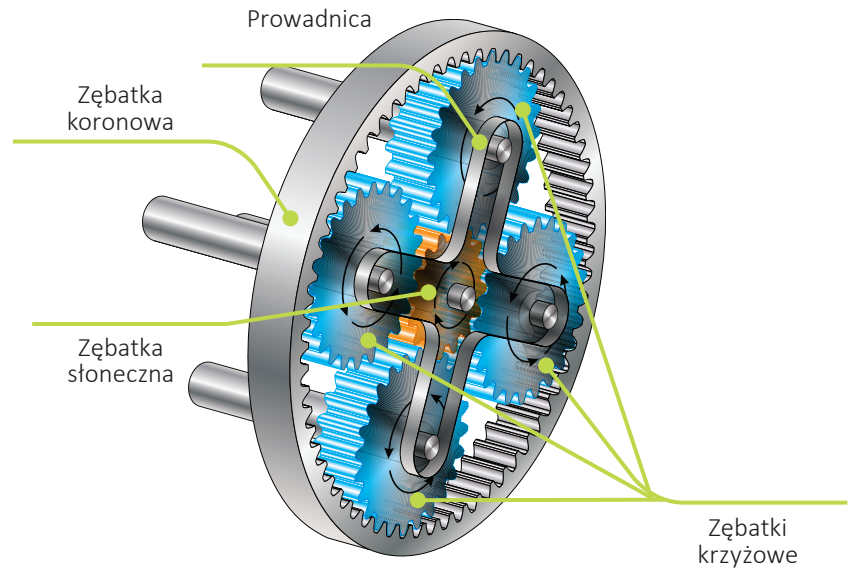
# §3 O mechanizmie i jego działaniu

Mechanizm różnicowy potocznie zwany dyferencjałem (z łaciny: Differentia - różnica) to układ przekładni z wałami. Spójrzmy na części składowe symetrycznego mechanizmu różnicowego skośno-przekładniowego.

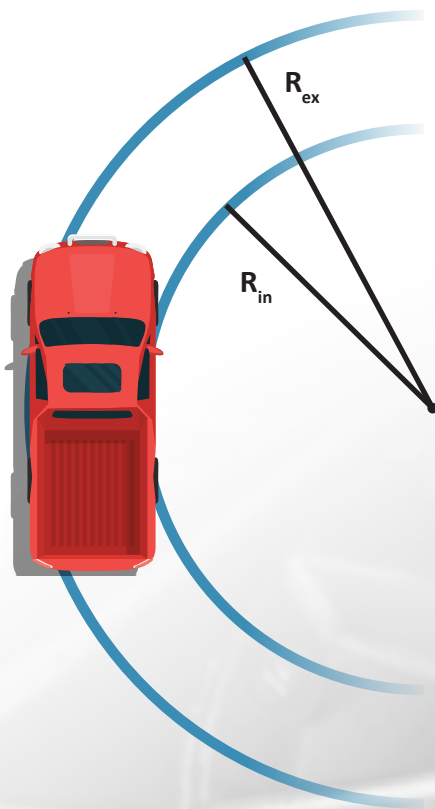


1 — lewa półoś; 2 — koło koronowe; 3 — boczna zębatka; 4 — zębatki krzyżowe; 5 — sworzenie satelit; 6 — boczna zębatka; 7 — zębatka koronowa; 8 — prawa półoś; 9 — zębatka napędowa;

Podstawowym elementem każdego mechanizmu różnicowego jest przekładnia planetarna. Jest to mechaniczna przekładnia o ruchu obrotowym, która ze względu na swoją konstrukcję jest w stanie zmieniać, gromadzić i rozprowadzać wejściowe prędkości kątowe\* i/lub moment obrotowy na koła zębate krzyżakowe wzdłuż tej samej osi obrotu. Obejmuje on również koło koronowe, nośną i centralną przekładnię «słoneczną».



Dlatego w samochodzie mechanizm różnicowy ma trzy główne funkcje: przenoszenie momentu obrotowego z silnika na koła napędowe; zapewnianie indywidualnej prędkości kątowej kół; oraz wraz z napędem osi służy jako przekładnia reducyjna.



Podczas skręcania lub jazdy po nierównej drodze, koła napędowe samochodu\*\* pokonują różne odległości, jak pokazano na rysunku (ze względu na rozstaw kół samochodu).

Promienie trajektorii podczas skrętów są różne dla lewego i prawego koła.

Gdyby więc oba koła otrzymały tę samą siłę (moment obrotowy) z silnika, ich prędkość obrotowa byłaby odpowiednio taka sama. W tych warunkach jedno z kół na pewno by się ślizgało. Jeżeli jednak umieścimy dyferencjał między kołami, możemy rozłożyć siłę z silnika i wytwarzać różne prędkości obrotowe kół.

Tak więc, koła poruszają się z potrzebną prędkością niezależnie od siebie.

\* Prędkość kątowa jest wielkością wektorową, która charakteryzuje prędkość i kierunek obrotu ciała stałego (w naszym przypadku części mechanizmu i kół) względem środka obrotu. Jest ona oznaczona grecką literą  $\omega$  (omega) i mierzona w radianach na sekundę (rad/s). Następnie bardziej szczegółowo rozważamy tę i inne wielkości.

\*\* Koła napędowe to koła, na które przekazywany jest moment obrotowy wytwarzany przez silnik. Koła tylne i przednie mogą być kołami napędowymi. W pojazdach z napędem na cztery koła, wszystkie cztery koła są kołami napędowymi. Z pewnością musiałeś natknąć się na symbol

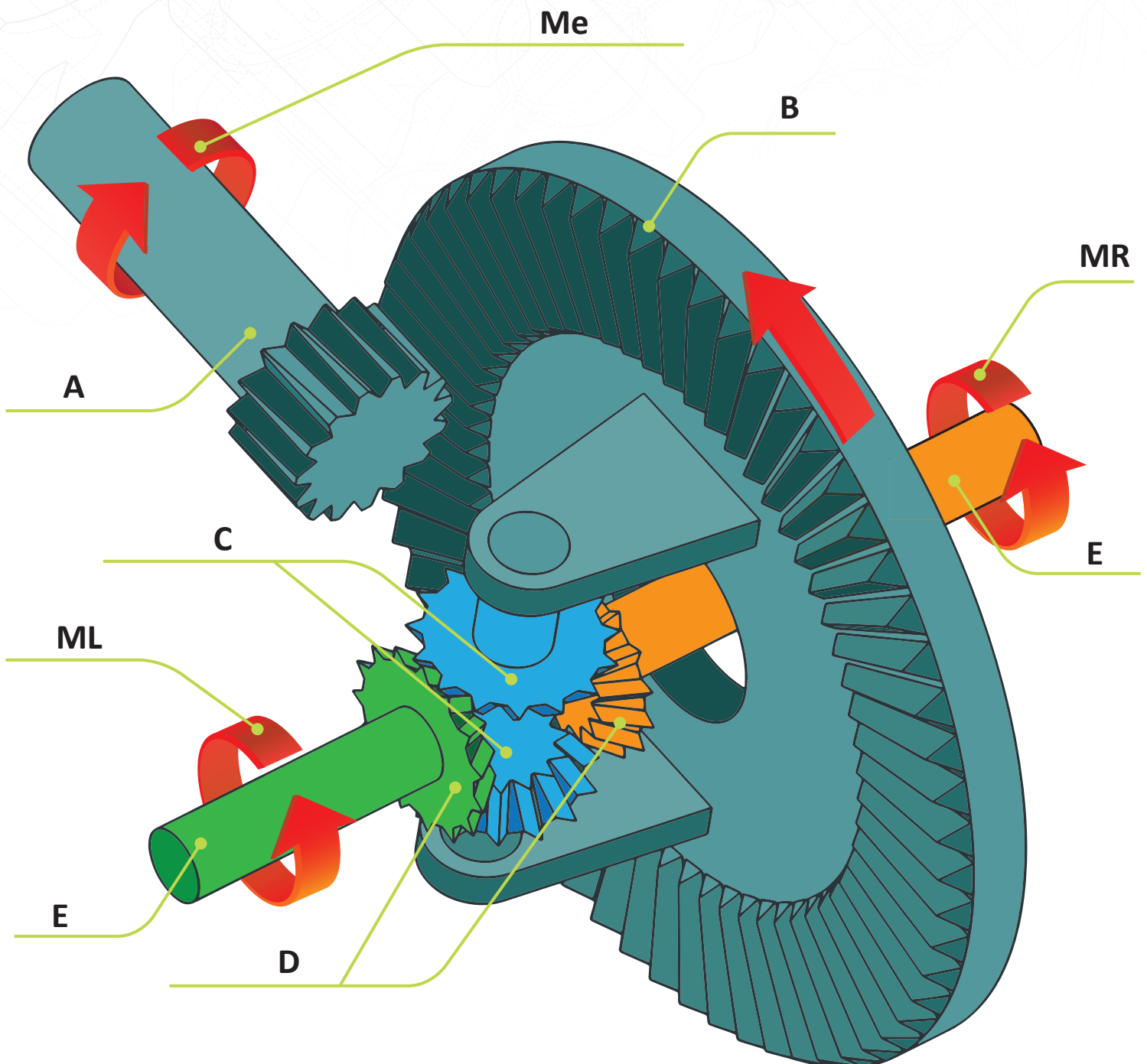
**Jak to działa?**

Moment obrotowy ( $M_e$ ) jest przenoszony na koło koronowe mechanizmu różnicowego (B) z silnika poprzez przekładnię stożkową (A).

**Elementem nośnym przekładni planetarnej takiego mechanizmu różnicowego jest przekładnia kołowa (pierścieniowa) w postaci obracającej się obudowy.**

Moment obrotowy jest rozłożony na lewą i prawą część składową, ML i MR, za pomocą wzajemnie niezależnych zębatek krzyżowych (C). Dzięki temu każda z zębatek słonecznych (D) i półosi koła (E) może obracać się z różnymi prędkościami kątowymi.

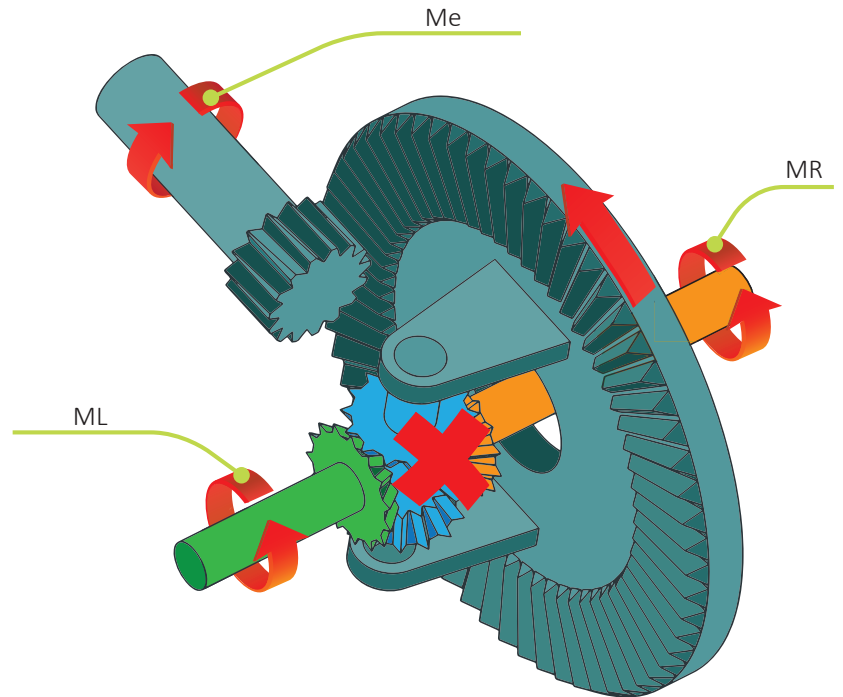
W rezultacie, jak zauważono wcześniej, koła pojazdu poruszają się swobodnie po swojej trajektorii bez poślizgu.



Zastanówmy się, jak działa mechanizm różnicowy, kiedy samochód porusza się do przodu i kiedy skręca.

Podczas jazdy do przodu, koła samochodu pokonują tę samą odległość. Tak więc, momenty obrotowe lewego i prawego koła **ML** i **MR** oraz prędkości kątowe  **$\omega_L$**  i  **$\omega_R$**  są takie same. Wtedy  **$ML = MR$**  i  **$\omega_L = \omega_R$** .

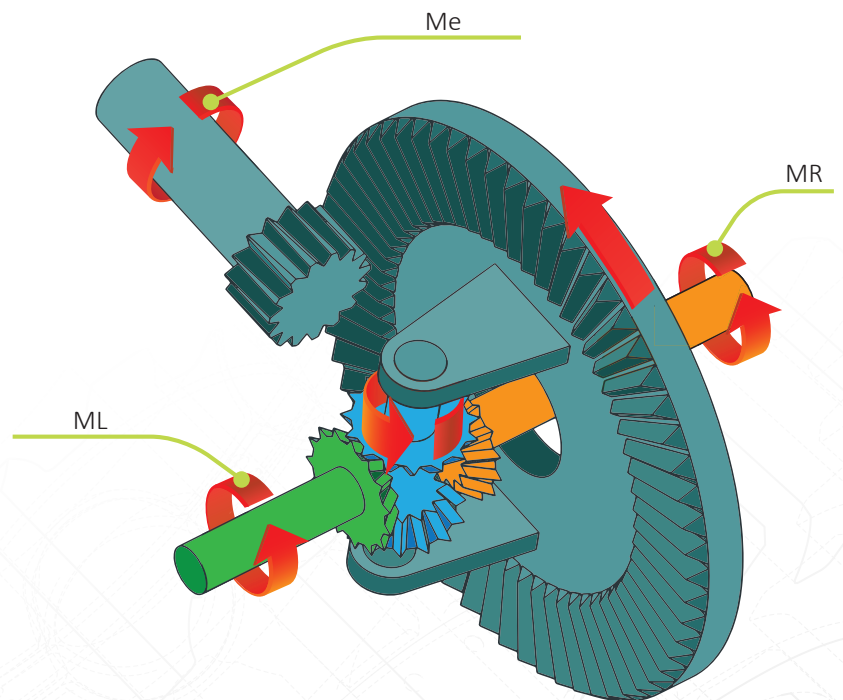
Diagram pokazuje, że w takiej sytuacji obudowa mechaniczna różnicowego z zębatką koronową i zębatkami krzyżowymi staje się integralną całością (tzn. zębatki krzyżowe nie obracają się, ponieważ nie ma różnicy w obrocie lewego i prawego koła).



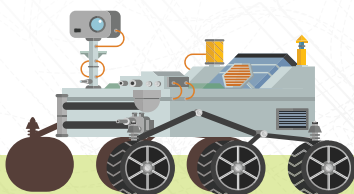
«Работа дифференциала» при движении автомобиля по прямой

Zupełnie inna sytuacja ma miejsce podczas skręcania. Koła samochodu pokonują różne odległości (ze względu na swój rozstaw). Tak więc, momenty obrotowe lewego i prawego koła **ML** i **MR** oraz prędkości kątowe  **$\omega_L$**  i  **$\omega_R$**  nie są równe.  **$ML \neq MR$**  i  **$\omega_L \neq \omega_R$** .

Zębatki krzyżowe, obracające się wokół zębatek słonecznych, pozwalają na obracanie się kół z różnymi prędkościami, rozkładając w ten sposób moment obrotowy na półosi.



«Работа дифференциала» при движении автомобиля в повороте



Przemysł kosmiczny wykorzystuje pojazdy (łaziki na Marą i Księżyc) z dużą liczbą kół, które są kołami napędowymi. Służy to poprawie manewrowości pojazdu.

Należy jednak pamiętać, że mechanizm różnicowy działa doskonale tak długo, jak długo koła napędowe samochodu ściśle przylegają do nawierzchni, ponieważ jeśli jedno z kół straci przyczepność na drodze, będąc w powietrzu lub na lodzie, tylko to koło będzie się obracać, a drugie pozostanie nieruchomo. Aby temu zapobiec, inżynierowie znaleźli rozwiązania konstrukcyjne pozwalające na zablokowanie mechanizmu różnicowego.

**Więc, jest kilka rodzajów mechanizmów różnicowych:**

Mechanizm różnicowy z pełną blokadą ręczną. Dodatkowa blokada jest niezbędna do poprawy wydajności w terenie. Może być aktywowana przez naciśnięcie przycisku w razie potrzeby.

**Samoblokujący się:**

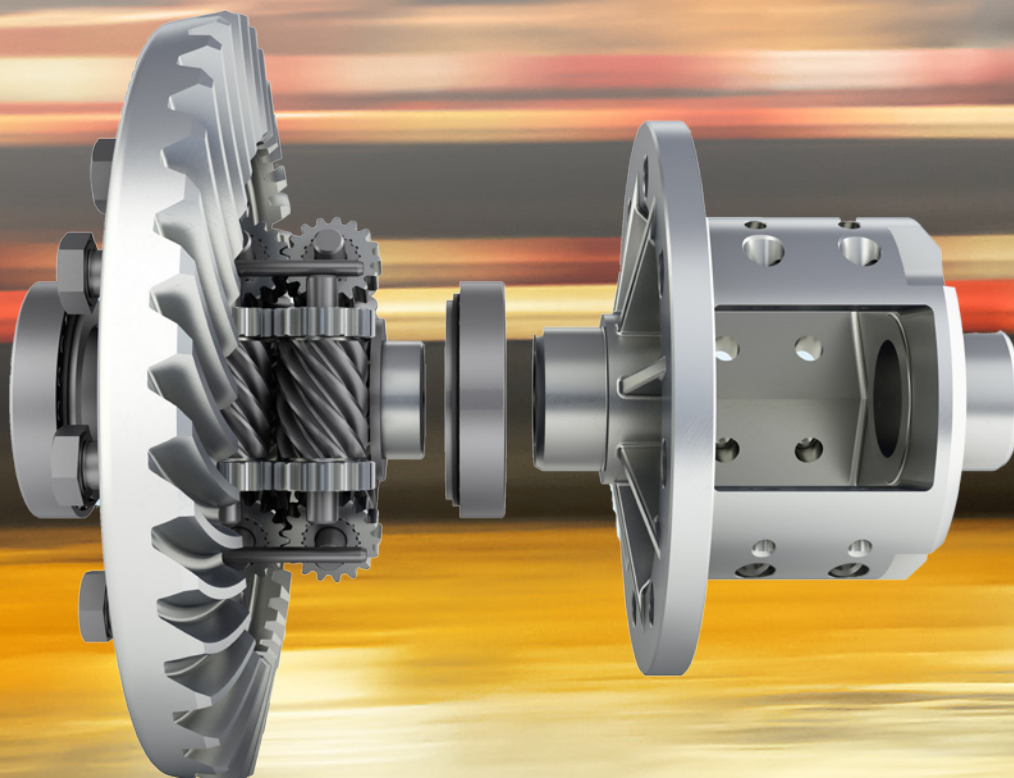
**Viscodrive** to sprzęgło wielopłytkowe, w którym wraz ze wzrostem różnicy prędkości pomiędzy wałem napędowym a napędzanym rośnie moment przeniesienia napędu. Stosowane jest w uproszczonych samochodach z napędem na cztery koła oraz jako blokada mechanizmu różnicowego.

Ten rodzaj mocowania znacznie zwiększa manewrowość pojazdu. Podstawową zasadą samoczynnego blokowania się jest to, że pewne warunki jazdy przyczyniają się do automatycznego blokowania mechanizmu różnicowego. W przypadku znacznego wzrostu różnicy obciążeń na półosi, uruchamiana jest olejowa pompa ciśnieniowa. Tarcze sprzęgła zaczynają się zbliżać, zmniejsza się prędkość obrotowa koła, a obciążenie koła jest prawidłowo rozłożone, gdy pojazd się ślizga.

Istnieje wiele modyfikacji dla samoblokujących się mechanizmów różnicowych w samochodach.

W niektórych mechanizmach różnicowych blokada nie wynika z różnicy prędkości obrotowej wałów, jak w przypadku napędu **Viscodrive**, lecz ma miejsce, gdy zmienia się równowaga momentu obrotowego na wałach. Gdy tylko wzrasta moment obrotowy na jednym z wałów, pary ślimaków blokują koła zębate, blokując niezbędną zębatkę w mechanizmie różnicowym.

W innych, prawy i lewy rząd zębatek krzyżowych zazębia się z prawą i lewą zębatką półosi, a zębátky krzyżowe z różnych rzędów zazębiają się na przemian, gdy jedno z kół jest z tyłu. Powiązana półoś zaczyna się obracać wolniej niż obudowa mechanizmu różnicowego i obraca zębatka krzyżowa, która obraca połączone z nią koło krzyżowe, a to drugie z kolei obraca półoś, powodując różne obroty kół, gdy pojazd skręca.





Jednocześnie, niektóre typy samochodów mogą jeździć bez żadnego mechanizmu różnicowego. Posiadanie go w samochodzie oznacza również zwiększone obciążenie skrzyni biegów i zużycie opon. Samochód czterokołowy z jednym lub dwoma kołami napędowymi może jeździć bez niego - przykładem tego mogą być gokarty lub samochody wyścigowe z tylną osią zaprojektowaną do wyścigów na nawierzchniach o niskiej przyczepności.



Istnieją również międzyosiowe mechanizmy różnicowe, które rozdzielają moment obrotowy pomiędzy osie napędowe w proporcji 50:50, 40:60 itd.



Mechanizmy różnicowe nie są stosowane w transporcie kolejowym, w lokomotywach elektrycznych, spalinowych, pociągach elektrycznych i metrze. Mechanizmów różnicowych nie używa się w ciągnikach dwukołowych i innych urządzeniach wspomagających pracę, a także w wózkach elektrycznych, w których każde koło napędzane jest oddzielnym silnikiem.



# §4

## Fizyka i mechanika przedstawiona w modelu STEM

**Mechanizm różnicowy** to urządzenie mechaniczne, które przenosi moment obrotowy ze źródła na dwa niezależne napędy w taki sposób, że prędkość obrotowa każdego z nich może być inna.

**Mechanizm różnicowy** ma następujące właściwości: moc obrotową (N), moment obrotowy (M) i prędkość kątową ( $\omega$ ).

Moc jest wartością skalarną, która w większości przypadków jest równa szybkości konwersji, przenoszenia lub zużycia energii w układzie. Moc z definicji jest równa stosunkowi wykonanej pracy do czasu, w którym ta praca została wykonana.

$$N = A/t$$

W Międzynarodowym Układzie Jednostek Miar (SI) podstawową jednostką mocy jest wat (W), nazwany na cześć Jamesa Watta, osiemnastowiecznego szkockiego wynalazcy.

Moc uzyskuje się za pomocą wzoru:

$$N = F \cdot v \cdot \cos\alpha$$

W ruchu obrotowym:

$$N = M \cdot \omega,$$

**Gdzie:**

M - to moment obrotowy,  
 $\omega$  - prędkość kątowa.

Moment obrotowy może być również nazywany «mocą obrotową», N·m w układzie SI. Moment obrotowy jest czasami nazywany «momentem pary sił». Termin ten znajduje się początkowo w pracach Archimedesesa. Jeżeli kierunek siły przyłożonej do dźwigni jest prostopadły do niej, to moment siły znajduje się jako iloczyn tej siły i odległości od środka linii obrotu dźwigni. Dla silnika jest to siła obrotu wału korbowego.

Na przykład, siła 3 N przyłożona do dźwigni w odległości 2 metrów od środka jej linii obrotu wytworzy taki sam moment obrotowy jak siła 1 N przyłożona do dźwigni w odległości 3 metrów od środka jej linii obrotu. Moment na punkcie jest określany jako mnożenie wektorowe:

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]$$

**Gdzie:**

F jest siłą przyłożoną do punktu  
r jest promieniem wektora punktu (jeżeli środek obrotu znajduje się na początku współrzędnych).

Prędkość kątowna dotyczy tego, jak szybko położenie kątowne ( $\omega$ ) lub ustawienie obiektu zmienia się w czasie. Jest ona reprezentowana przez symbol  $\omega$  i wzór:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

Na jeden obrót  $\Delta\varphi = 2\pi$ .

Prędkość kątowna odniesiona jest do okresu obrotu i liczby obrotów na okres czasu. Stwierdza się ją jako:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ni} \quad \omega = 2\pi\nu$$

Jako jednostka SI, prędkość kątowna to:  $[\omega]=\text{rad/s}$ .

Prawdziwy promień zakrętu nie jest stałą liczbą, a idealna stała trącja nie jest osiągalna. Jeśli koła obracają się z tą samą prędkością, skręcający samochód będzie się ślizgał, a trajektoria wewnętrzna będzie inna niż zewnętrzna. Ich stosunek można obliczyć jako:

$$L_{in} = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega_z \cdot L_{ex})$$

**Gdzie:**

$L_{in}$  - tor wewnętrzny, w metrach;

$L_{ex}$  - tor zewnętrzny, w metrach;

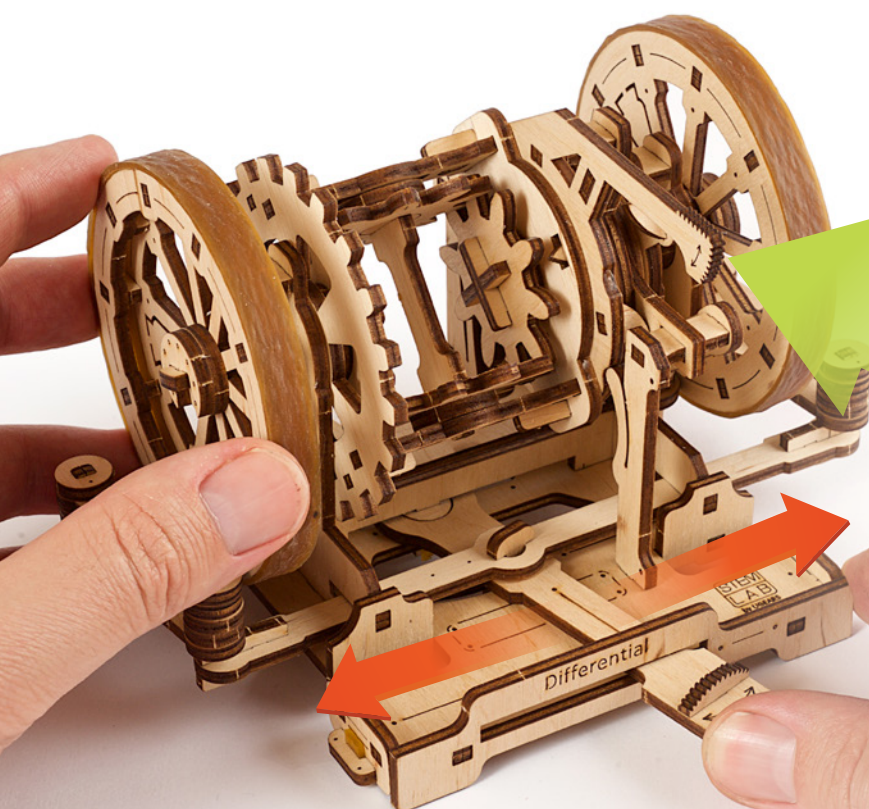
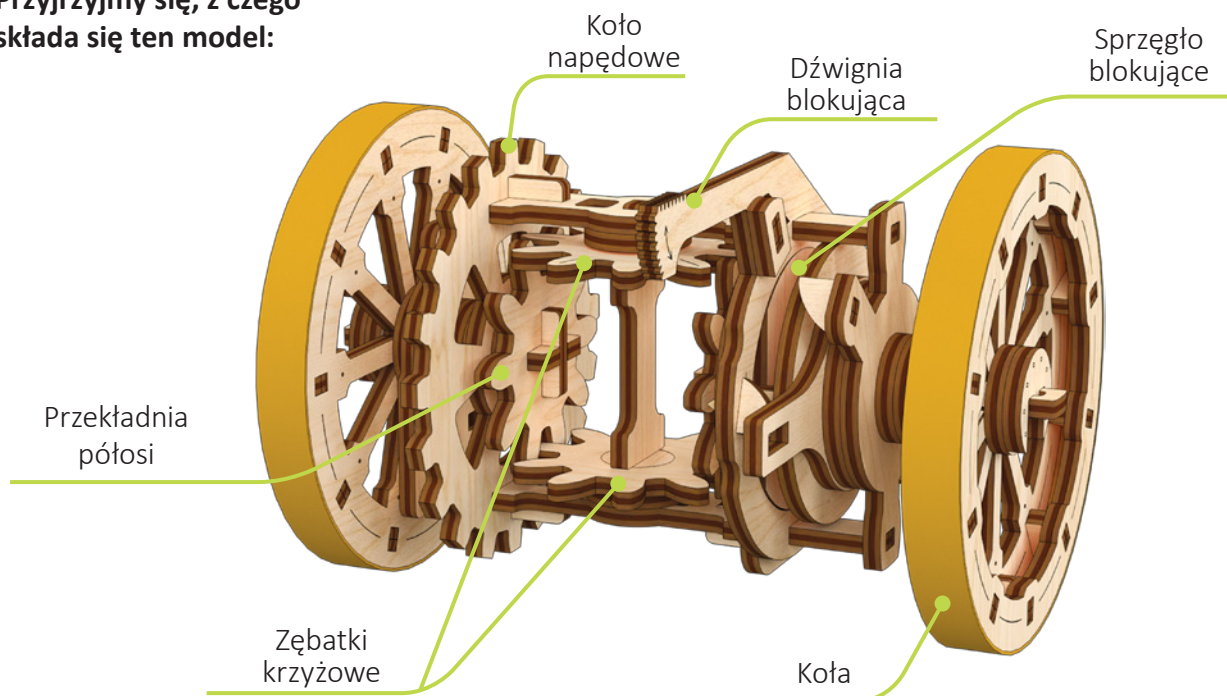
$\omega_z$  - prędkość kątowna względem płaszczyzny, rad/s;

$L$  - odległość między kołami, w metrach

# §5 Plan techniczny i zasady działania

Mechaniczny model mechanizmu różnicowego jest pomocą edukacyjną, która wyjaśnia na konkretnym przykładzie, jak działa takie urządzenie. Pokazuje on pracę przekładni planetarnych w rozłożeniu obciążenia z koła napędowego na wały.

**Przyjrzyjmy się, z czego składa się ten model:**



Bodziec może być przeniesiony na jedno z kół lub zablokowany za pomocą dźwigni. Model kompleksowo pokazuje, jak samochód skręca ze zwiększonym momentem obrotowym na jednym z kół i niższym na drugim.



W pozycji zablokowanej dźwigni energia silnika zostanie równomiernie rozłożona na koła.

# §6 Zadania praktyczne

Pomiar prędkości obrotowej, prędkości kątowej i liniowej.

**Mechanizm różnicowy** - mechanizm, który przenosi moment obrotowy silnika na koła i pomaga uniknąć poślizgu kół oraz ułatwia pracę przekładni.

**Cel:** badanie sposobów pomiaru prędkości obrotowej; pomiar prędkości obrotowej mechanizmu różnicowego w zależności od jego prędkości, rozwijanie logiki, umiejętności naukowych i myślenia przestrzennego

**Wyposażenie:** Mechanizm Różnicowy, stoper, linijka, zeszyt i ołówek

**Teoretyczne tło eksperymentu:**

Zadanie polega na pomiarze na kilka różnych sposobów prędkości obrotowej tarczy zamocowanej na wale mechanizmu różnicowego w zależności od prędkości liniowej, z jaką się porusza. Ruch obrotowy uzyskuje się poprzez obrót kątowy  $\varphi$ , prędkość obrotową  $\omega$ , prędkość kątową  $\beta$  i czas  $t$ . Każdy punkt obrotu obiektu wokół osi ma tę samą prędkość obrotową  $\omega$ . Średnią prędkość obrotową określa się:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (1)$$

Prędkość kątowa  $\beta$  jest ustalana poprzez zmianę prędkości obrotowej  $\omega$  w czasie. W związku z tym wzór na średnią prędkość kątową przedstawia się następująco:

$$\beta = \frac{\omega}{t} \quad (2)$$

**Przygotowanie do eksperymentu**

Złóż Mechanizm Różnicowy i ustaw go na płaskiej powierzchni.

## ZADANIA:

**Zadanie 1. Określenie obrotu kątowego.**

1. Wybierz punkt na obręczy koła. Zaznacz go ołówkiem..
2. Obróć mechanizm różnicowy na płaskiej, równej powierzchni i sprawdź, ile czasu zajęło Ci wykonanie pełnego obrotu koła.
3. Użyj wzoru (1) do obliczenia prędkości obrotowej. Dla jednego pełnego obrotu  $\Delta \varphi = 2\pi = 2 \cdot 180^\circ = 360^\circ$ .
4. Powtórz eksperyment podczas obracania mechanizmem różnicowym z inną prędkością.
5. Porównaj wartości obrotu kątowego i prędkości liniowej.

**Zadanie 2. Określenie prędkości obrotowej.**

1. Policz liczbę obrotów, które zaznaczony punkt wykonuje w ciągu 10 sekund..
2. Oblicz częstotliwość obrotu za pomocą wzoru:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

3. Oblicz prędkość obrotową  $\omega = 2\pi\nu$ .
4. Powtórz eksperyment podczas obracania mechanizmem różnicowym z inną prędkością.
5. Porównaj wyniki.

**Zadanie 3. Określenie prędkości kątowej.**

1. Do obliczenia prędkości kątowej należy wykorzystać dane z zadania 1 i 2 (w razie potrzeby powtórz je) oraz wzór (2).
2. Porównaj stosunek prędkości kątowej i prędkości liniowej mechanizmu różnicowego.

**Zadanie 4. Określanie prędkości liniowej.**

1. Za pomocą linijki zmierz promień koła (odległość między oznakowaniem obręczy koła a jego środkiem).
2. Do obliczenia prędkości liniowej wykorzystaj dane z zadania 1 i zadania 2 (w razie potrzeby powtórz je) oraz wzór  $v = R \cdot \omega$ .
3. Można również obliczyć przyspieszenie dośrodkowe za pomocą następującego wzoru  $a = \frac{v^2}{R}$ .



W warunkach rzeczywistych promień koła nie jest stałą liczbą i nie jest osiągalna doskonała stała przyczepność. Dlatego, jeśli koła obracają się z jednakową prędkością, skręcający samochód będzie się ślizgał, a trajektoria wewnętrzna będzie inna niż zewnętrzna. Ich stosunek można obliczyć jako:

$$L_{in} = L_{ex} \cdot (1 - L \cdot \omega_z \cdot L_{ex})$$

**Gdzie:**

- $L_{in}$  - tor wewnętrzny, w metrach;
- $L_{ex}$  - tor zewnętrzny, w metrach;
- $\omega_z$  - prędkość kątowna względem płaszczyzny, rad/s;
- $L$  - odległość między kołami, w metrach

**Zadanie 5. Oblicz różnicę prędkości obrotowej kół samochodu ciężarowego i różnicę między odległością, którą pokonały koła.**

**Przyjmij, że :** promień skrętu wewnętrznego toru pojazdu wynosi 10 m, zewnętrzny promień skrętu wynosi 11,6 m (ponieważ rozstaw kół pojazdu wynosi 1,6 m). Średnica kół wynosi 72 cm.

**WNIOSKI:**

W trakcie eksperymentów z mechanizmem różnicowym nauczyliśmy się mierzyć prędkość liniową, prędkość obrotową i prędkość kątową.

**Dowiedzieliśmy się, że:**

- prędkość obrotowa zależy od prędkości liniowej.
- im większa prędkość liniowa, tym większa będzie prędkość obrotowa.
- prędkość obrotowa i prędkość kątowna są do siebie wprost proporcjonalne

## TEST

**1. Zasługi za pierwsze eksperymenty z mechanizmem różnicowym o ograniczonym poślizgu należą do:**

- a) Onesiphore Pecqueur
- b) Ferdinand Porsche
- c) Volkswage

**2. Mechanizm różnicowy zapewnia różne prędkości obrotowe kół na tej samej osi, aby:**

- a) ograniczyć prędkość
- b) ograniczyć poślizg na zakrętach
- c) zwiększyć tarcie

**3. Ulepszony mechanizm różnicowy został zaprojektowany jako:**

- a) przekładnia
- b) zębatka planetarna
- c) automatyczna skrzynia biegów

**4. Ile mechanizmów różnicowych mają samochody z napędem na wszystkie koła?**

- a) dwa
- b) trzy
- c) sześć.

**5. Z czego jest zrobiony mechanizm różnicowy?**

- a) z wału korbowego
- b) z wałków i kół zębatych
- c) z napędów

**6. W jaki sposób prędkość obrotowa jest powiązana z prędkością liniową mechanizmu różnicowego?**

- a) nie jest powiązana
- b) wzrasta wraz ze wzrostem prędkości liniowej
- c) zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości liniowej

**7. W jaki sposób prędkość kątowna jest powiązana z prędkością liniową mechanizmu różnicowego?**

- a) poprzez odwrotną proporcję
- b) poprzez bezpośrednią proporcję
- c) nie są powiązane

**8. Rodzaj mechanizmu różnicowego, w którym moment obrotowy wzrasta wraz ze wzrostem różnicy prędkości pomiędzy wałem napędowym a napędzanym, nazywany jest:**

- a) Torsen
- b) Viscodrive
- c) Quaife

**9. Które jednostki fizyczne charakteryzują mechanizm różnicowy?**

- a) grawitacja, praca, czas
- b) siła obrotu, moment obrotowy, prędkość kątowna
- c) częstotliwość, tarcie, prędkość liniowa

**10. Jednostką pomiaru prędkości kątownej jest:**

- a) m/sec
- b) rad/sec
- c) m/rad

**Gratulacje! Udało Ci się!**

Dziękujemy za udział w tej przygodzie, mamy nadzieję, że dobrze się bawiliście i nauczyliście się tego i owego!