

Article citation info:

Radzimiński B, Goszczak J. Generating the pressure to control the gear ratio of a continuously variable transmission in a car. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 74(4): 95-104, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL74.ART9>

Generating the pressure to control the gear ratio of a continuously variable transmission in a car

Wypracowanie ciśnień do sterowania przełożeniem bezstopniowej przekładni samochodowej

Bartosz Radzimiński¹, Jarosław Goszczak²

Politechnika Łódzka

Summary

Continuously variable transmission used in gearboxes allows to reduce the driver's participation in the process of controlling the drive system while driving by using automatic gear ratio control, and due to its flexibility, enables the internal combustion engine to operate in the area of its greatest efficiency. Moreover, it can be used in hybrid drive systems using mechanical energy accumulators. Finding references to empirical correlations including the effect of various signals interfering with the operation of a gearbox equipped with a continuously variable transmission in literature was very difficult, therefore the aim of this study was to bench test the impact of those signals and to define characteristics for controlling pressures in the transmission pulley actuators to achieve the preset gear ratio and the ability to transfer torque. The study was conducted at a test stand simulating the behaviour of an internal combustion engine and the resistance to the movement of a car under steady and transient states. The result were establishing the characteristics for controlling the pressure in the pulley actuators and finding the effects of

¹ Lodz University of Technology, Department of Vehicles and Fundamentals of Machine Design ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Poland, e-mail:bartosz.radzimiński@p.lodz.pl

² Lodz University of Technology, Department of Vehicles and Fundamentals of Machine Design ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Poland, e-mail:jaroslaw.goszczak@p.lodz.pl

temperature and rotational speed of pulleys. While verifying the interfering effect of temperature, it was observed that its effect on the oil was not critical. Temperature had the greatest impact on the operation of solenoid valves, which were responsible for the process of adjusting and maintaining the pressure. Then, with the ability to control pressures in the pulley actuators, maps were created.

Streszczenie

Bezstopniowe przekładnie stosowane w skrzyniach biegów, poprzez zastosowanie automatycznej regulacji przełożenia, pozwalają na zmniejszenie udziału kierowcy w procesie kontrolowania układu napędowego podczas prowadzenia samochodu, a poprzez swoją elastyczność pozwalają na pracę silnika spalinowego w obszarze największej sprawności. Ponadto mogą one być wykorzystane w hybrydowych układach napędowych z zastosowaniem mechanicznego akumulatora energii.

Znalezienie w literaturze empirycznych zależności uwzględniających działanie różnych sygnałów zakłócających pracę skrzyni biegów wyposażonej w bezstopniową przekładnię było bardzo trudne, dlatego zadaniem przeprowadzonych badań było stanowiskowe zbadanie wpływu tychże sygnałów oraz określenie charakterystyk umożliwiających sterowanie ciśnieniami w siłownikach kół pasowych przekładni dla uzyskania potrzebnego przełożenia i zdolności przeniesienia momentu obrotowego.

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym mogącym symulować zachowanie silnika spalinowego oraz opory ruchu samochodu w warunkach ustalonych i w stanach przejściowych.

W efekcie uzyskano charakterystyki umożliwiające sterowanie ciśnieniem w siłownikach kół pasowych oraz poznano wpływ temperatury oraz prędkości obrotowej kół pasowych. Przy okazji sprawdzania zakłócającego wpływu temperatury zauważono, iż jej wpływ na właściwości oleju nie jest kluczowy. Największy wpływ ma ona na funkcjonowanie elektrozaworów, odpowiedzialnych za proces regulacji oraz utrzymywania ciśnienia.

Następnie mając możliwość sterowania ciśnieniami w siłownikach kół pasowych, utworzono mapy.

Keywords: continuously variable transmission, control, bench testing, gear box

Słowa kluczowe: przekładnia bezstopniowa, sterowanie, badania stanowiskowe, skrzynia biegów

1. Wprowadzenie

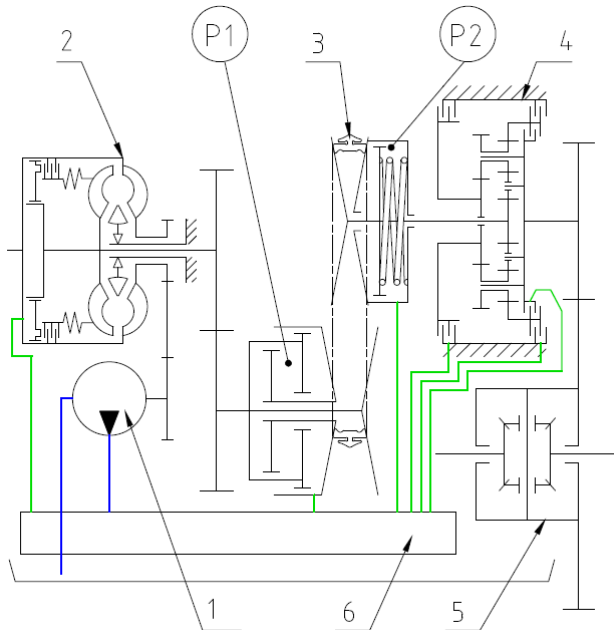
Przekładnia bezstopniowa (ang. CVT - Continuously Variable Transmission) zwana inaczej wariatorem, pozwala na płynną regulację przełożenia. Dzięki temu przy stałej prędkości obrotowej silnika możliwa jest zmiana prędkości pojazdu.

Automatyczne skrzynie biegów, aby mogły zrealizować zadane przełożenie, potrzebują elementów wykonawczych (sprzęgieł i hamulców w przekładniach planetarnych, siłowników kół pasowych wariatorów) oraz elementów sprawdzających (czujniki). Elementy wykonawcze najczęściej sterowane są ciśnieniem oleju uzyskiwanym poprzez odpowiednie wystawienie elektrozaworu często współpracującego ze wzmacniaczem

hydraulicznym będącym częścią elektrohydraulicznego sterownika połączonego elektrycznie z komputerem sterującym.

2. Badana skrzynia biegów

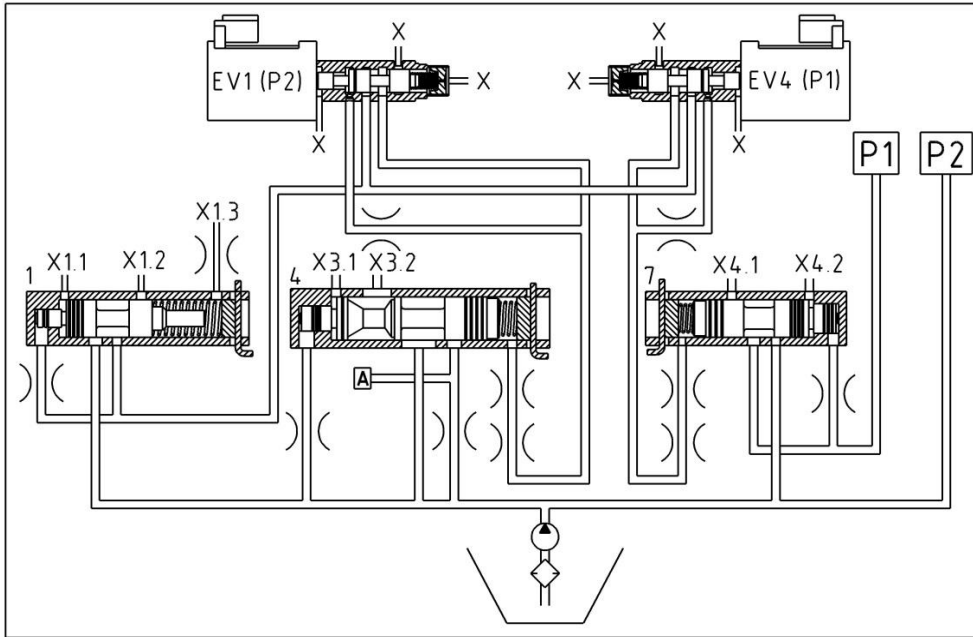
Do badań użyto skrzyni biegów wyposażonej w bezstopniową przekładnię pracującą w układzie napędowym samochodu Nissan Micra K12. Przekładnia ta wyposażona była w pas pchający (pushbelt). W rozwiązaniu takim zespół wyjściowego koła pasowego odpowiedzialny jest za naciągnięcie pasa, a zespół wejściowego koła pasowego za zmianę przełożenia. Schemat badanej skrzyni biegów przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat mechaniczny badanej skrzyni biegów.

1 – pompa zasilająca w olej, 2 – przekładnia hydrokinetyczna, 3 – pas pchający, 4 – przekładnia planetarna typu Ravigneaux, 5 – przekładnia główna, 6 – sterownik elektrohydrauliczny, P1 – ciśnienie w siłowniku wejściowego koła pasowego, P2 – ciśnienie w siłowniku wyjściowego koła pasowego

Podczas prowadzonych badań skupiono się na stworzeniu charakterystyk umożliwiających sterowanie ciśnieniem w siłownikach kół pasowych, przełożeniem oraz zbadaniu sygnałów zakłócających wpływających na proces generowania ciśnień oraz przełożenia. Część bloku elektrohydraulicznej jednostki sterującej odpowiedzialnej za wypracowanie ciśnień w siłownikach kół stożkowych co w efekcie przekłada się na wypracowanie zadanego przełożenia realizowanego przez skrzynię biegów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Fragment schematu elektrohydraulicznego sterownika odpowiedzialny za wypracowanie ciśnień na kołach pasowych. EV1, EV4 – elektrozawory; 1,4,7 – rozdzielacze; A – odbiorniki odpowiedzialne za smarowanie przekładni pasowej i chłodzenie oleju, P1 – ciśnienie w wejściowym kole pasowym; P2 – ciśnienie w wyjściowym kole pasowym; x – sływ oleju

Zadaniem zaworów suwakowych 1, 4 i 7 jest stabilizacja ciśnienia cieczy opuszczającej zawór, niezależnie od zmian ciśnienia cieczy zasilającej zawór, przy czym wartość ciśnienia stabilizowanego jest mniejsza lub równa ciśnieniu zasilania.

3. Mapy sterowania sygnałem PWM w celu utrzymania zadanego ciśnienia

Pierwszym etapem badań było określenie map pozwalających sterować ciśnieniami w siłownikach kół pasowych przekładni bezstopniowej. Polegało to na znalezieniu takiego sygnału PWM, który umożliwi uzyskanie zadanego ciśnienia sterującego ustawieniem kół pasowych, dla danej wartości temperatury oleju. Przykłady takich map przedstawiono na rysunkach 3 oraz 4.

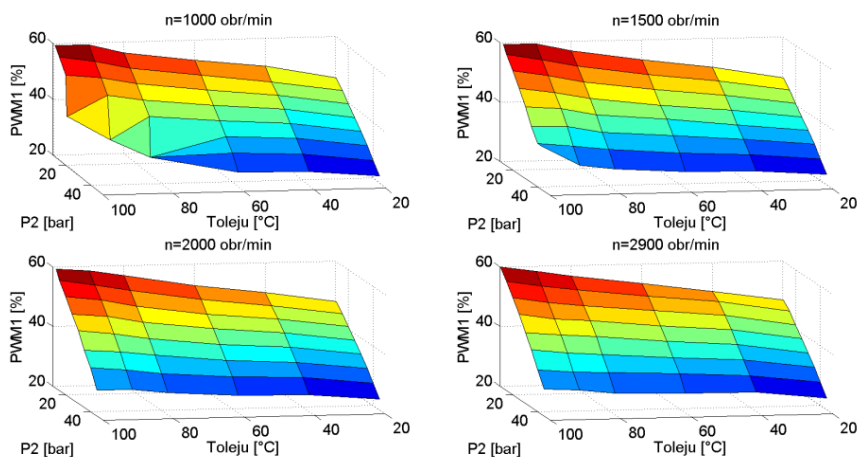
$$PWM_1 = f(P2, t), \quad (1)$$

$$PWM_4 = f(P1, t), \quad (2)$$

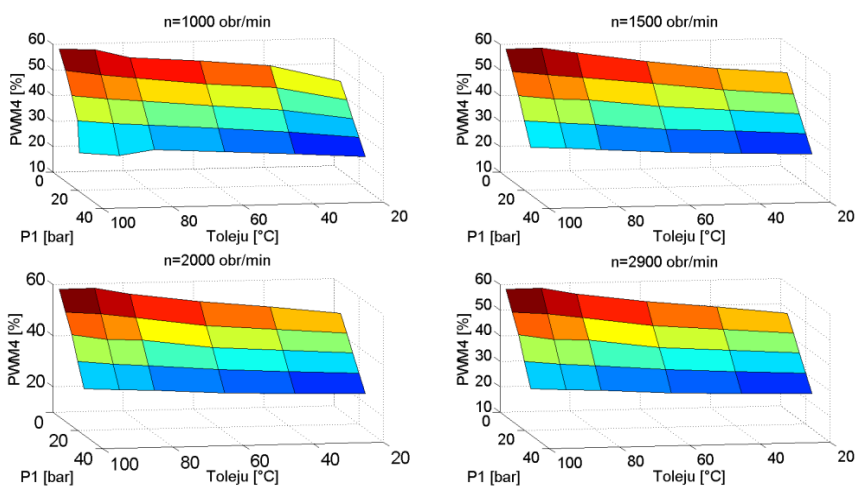
gdzie: PWM - sygnał kierowany do odpowiedniego elektrozaworu,

P - ciśnienie na odpowiednim kole pasowym,

t - temperatura oleju.

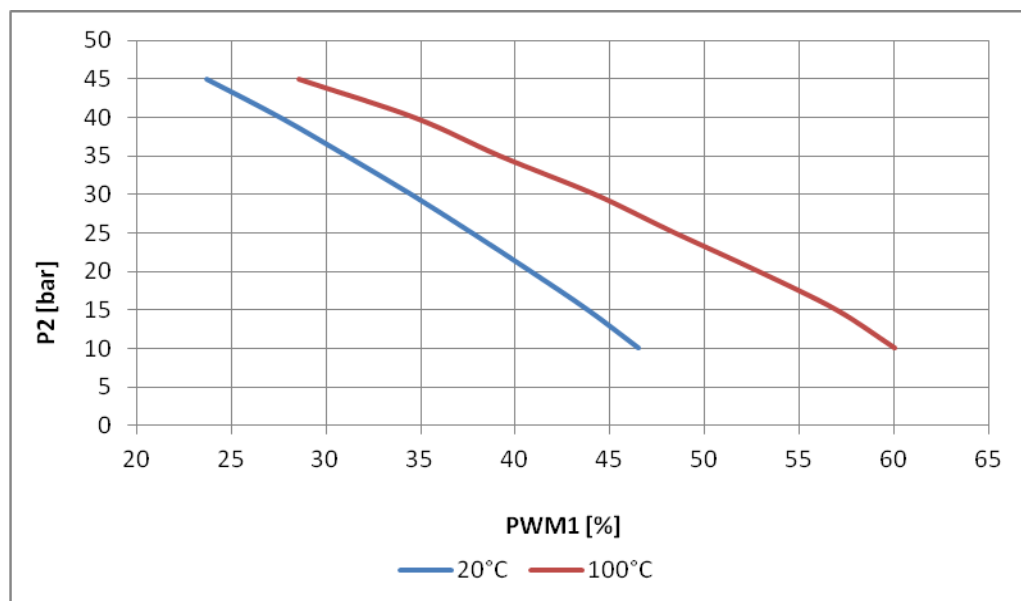


Rys. 3. Zestawienie map dla wyjściowego koła pasowego.



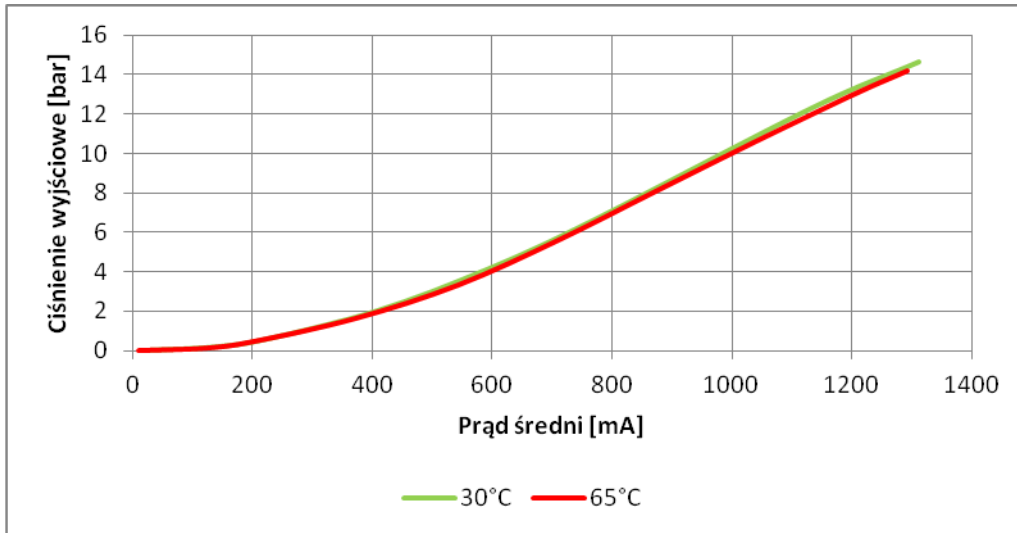
Rys. 4. Zestawienie map dla wejściowego koła pasowego.

Wykresy zamieszczone na rysunkach 3 oraz 4 sporządzone zostały w warunkach ustalonych. Oznacza to, że wartości ciśnień zmierzonych równe są wartościom ciśnień zadanych. Z wykresów tych widać iż wraz ze wzrostem temperatury oleju zwiększa się wartość wymaganego sygnału PWM potrzebnego do osiągnięcia tego samego ciśnienia - widać to na przekrojach map płaszczyznami stałego ciśnienia zamieszczonych na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ temperatury oleju na ciśnienie w siłowniku wyjściowego koła pasowego ($n=2000$ obr/min)

Jak się okazuje zjawisko to nie jest związane ze wzrostem temperatury oleju a ze wzrostem temperatury cewki elektrozaworu wynikającej z działania przepływającego prądu. Cewka ta bowiem zmienia rezystancję wraz ze zmianą temperatury. Cewka elektrozaworu wysterowanego maksymalnym sygnałem PWM nagrzała się do temperatury 115°C , więc podejrzewać można, że omywający ją olej powoduje jej schładzanie. Kolejnym ważnym aspektem jest oscylujące w pewnych granicach napięcie w instalacji elektrycznej samochodu. W celu ujednoznacznienia sygnału wejściowego konieczne jest wprowadzenie prądu średniego zasilającego elektrozawór. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystykę ciśnienia wyjściowego z elektrozaworu w funkcji prądu średniego dla różnych temperatur.

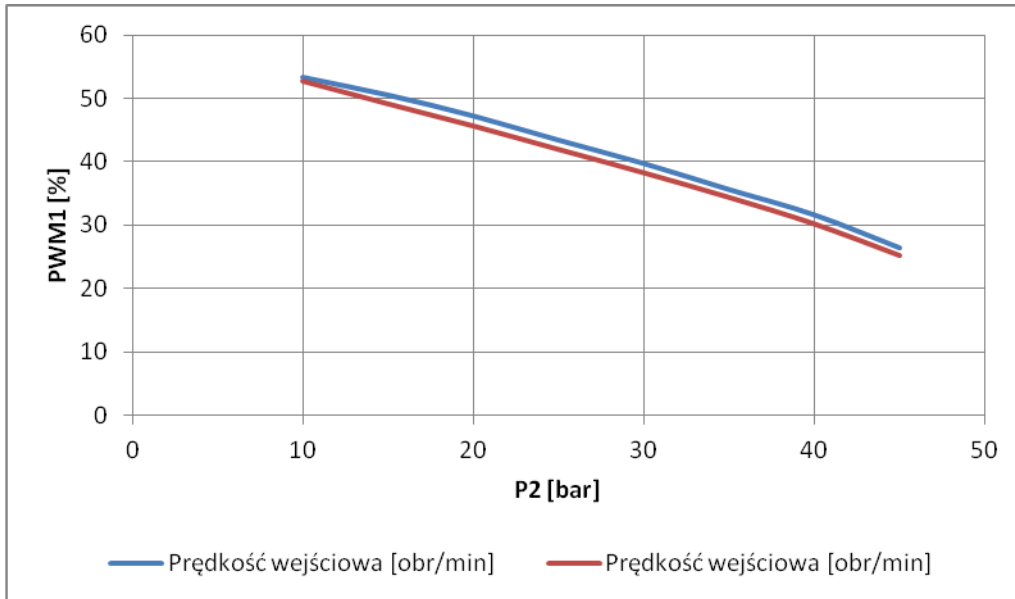


Rys. 6. Siła elektromagnesu w funkcji prądu średniego dla różnych temperatur. 3

Z wykresu zamieszczonego na rysunku 6 widać, że sterując prądem średnim zasilającym elektrozawór, można całkowicie uniezależnić się w algorytmie odpowiedzialnym za wypracowanie ciśnień w siłownikach kół stożkowych przekładni bezstopniowej od temperatury. Nie jest wtedy potrzebna znajomość charakterystyki elektrozaworu w postaci:

$$P = f(PWM, t). \quad (3)$$

Wraz ze wzrostem wejściowej prędkości obrotowej wymagany sygnał PWM potrzebny do uzyskania tego samego ciśnienia zwiększa się nieznacznie. Zjawisko to przedstawione jest na rysunku 7 przedstawiającym charakterystyki sygnału PWM w funkcji ciśnienia P2 dla różnych wejściowych prędkości obrotowych.



Rys. 7. Wpływ wejściowej prędkości obrotowej na ciśnienie w siłowniku wyjściowego koła pasowego (Toil=60°C)

Zjawisko to związane jest z działaniem siły odśrodkowej na pas, powodującej zwiększenie promieni opasania kół pasowych w zakresie elastyczności pasa.

4. Mapy sterowania przełożeniem bezstopniowej przekładni

Drugim etapem prowadzonych prac było określenie map umożliwiających uzyskanie zadanego przełożenia poprzez zmiany ciśnienia P1 przy stałym ciśnieniu P2.

$$P1 = f(I_{CVT}, P2). \quad (4)$$

Przełożenie przekładni bezstopniowej zdefiniowane zostało jako:

$$I_{CVT} = \frac{\omega_{kp2}}{\omega_{kp1}} \quad (5)$$

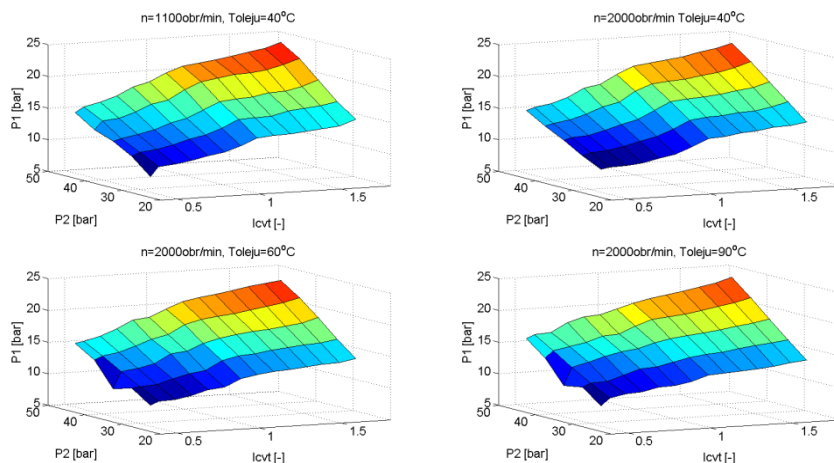
gdzie: ω_{kp2} – prędkość obrotowa koła pasowego wyjściowego,
 ω_{kp1} – prędkość obrotowa koła pasowego wejściowego.

Podczas tego etapu badań, dźwignia sterująca trybem pracy skrzyni ustawiona była w pozycji Drive, sprzęgło blokujące przekładnię hydrokinetyczną było załączone, a przekładnia planetarna byłaysterowana na przełożenie $i=1$. Maksymalny moment obrotowy na wejściu do skrzyni biegów ograniczono do 120 Nm.

Wyniki spisywane były po ustaleniu się przełożenia, a więc zadane wartości ciśnień i przełożenia równe są wartościom zmierzonym.

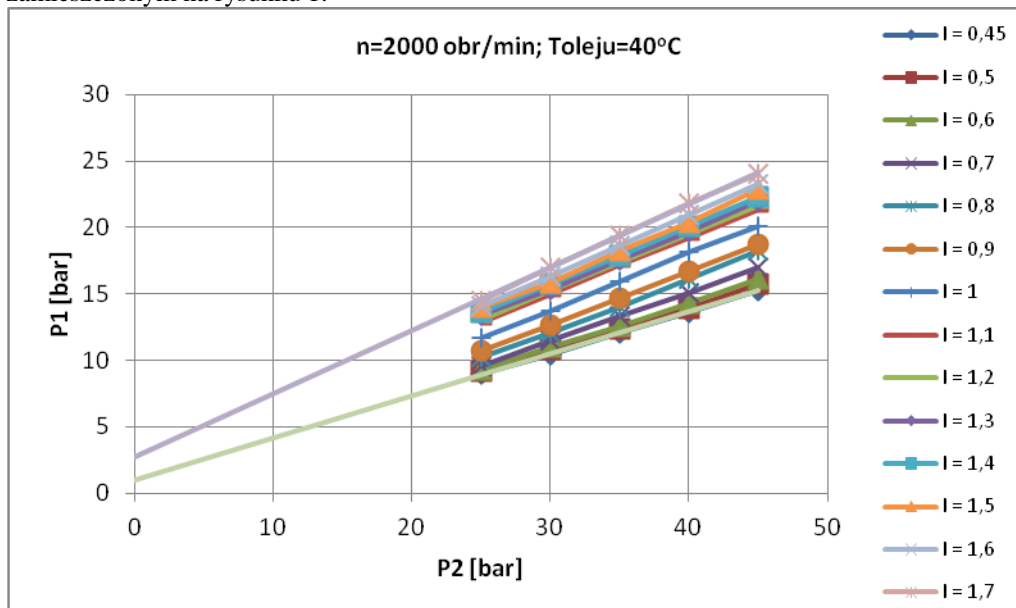
Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe charakterystyki przedstawiające wartości ciśnień P1 potrzebnych do zrealizowania zadanego przełożenia przy stałym ciśnieniu P2 panującym w komorze siłownika odpowiedzialnego za naciąg pasa dla różnych

temperatur oleju oraz różnych wejściowych prędkości obrotowych dla przekładni nie obciążonej hamującym momentem obrotowym.



Rys. 8. Zestawienie par ciśnień odpowiadających zadanym przełożeniom dla różnych wejściowych prędkości obrotowych i różnych temperatur oleju dla nieobciążonej przekładni.

Na rysunku 9 przedstawiono przekroje płaszczyznami stałego przełożenia, na których widać, że dla przekładni nieobciążonej przełożenie w przybliżeniu zależy tylko od stosunku ciśnień. Widoczne na rysunku 9 przesunięcie wykresów wynika z działania sprężyny znajdującej się w komorze siłownika wyjściowego koła pasowego, widocznej na schemacie zamieszczonym na rysunku 1.



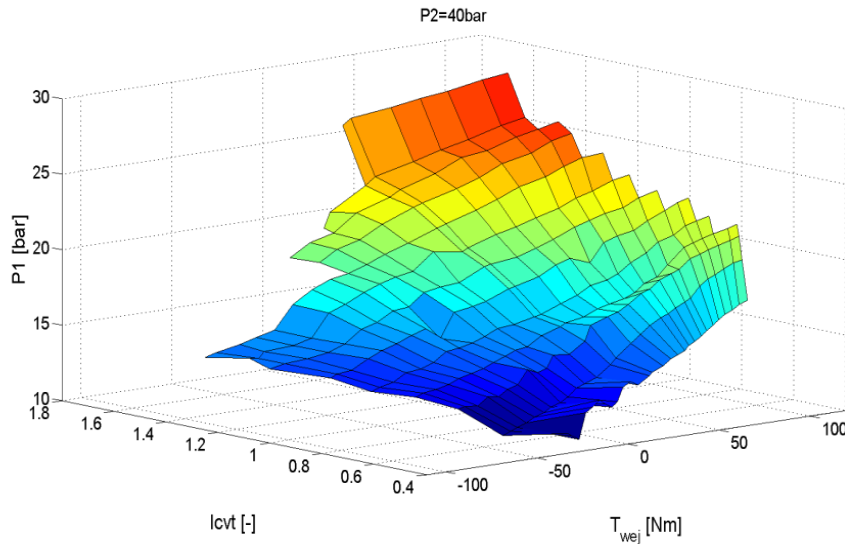
Rys. 9. Zestawienie par ciśnień odpowiadających zadanym przełożeniom dla różnych wejściowych prędkości obrotowych i różnych temperatur oleju dla nieobciążonej przekładni.

Ostatnia faza badań polegała na sprawdzeniu wpływu przenieszonego momentu obrotowego przez przekładnię na proces wypracowywania zadanego przełożenia.

$$P1 = f(i_{CVT}, P2, M_{wej}), \quad (6)$$

gdzie: M_{wej} – wejściowy moment obrotowy.

Badania te wykonano dla stałego ciśnienia $P2=40\text{bar}$ (minimalne ryzyko wystąpienia poślizgu) przy wejściowej prędkości obrotowej $n=2000\text{ obr/min}$ i temperaturze oleju $t=40^\circ\text{C}$. Otrzymane wyniki zestawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Wpływ wejściowego momentu obrotowego na realizację przełożenia wariatora dla $P2=40\text{bar}$.

Z przedstawionego na rysunku 10 wykresu widać, iż wejściowy moment obrotowy ma wpływ na potrzebne do zrealizowania przełożenia ciśnienie. Im większy moment obrotowy, tym większe wymagane jest ciśnienie na wejściowym kole pasowym potrzebnym do uzyskania tego samego zadanego przełożenia.

Podsumowanie

1. W układzie hydraulicznym zastosowanym przez firmę Nissan zdecydowano, że maksymalnym ciśnieniem panującym w całym układzie hydraulicznym jest zmienne ciśnienie występujące w siłowniku wyjściowego koła pasowego – P2. Decyzja ta związana jest z faktem, iż na wyjściowym kole pasowym utrzymywana jest siła powodująca naciąg pasa. Aby móc zrealizować taki układ, w siłowniku wyjściowego koła pasowego zastosowano około dwukrotnie mniejszą

- powierzchnię niż na kole wejściowym, na którą w konsekwencji musi działać większe ciśnienie.
2. Badania wskazały ograniczenia badanej przekładni i dały informacje o konieczności wprowadzenia zmian czy to w zaworze suwakowym czy pompie, mających na celu zachować możliwość sterowania układu w krytycznych obszarach. Obszary te dotyczą bardzo wysokich temperatur oleju przy niskich prędkościach obrotowych.
 3. Sterowanie elektrozaworami za pomocą prądu średniego jest wygodniejsze z uwagi na możliwość pominięcia wpływu temperatury oleju na proces sterowania ciśnieniami.
 4. Wpływ przenieszonego momentu obrotowego na proces wypracowywania przełożenia przez bezstopniową przekładnię wskazuje na konieczność głębszej analizy tego zjawiska zarówno od strony analitycznej jak i doświadczalnej.
 5. Z punktu widzenia zmniejszenia poboru mocy przez urządzenia dodatkowe takie jak chociażby pompa oleju, uzasadnione jest poszukiwanie minimalnych ciśnień, które zrealizują zadane przełożenie przy danym wejściowym momencie obrotowym zapewniając jednocześnie pracę bez wystąpienia poślizgu pasa.
 6. Doświadczenia i spostrzeżenia zebrane podczas analizy bloku elektrohydraulicznego wykorzystane zostały podczas projektowania układu napędowego prototypowego samochodu osobowego.
 7. Przeprowadzona analiza wykorzystana zostanie podczas projektowania modelu symulującego badaną przekładnię podczas testowania algorytmów sterujących pracą układu napędowego hybrydowego samochodu osobowego.

Literatura

1. BOSCH. Elektroniczne sterowanie skrzynką biegów ESG. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. 2005.
2. BOSCH. Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. 2010.
3. Goszczak J, Radzymiński B, Werner A, Pawelski Z. Badania samochodowego elektrozaworu sterowanego sygnałem PWM, Logistyka, nr 3/2015, s.1562÷1572.
4. Edited by Maten J, Anderson B, Continuously Variable Transmission (CVT). Society of Automotive Engineers, Inc. 2006.
5. Serrarens A, Veldpaus F, New concepts for Control of Power Transients in Flywheel Assisted Drivelines with a CVT. Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, June 12-15, 2000, Seoul, Korea.
6. Pawelski Z, Pałczyński T, Procedura budowy map sterowania układem napędowym z przekładnią bezstopniową CVT. Mechanika, Wyd. Politechniki Krakowskiej, z.6, str. 39-154. 2008.
7. Pawelski Z. Falowniki ABB + moc krążąca = oszczędność energii na stanowisku badawczym. Napędy i Sterowanie. Nr 4, 2005, str. 14-16.
8. Pawelski Z. Skrzynie biegów z równoległym przepływem mocy podstawą napędu hybrydowego. Napędy i Sterowanie. Nr 10, 2012, str. 54-60