

Grzegorz ŚLASKI<sup>1</sup>  
Janusz WALKOWIAK<sup>2</sup>

### **HAMOWANIE SILNIKIEM SAMOCHODU WYPOSAŻONEGO W AUTOMATYCZNĄ SKRZYNIĘ BIEGÓW**

Autorzy niniejszej pracy wykonali badania drogowe procesu hamowania silnikiem w samochodzie wyposażonym automatyczną skrzynią biegów. Celem tych badań było znalezienie odpowiedzi na temat sposobu pracy przekładni hydrokinetycznej w takim trybie oraz ustalenia jaki jest poziom momentu hamowania silnikiem oraz jakie są uzyskiwane opóźnienia samochodu. W tym celu samochód został wyposażony w szereg dodatkowych czujników i poddany badaniom w warunkach normalnego ruchu drogowego.

Po analizie otrzymanych danych przedstawiono uzyskane wyniki w postaci wykresów a uzyskane średnie wartości opóźnień porównano z szacunkowymi wartościami dla samochodu osobowego wyposażonego w manualną skrzynię biegów przy tym samym silniku.

### **VEHICLE WITH AUTOMATIC TRANSMISSION DECELERATING WITH ENGINE BRAKING TORQUE**

The author carried out some road tests to find the real traffic conditions of torque converter's work at the engine braking phase as well as to find the level of engine braking torque transmitted through the converter. The tests were made using various ranges of automatic transmission working modes. Car was equipped with some additional sensors – throttle position, car velocity, engine rotational speed, transmission speed and driveshaft torque sensor allowing to measure torque level during various traffic conditions.

Keywords – vehicle dynamics, automatic transmission, road tests, engine drag torque, torque converter

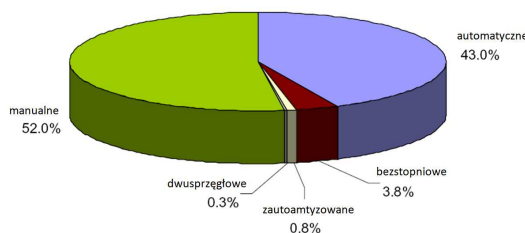
---

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, 061 6652 880, e-mail: Jerzy.Kupiec@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, 061 6652 222, 775, e-mail: grzegorz@slaski.eu

## 1. WPROWADZENIE

Rynek skrzyń biegów na świecie jest podzielony dosyć równo pomiędzy skrzynie biegów automatyczne i manualne – rysunek 1.



Rys. 1. Podział światowego rynku skrzyń biegów [1]

Występują jednak duże różnice jeśli chodzi o udział w rynku wybranych rodzajów skrzyń jeśli chodzi o Europę, Stany Zjednoczone i Japonię. Największy udział skrzyń automatycznych występuje na rynku amerykańskim i sięga on 85%, kilka procent to skrzynie bezstopniowe (CVT) - pozostała część rynku to skrzynie manualne. Mniejszy udział w rynku mają skrzynie automatyczne w Japonii – jest to 60 % a pozostałe 40 po równo podzielone jest pomiędzy skrzynie manualne i bezstopniowe.

W Europie 80% skrzyń biegów to skrzynie manualne. Udział w rynku skrzyń automatycznych sięga zaledwie 15% resztą zajmują skrzynie zautomatyzowane, bezstopniowe i coraz liczniejsze skrzynie dwusprzęgłowe [1].

Właściwości dynamiczne samochodu wyposażonego w automatyczną skrzynię biegów z przekładnią hydrokinetyczną są odmienne od właściwości samochodu wyposażonego w sprzęgło cierne. Jest to głównie konsekwencja charakterystyki przekładni hydrokinetycznej nazywanej czasami poprzez dosłowne tłumaczenie z języka angielskiego przetwornikiem momentu.

W literaturze można znaleźć wiele publikacji opisujących charakterystyki przekładni hydrokinetycznej podczas przenoszenia momentu od silnika do przekładni planetarnej i dalej do kół. Jest to naturalny charakter pracy takiej przekładni i w tym kierunku przenoszenia momentu została zoptymalizowana jej konstrukcja tak aby uzyskiwać w początkowym okresie pracy maksymalne wzmocnienie momentu obrotowego wprowadzanego przez pompę a wyprowadzanego przez turbinę przekładni a następnie aby uzyskiwać maksymalną sprawność takiej przekładni.

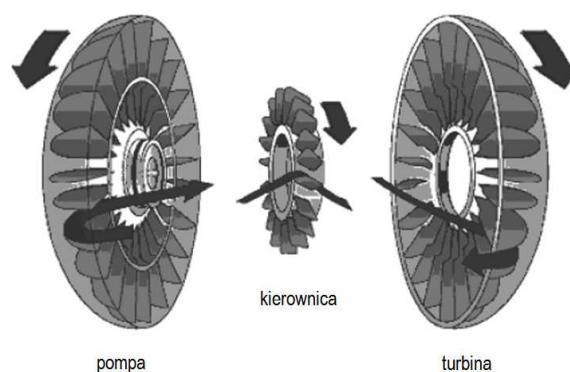
Problemem jest niewielka ilość publikacji na temat przenoszenia momentu w drugą stronę – tzn. od wału wirnika do wału pompy, a z takim zjawiskiem mamy do czynienia podczas napędzania silnika przez układ napędowy, który z kolei napędzany jest poprzez sprzężenie cierne kół z nawierzchnią, bezwładnością samochodu. Proces ten nazywany jest hamowaniem silnikiem pojazdu a z punktu widzenia pracy przekładni można go określić napędem odwróconym. Proces ten nie jest domyślnym stanem pracy przekładni hydrokinetycznej i różni się od tego samego procesu w samochodzie ze sprzęgłem ciernym.

Autorzy pracy przyjrzeni się bliżej wpływowi pracy przekładni hydrokinetycznej poprzez obserwacje zewnętrznych objawów w postaci wpływu na dynamikę procesu hamowania silnikiem podczas badań drogowych.

## **2. PRZEKŁADNIA HYDROKINETYCZNA I JEJ ROLA W UKŁADZIE NAPĘDOWYM**

Przekładnia hydrokinetyczna jest podzespołem zastępującym w swojej funkcjonalności w automatycznej skrzyni biegów sprzęgło cierne stosowane w skrzyni biegów manualnej. Rolą jej w tej funkcji jest umożliwienie połączenia lub rozłączenia silnika od skrzyni biegów tak aby podczas postoju pojazdu silnik mógł pracować z minimalną prędkością obrotową, podczas gdy elementy skrzyni biegów mogą pozostawać nieruchome a podczas ruchu pojazdu możliwe było przeniesienie momentu obrotowego do skrzyni biegów i dalej do przekładni głównej i kół samochodu.

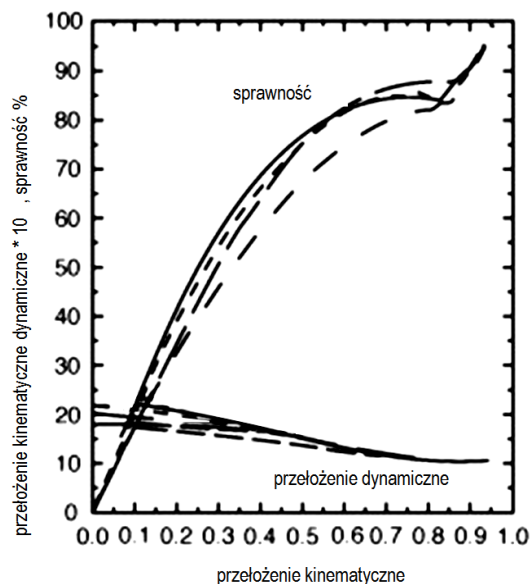
Dodatkowo przekładnia hydrokinetyczna spełnia rolę bezstopniowej przekładni zwiększającej wartość przenoszonego momentu obrotowego. Odbywa się to co prawda wg z góry ustalonej charakterystyki zależnej od względnej różnicy prędkości pomiędzy łączonymi wałami ale pozwala zastosować w przekładni planetarnej mniejszą minimalną potrzebną ilość przełożeń niż w przypadku stosowania sprzęgła cierne. Typowe wartości wzmocnienia momentu w samochodach osobowych to od 1.8 do 2.5 raza [2].



*Rys. 2. Główne element przekładni hydrokinetycznej [4]*

Typowa przekładnia hydrokinetyczna używana w automatycznych skrzyniach biegów to jednostopniowa dwufazowa przekładnia nazywana w języku angielskim jako Trilok ze względu na nazwę konsorcjum TRILOK, które ją opracowało [2]. Kilka przykładowych charakterystyk takiej przekładni przedstawiono na rysunku 3.

Ten typ przekładni hydrokinetycznej łączy zalety sprzęgła hydrokinetycznego oraz przekładni hydrokinetycznej. W pierwszej fazie przekładnia typu Trilok pracuje jako przekładnia hydrokinetyczna, natomiast w drugiej kierownica przekładni jest zwalniana ze stanu zatrzymania względem obudowy skrzyni biegów przez sprzęgło jednokierunkowe i wtedy przekładnia pracuje jako sprzęgło hydrokinetyczne. Poprawia to sprawność pracy przekładni w tej drugiej fazie.



Rys 3. Przykład charakterystyk przekładni hydrokinetycznej [4].

### 3. HAMOWANIE SILNIKIEM

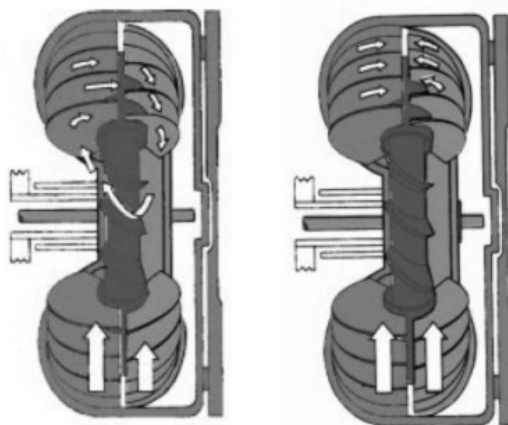
Sytuacja w której samochód porusza się z pedałem gazu puszczonego i załączonym układem napędowym nazywana jest stanem hamowania ruchu samochodu przy pomocy oporów pracy silnika. W języku angielskim taki stan nazywany bywa jako „vehicle coasting”. W tym stanie charakterystyczne jest to, że w przekładni hydrokinetycznej odwraca się sytuacja i to turbina ma prędkość wyższą od prędkości pompy czyli tym samym silnika. Wtedy przełożenie kinematyczne przekładni osiąga wartość większą od 1. Podobnie jednak jak można to zaobserwować na rysunku 3, większość publikowanych charakterystyk przekładni hydrokinetycznych podawana jest dla zakresu przełożeń kinematycznych od 0 do 1.

Od wartości przełożenia kinematycznego równego ok. 0,8...0,9 przekładnia hydrokinetyczna dwuzakresowa pracuje tak jak sprzęgło hydrokinetyczne. Tak samo jest dla przełożeń kinematycznych większych od 1.

W przekładni hydrokinetycznej występują dwa rodzaje ruchu strumienia cieczy – jeden związany z przepływem w przestrzeniach międzyłopatkowych i drugi związany z wirowaniem turbiny i pompy.

W efekcie można powiedzieć, że ciecz z jednej strony wiruje wraz z obudową przekładnia a z drugiej strony może wykonywać ruch spiralny poprzez przepływ strumienia przez przestrzenie międzyłopatkowe spowodowane różnicą prędkości obrotowych wirników pompy i turbiny a tym samym różnicę sił odśrodkowych działających na cząstki cieczy w jednym i drugim wirniku.

Rysunek 4 pokazuje kierunek przepływu przez przestrzenie międzyłopatkowe i różnice w prędkościach obrotowych wirników. Na prawym rysunku widoczne jest, że ten przepływ ustaje w przypadku wyrównania prędkości obu wirników.



Rys 4. Kierunki przepływu strumienia cieczy przez wirniki pompy i turbiny przy różnych wzajemnych prędkościach obrotowych

Gdy kierowca zwolni pedał gazu to możliwe jest powstanie sytuacji, w której prędkość turbiny będzie większa niż prędkość wirnika pompy równa prędkość obrotowej silnika. W tej sytuacji, podczas zmniejszania prędkości samochodu, poprzez koła napędzające samochodu układ napędowy zaczyna przenosić moment w odwrotnym kierunku przez skrzynię biegów do silnika. Silnik w tej sytuacji dając ujemną wartość momentu napędowego zaczyna pracować jako rodzaj hamulca dla układu napędowego i całego samochodu. Wartość tego momentu to wartość momentu hamowania silnikiem.

Gdy silnik pracuje z małą prędkością i w skrzyni biegów przełożenie ma niską wartość (wysoki bieg) to efekt hamowania silnikiem dla całego pojazdu będzie niewielki.

Dodatkowo wiele automatycznych skrzyń biegów wykorzystuje sprzęgła jednokierunkowe do blokowania elementów przekładni planetarnych. Dają one możliwość szybkiego zmieniania biegów ze względu na brak konieczności przełączeń dwóch hamulców lub sprzęgieł a tylko tego jednego jednokierunkowego funkcjonującego automatycznie.

Minusem ich stosowania jest jednak możliwość przekazania napędu tylko w jedną stronę – od silnika do kół. W efekcie nie jest możliwe uzyskanie efektu hamowania silnikiem. Dlatego też w wielu skrzyniach biegów stosuje się dodatkowe sprzęgła aby blokować sprzęgła jednokierunkowe na czas hamowania silnikiem.

Wymuszona redukcja biegu podczas hamowania silnikiem jest w stanie zapewnić zwiększenie wartości momentu hamującego na kołach i umożliwienie kontrolowania prędkości np. zjeżdżającego ze wzniesienia pojazdu bez użycia hamulców, co zabezpiecza te ostatnie przed przegrzaniem.

#### 4. SAMOCHÓD BADAWCZY I APRATURA TESTOWA

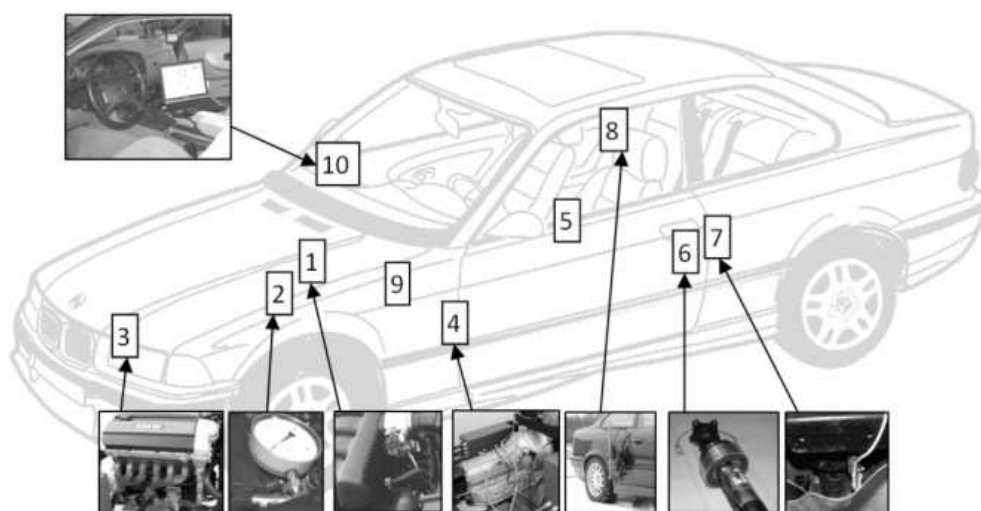
Autorzy pracy do zbadania w warunkach rzeczywistej eksploatacji procesu hamowania silnikiem w samochodzie wyposażonym w automatyczną skrzynię biegów wykorzystali

samochód BMW E36 wyposażony w skrzynię firmy ZF o symbolu 5HP18 (A5S310Z), która wykorzystuje złożony mechanizm planetarny Ravigneaux i dodatkowy prosty mechanizm planetarny dając w efekcie 5 biegów do jazdy w przód i jeden wsteczny. Bieg pierwszy, drugi i wsteczny uzyskiwane są poprzez kombinację przełożeń obu tych mechanizmów planetarnych. W skrzyni zastosowano przekładnię hydrokinetyczną typu Trilok wyposażoną dodatkowo w cierne sprzęgło blokujące załączane przez sterownik w pewnych stanach jazdy na biegu 4 i 5. Załączenie tego sprzęgła uzależniane jest w programie sterującym od stanu otwarcia przepustnicy. Podczas poruszania się samochodu z zamkniętą przepustnicą sprzęgło to zawsze pozostaje rozłączone. Załączone jest zawsze podczas napędzania gdy prędkość samochodu osiąga wartość większą niż 150 km/h [6].

Samochód wyposażony jest w silnik ZI o symbolu M50B25 z systemem zmiany faz rozrządu VANOS.

Na czas badań samochód został wyposażony w dodatkowy zestaw czujników wielkości niezbędnych do analizy.

W systemie Matlab/Simulink napisano procedury przetwarzania danych i zaimplementowano później w systemie czasu rzeczywistego firmy dSpace w celu dokonania akwizycji danych i ich obserwacji podczas badań.



Rys 5. Dodatkowe czujniki zamontowane w samochodzie na czas badań drogowych: 1 – czujnik kąta otwarcia przepustnicy, 2 – czujnik ciśnienia płynu hamulcowego, 3 – czujnik prędkość obrotowej silnika, 4 – czujnik prędkości obrotowej turbiny, 5 – czujnik przyspieszenia wzdłużnego, 6 – czujnik momentu na wale napędowym, 7 - czujnik prędkości obrotowej wału napędowego, 8 – optyczny czujnik VI prędkości wypadkowej samochodu, 9 – czujnik rozpoczęcia hamowania, 10 – odbiornik GPS

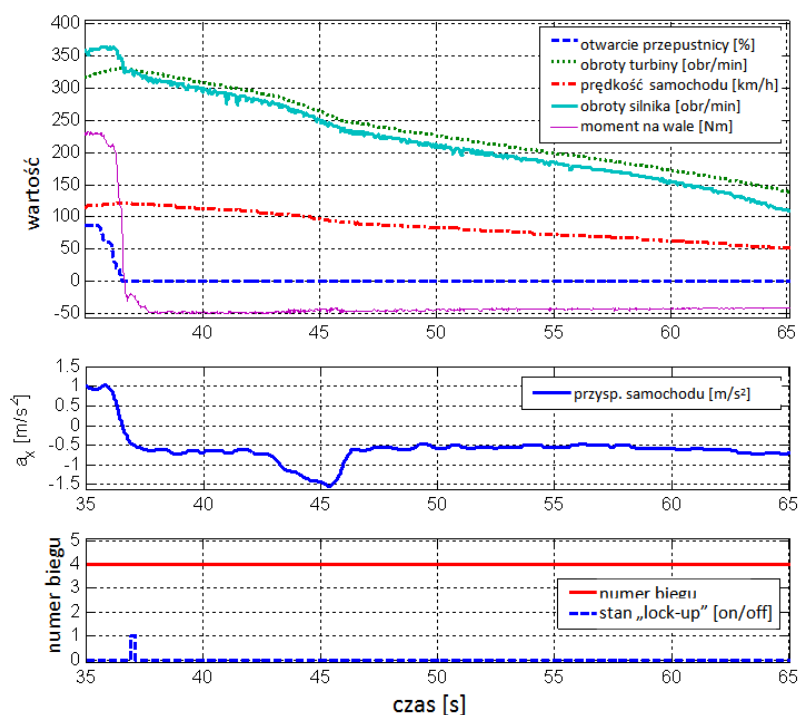
#### 4. ANALIZA WYNIKÓW TESTÓW DROGOWYCH PROCESU HAMOWANIA SILNIKIEM

Testy drogowe zostały wykonane przy użyciu opisanego samochodu w mieście Poznaniu, w obszarze podmiejskim a także na odcinku przebiegającej w okolicach Poznania autostrady.

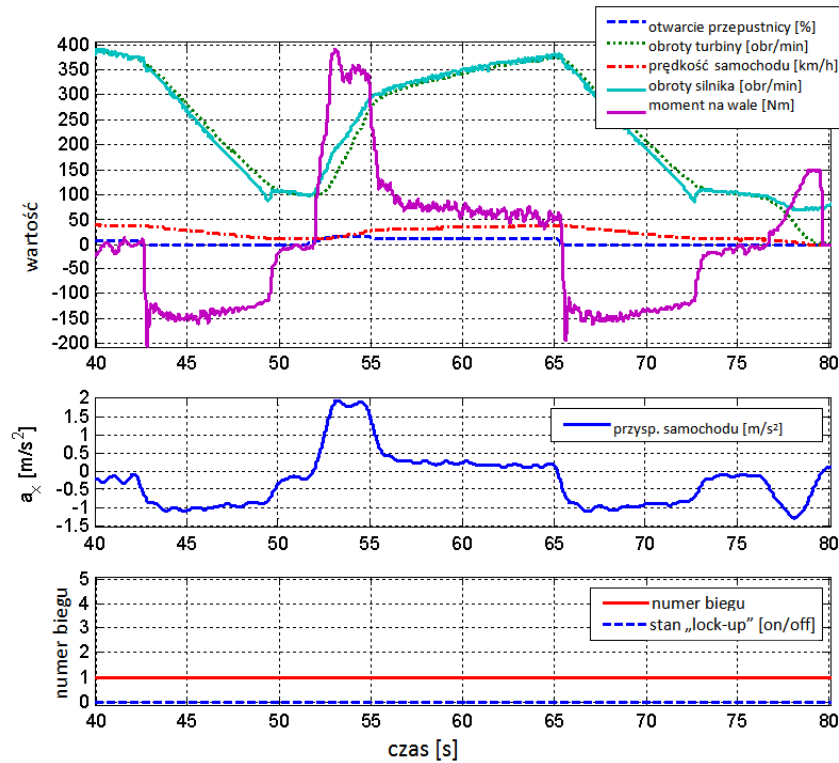
Testy prowadzono w normalnym ruchu drogowym z użyciem samochodu obciążonego dwiema osobami oraz aparaturą badawczą.

Po zarejestrowaniu danych podczas testów w rzeczywistych warunkach drogowych dokonano analizy otrzymanych danych przy pomocy specjalnie zbudowanej procedury programowej dla analizy tych danych w systemie Matlab/Simulink. Po wykonaniu szeregu obliczeń możliwe było uzyskanie wykresów najistotniejszych parametrów, tak jak pokazano to na rysunku 6 i 7.

Analizując przedstawione wyniki badań drogowych, zaprezentowane m. in. na rysunkach 6 i 7, możliwe było ustalenie szacunkowej relacji pomiędzy prędkością obrotową wirnika turbiny przekładni hydrokinetycznej i pompy.



Rys 6. Sygnały stanu pojazdu podczas procesu hamowania silnikiem w czasie zwalniania z prędkości 130 km/h do prędkości 50 km/h (zakres pracy skrzyni – D, program sterowania - E, nr biegu 4, przełożenie skrzyni na tym biegu równe 1)



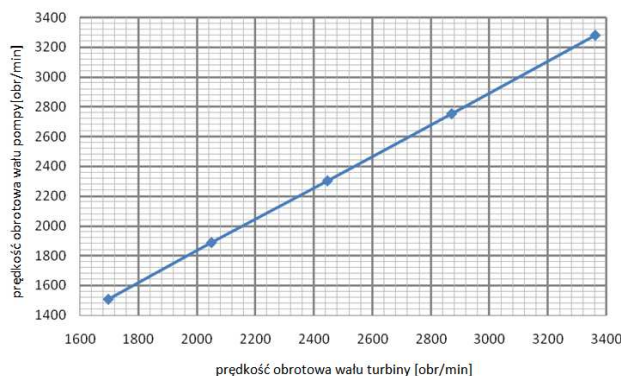
Rys 7. Sygnały stanu dynamiki pojazdu podczas procesu hamowania silnikiem w czasie jazdy miejskiej przy zwalnianiu z 50 km/h do 0 km/h (zakres pracy skrzyni – 2, program sterowania - E, nr biegu 1, przełożenie skrzyni na tym biegu równe 3,6)

Jak przedstawiono na rysunku nr 8 podczas hamowania silnikiem prędkość obrotowa pompy utrzymywana była przez przekładnię hydrokinetyczną na poziomie o około 100 do 200 obr/min niższym od prędkości obrotowej turbiny przy prędkości turbiny odpowiednio w granicach około 3400 do 1600 obr/min. Odpowiadało to zmianom prędkości samochodu na 4 biegu w zakresie od 130 do 50 km/h.

Obliczając przełożenie kinematyczne dla tych różnic prędkości otrzymamy wartości pomiędzy 1,02 dla wyższych prędkości turbiny (3400 obr/min) do 1,14 dla wartości niższych tej prędkości (1600 obr/min). Widoczne jest więc to, że przekładnia hydrokinetyczna ma większą efektywność przenoszenia momentu przy napędzie odwrotnym wtedy, gdy prędkość turbiny jest większa.

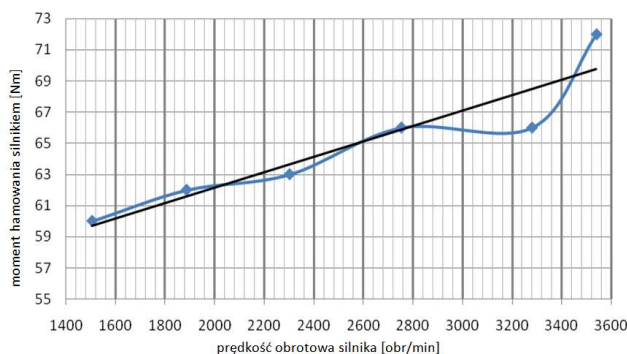
Wielkość uzyskiwanego momentu hamującego na wale napędowym na trzecim biegu w zależności od prędkości obrotowej silnika przedstawiono na rysunku nr 9.





*Rys 8. Zależność prędkości pompy od prędkości turbiny podczas hamowania silnikiem samochodu*

Obliczając wartość momentu hamującego silnika na wałe turbiny (przy uwzględnieniu przełożenia 3 biegu równego 1,407) otrzymamy wielkości momentu hamującego silnika mieszczące się pomiędzy 42 Nm a 50 Nm przy zmianach prędkość obrotowej silnika od 1500 do 3550 obr/min.



*Rys 9. Moment hamowania silnikiem uzyskiwany na wałe napędowym podczas hamowania silnikiem na 3 biegu (przełożenie 1,407)*

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizując otrzymane dane wykazać można, że przekładnia hydrokinetyczna jest w stanie przekazywać moment hamowania silnikiem pozwalając uzyskać efekt spowalniania prędkości pojazdu przy jeździe z zamkniętą przepustnicą. Ten uzyskiwany z silnika moment hamujący może być zwiększony poprzez przekładnie planetarne automatycznej skrzyni biegów a sama efektywność jego generowania może być zwiększona poprzez utrzymywanie silnika w pracy na wyższych prędkościach obrotowych. Sprzyja temu wymuszenie podczas zwalniania samochodu z wykorzystaniem efektu

hamowania silnikiem, skrzyni biegów na niskich biegach o dużych wartościach przełożeń. W starszych konstrukcjach automatycznych skrzyń biegów specjalnie w tym celu przewidziano zakresy pracy skrzyni oznaczone jako 2, 3 lub nawet 1, charakteryzujące się zablokowaniem możliwości automatycznej zmiany biegów powyżej biegów odpowiednio 2, 3 lub 1. Zakresy te zalecane były do wykorzystania podczas np. długotrwałych zjazdów drogami o dużym nachyleniu dla utrzymania prędkość samochodu bez użycia hamulców.

Wartości opóźnień liniowych samochodu jakie uzyskiwano podczas prowadzonych prób, wynikających z podanych wcześniej wartości momentu hamującego mieściły się w przedziale od ok. 0,5 do 1,0 m/s<sup>2</sup> co równe jest poziomowi 30% najczęściej występujących opóźnień hamowania w normalnym ruchu drogowym.

W przyszłych badaniach planowane jest dokładniejsze zbadanie charakterystyk pracy przekładni hydrokinetycznej w tym procesie po zabudowie czujnika momentu obrotowego na wirniku pompy przekładni hydrokinetycznej.

## 6. Literatura

- [1] Geiger S.: Transmission Market Developments, presentation, Engine Expo 2006, Stuttgart, źródło: <http://www.engine-expo.com/>
- [2] Lechner, G., Naunheimer, H.: *Automotive Transmissions - Fundamentals, Selection, Design and Application*, Springer, Berlin, 1999
- [2] Heisler H.: *Advanced Vehicle Technology*, Butterworth-Heinemann Ltd, 2 nd Edition, 2002
- [3] Couturier S.: *Design of a torque converter for a luxury motorcar using Mathcad*, M.Sc. thesis, Cranfield University 2007.
- [4] The MathWorks, Inc., <http://www.mathworks.com/products/industry/auto/>, Products: Industry: Automotive.
- [5] ZF Getriebe GmbH, *Technical description 5HP-18*