

# Oszczędności paliw dzięki nowoczesnym rozwiązaniom w automatycznych skrzyniach biegów

dr inż. Grzegorz Ślaski

Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, 061 6652 222, e-mail: grzegorz@slaski.eu

W okresie zintensyfikowanego rozwoju źródeł napędów w pojazdach samochodowych sprzyjającego oszczędności zużycia paliwa i zmniejszeniu wpływu transportu samochodowego na zanieczyszczenie środowiska, nie można nie zauważyć wpływu na te aspekty także pozostałych podzespołów samochodu, a w szczególności skrzyni biegów.

## 1. Rola skrzyni biegów samochodzie

Skrzynia biegów samochodzie jest elementem równie istotnym jak silnik. Bez niej możliwości silnika spalinowego pozwalałyby na użytkowanie samochodu w bardzo ograniczonym zakresie prędkości i wielkości oporów ruchu. Wynika to z ograniczonej zakresu użytecznych prędkości obrotowych silników spalinowych, mieszczących się w przedziale od około 1 tys. do około 6,5 tys. obrotów na minutę.

Drugim ograniczającym elementem jest generowany przez silnik moment obrotowy, którego wartości w samochodach osobowych mieszczą się w zakresie od około 80 Nm do około 400 Nm. Przykładowo w gamie samochodów firmy Fiat najmniejsze Fiaty Panda mają silniki o momencie maksymalnym 88 Nm a największy silnik modelu Croma dysponuje momentem 400 Nm (2,4 JTD). W gamie samochodów Volkswagena najmniejszy silnik modelu Polo dysponuje momentem 108 Nm a 4,2 litrowy silnik modelu Toureg 440 Nm. Przedstawione wartości momentu pozwalają po zwiększeniu w przekładni głównej o wartość rzędu 3 do 5 razy na dynamikę jaką dysponują te samochody na biegu najczęściej 4. Gdy potrzebna jest większa dynamika moment zostaje zwiększony dodatkowo w skrzyni biegów kosztem proporcjonalnego zmniejszenia prędkości obrotowej (rys. 1) przy jakiej jest on przenoszony.

Rolą skrzyni biegów jest więc zapewnienie możliwości dostosowywania zwiększenia momentu obrotowego do aktualnych wymagań wynikających z oporów ruchu lub zapotrzebowania na zdolność osiągnięcia znaczących przyspieszeń.

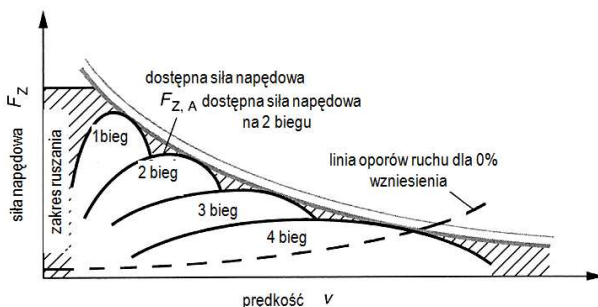
Honda Accord 2.0 benzynowy

obroty silnika		bieg	przełożenie	obroty w ątu napędowego		obroty koła		prędkość samochodu	
min	max			min	max	min	max	min	max
[obr/min]	[obr/min]			[obr/min]	[obr/min]	[obr/min]	[obr/min]	[km/h]	[km/h]
850	6000	1	3.266	260	1837	59	419	7.2	50.5
850	6000	2	1.769	480	3392	110	773	13.2	93.2
850	6000	3	1.212	701	4950	160	1128	19.3	136.0
850	6000	4	0.972	874	6173	199	1407	24.0	169.6
850	6000	5	0.750	1133	8000	258	1823	31.1	219.8

przełożenie przekładni głównej 4.388  
promień koła 0.32

Rys. 1. Zakres rozpiętości prędkości jazdy na różnych biegach

Charakterystyka siły napędowej w funkcji prędkości uzyskana przez zastosowanie skrzyni biegów przedstawiona została na rys. 2 [1].



Rys. 2. Charakterystyka trakcyjna samochodu ze stopniowaną skrzynią biegów

## 2. Rodzaje i rynek skrzyń biegów

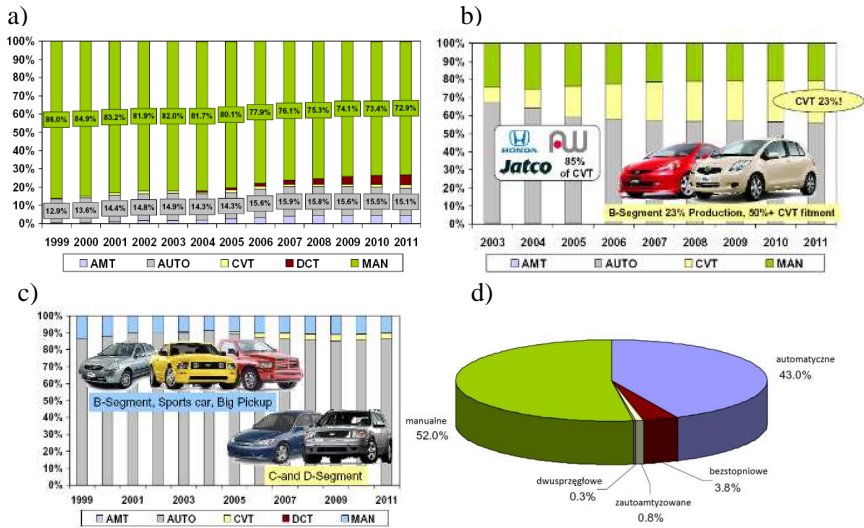
Skrzynki biegów budowane są z wykorzystaniem różnych technicznych rozwiązań przekładni – od przekładni zębatych o nieruchomych osiach obrotu kół zębatych poprzez przekładnie z osiami obiegowymi (przekładnie planetarne) przez przekładnie cierne pasowe po przekładnie hydrostatyczne i elektryczne.

Innym zagadnieniem związanym z funkcjonowaniem skrzyń biegów jest kwestia nie tylko możliwości zmiany przełożenia w skrzyni biegów ale także dobór chwili zmiany przełożenia i jego wartości (nr biegu). W Europie większość kierowców przyzwyczajona jest do tego, iż jest to zadanie obarczające kierowcę, ale też dające mu pełną swobodę decyzji w tym zakresie.

W Stanach Zjednoczonych od lat 40 XX wieku większość kierowców wybrała możliwość realizacji tej funkcji przez układ automatyczny. W ten sposób na tamtejszym rynku automatyczna skrzynia biegów wyparła, niemal całkowicie inne rodzaje skrzyń biegów.

Przez lata rozwoju skrzyń biegów pojawiły się też różne inne rozwiązania – w tym najistotniejsze z nich to bezstopniowe skrzynie biegów, zautomatyzowane skrzynie biegów czy też dwusprzęgłowe skrzynie biegów. Wszystkie te nowe rozwiązania z punktu widzenia kierowcy również oferują automatyzację pracy doboru chwili zmiany przełożenia i wyboru jego wartości.

Przykład zmian popularności poszczególnych rozwiązań skrzyń biegów na trzech głównych światowych rynkach motoryzacyjnych przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3.** Podział rynku skrzyń biegów na różne ich rodzaje: a) Europa, b) Japonia, c) USA, d) świat (AMT – skrzynie zautomatyzowane, AUTO – skrzynie automatyczne, CVT – skrzynie bezstopniowe, DCT – skrzynie dwusprzęgłowe, MAN – skrzynie manualne)

### 3. Budowa hydromechanicznej automatycznej skrzyni biegów

Pierwsze automatyczne skrzynie biegów były skrzyniami o strukturze hydromechanicznej. Najpierw było to połączenie sprzęgła hydrokinetycznego z przekładnią planetarną, później sprzęgło zostało zastąpione przekładnią hydrokinetyczną.

Przekładnia hydrokinetyczna jest elementem umożliwiającym płynne ruszanie samochodu, ale dodatkową jej rolę jest zwiększanie wartości wyjściowego momentu obrotowego. Pozwala to zredukować liczbę stopniowanych przełożeń w przekładni planetarnej.

Przekładnia mechaniczna w postaci przekładni zębatej planetarnej wraz ze sterowaniem realizowanym przez hydraulicznie uruchamiane sprzęgła i hamulce pozwala dodatkowo zmienić wartość prędkości i momentu obrotowego jaki skrzynia biegów otrzymuje na wyjściu z przekładni hydrokinetycznej.

Pierwsze automatyczne skrzynie biegów miały 4 stopniowane przełożenia i sprzęgło hydrokinetyczne, potem po wprowadzeniu przekładni hydrokinetycznej liczbę przełożeń zmniejszono do 2 lub 3, jednak w miarę rozwoju techniki liczba biegów od połowy lat 70 zwiększała się początkowo do 4 a potem do 5, co jest obecnie standardem.

Jako przekładnie planetarne najczęściej stosuje się złożone mechanizmy planetarne - Simpsona, Ravigneaux lub Lepelletiera umożliwiające uzyskanie do sześciu przełożeń.

W najnowszych rozwiązaniach zyskują na popularności skrzynie sześciobiegowe. Pierwsza konstrukcja należała do firmy ZF i została skonstruowana dla samochodów BMW w 2001 roku. Ostatnie rozwiązania skrzyń oferują siedem (różne modele samochodów Mercedes-Benz, od 2003 roku) , a nawet osiem przełożeń (konstrukcja firmy AISIN AW dla samochodu Lexus, model LS 460 od roku 2006).

#### **4. Wymagania stawiane konstrukcjom automatycznych skrzyń biegów**

Niezależnie od tego jaki wariant realizacji skrzyni biegów zostanie przyjęty, to wymagania funkcjonalne wobec skrzyni biegów pozostają zawsze te same:

- maksymalizacja komfortu jazdy,
- ograniczenie zużycia paliwa,
- zapewnienie odpowiedniej dynamiki jazdy,
- ograniczenie zajmowanej przez skrzynię biegów przestrzeni,
- możliwie niskie koszty produkcji.

O komforcie jazdy w odniesieniu do skrzyń biegów stanowią: zmiana biegów bez szarpnięć i bez skoków prędkości, niezależnie od obciążenia silnika i warunków pracy oraz mała hałasliwość. Ponadto wymaga się aby podczas całego okresu eksploatacji nie następowało zmniejszenie poziomu komfortu.

Małemu zużyciu paliwa sprzyjają następujące cechy skrzyni biegów:

- duża całkowita rozpiętość przełożeń,
- duża sprawność mechaniczna,
- „inteligentny” program (strategia) zmiany biegów,
- łatwe sterowanie niewymagające użycia dużej siły,
- odpowiednie sterowanie podczas postoju, małe opory hydrauliczne i inne.

O dobrej dynamice jazdy decydują takie cechy jak:

- dopasowanie chwili przełączania biegu do sytuacji drogowej,
- rozpoznanie typu (charakteru kierowcy),
- zdolność przyspieszania,
- duża intensywność hamowania silnikiem podczas jazdy w górach,
- wstrzymanie zmiany biegu podczas szybkiej jazdy na zakręcie,
- dostosowanie się do warunków zimowych.

W zakresie analizy kryterium zajmowanej przestrzeni w przypadku napędu tylnego jak najmniejsza powinna być szerokość skrzyni, a dla przedniego długość. Oprócz tego istnieją dokładne wytyczne związane z zasadami biernego bezpieczeństwa samochodu.

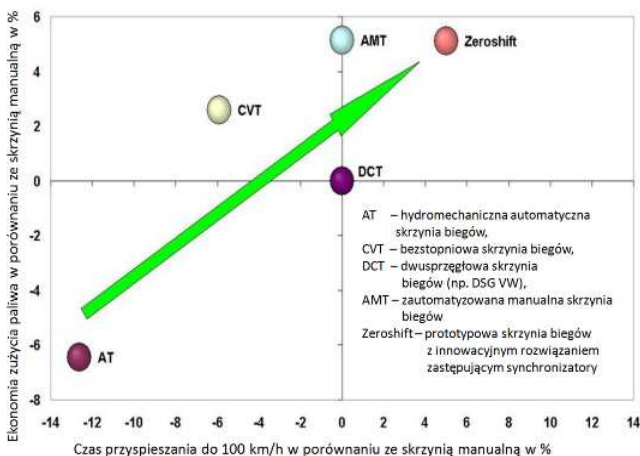
Ostatnie, bardzo istotne szczególnie w mniejszych i tańszych samochodach, jest kryterium kosztów produkcji, które powinny być możliwie najniższe. Sposoby osiągnięcia niskich kosztów produkcji stanowią:

- masowość produkcji,
- zapewnienie łatwego wbudowania układu sterowania,
- zautomatyzowanie montażu.

## 5. Wady automatycznych skrzyń biegów na tle innych rozwiązań

Brak popularności automatycznych skrzyń biegów w Europie wynika w sporej mierze z niedoskonałości ich rozwiązań w stosunku do oczekiwań europejskich kierowców. Jedną z istotniejszych wad, która przez wiele lat pozostawała mało istotną na rynku amerykańskim jest podwyższone w stosunku do samochodów ze skrzyniami manualnymi zużycie paliwa. Wada ta jednakże okazała się być istotną także na rynku amerykańskim w ostatnich kilku latach, odkąd koszty paliwa dosyć znacząco wzrosły także na tamtejszym rynku.

Inną wadą jest jakość sterowania, która musi zaspokoić gusta wielu kierowców i ich stylów prowadzenia pojazdu, które mogą być bardzo odmienne, często także nawet u tego samego kierowcy. Porównanie takich wad i zalet przedstawiono na podstawie [3] na rys. 4.



*Rys. 4. Porównanie wpływu różnych skrzyń biegów na zużycie paliwa i dynamikę jazdy (skrzynia DSG pierwszej generacji)*

Dlatego też konstruktorzy od wielu lat dążą do ograniczania wpływu skrzyni biegów na wzrost zużycia paliwa a z drugiej do poprawy jakości sterowania pracą skrzyni biegów.

## 6. Rozwiązania zmniejszające zużycie paliwa

Producenci automatycznych skrzyń biegów przez kilka dekad ich produkcji starają się poszukiwać możliwych rozwiązań wpływających na uzyskanie mniejszego zużycia paliwa. Rozwiązania te mieszczą się w tak wielu obszarach jak wiele po stronie skrzyń biegów jest czynników na to zużycie wpływających.

### 6.1 Zwiększenie ilości przełożeń

Jedną z wyraźnie widocznych ostatnio tendencji jest zwiększanie liczby biegów w skrzyniach biegów i to zarówno manualnych jak i automatycznych. O ile w przypadku manualnych grozi to zwiększeniem komplikacji w doborze biegu po stronie kierowcy to w skrzyniach automatycznych nie wpływa to na komfort pracy kierowcy związany z wyborem biegu.

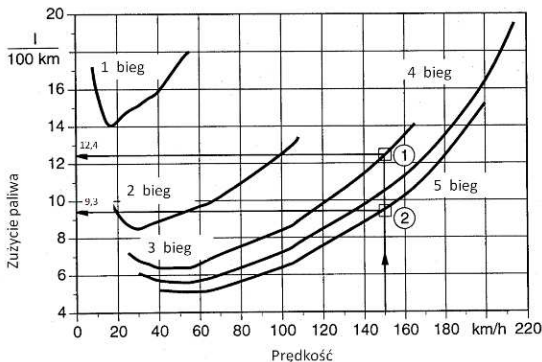
Nowa 8 biegowa skrzynia biegów firmy ZF dla samochodów osobowych, wprowadzona do produkcji w 2007 roku, zbudowana na bazie koncepcji użycia 4 zestawów planetarnych i 5 elementów przełączających wykorzystując 8 dostępnych przełożeń umożliwia zmniejszenie zużycia paliwa o około 6% w stosunku do zaprezentowanej w 2006 roku drugiej generacji skrzyni 6 biegowej [4].

Z kolei w porównaniu ze skrzynią 5 biegową redukcja zużycia paliwa sięga około 14%. Jednocześnie nowa skrzynia umożliwia przenoszenie większej wartości momentu obrotowego przy tych samych gabarytach skrzyni biegów. Dokładniejsze porównanie przedstawiono na rys. 5.



**Rys. 5.** Zmiany w doborze i rozpiętości przełożeń 5 i 8 biegowej skrzyni biegów i korzyści w zużyciu paliwa

Na rys. 6. przedstawiono przykładowy wpływ doboru przełożenia oraz prędkości jazdy na zużycie paliwa.



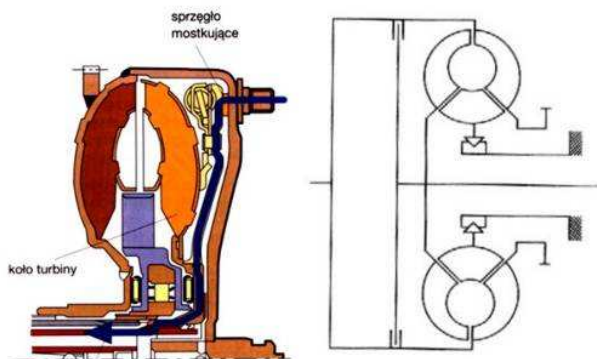
**Rys. 6.** Wykres zmian zużycia paliwa w zależności od wyboru przełożenia i prędkości jazdy

## 6.2 Szybsze załączanie sprzęgła blokującego (Lock-up)

Problemem przekładni hydrokinetycznych jest ich dosyć mocno ograniczona sprawność. W punkcie, w którym wartość przełożenia dynamicznego osiąga wartość 1, kończy się zakres wzmacniania wyjściowego momentu obrotowego. Przy dalszym wzroście przełożenia przy na stałe związanej z obudową skrzyni biegów kierownicy otrzymuje się wartości przełożenia dynamicznego niższe od jedności. Punkt ten nazywa się punktem sprzęgnięcia przekładni. Dla zlikwidowania tej włościwości stosuje się kierownicę związaną z korpusem przekładni nie na stałe tylko za pośrednictwem sprzęgła jednokierunkowego. Przy takiej konstrukcji od punktu sprzęgnięcia przekładnia pracuje tak jak sprzęgło hydrokinetyczne przejmując jego charakterystykę. Wtedy wartość przełożenia utrzymywana jest na poziomie 1 do przełożenia kinematycznego równego około  $i_k=0,97$ , potem gwałtownie spada. Natomiast sprawność przekładni zamiast maleć od punktu sprzęgnięcia (przy wzroście przełożenia kinematycznego) znacząco rośnie aż do wspomianej wartości około  $i_k=0,97$ , a potem również gwałtownie spada.

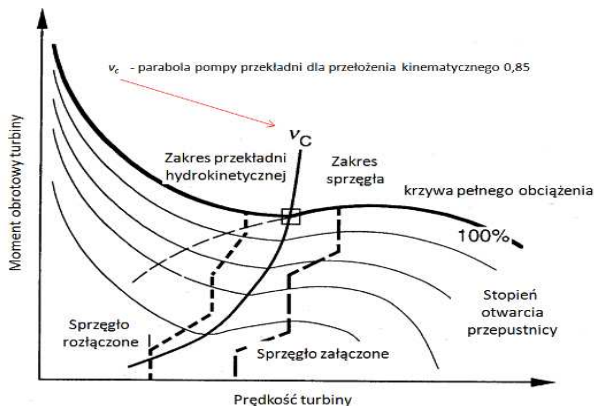
Aby rozwiązać i ten problem, przekładnie wyposażono w mechanizm pozwalający na ich ominięcie w pewnych warunkach pracy przekładni poprzez połączenie wejścia i wyjścia przekładni mechanicznie poprzez sprzęgło cierne. Na rys. 7 przedstawiono rozwiązanie techniczne takiego sprzęgła oraz schemat kinematyczny. Jednak zastosowanie sprzęgła cierne i „obejście” przekładni hydrokinetycznej oprócz wykluczenia wad wyłącza także jej zalety w postaci efektu tłumienia drgań generowanych przez silnik.

W związku z tym konieczne jest zastosowanie rozwiązań pozwalających tłumić te drgania, tak aby komfort jazdy pozostał niezmienny. Na rysunku 8 pokazano krzywe momentu turbiny (momentu wejściowego przekładni planetarnej) dla krzywej pełnego obciążenia i obciążen częściowych [1].



**Rys. 7.** Widok przekroju przekładni hydrokinetycznej ze sprzęgłem blokującym oraz uproszczony schemat kinematyczny takiego rozwiązania

Punkty załączenia sprzęgła blokującego rozmieszczone są zgodnie z przebiegiem charakterystyki momentu obrotowego wykorzystywanego w wirniku pompy  $M_p = f(n_p)$  dla przełożenia kinematycznego równego  $\nu=0,85$  dla punktu sprzęgnięcia.



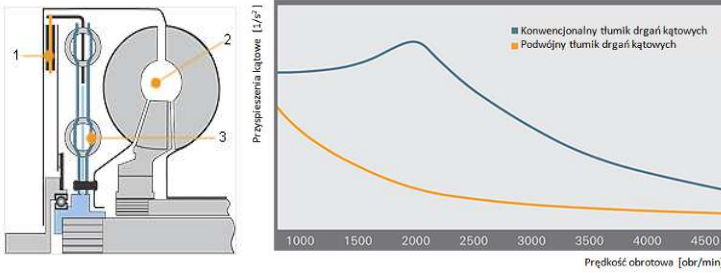
**Rys. 8.** Dobór punktu załączenia sprzęgła blokującego (lock-up)

Gdy przekładnia posiada sprzęgło blokujące to jest ono załączone normalnie tylko dla fazy sprzęgłowej pracy przekładni hydrokinetycznej, dla zapewnienia płynności samego procesu załączania. Ale możliwe jest także wcześniejsze załączenie. Rozłączenie następuje tylko w fazie pracy przekładni. Proces rozłączania - załączania musi być sterowany tak aby zachować komfort pracy układu napędowego [5].

W tradycyjnych sprzęgłach blokujących załączenie następuje tylko na wyższych biegach, które są mniej czułe na drgania podczas zmiany biegu lub zmian obciążenia. Przy schodzeniu do niskich prędkości turbiny i pojawieniu się nagłego zapotrzebowania na moment obrotowy pojawia się pytanie czy rozłączyć sprzęgło i skorzystać ze wzmocnienia przekładni hydrokinetycznej czy też zmienić bieg na niższy pozostając przy załączonym sprzęgle blokującym. W drugiej generacji sześciobiegowych skrzyń automatycznych firmy ZF załączenie sprzęgła blokującego odbywa się wcześniej aniżeli we wcześniejszych generacjach, redukując subiektywne uczucie opóźnienia podczas przyspieszania i zmniejszając zużycie paliwa.

Podwójny tłumik drgań skrętnych (twin torsional damper – twin TD) redukuje drgania skrętne poprawiając komfort akustyczny, szczególnie w obszarze niskich prędkości obrotowych silnika. Konstrukcję i uzyskiwane zmiany charakterystyki przedstawiono na rys. 9.

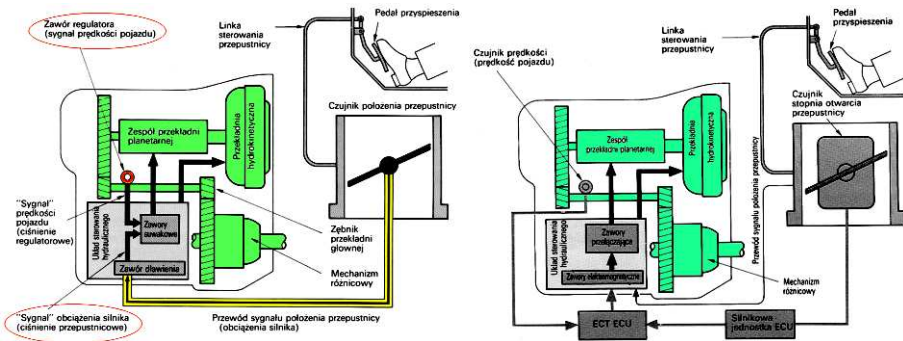




Rys. 9. Sprzęgło blokujące z podwójnym tłumikiem drgań skrętnych i korzyści jego zastosowania

### 6.3 Adaptacyjne programy sterowania zmianą przełożeń

Zmiana biegów w automatycznej skrzyni biegów realizowana jest automatycznie bez udziału kierowcy. Odbywa się to na podstawie dwóch zasadniczych sygnałów – jednego określającego prędkość samochodu i drugiego określającego stopień obciążenia silnika. W tym drugim przypadku może to być stopień otwarcia przepustnicy lub podciśnienie w kolektorze dolotowym. Różnice w koncepcji sterowania tradycyjnego i elektronicznego przedstawiono na rys. 10.



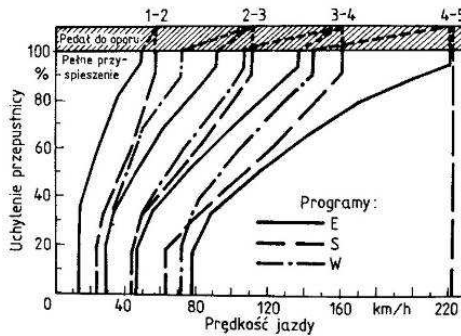
Rys. 10. Struktura sterowania automatyczną skrzynią biegów

Tradycyjne skrzynie biegów posiadały jeden wzorzec zmiany przełożeń, którego realizacja była zależna od parametrów konstrukcyjnych układu sterującego automatycznej skrzyni biegów.

W nowszych skrzyniach biegów, poczynając od początku lat 90-tych powszechnym stało się stosowanie elektrohydraulicznego układu sterującego pozwalającego na zastosowanie więcej niż jednego wzorca zmiany przełożeń.

Przykładem może być przekładnia automatyczna firmy ZF o oznaczeniu 5HP18 mogąca pracować w trzech trybach: ekonomicznym, sportowym i zimowym (manualnym) - rys. 11. Wybór programu należy do kierowcy i realizowany jest za pomocą przełącznika umieszczonego przy dźwigni zmiany biegów. W trybie ekonomicznym, zmiana biegów realizowana jest przy niższej prędkości obrotowej,

bez wysilania silnika. Aktywacja programu sportowego umożliwia silnikowi i przekładni osiąganie wyższych zakresów prędkości oraz pełne wykorzystanie górnego zakresu mocy i momentu obrotowego. Tryb zimowy ogranicza automatyczne działanie przekładni wyłącznie do jednego biegu, wybranego przez kierowcę.



**Rys. 11.** Wzorec zmiany przełożeń skrzyni biegów podczas zwiększania prędkości

Najnowsze rozwiązania idą jeszcze dalej i starają się uwzględniać również inne zmienne w doborze sterowania a nawet wyborze jego strategii, która w przypadku przedstawionej skrzyni biegów wybierana była przez kierowcę w sposób ręczny.

Firma ZF wprowadziła w 2008 r. do produkcji w pojazdach komercyjnych, szczególnie w autobusach, skrzynie biegów z programem zmiany biegów adaptujący się do ukształtowania trasy przejazdów.

Program ten nazwano TopoDyn i zastosowano w serii skrzyń ZF Ecomat [6]. Skrzynie te zostały zaprojektowane z myślą o trudach eksploatacji w komunikacji miejskiej. Zainstalowane oprogramowanie sterujące rozpoznaje topografię danej linii i na tej podstawie wykonuje kalkulację który z trzech dostępnych trybów pracy skrzyni biegów (Eco, Normal, Power) jest w danej sytuacji najbardziej ekonomiczny i uruchamia go.

Podczas testów zużycia paliwa, przeprowadzonych w 2008 r. w kilku miastach USA, połączenie skrzyni biegów Ecomat i programu TopoDyn okazało się dawać większe oszczędności w zużyciu paliwa, niż obecnie dostępne przekładnie hybrydowe, oferowane na rynku amerykańskim przez konkurenta ZF. Uzyskiwane oszczędności sięgały od 3 do nawet 19 procent.

Testy zużycia paliwa przeprowadzone w kilku metropoliach na całym świecie potwierdziły, że dzięki stosowaniu automatycznej, 6-stopniowej skrzyni biegów ZF Ecomat w połączeniu z inteligentnym systemem przełączania przełożeń TopoDyn możliwe jest ograniczenie zużycia paliwa nawet do 19%.

## 7. Podsumowanie

Przedstawione w artykule podstawowe zasady funkcjonowania i sterowania automatycznych skrzyń biegów oraz porównanie ich z różnymi innymi konstrukcjami

pokazuje jak dużym obszarem przemysłu i zaawansowanej wiedzy inżynierskiej w technice samochodowej są skrzynie biegów.

Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne stosowane w skrzyniach biegów dla zmniejszenia zużycia paliwa są zaledwie kilkoma przykładami z szerokiego pakietu zmian konstrukcyjnych jakim podlegają nowoczesne skrzynie biegów. Nie wspomniano ze względu na ograniczoną objętość artykułu o podnoszeniu sprawności mechanicznej stosowanych w skrzyniach mechanizmów poprzez zmniejszanie strat tarcia, przepływów czy też wagi podzespołów.

Zwrócono za to uwagę na jeden z najistotniejszych aspektów poprawy efektywności współczesnych skrzyń biegów poprzez doskonalenie algorytmów i programów sterowania skrzyniami biegów oraz wynikające z tego zmiany konstrukcyjne dające możliwość technicznej realizacji coraz bardziej skomplikowanych strategii.

Warto w podsumowaniu podkreślić ogromne znaczenie rozwoju alternatywnych rozwiązań automatycznych skrzyń biegów, takich jak chociażby skrzynie dwusprzęgowe, które w przypadku samochodów koncernu Volkswagen-Audi zwiększyły popyt na samochody z automatyczną skrzynią biegów z 5...10 % do wartość przekraczających 25%.

Automatyczne skrzynie biegów są też często podstawą budowy przekładni do pojazdów o napędzie hybrydowym – przykłady takich rozwiązań spotkać można w napędach firmy GM Allison czy też firmy Eaton, a także w pojazdach osobowych we wspólnym rozwiązaniu firm BMW, Mercedes i General Motors.

## 8. Literatura

1. Lechner G. Naunheimer H.:Automotive Transmissions –Fundamentals, Selection, Design and Application, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
2. Walkowiak J.: Badania i modelowanie pracy układu napędowego samochodu z automatyczną skrzynią biegów, Praca dypl., P-ń 2007.
3. Zeroshift - Automated Manual Transmission - the World's most advanced AMT with seamless shifts, artykuł dostępny: <http://www.zeroshift.com> , 03.2010
4. The Freedom to Exceed the Limits, materiały promocyjne firmy ZF, dostępne na stronach firmy <http://www.zf.com/>, 03.2010
5. Chinwon L. i inni: Slip control strategy for an automatic transmission vehicle, Journal of Mechanical Science and Technology, Volume 17, Number 4 / April, 2003.
6. TopoDyn Life Continuous shift program for all route profiles, artykuł dostępny: <http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/ecolife/topodyn/topodyn.html>, 03.2010.