

# MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA SYSTEMÓW ODDZIAŁYWANIA SIŁAMI NAPĘDOWYMI NA KIERUNEK RUCHU SAMOCHODU (TORQUE VECTORING)

JAN DZIDA<sup>1</sup>

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

## Streszczenie

W referacie omówiono ideę i cel stosowania systemów oddziaływania siłami napędowymi na kierunek ruchu samochodu. Opierając się na wynikach modelowych badań symulacyjnych oraz doświadczalnych istniejących konstrukcji, przedstawiono efektywność takich systemów. Omówiono podstawowe warianty realizacji takich systemów możliwe do zastosowania w obrębie jednego mostu napędowego pojazdu kołowego i dokonano ich porównania. Szczególnie dużo uwagi poświęcono opisowi i analizie grupy rozwiązań z tak zwanymi aktywnymi mechanizmami różnicowymi, które cechują się dodatkową wewnętrzną więzią kinematyczną. Bliżej opisano kilka dotychczas opracowanych takich konstrukcji, w tym rozwiązania dostępne na rynku. Porównując poszczególne konstrukcje wskazano na ich znaczne zróżnicowanie w zakresie przyjętych schematów kinematycznych i sposobu sterowania. Autor próbuje również określić kierunki dalszego rozwoju i standaryzacji aktywnych mechanizmów różnicowych. Omawia ich szczególną formę w pojazdach elektrycznych i hybrydowych oraz przedstawia własną koncepcję. W końcowej części podjęta jest próba odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu systemy Torque Vectoring wpływają na bezpieczeństwo czynne samochodów. Wskazuje się również, że w symulacjach odtwarzających przebieg wypadków należy uwzględniać ich możliwości w zakresie kierowności i dynamiki poprzecznej.

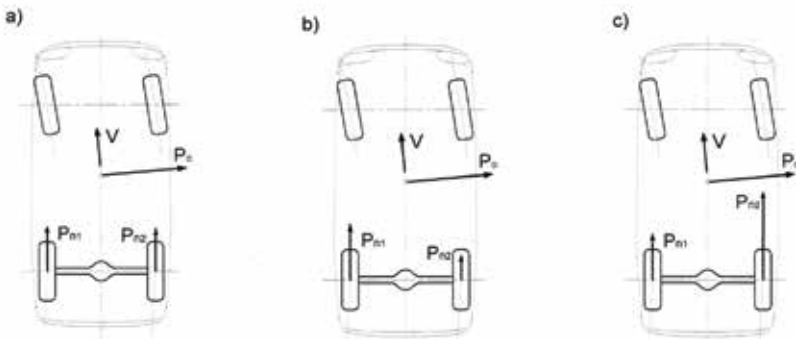
**Słowa kluczowe:** mechanizmy rozdziału mocy, aktywne mechanizmy różnicowe, kierowność, dynamika poprzeczna

## 1. Wstęp

Wpływ mechanizmów rozdziału mocy w pojazdach kołowych na kierunek ruchu i kierowność był dostrzegany od bardzo dawna, właściwie od samych początków motoryzacji. Najpierw dostrzeżono, że dwa koła jednej osi sztywno połączone wałem powodowały znaczące utrudnienia skręcania i wzrost oporów ruchu w jeździe po łuku. To właśnie konieczność wyeliminowania tej wady spowodowała, że ponad 100 lat temu wymyślono

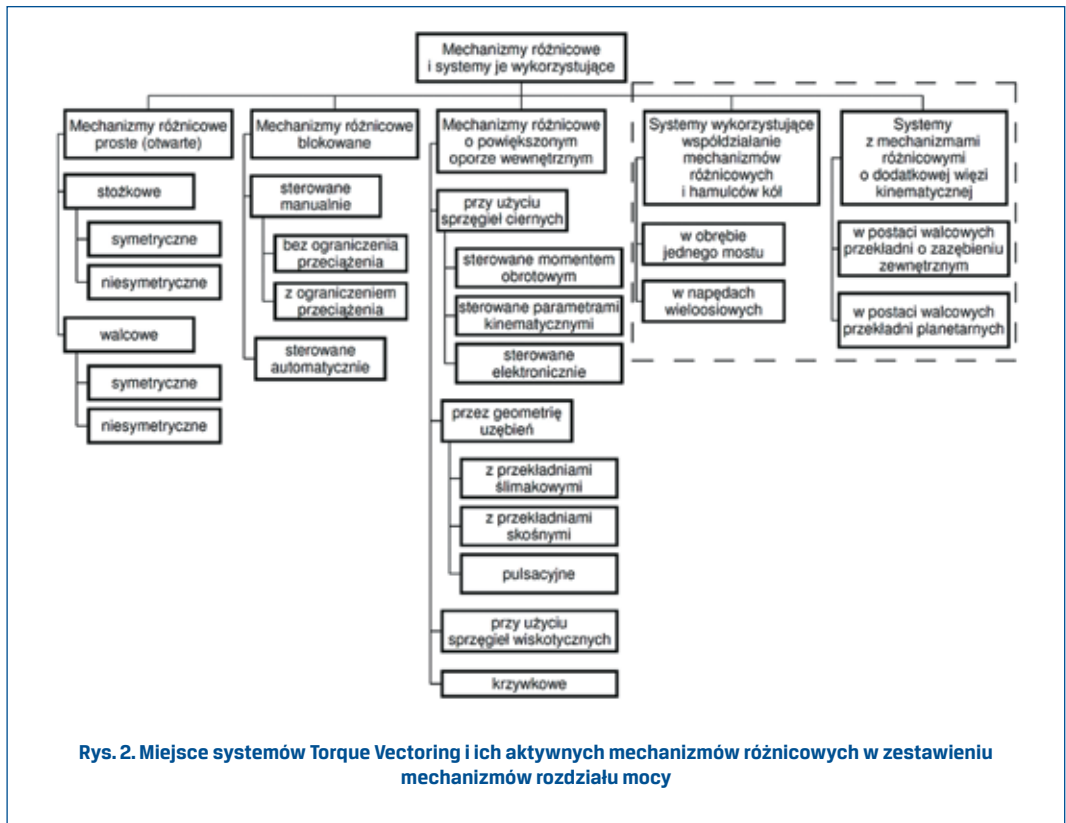
<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: jdzida@ath.bielsko.pl, tel. 33 827 93 17

międzykołowy mechanizm różnicowy. Jednak mechanizmy różnicowe w swojej najprostszej postaci wniosły nowe wady, w tym chyba najważniejszą, czyli obniżenie właściwości napędowych pojazdu. Żeby to poprawić zaczęto stosować różne sposoby ograniczania pracy mechanizmu różnicowego, poczynawszy od wielu rodzajów tak zwanych blokad, aż po niezwykle szeroką rodzinę konstrukcji mechanizmów różnicowych o powiększonym momencie tarcia wewnętrznego. Efektem końcowym tego okresu rozwoju był stan, w którym mechanizm różnicowy zależnie od stopnia poprawy jego cech trakcyjnych, mniej lub bardziej pogarszał kierowność pojazdu i powiększał jego promień skrętu. Można to krótko ująć w stwierdzeniu, że do niedawna im samochód miał bardziej zaawansowany mechanizm różnicowy (lub mechanizmy różnicowe) tym gorsze miał cechy w zakresie kierowności i dynamiki poprzecznej. Jednak dopiero współczesne spojrzenie na samochód i wysunięcie na pierwszy plan oczekiwań dotyczących bezpieczeństwa spowodowało postawienie innych oczekiwań w stosunku do jego zespołów, w tym i mechanizmów rozdziału mocy. Pojawiła się idea kierunkowego napędzania pojazdów i związane z nią systemy aktywnego rozdziału sił napędowych na koła, najczęściej nazywane w języku angielskim Torque Vectoring. Dzisiaj wiemy, że oddziaływanie układu napędowego na kierunek ruchu pojazdu może być realizowane przez: zmianę rozdziału sił napędowych na koła osi przedniej i tylnej (w układach 4x4) lub zmianę rozdziału sił napędowych na koła lewe i prawe albo przez obydwa sposoby jednocześnie. W artykule najwięcej uwagi poświęcono drugiemu z wymienionych sposobów, który jest realizowany przez stosowanie tak zwanych aktywnych mechanizmów różnicowych. Dzięki specjalnej konstrukcji umożliwiają one skierowanie większej siły napędowej na koło szybciej obracające się i przez to mogą wspomagać zakręcanie samochodu (rys. 1).



**Rys. 1. Rozdział sił napędowych na koła mostu podczas jazdy na zakręcie w przypadku zastosowania:**  
**a - prostego (otwartego) mechanizmu różnicowego, b - mechanizmu różnicowego o powiększonym momencie tarcia wewnętrznego, c - aktywnego mechanizmu różnicowego w systemie Torque Vectoring**

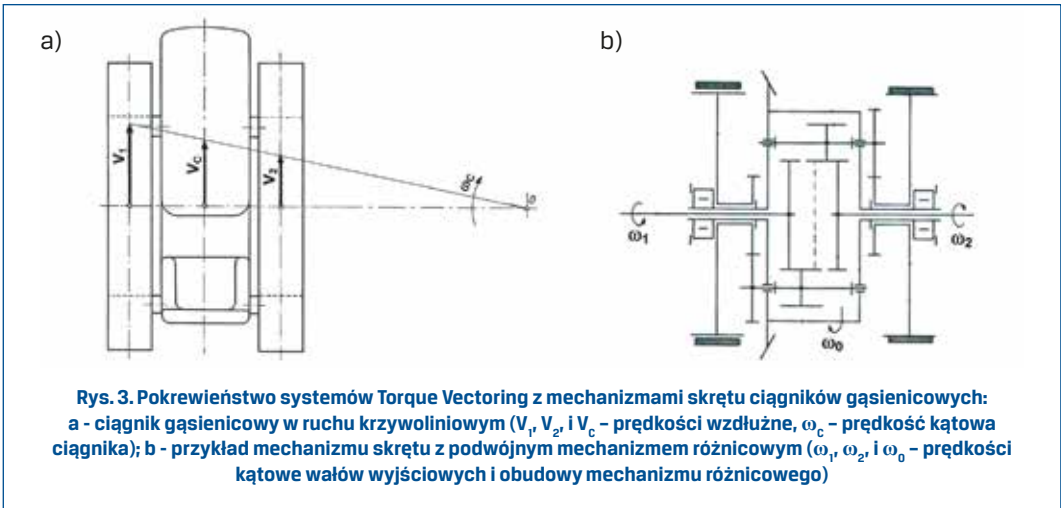
Systemy Torque Vectoring i ich aktywne mechanizmy różnicowe mogą, więc spełniać prawie identyczną rolę jak dotychczasowe systemy elektronicznej stabilizacji toru jazdy wykorzystujące siły hamowania (określane najczęściej skrótem ESP), jednak zasadnicza różnica i ich wyższość polega na wykorzystaniu w tym celu sił napędowych. Skutkuje to możliwością znaczącej poprawy dynamiki podłużnej i poprzecznej samochodu.



**Rys. 2. Miejsce systemów Torque Vectoring i ich aktywnych mechanizmów różnicowych w zestawieniu mechanizmów rozdzielu mocy**

Na rys. 2 pokazane jest zestawienie [4] najważniejszych typów mechanizmów różnicowych opracowanych w ostatnich kilkudziesięciu latach. Dwie ostatnie kolumny zawierają najnowocześniejsze grupy rozwiązań, które tworzą systemy Torque Vectoring, w tym rozwiązania z ostatniej kolumny opierają swoje działanie na tak zwanych aktywnych mechanizmach różnicowych.

Idea działania systemów Torque Vectoring wykorzystujących aktywne mechanizmy różnicowe w zasadzie nawiązuje do mechanizmów skrętu ciągników gąsienicowych. Opierając się na [2] na rysunku 3a pokazano widok z góry ciągnika gąsienicowego w ruchu krzywoliniowym, a na rysunku 3b jeden z możliwych mechanizmów skrętu – z tak zwanym podwójnym mechanizmem różnicowym. W mechanizmie tym, w celu wywołania skręcania ciągnika narzucana jest określona prędkość kątowa satelitów w mechanizmie różnicowym mostu napędowego, co wywołuje ruch gąsienic z różnymi prędkościami.



W pojazdach samochodowych można zaobserwować podobne zjawisko. Narzucanie różnych wartości sił napędowych na kołach jednego mostu przez odpowiedni rozdział momentów napędowych lub różnicowanie prędkości kątowych kół, generuje moment obrotowy względem osi pionowej  $M_z$  działający na samochód. Wówczas, jeżeli wymuszenie to jest zgodne ze skrętem kierownicy występuje zmiana kątów znoszenia kół i „wzmocnienie” efektu skręcania samochodu.

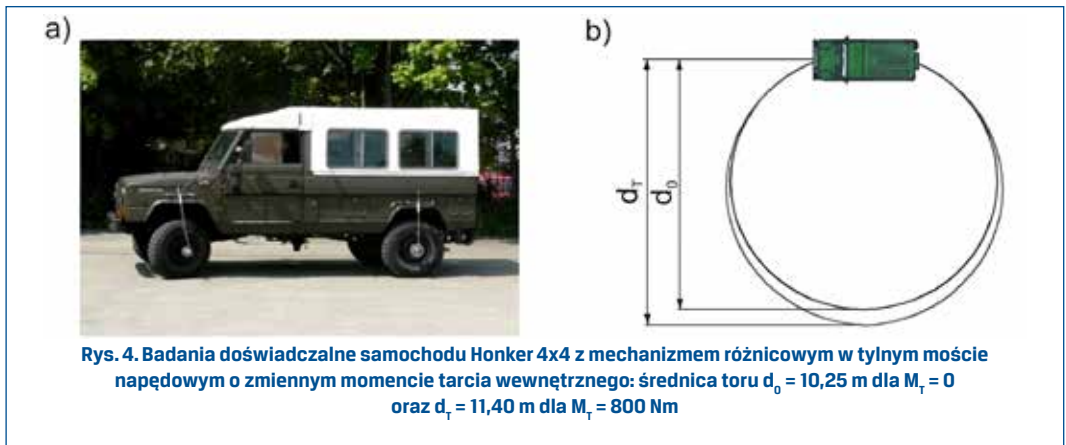
## 2. Wpływ mechanizmów rozdziału mocy na tor ruchu samochodu

Oddziaływanie sił napędowych, a właściwie proporcji ich wartości na kołach w samochodach o układach napędowych 4x4 i 4x2 na ruch pojazdów było dostrzegane już od samego początku pojawienia się pojazdów z własnym źródłem napędu.

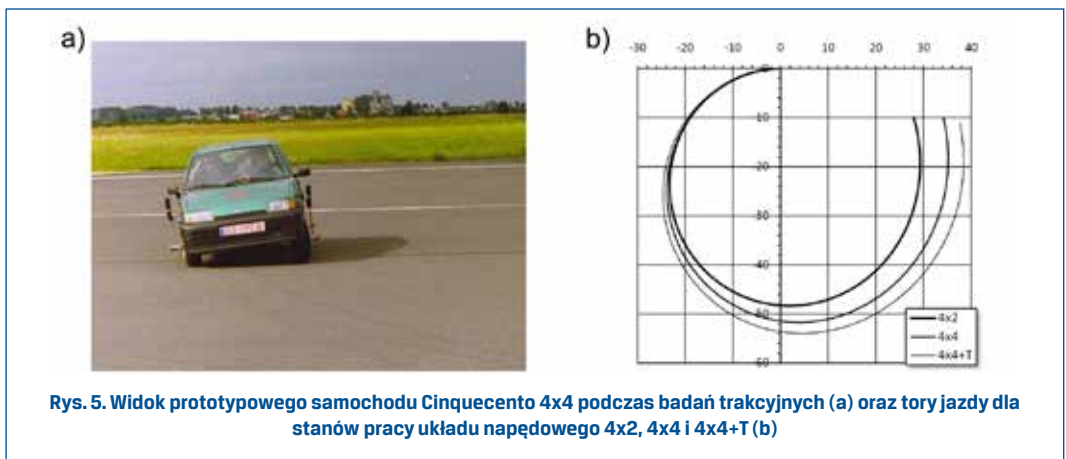
To właśnie trudności ze skręcaniem były przyczyną powstania mechanizmów różnicowych i ich bogatego rozwoju, w całym dotychczasowym okresie budowy pojazdów. Jest bardzo wiele badań doświadczalnych i modelowych wykonanych na ten temat [1,3,4,6,7 i 8]. Na rysunku 4 przedstawiono własne badania doświadczalne autora [4], które dotyczyły badania ruchu samochodu Honker 4x4 z mechanizmem różnicowym w tylnym moście napędowym o skokowo zmiennym momencie tarcia wewnętrznego.

Wykonane próby przy prędkości jazdy 11 km/h dla stanów momentu tarcia wewnętrznego o wartościach  $M_T=0$  i  $M_T=800$  Nm wykazały przyrost ponad 11% średnicy toru jazdy w tym drugim przypadku.

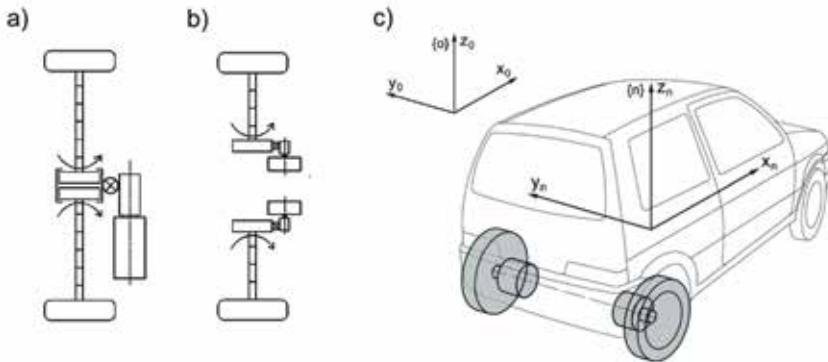
Na rysunku 5a przedstawiono prototypowy samochód Cinquecento 4x4 opracowany w OBRSM Bosmal w Bielsku-Białej podczas badań dynamiki poprzecznej, a na rysunku 5b



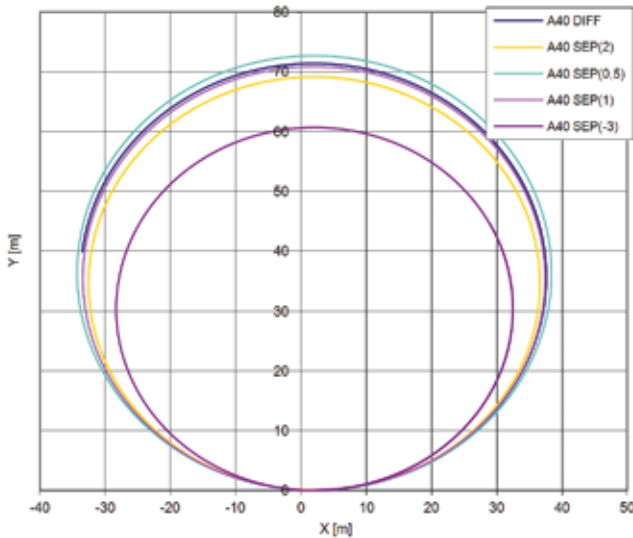
uzyskane tory jazdy [4]. Samochód ten miał rozbudowany układ napędowy, w którym możliwe były 3 stany pracy: napęd tylko kół przedniej osi (4x2), napęd kół przedniej i tylnej osi z przekładniami głównymi kinematycznie sztywno połączonymi (4x4) oraz napęd czterech kół i dodatkowy moment tarcia wewnętrznego w mechanizmie różnicowym tylnego mostu (4x4+T). Również i w tym przypadku zaobserwowano pogorszenie kierowności samochodu w stanach pracy podwyższających zdolność napędową układu napędowego, a więc 4x4 i 4x4+T.



Z kolei na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przyjęte założenia i niektóre wyniki badań modelowych małego miejskiego samochodu o napędzie elektrycznym [4]. Symulacje ruchu wykonano dla różnych proporcji doprowadzonych momentów napędowych na tylne koła. Przyjęty wskaźnik  $SEP = M_z / M_w$  oznaczał stosunek momentów występujących na kole zewnętrznym i wewnętrznym podczas jazdy samochodu po okręgu. Z analizy rysunku 7 wynika, że stany pracy w wskaźniku  $SEP = 2$  i  $SEP = -3$ , które są możliwe do realizacji tylko w systemach Torque Vectoring, wywołują ruch samochodu po torze o najmniejszych średnicach.

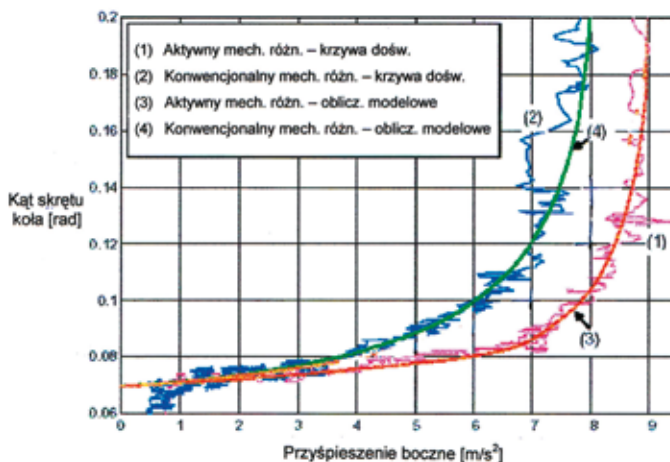


**Rys. 6. Modelowe badania miejskiego samochodu o dwóch sposobach napędzania tylnych kół: a – napęd silnikiem elektrycznym przez mechanizm różnicowy, b – napęd dwoma odrębnymi silnikami elektrycznymi, c – przyjęty model samochodu**



**Rys. 7. Wyniki badań modelowych samochodu Cinquecento 4x4 przy prędkości 40 km/h i różnych wartości stosunku momentów napędowych na koła zewnętrzne i wewnętrzne  $SEP = M_z / M_w$**

Wyżej podane przykłady wpływu mechanizmów rozdziału mocy na tor jazdy i dynamikę poprzeczną można uzupełnić wynikami badań doświadczalnych opracowanych już aktywnych mechanizmów różnicowych. Na rysunku 8 [1] widać, że efektem działania takiego mechanizmu jest możliwość zwiększenia o około  $1,5 \text{ m/s}^2$  przyspieszenia dośrodkowego, co oznacza, że przy takim samym skrócie kół kierowanych i promieniu toru  $R_s = 40 \text{ m}$  samochód może się poruszać szybciej o około 10%.



Rys. 8. Charakterystyki sterowności samochodu z tylnym aktywnym mechanizmem różnicowym podczas jazdy po okręgu  $R_s = 40$  m na przyczepnej nawierzchni (według [1])

Przedstawione na rysunkach 4b, 5b i 7 wyniki badań przekonują, że wpływ mechanizmów rozdziału mocy na tor i parametry ruchu samochodu jest bardzo znaczący.

### 3. Możliwe sposoby realizacji funkcji aktywnego mechanizmu różnicowego

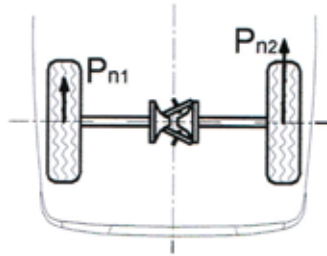
Problemem, który pozostaje do rozstrzygnięcia, jest osiągnięcie „wektorowego napędzania” samochodu możliwie najprostszymi środkami i przy niskim koszcie. Jak wiadomo z podręcznikowych opisów kinematyki i dynamiki konwencjonalnych mechanizmów różnicowych, przy założeniu małych poślizgów kół nie można osiągnąć zwiększonych sił napędowych na zewnętrznych kołach samochodu w jeździe po łuku. Również przez powiększenie momentu tarcia wewnętrznego, czy stosowanie specjalnych sprzęgieł blokujących nie można tego osiągnąć, a w zasadzie pogarszają one sytuację.

Analizując możliwe drogi rozwiązania wyżej przedstawionego problemu, wydaje się, że można zaproponować ich cztery warianty, które opisano poniżej.

#### a. Przez zastosowanie mechanizmu różnicowego o zmiennym przełożeniu wewnętrznym

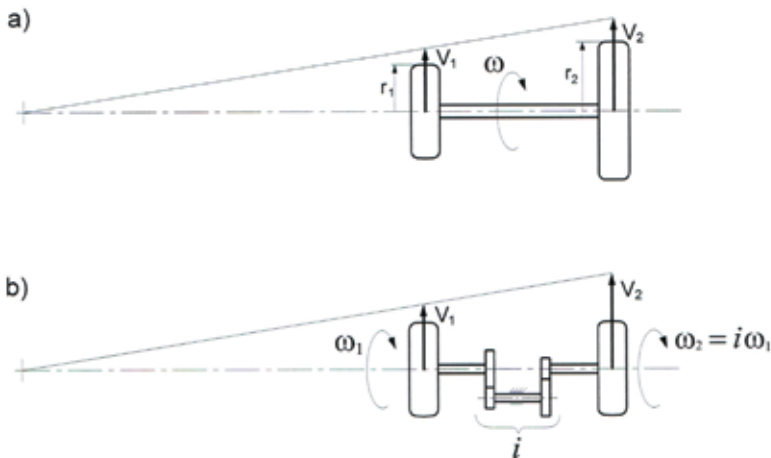
Na rysunku 9 schematycznie przedstawiono taki układ w tylnym moście napędowym. Do zalet tej propozycji można zaliczyć dużą dowolność w generowaniu proporcji momentów napędowych na kołach niezależnie od toru ruchu pojazdu. Jednakże sterowanie takim systemem może być bardzo trudne, bo na wartość generowanego momentu  $M_z$  oprócz

zadanego przełożenia wewnętrznego duże znaczenie będzie miał doprowadzony moment obrotowy sterowany wolą kierowcy. Znaczne zmniejszenie tego momentu albo przejście nawet w stan hamowania silnikiem, może zmienić jego wartość, a nawet odwrócić jego zwrot i spowodować trudną do opanowania zmianę charakterystyki ruchu samochodu. Dodatkową barierą jest brak dopracowanych konstrukcji bezstopniowych przekładni kątowych, które mogłyby przenosić odpowiednio duże momenty przy narzuconych wymiarach i pełnić oczekiwaną funkcję.



**Rys. 9. Realizacja funkcji aktywnego mechanizmu różnicowego przez zastosowanie ciernej przekładni toroidalnej o zmiennym przełożeniu**

**b. Przez wprowadzenie dodatkowej więzi kinematycznej pomiędzy półosiami napędowymi**

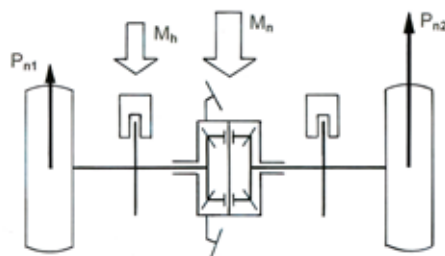


**Rys. 10. Idea stosowania dodatkowej więzi kinematycznej w aktywnych mechanizmach różnicowych:**  
**a - koła o różnych promieniach połączone sztywnym wałem, b - koła o jednakowych promieniach kinematycznie połączone przekładnią zębatą**



Na rysunku 10 a i b przedstawiono ideę takiego rozwinięcia, które koresponduje z rysunkiem 3 przywołującym przykład ciągnika gąsienicowego. W tych przypadkach poprzez generowanie większej prędkości obwodowej jednego koła wymusza się jego pracę z większym poślizgiem, czemu towarzyszy większa siła napędowa. Schemat z rysunku 10a nie jest możliwy do praktycznego wykorzystania, ale przedstawiony na rysunku 10b jest już realny i wykorzystywany we współczesnych rozwiązaniach. Niewątpliwą zaletą tego wariantu jest pewna łatwość jego realizacji przy użyciu znanych technologii (koła zębate) oraz cenna zaleta funkcjonalna, polegająca na tym, że niezależnie od stanu napędzania czy hamowania samochodu układ taki zawsze sprzyja zakręcaniu w założonym kierunku. Problemem tych konstrukcji jest przyjęta zazwyczaj jedna wartość przełożenia dodatkowej przekładni, chociaż przełożenie to powinno być zmienne i zależne od promienia toru jazdy, po jakim porusza się samochód. Praktycznym ominięciem tego problemu jest stosowanie zoptymalizowanego przełożenia przyspieszającego, najczęściej powodującego przyspieszenie jednego koła o 10% w stosunku do obudowy mechanizmu różnicowego oraz używanie sprzęgieł poślizgowych we wszystkich stanach, kiedy dodatkowe przełożenie powinno mieć inną wartość. Powoduje to oczywiście pewne straty energii w układzie przenoszenia mocy. Możliwe są również sytuacje, że dla bardzo małych promieni skrzywienia może się okazać, że mechanizm nie może wygenerować sił o odpowiedniej proporcji ich wartości. Ponadto konstrukcje tego typu zawsze są mocno rozbudowane, a przez to stosunkowo ciężkie i drogie.

### c. Przez współdziałania mechanizmu różnicowego i hamulców kół



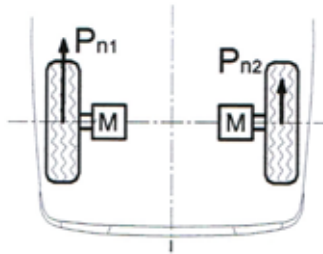
**Rys. 11. Różnicowanie sił napędowych na kołach przy użyciu prostego mechanizmu różnicowego i indywidualnie sterowanych hamulców kół**

Na rysunku 11 przedstawiona jest idea takiego systemu. Doprowadzając moment napędowy do obudowy mechanizmu różnicowego i równocześnie sterując momentem hamującym hamulca jednego koła można osiągnąć stan zróżnicowania sił napędowych na obydwu kołach, w tym również większą siłę napędową na kole szybszym. Do zalet systemu można zaliczyć wykorzystywanie wyłącznie już istniejących w standardowym samochodzie zespołów mechanicznych oraz sterowanie podobne do systemów ESP. Z kolei jako wady trzeba wymienić straty mocy wynikające z działania hamulców i ich obciążenia cieplne

oraz trudności w sterowaniu systemem wynikające z wrażliwości na stan napędzania pojazdu, czyli wartość doprowadzonego momentu napędowego, którym steruje człowiek.

#### d. Przez indywidualne napędzanie kół odrębnymi silnikami

Ten sposób realizacji funkcji systemu Torque Vectoring może wydawać się oczywisty i najprostszy w zastosowaniu (rys. 12).



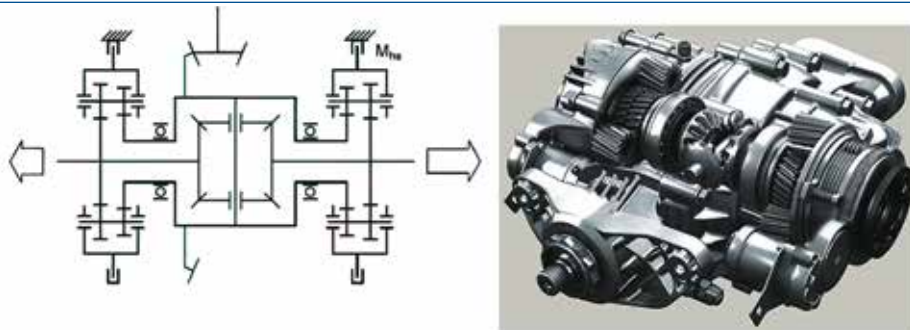
**Rys.12. Realizacja funkcji aktywnego mechanizmu różnicowego przez zastosowanie odrębnych silników do napędzania kół jednej osi**

Niewątpliwie zaletą tego typu rozwiązań jest dowolność w generowaniu momentów napędowych na kołach, które mogą różnić się wartościami jak i znakiem. Jednak napędzanie kół pojazdu oddzielnymi silnikami wymaga całościowej zmiany jego koncepcji. Konieczne jest zastosowanie silników elektrycznych lub hydraulicznych przy kołach napędowych lub w ich wnętrzu. Takie konstrukcje zwykle cechują się zwiększoną masą i pogorszoną sprawnością. Stąd tego typu realizacje podejmuje się głównie w samochodach hybrydowych lub elektrycznych, gdzie silniki elektryczne są już standardowo przewidziane do napędu.

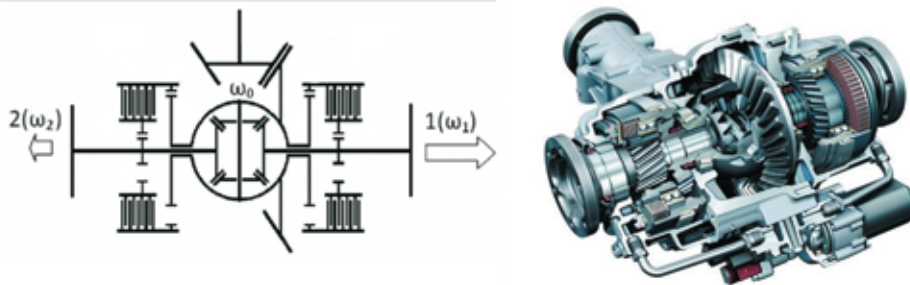
## 4. Niektóre konstrukcje aktywnych mechanizmów różnicowych

Jedne z najwcześniejszych prac badawczych dotyczących systemów Torque Vectoring prowadzono w Centro Recerche FIAT [1], a firma Mitsubishi wprowadziła swoje własne konstrukcje już w modelach Lancer Evoution VII w 2001 roku. Obecnie aktywne mechanizmy różnicowe są oferowane w samochodach wyższych klas kilku firm. Warto zauważyć, że zdecydowana większość konstrukcji opiera się na sterowanym włączaniu dodatkowej więzi kinematycznej pomiędzy obudową mechanizmu różnicowego, a lewą lub prawą półosią. Jednymi z najbardziej zaawansowanych są rozwiązania stosowane w samochodach firm BMW i Audi. W konstrukcji opracowanej przez ZF Friedrichshafen dla BMW (rysunek 13) [3] po obu stronach klasycznego stożkowego mechanizmu różnicowego zastosowano planetarne przekładnie, które po włączeniu do działania mogą przyspieszać lewą lub prawą półoś o około 10%. Włączenie przełożenia przyspieszającego jest realizowane przez

wielotarczowy hamulec cierny, który hamuje jarzmo satelitów przekładni planetarnej. Z kolei hamulce są sterowane przez układ mechaniczny dwoma oddzielnymi silnikami elektrycznymi. Przyjęty schemat działania mechanizmu umożliwia poprzez sterowanie stosunkowo małym momentem hamującym doprowadzać dodatkowy moment do określonej półosi nawet o wartości 980 Nm. Jak widać cały zespół aktywnego mechanizmu różnicowego jest dość rozbudowany i zwiększa masę samochodu, ale wykazuje dużą skuteczność i wytrzymałość nawet we współpracy z największymi jednostkami napędowymi (o momencie obrotowym do 680 Nm).



Rys. 13. Schemat i widok aktywnego mechanizmu zastosowanego w tylnym moście napędowym samochodu BMW X6



Rys. 14. Schemat i widok aktywnego mechanizmu różnicowego opracowanego przez firmę Audi

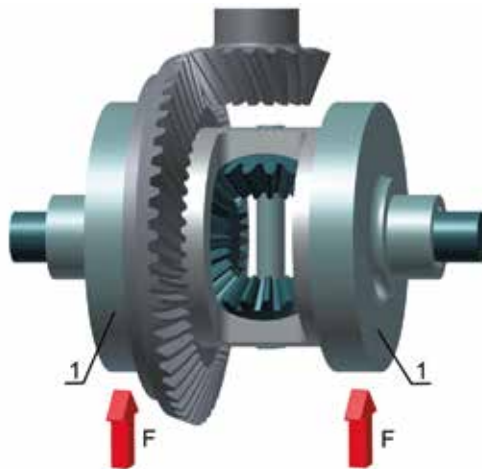
Nieco inaczej jest skonstruowany aktywny mechanizm różnicowy stosowany w niektórych modelach samochodów Audi (rysunek 14). W tym przypadku do przyspieszenia półosi koła zewnętrznego zastosowano pojedyncze przekładnie o zazębieniu wewnętrznym i wielotarczowe sprzęgła do ich załączania. Zaciskanie tarcz sprzęgieł jest realizowane hydraulicznie, a olej o odpowiednim ciśnieniu dostarcza zewnętrzna pompa hydrauliczna napędzana silnikiem elektrycznym. Cały zespół jest nieco mniejszy i lżejszy, niż w konstrukcji BMW, stąd proponowany jest głównie w modelach sportowych.

Można wymienić jeszcze opracowania innych firm, na przykład GKN [14], Ricardo [11], Magna Steyr [10] i Getrag [7]. Interesujące są również konstrukcje dedykowane do samochodów hybrydowych i elektrycznych, jak firm IAV [8,15] i Schaeffler [13].

## 5. Poszukiwanie własnych koncepcji

Przedstawione dotychczasowe dokonania kilku firm, w zakresie opracowania aktywnych mechanizmów różnicowych, nie dają pełni satysfakcji. Nie wynika to z ich złego działania, ale z powodu złożoności budowy i kosztu produkcji. Wydaje się bardzo celowe prowadzenie dalszych prac poszukiwawczych i badawczo-rozwojowych w celu opracowania prostszych rozwiązań, możliwych do szerokiego stosowania już w samochodach osobowych średniej klasy. Autor uważa, że w dotychczasowym rozwoju aktywnych mechanizmów różnicowych zbyt mało poświęcono uwagi poszukiwaniu innych rodzajów przekładni przyspieszających, niż klasyczne przekładnie zębate. W latach 80. pod kierunkiem autora były prowadzone szerokie prace badawczo-rozwojowe dotyczące mechanizmów różnicowych o nowych charakterystykach działania do samochodów terenowych. Powstało kilkadziesiąt prototypów, działających według różnych zasad, które były badane w działach doświadczalnych krajowych fabryk motoryzacyjnych, na uczelni oraz w jednostkach i instytucie wojskowym. Konstrukcje te uzyskały ochronę patentową w kilkunastu państwach, w tym w USA (patent nr 4 343 205) i Japonii (patent nr 1 468 625).

W badanych rozwiązaniach w oryginalny sposób były generowane prędkości obrotowe, które stanowiły wielkości odniesienia wykorzystywane w ich układach sterowania. Szerzej opracowane koncepcje i badania doświadczalne zostały opisane w [4]. Zdaniem autora zgromadzone doświadczenia wskazują, że jest szansa na zbudowanie znacznie prostszych aktywnych mechanizmów różnicowych, które powinny być oparte na innych, niż zębate, przekładniach mechanicznych. Jedną z możliwych koncepcji takiego mechanizmu przedstawia rysunek 15.



**Rys. 15. Ogólna koncepcja innego rodzaju aktywnego mechanizmu różnicowego: 1 – przekładnie przyspieszające nowego typu, F – siły promieniowe sterujące zmianą przełożenia**

Istotą tej koncepcji aktywnego mechanizmu różnicowego są przekładnie mechaniczne nowego typu (1) i system ich włączania, które dzięki innej koncepcji powinny być prostsze i łatwiejsze w sterowaniu od dotychczas stosowanych. Wstępne analizy konstrukcyjne wykazują, że będą one mogły być mniejsze i zabudowywane bezpośrednio w obudowie mechanizmu różnicowego. Rozwinięcie sygnalizowanej koncepcji, lub innych pokrewnych, stwarza szanse na znaczne uproszczenie i obniżenie kosztów takich systemów w stosunku do dotychczas znanych.

## 6. Uwagi końcowe

Przeprowadzone w artykule analizy i skrótowy przegląd stanu techniki pozwalają na sformułowanie kilku następujących uwag ogólnych:

- dotychczas dostępne aktywne mechanizmy różnicowe są bardzo złożone, stosunkowo ciężkie i drogie, co ogranicza ich stosowanie do samochodów wyższych klas,
- celowe jest dalsze poszukiwanie nowych koncepcji konstrukcyjnych takich systemów,
- należy się spodziewać, że prowadzone prace rozwojowe spowodują stworzenie pewnego standardu konstrukcji, który będzie możliwy do szerszego stosowania,
- aktywne mechanizmy różnicowe poprawiają stateczność poprzeczną i kierowność samochodu, a więc podnoszą bezpieczeństwo jazdy - jest to jednak słuszne pod warunkiem, że kierujący pojazdem nie będzie ciągle zwiększał prędkości jazdy, aż do osiągnięcia nowych granic zagrożenia,
- ze względu na znaczący wpływ na kierunek ruchu samochodu działanie aktywnego mechanizmu różnicowego powinno być uwzględniane przy symulowaniu sytuacji drogowych (jeżeli samochód jest wyposażony w taki mechanizm).

Autor jest przekonany, że mimo problemów, które są przeszkodą w upowszechnieniu systemów napędowych z aktywnymi mechanizmami różnicowymi, będą one nadal rozwijane, ponieważ samochód wyposażony w taki układ napędowy jest po prostu lepszy.

## Literatura

- [1] AVENATTI R.; CAMPO S.; IPPOLITO L.: *A rear active differential: Theory and practice of a new type of controlled splitting differential and its impact on vehicle behavior*. GP C'98, Detroit, 1998.
- [2] DAJNIAK H.: *Ciągniki: teoria ruchu i konstruowanie*. WKiŁ Warszawa, 1985.
- [3] DENZLER R.; GRANZOW C.; PETER R.; SPIESS M.: *Das Hinterachsgetriebe Vector Drive*. Automobiltechnische Zeitschrift, Nr. 12, 2007.
- [4] DZIDA J.: *Mechanizmy rozdziału mocy w pojazdach. Monografia*. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała, 2010.
- [5] DZIDA J.: *Rozwój aktywnych mechanizmów różnicowych – systemy Torque Vectoring*. Zeszyty Naukowe OBRSM BOSMAL, Bielsko-Biała, Nr. 45/I, 2010, s. 43-50.

- [6] DZIDA J.: *Stabilizowanie toru jazdy samochodu przy wykorzystaniu sił napędowych*. Zeszyty Naukowe OBRSM BOSMAL, Bielsko-Biała, Nr. 38/IV, 2007, s. 17–29.
- [7] DZIDA J.; MESITI D.: *Aktywny mechanizm różnicowy – nowa jakość w sterowaniu pojazdów*. Zeszyty Naukowe OBRSM BOSMAL, Bielsko-Biała, Nr. 21/I-II, 2003, s. 37–49.
- [8] FREIMANN R.; WOLTER T-M.; SCHNEIDER E.: *Driving Dynamics and hybrid combined in the torque vectoring – Concepts of axle differentials with hybrid functionality and active torque distribution*. Vehicle Dynamics Expo 2009, Stuttgart, 2009.
- [9] HOECK M.: *Improved Vehicle Dynamics by eLSDs on FWD Vehicles*. Vehicle Dynamics Expo 2006, Stuttgart, May 2006.
- [10] SOMMER D.; SCHMIT M.; ROHRACHER J.: *Eigenschaften von Allradfahrzeugen*. Automobiltechnische Zeitschrift, Nr. 4, 2007, s. 280–287.
- [11] WHEALS J.; BARNBROOK R.; PARKINSON R.; DEAN M.; DONIN R.: *Torque Vectoring – Konzept, Ergebnisse und Produktionslösungen*. Automobiltechnische Zeitschrift, Nr. 11, 2007.
- [12] Paper published by Honda R&D and Tochigi R&D Center: *Development of SH-AWD (Super Handling-All Wheel Drive) System*. Vehicle Dynamics Expo 2005, Stuttgart, 2005.
- [13] SMETANA T.; BIERMANN T.; ROHE M.; HEINRICH W.: *E-Drive with electrically controlled differential*. ATZ Auto Technology, Nr. 5, vol. 11, 2011, s. 53–57.
- [14] [www.gkndriveline.com](http://www.gkndriveline.com) (GKN's website).
- [15] [www.iav.com](http://www.iav.com) (IAV's website).