

Unikatowe stanowisko hamowniane do badań degradacji oleju przekładniowego pojazdów elektrycznych

A unique gear test bed for degradation tests of gear oil for electric vehicles

Kornel Dybich, Ewa Barglik, Agnieszka Skibińska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Koncepcja pojazdów elektrycznych rozwinęła się po raz pierwszy na początku XIX wieku. Wtedy również pojawiły się pierwsze pojazdy elektryczne, jednak z uwagi na brak wysokopojemnych akumulatorów zaprzestano rozwoju tej technologii, przestając jedynie na pojazdach szynowych i trolejbusach. Po prawie stuletniej przerwie, pod koniec XX wieku, powrócono do pomysłu pojazdów o napędzie elektrycznym. Konstruktorzy pojazdów samochodowych, wykorzystując znaczny postęp technologiczny, jaki nastąpił w XX wieku w odpowiedzi na potrzeby zmieniającego się świata, który wymusza proekologiczne działania minimalizujące wpływ ich stosowania na środowisko naturalne, opracowali różne koncepcje układów napędowych. Stworzyli szereg rozwiązań elektrycznych, elektryczno-spalinowych i innych, których zastosowanie zdecydowanie zmniejszy zużycie paliw pochodzących ze źródeł nieodnawialnych. Pozwala to potencjalnemu nabywcy na dobór pojazdu o konstrukcji odpowiadającej jego potrzebom. W artykule przedstawiono stan aktualnej wiedzy w zakresie rodzajów napędów elektrycznych i sposobów przekazywania mocy w systemie silnik elektryczny–układ jezdy pojazdu elektrycznego oraz w zakresie stosowanych olejów przekładniowych i oceny ich wpływu na trwałość skrzyń przekładniowych. Przeprowadzono szerokie rozeznanie odnośnie do problemów związanych z przekładniami mechanicznymi stosowanymi w układach przeniesienia napędu samochodów hybrydowych i elektrycznych oraz wymagań stawianych olejom przekładniowym do tych pojazdów. Opisano unikatowe stanowisko badawcze symulujące pracę układu napędowego (silnik–przekładnia) pojazdu elektrycznego służące do badania olejów przekładniowych przeznaczonych do pojazdów elektrycznych w powtarzalnych, ściśle określonych warunkach, których nie mogą zapewnić badania trakcyjne. Przedstawiono funkcjonalność oprogramowania sterującego elektrycznym stanowiskiem badawczym polegającą na możliwości zadawania dowolnej prędkości obrotowej i momentu obrotowego w programowanych krokach badawczych, dzięki której otrzymano stanowisko w pełni przystosowane do prowadzenia wielokierunkowych testów degradacji olejów przekładniowych.

Słowa kluczowe: silnik elektryczny, skrzynia biegów, układ napędowy pojazdu elektrycznego, degradacja olejów przekładniowych.

ABSTRACT: The concept of electric vehicles first appeared in the early 19th century. It was then that the first electric vehicles also appeared, but due to the lack of high-capacity batteries, the development of this concept was stopped, limiting itself only to rail vehicles and trolleybuses. The concept of electric vehicles was revived at the end of the 20th century, after a century-long hiatus. In response to the needs of a changing world that demands pro-ecological actions to minimize the impact of human activity on the natural environment, automotive designers have developed various drive system concepts using the significant technological progress that occurred in the 20th century. They have created electric, electric-combustion, and other solutions that will significantly reduce the consumption of non-renewable fuels. This enables potential buyers to choose a vehicle whose design meets their needs. The article presents the current state of knowledge regarding types of electric drives and power transmission methods in electric engine–electric vehicle drive systems, as well as gear oils and assessment of their impact on the durability of gearboxes. A thorough study was conducted on issues related to mechanical gears used in the drive systems of hybrid and electric cars, as well as the requirements for gear oils for these vehicles. A unique research station simulating the operation of the drive system (engine–gearbox) of an electric vehicle is described. This station is used to test gear oils for electric vehicles under repeatable, precisely defined conditions that cannot be provided by traction tests. The software controlling the electric test station is presented. It allows for setting any rotational speed and torque in programmed research steps. As a result, a station was obtained that is fully adapted to conduct multidirectional degradation tests of gear oils.

Key words: electric engine, transmission, electric vehicle powertrain, degradation of gear oils.

Wstęp

Przyjęty program europejskiej polityki energetyczno-klimatycznej zakłada bardzo ambitne działania, a mechanizm uruchomiony w ramach pakietu „Fit for 55” zakłada m.in. wprowadzenie zakazu sprzedaży pojazdów z silnikami spalinowymi emitującymi CO₂ od 2035 roku. Pod koniec października 2022 roku Parlament Europejski porozumiał się w tej sprawie z Radą Unii Europejskiej. Oznacza to, że zakaz jest już praktycznie przesądzony. Do 2030 roku wielkość emisji CO₂ nowych silników spalinowych ma spaść o 55% w stosunku do 2021 roku, a do 2035 roku – o 100%. Te cele mają być osiągnięte dzięki zastosowaniu w transporcie samochodowym alternatywnych do spalinowych napędów elektrycznych, hybrydowych czy wodorowych oraz zamianie paliw tradycyjnych na alternatywne, jak np. CNG, LNG czy biopaliwa. Obecnie najczęściej stosowanymi rozwiązaniami są napędy hybrydowe (mieszane), jednak jak można zauważyć, na drogach coraz częściej pojawiają się samochody z napędami elektrycznymi (akumulatorowymi). Ogniwa wodorowe, ze względu na stopień skomplikowania konstrukcji, wysokie koszty produkcji i skromną infrastrukturę, są obecnie zbyt kosztowną technologią, aby mogła zostać upowszechniona w transporcie.

Budowa samochodów elektrycznych wymaga wprowadzenia wielu zasadniczych zmian konstrukcyjnych w porównaniu z samochodami spalinowymi. Widoczne jest to w szczególności w układach napędowych, w tym w zespołach przeniesienia napędu, gdyż silniki elektryczne w większości przypadków nie wymagają stosowania zmiany biegów. Moment obrotowy elektrycznej jednostki napędowej jest przenoszony na koła samochodu, w przeważającej liczbie rozwiązań za pośrednictwem jednobiegowych skrzyni biegów. Taka przekładnia jednostopniowa w połączeniu z silnikiem elektrycznym doskonale spisuje się w każdych warunkach eksploatacji.

W samochodzie wyposażonym w silnik spalinowy moment obrotowy rośnie wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika, a później maleje. Inaczej jest w pojeździe elektrycznym – tu maksymalny, stały moment obrotowy jest wytwarzany natychmiast po uruchomieniu silnika i pozostaje niezmienny w szerokim zakresie prędkości obrotowej silnika.

Mimo prostszej konstrukcji zespołów napędowych samochodów elektrycznych wymagania stawiane olejom smarowym do przekładni takich napędów są w wielu aspektach odmienne, a w przypadku niektórych właściwości znacznie surowsze niż w przekładniach konwencjonalnych. Wynika to między innymi z generowania przez silnik elektryczny maksymalnego momentu obrotowego od początku jego pracy, z bardzo wysokiej prędkości obrotowej silników elektrycznych (12–30 tys. obr./min) oraz narażenia środka smarowego na oddziaływanie pola elektromagnetycznego i ze związanych z tym jego właściwości

dielektrycznych. Ponadto coraz częściej środki smarowe stosowane w przekładniach napędów elektrycznych pełnią funkcję czynnika chłodzącego podzespoły układu napędowego. Smarowe oleje przekładniowe muszą zatem odznaczać się też bardzo dobrymi właściwościami w zakresie odprowadzania ciepła i kompatybilnością z materiałami i tworzywami stosowanymi w elektrycznych zespołach napędowych. W konsekwencji do elektrycznych układów napędowych niezbędne jest opracowanie specjalnych środków smarowych, a nie wykorzystywanie (tak jak obecnie) klasycznych płynów ATF do automatycznych skrzyń biegów.

Dlatego też w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym postanowiono zbudować symulacyjne stanowisko hamowniane do badań degradacji oleju przekładniowego pojazdów elektrycznych.

Finalnie da to możliwość prowadzenia testów badawczych degradacji olejów przekładniowych, pozwalających na porównywanie różnych kompozycji tych olejów (z zastosowaniem różnych pakietów dodatków uszlachetniających) w warunkach eksploatacji i na określenie szybkości utraty ich walorów użytkowych.

Podział napędów elektrycznych

Samochody elektryczne ze względu na rodzaj napędu dzieli się na grupy: BEV (ang. *battery electric vehicle*), HEV (ang. *hybrid electric vehicle*), PHEV (ang. *plug-in hybrid electric vehicle*), MHEV (ang. *mild hybrid electric vehicle*), REEV (ang. *range extended electric vehicle*).

Auta typu BEV są w pełni elektryczne, czyli nie mają silnika spalinowego, ich jedynym źródłem energii jest akumulator, ładowany np. w domu poprzez stację EVSE (ang. *electric vehicle supply equipment*). Koszty eksploatacji takiego pojazdu można zmniejszyć, ładując akumulator nocą, gdy stawki za energię elektryczną są niższe. O zasięgu pojazdu decyduje pojemność akumulatora, stąd obecnie samochód najlepiej sprawdza w jeździe po mieście lub na krótkich dystansach, co jest wadą pojazdów BEV. Natomiast za zaletę trzeba uznać jego mechanikę, o wiele prostszą niż w pojazdach o konwencjonalnym napędzie (mniej części).auta elektryczne typu BEV zasilane tylko akumulatorem nie emitują do atmosfery toksycznych gazów w przeciwieństwie do aut o napędzie spalinowym.

HEV to samochody z dwoma rodzajami napędu (tzw. hybrydy) – mają silnik spalinowy i napęd elektryczny. Wyróżnikiem jest to, że nie ma możliwości ładowania baterii z zewnętrznych źródeł energii – samochód korzysta z konwencjonalnego paliwa do silnika spalinowego oraz z energii, którą pojazd wytworzył w trakcie hamowania.

PHEV to hybrydowe auto elektryczne z możliwością ładowania – ma częściowo konwencjonalny, a częściowo elektryczny napęd. Można je tankować na stacji benzynowej i ładować baterie z zewnętrznego źródła energii i z tego względu jest to obecnie najbardziej popularny rodzaj auta elektrycznego. Podczas jazdy można korzystać z silnika spalinowego, przełączyć się na napęd elektryczny lub włączyć tryb hybrydowy. PHEV mają w porównaniu z innymi rodzajami samochodów elektrycznych duży zasięg – nawet około 1000 km, pod warunkiem że nie korzysta się wyłącznie z napędu elektrycznego, ograniczonego pojemnością akumulatora. Wadą PHEV jest konieczność kosztowniejszego utrzymania i konserwacji dwóch jednostek napędowych o różnych źródłach energii. Dwie jednostki napędowe to również wyższe koszty produkcji, z czym wiąże się wyższa cena rynkowa pojazdu.

MHEV, czyli pojazd z układem *mild-hybrid*, to rodzaj hybrydy, w której tradycyjny silnik spalinowy jest wspomagany przez mały silnik elektryczny i baterię o niewielkiej pojemności. Układ ten poprawia efektywność paliwową i zmniejsza emisję spalin, ale nie pozwala na jazdę wyłącznie na napędzie elektrycznym, jak w pełnych hybrydach (HEV) lub hybrydach *plug-in* (PHEV).

Auta elektryczne typu REEV, oprócz silnika elektrycznego, który jest główną jednostką napędową, są wyposażone w silnik spalinowy. Silnik spalinowy włącza się tylko wtedy, gdy konieczne jest wytworzenie energii potrzebnej do naładowania akumulatora. Rozwiązanie to pozwala zwiększyć zasięg pojazdu. Jest to doskonała opcja dla użytkowników, którzy na co dzień pokonują krótkie odcinki, a tylko raz na jakiś czas wyruszają w dłuższe trasy.

W przeciwieństwie do tradycyjnych hybryd w REEV silnik spalinowy nigdy bezpośrednio nie napędza kół jezdnych, ma niewielką moc i pełni wyłącznie funkcję generatora prądu, uruchamiając się automatycznie, gdy poziom naładowania baterii spada poniżej określonej wartości.

Zastosowanie silnika spalinowego w porównaniu z pojazdami EV dodaje masy i komplikacji technicznych, co obniża wydajność energetyczną, ponadto system REEV jest bardziej zaawansowany technologicznie, co zwiększa koszt produkcji i zakupu. Za zaletę można natomiast uznać to, że silnik spalinowy w tego typu pojazdach działa jako zabezpieczenie, eliminując problem rozładowania baterii podczas podróży (Muratorplus technika).

Zalety i wady samochodów elektrycznych

Do zalet samochodów elektrycznych w porównaniu z samochodami z silnikami spalinowymi (ang. *internal combustion engine*, ICE) można zaliczyć:

- niższe koszty użytkowania – energia elektryczna jest tańsza niż paliwo, co przekłada się na niższe koszty przejechania jednego kilometra. Brak konieczności wymiany oleju, filtrów czy pasków rozrządu, a także mniejsza liczba ruchomych części w silniku elektrycznym oznacza tańszy serwis;
- cicha praca – elektryczne silniki są niemal bezgłośnie, co poprawia komfort jazdy i redukuje hałas w dużych aglomeracjach;
- lepsze osiągi – elektryczne silniki oferują natychmiastowy moment obrotowy, co pozwala na bardzo szybkie przyspieszenie, zwłaszcza w ruchu miejskim;
- ulgi i przywileje – w wielu krajach użytkownicy samochodów elektrycznych (EV, ang. *electric vehicle*) mogą liczyć na dopłaty do zakupu, ulgi podatkowe, darmowe parkowanie, a także możliwość korzystania z buspasów;
- efektywność jazdy w ruchu miejskim – regeneracyjne hamowanie pozwala na odzyskiwanie energii podczas zwalniania, co zwiększa płynność jazdy w ruchu miejskim;
- zmniejszenie zależności od ropy – przejście na samochody elektryczne zmniejsza zapotrzebowanie na paliwa kopalne, co jest korzystne zarówno dla środowiska, jak i dla gospodarki.

Wady samochodów elektrycznych to:

- wysoki koszt zakupu – EV są droższe w porównaniu z pojazdami spalinowymi tej samej klasy, przy czym ceny sukcesywnie spadają dzięki rozwojowi technologii i masowej produkcji;
- ograniczony zasięg – chociaż zasięgi nowych modeli BEV są coraz większe na jednym ładowaniu, nadal są mniejsze niż w autach spalinowych, co dla osób podróżujących na długie dystanse może być istotnym ograniczeniem;
- długi czas ładowania – nawet przy szybkich ładowarkach proces ładowania trwa znacznie dłużej niż tankowanie paliwa (30 minut do kilku godzin w zależności od stacji i pojemności baterii);
- ograniczona infrastruktura – w wielu regionach, szczególnie na wsiach i w mniej rozwiniętych krajach, brakuje wystarczającej liczby stacji ładowania;
- problemy środowiskowe związane z produkcją baterii – procesy produkcji baterii wiążą się z dużym śladem węglowym, a wydobywanie i przetwarzanie surowców do produkcji baterii (lit, kobalt, nikiel) obciąża środowisko i może prowadzić do degradacji ekosystemów;
- degradacja baterii – z czasem bateria traci pojemność, co skraca zasięg auta i wiąże się z kosztowną wymianą;
- mniejsza efektywność w zimie – w niskich temperaturach wydajność baterii spada, co zmniejsza zasięg samochodu;
- waga i rozmiar baterii – baterie w EV są ciężkie, co zwiększa masę pojazdu i wpływa na zużycie opon oraz dynamikę jazdy;

- potencjalne obciążenie sieci energetycznej – jeśli liczba ładowanych samochodów elektrycznych gwałtownie wzrośnie, lokalne sieci energetyczne mogą wymagać modernizacji, aby sprostać zapotrzebowaniu na energię.

Samochody elektryczne mają liczne zalety, obejmujące ekologiczność, niskie koszty eksploatacji czy cichą pracę, ale ich obecne wady, takie jak wysoka cena zakupu, ograniczony zasięg czy problemy z ładowaniem, mogą stanowić barierę dla wielu użytkowników. Wraz z rozwojem technologii i inwestycjami w infrastrukturę ładowania wady te mogą jednak z czasem tracić na znaczeniu, a samochody EV stawać się coraz bardziej atrakcyjną opcją, szczególnie dla osób mieszkających w miastach lub korzystających z krótszych tras przejazdu.

Rodzaje skrzyń biegów i zasady ich działania

Skrzynia biegów to mechanizm, który służy do zmiany przełożeń między silnikiem a kołami pojazdu. Jest kluczowym elementem układu napędowego w pojazdach, umożliwiającym dostosowanie momentu obrotowego i prędkości obrotowej do warunków jazdy. Skrzynie biegów występują w różnych rodzajach, w zależności od zastosowania, typu pojazdu oraz preferencji użytkownika (Fix My Car). W motoryzacji najczęściej stosuje się następujące skrzynie biegów:

- skrzynie kłowe;
- skrzynie manualne;
- skrzynie automatyczne stopniowe;
- skrzynie półautomatyczne stopniowe;
- skrzynie bezstopniowe.

Skrzynie biegów można również podzielić ze względu na zastosowaną przekładnię oraz sposób sterowania (Sacha i in., 2024).

Podział ze względu na zastosowaną przekładnię

Podstawowe zadanie skrzyni biegów, czyli zmiana przełożeń układu napędowego, może być realizowane bezstopniowo lub stopniowo. W bezstopniowych skrzyniach działa to w sposób ciągły, z kolei w stopniowych jest oparte na włączaniu różnych przekładni o stałym położeniu.

W przypadku stopniowych skrzyń biegów wyróżnia się również skrzynie o osiach stałych i skrzynie planetarne o osiach obracających się. Natomiast w bezstopniowych skrzyniach biegów znajdują się przekładnie hydrauliczne, mechaniczne oraz elektryczne. Najczęściej w pojazdach samochodowych występują przekładnie hydrokinetyczne.

Podział ze względu na sposób sterowania

W tym przypadku można wyróżnić skrzynie manualne, półautomatyczne (sekwencyjne) oraz automatyczne.

Skrzynie manualne najczęściej wykorzystują przekładnie stopniowe. Kierowcy włączają właściwe biegi za pomocą układu dźwigni. W trakcie zmiany przełożenia konieczne jest wciskanie pedału sprzęgła w celu chwilowego odłączenia skrzyni od silnika.

Z kolei półautomatyczne skrzynie biegów posiadają urządzenie sterujące, które automatycznie przełącza przekładnie. Jednak to kierowca wybiera określony bieg.

W przypadku automatycznej skrzyni biegów zaangażowanie kierowcy w ich pracę ogranicza się do minimum. Ustawia on jedynie zakres pracy przekładni, a dobór odpowiedniego do danych warunków przełożenia dokonuje się w sposób samoczynny.

Kłowa skrzynia biegów

To zarazem najprostsza, jak i najstarsza konstrukcja tego typu. Zawiera dużą liczbę kół zębatach, które dość znacząco różnią się od kół występujących w manualnych skrzyniach biegów pod względem konstrukcyjnym. Nie posiadają one podcięć i zaokrągleń, co sprawia, że cały układ jest w stanie przenosić bardzo duże momenty obrotowe.

Kłowe skrzynie biegów były chętnie wykorzystywane do niedawna w samochodach wyścigowych ze względu na swoją wytrzymałość. Natomiast nie znalazły zastosowania u producentów „zwykłych” aut. Powodem jest brak większego sensu ich stosowania, są one bowiem hałaśliwe, zgrzytają w trakcie zmiany biegów, a do tego nie są wyposażone w synchronizatory, co sprawia, że płynna zmiana przełożeń jest mocno utrudniona.

Manualna skrzynia biegów

W manualnej skrzyni biegów to przekładnie zębate są odpowiedzialne za zmianę przełożeń. Kierowca wybiera odpowiednie przełożenie i drogę przepływu mocy w przekładni za pomocą zsynchronizowanego układu sprzęgieł, używając do tego ręcznej dźwigni zmiany biegów.

Głównymi elementami manualnej skrzyni biegów są zespół kół zębatach umieszczony na ułożyskowanych wałkach (głównym, pośrednim i sprzęgłowym) i mechanizm ich przesuwu.

Koła zębate są wyposażone w synchronizatory i przesuwaki. Ich zadaniem jest przyspieszenie wyrównywania się prędkości obrotowych sprzęganych elementów.

Koło zębate umieszczone na wałku sprzęgłowym przenosi napęd na koło zębate wałka pośredniego. Na głównym i ostatnim wałku umieszczone są pary kół, które są odpowiedzialne za konkretne biegi. W przypadku uruchomienia konkretnego biegu pozostałe koła zębate zostają rozłączone.

W manualnych skrzyniach biegów stosuje się dwa różne rozwiązania dotyczące zmiany przełożenia: nadbieg oraz przełożenie bezpośrednie. W tym drugim rozwiązaniu wałek

sprzęgłowy i główny są połączone w sposób bezpośredni, co sprawia, że ich prędkości obrotowe są identyczne.

Przełożenie w przypadku nadbiegu wynosi mniej niż 1 (np. 0,99), co oznacza, że prędkość obrotowa wałka główne-go jest wyższa niż prędkość, którą osiąga wałek sprzęgłowy. Rozwiązanie to jest stosowane ze względów ekonomicznych. Nadbieg pozwala zaoszczędzić na paliwie, redukuje hałas i potrafi zmniejszyć zużycie elementów układu napędowego w przypadku, gdy auto porusza się z dużą jednostajną prędkością i nie napotyka większych oporów ruchu (np. w trakcie jazdy po autostradzie).

Automatyczna skrzynia biegów

Automatyczna skrzynia biegów to rodzaj przekładni stosowanej w pojazdach, która zmienia biegi automatycznie, bez potrzeby ingerencji kierowcy w proces zmiany przełożeń. Dzięki temu jazda staje się bardziej komfortowa, zwłaszcza w ruchu miejskim. Automatyczne skrzynie biegów występują w różnych wersjach, różniących się konstrukcją i zasadą działania. Dawniej wadą tego rozwiązania była mniejsza dynamika jazdy i podwyższone spalanie, ale obecnie problem ten został rozwiązany i skrzynie automatyczne są w stanie nawet poprawić przyspieszenie samochodu w porównaniu z ich odpowiednikami manualnymi.

Klasyczny „automat” różni się od zwykłej skrzyni z automatycznym sterowaniem pod względem konstrukcji, a także sposobu przeniesienia napędu. Skrzynie manualne są wyposażone w sprzęgła, natomiast w skrzyniach automatycznych znajduje się konwerter momentu obrotowego lub sprzęgło hydrokinetyczne, które są odpowiedzialne za przekazywanie napędu do kół. Automatyczna skrzynia biegów jest złożona z zespołu przełożeń, czyli układów planetarnych przekładni zębatach, oraz ze sterujących pracą skrzyni zespołów sterowania.

W nowszych modelach skrzyń automatycznych za sterowanie są odpowiedzialne elektrozawory, które są elementami wykonawczymi programu komputerowego zarządzającego pracą skrzyni biegów. Skrzynie automatyczne wyposażone są również w różnego rodzaju czujniki elektroniczne, odpowiedzialne za rejestrowanie ciśnienia oraz temperatury oleju, a także prędkości obrotowej poszczególnych elementów wirujących. Poza tym oprogramowanie automatycznej skrzyni biegów jest w stanie monitorować prędkość pojazdu i inne parametry związane z poprawną jazdą. Zmiana biegów jest realizowana samoczynnie w stosunku do prędkości na podstawie informacji napływających z czujników elektronicznych.

Półautomatyczna skrzynia biegów

Półautomatyczne skrzynie biegów zwane są inaczej skrzyniami zautomatyzowanymi lub zmechanizowanymi. Półautomatyczna skrzynia biegów to rodzaj przekładni, która

łączy cechy manualnych i automatycznych skrzyń biegów. W pojazdach wyposażonych w ten typ skrzyni kierowca ma możliwość ręcznej zmiany przełożeń, ale odbywa się to bez użycia pedału sprzęgła, ponieważ jego obsługą zajmuje się system elektroniczny lub hydrauliczny. Kierowca zmienia biegi za pomocą dźwigni zmiany biegów (przesuwając ją do przodu lub do tyłu, bez konieczności wciskania sprzęgła) lub za pomocą łopatek przy kierownicy, które pośrednio uruchamiają siłowniki lub układ hydrauliczny sterujący sprzęgłem i synchronizujący proces przełączania biegów.

Dwusprzęgłowa skrzynia biegów

To kolejny rodzaj przekładni, łączący w sobie najlepsze cechy skrzyni manualnej oraz klasycznej skrzyni automatycznej. Występuje pod różnymi nazwami, takimi jak: PowerShift (Ford), Dual-Clutch Transmission – DCT (BMW, Kia, Hyundai), Speedshift (Mercedes), Efficient Dual Clutch – EDC (Renault), bądź Torque Converter Transmission – TCT (Alfa Romeo).

Jej budowa jest oparta na zastosowaniu dwóch równoległych skrzynek biegów, umieszczonych w jednej obudowie. Dwa osobne sprzęgła wielopłytkowe przekazują napęd na właściwe pary kół zębatach za pomocą dwóch różnych wałków sprzęgłowych. Jedno sprzęgło jest odpowiedzialne za biegi parzyste, a drugie za nieparzyste. Gdy następuje zmiana biegu, jedno sprzęgło zaczyna swoją pracę, a drugie jest w tym czasie wyłączone.

Takie rozwiązanie sprawia, że w trakcie jazdy na danym biegu kolejny jest zawsze gotowy do pracy, co skraca czas zmiany biegów w przekładni. Komputer na podstawie analizy danych o prędkości samochodu, obrotach silnika, stylu jazdy decyduje, jaki bieg ma zostać użyty i uruchamia go za pomocą siłowników hydraulicznych. Kluczową funkcją skrzyni dwusprzęgłowej jest błyskawiczne przełączanie przełożeń, co minimalizuje utratę mocy podczas zmiany biegu.

Bezstopniowa skrzynia biegów CVT

Zasada działania skrzyni CVT (ang. *continuously variable transmission*) opiera się na bezstopniowej zmianie przełożeń, co pozwala na płynne dostosowywanie przekazywanej mocy i momentu obrotowego do aktualnych warunków jazdy, bez konieczności zmiany stałych biegów, jak w tradycyjnych przekładniach.

Skrzynia CVT działa dzięki dwóm stożkowym kołom pasowym, które mogą zmieniać swoje średnice poprzez przesuwanie się stożków względem siebie. Pas napędowy (lub łańcuch) przemieszcza się po różnych średnicach tych kół, zmieniając przełożenie. W tradycyjnej skrzyni zmiana biegów odbywa się skokowo (przechodzenie między kołami zębatymi), natomiast w skrzyni CVT zmiana przełożenia jest ciągła dzięki płynnemu przesuwaniu się pasa po stożkach z dostosowaniem przełożenia

w taki sposób, aby silnik zawsze pracował w najbardziej efektywnym zakresie obrotów.

Gdy pojazd rusza, średnica na kole pasowym napędowym jest mała, a na kole napędzanym duża. Powoduje to powstanie niskiego momentu obrotowego na kołach pojazdu, co ułatwia płynne ruszenie. W miarę przyspieszania średnica na kole napędowym stopniowo rośnie, a na kole napędzanym maleje, co zapewnia płynne przejście do wyższego przełożenia bez odczuwalnych „skoków” zmiany biegu. Elektronika sterująca analizuje dane, takie jak prędkość pojazdu, obroty silnika, pozycja pedału gazu i obciążenie silnika, i na tej podstawie dostosowuje przełożenie, przesuując stożki kół pasowych za pomocą systemu hydraulicznego lub elektrycznego.

Bezstopniowa skrzynia przekładniowa (1-biegowa)

Skrzynia przekładniowa 1-biegowa to prosty mechanizm przenoszenia mocy, który zapewnia stałe przełożenie między wałem napędowym (np. silnikiem) a wałem odbiorczym (np. kołami pojazdu). W porównaniu z wielobiegowymi skrzyniami biegów skrzynie jednobiegowe są mniej skomplikowane, lżejsze i bardziej niezawodne, ponieważ nie posiadają mechanizmu zmiany biegów.

Budowa jednobiegowej skrzyni przekładniowej obejmuje wał wejściowy, przenoszący moment obrotowy z silnika do przekładni zębatej, która składa się ze stałego układu kół zębatych (np. przekładnia czołowa, walcowa lub planetarna). Przekładnia redukuje lub zwiększa prędkość obrotową zależnie od przełożenia i przenosi moment obrotowy na wał wyjściowy, napędzający np. koła pojazdu.

W zależności od zastosowania przekładnie mogą być dodatkowo wyposażone w mechanizm różnicowy (np. w pojazdach) czy sprzęgło lub inny element umożliwiający rozłączenie napędu.

Bezprzekładniowe napędy pojazdów elektrycznych

Bezprzekładniowe napędy pojazdów elektrycznych to rozwiązania, w których moment obrotowy wytwarzany przez silnik elektryczny jest przekazywany bezpośrednio na koła napędowe pojazdu, bez zastosowania tradycyjnej przekładni mechanicznej (takiej jak skrzynia biegów czy przekładnia redukcyjna). Tego typu konstrukcja znacznie upraszcza układ napędowy oraz eliminuje elementy pośrednie, które generują straty energii. Najczęściej stosowanymi silnikami w napędach bezprzekładniowych są silniki bezszczotkowe prądu stałego oraz silniki synchroniczne z magnesami trwałymi. Charakteryzują się one wysoką sprawnością, dużym momentem obrotowym przy niskich prędkościach oraz możliwością precyzyjnego sterowania elektronicznego. W wielu nowoczesnych rozwiązaniach napędowych stosuje się tzw. silniki w piaście koła, gdzie silnik jest zintegrowany bezpośrednio z kołem

pojazdu. Dzięki temu każdy zespół napędowy może być sterowany niezależnie, co otwiera drogę do zaawansowanych systemów sterowania trakcyjnego, takich jak wektorowanie momentu czy niezależna kontrola każdego koła.

Oleje przekładniowe

Oleje przekładniowe to ciecze smarne stosowane przede wszystkim w skrzyniach biegów, ale pracujące też w różnych przekładniach, mechanizmach różnicowych i innych miejscach, takich jak łożyska. Mają bardzo różne właściwości, a co za tym idzie – oznaczenia. Inne oleje stosowane są do ręcznych, inne do automatycznych, jeszcze inne do dwusprzęgłowych skrzyń biegów. Wyznacza się im też całe spektrum nierzadko wykluczających się zadań – na przykład muszą tworzyć warstwę ochronną, wytrzymywać ogromne naciski i zachowywać swoje właściwości w bardzo dużym zakresie temperatur, chronić przed korozją, chłodzić i rozpuszczać zanieczyszczenia. Olej przekładniowy składa się z bazy olejowej oraz dodatków, które wpływają na jego ostateczne właściwości (Poradniki/Motoryzacja).

Jednym z podstawowych zadań środków smarowych stosowanych w przekładniach zębatych jest zabezpieczenie powierzchni zębów przed zużyciem przez utworzenie filmu smarującego o odpowiedniej grubości. W przypadku olejów przekładniowych uzyskanie pożądanej grubości filmu smarującego uzależnione jest przede wszystkim od lepkości oleju, która z kolei jest funkcją lepkości olejów bazowych i modyfikatorów lepkości (jeśli są dodawane). Gdy komponenty te ulegają w czasie pracy ścinaniu, dochodzi do utraty lepkości oleju i zmniejszenia grubości filmu, co zwiększa ryzyko wystąpienia styku powierzchni typu metal–metal i skrócenia żywotności przekładni (Oleksiak, 2014).

Lepkość oleju przekładniowego określa specyfikacja SAE (Society of Automotive Engineers) – dwiema liczbami i jedną literą. Pierwszy człon oznacza tzw. lepkość zimową (np. 75W, W – od *winter*), drugi – „letnią” (np. 140). Pełna wartość lepkości zapisywana jest więc w tym przypadku jako 75W–140 według normy SAE J306. W praktyce określa ona lepkość oleju w różnych temperaturach, a zdecydowana większość produktów może pracować zarówno latem, jak i zimą.

Drugi rodzaj oznaczeń, na który również należy zwrócić uwagę, to klasa jakości API (American Petroleum Institute). W pewnym uproszczeniu określa ona zawartość dodatków i uszlachetniaczy, które nadają olejowi specyficzne właściwości – np. niespienianie się pod wpływem wysokiego ciśnienia. W praktyce stosuje się specyfikację API od GL-1 do GL-5, sporadycznie można się też spotkać z olejem GL-6, przeznaczonym teoretycznie do ekstremalnych warunków pracy.

Wyżej wymienione klasyfikacje nie dotyczą olejów do automatycznych skrzyń biegów ATF (ang. *automatic transmission fluid*), które do prawidłowego działania np. sprzęgła hydrokinetycznego czy systemu sprzęgieł sterujących stopniem przełożenia, wymagają stosowania oleju o niższej lepkości niż klasyczne ręczne skrzynie biegów. Głównym zadaniem olejów ATF jest zapewnienie płynnej pracy mechanizmu skrzyni, odpowiedniego tarcia, ochrony przed zużyciem oraz odprowadzania ciepła. Aby automatyczne skrzynie biegów mogły służyć bezawaryjnie, wymagają właściwego użytkowania oraz przestrzegania terminowych wymian płynów ATF i opcjonalnie filtrów oleju.

Oleje przekładniowe ATF powinny się charakteryzować dużą stabilnością termiczną i oksydacyjną, dobrymi właściwościami płynięcia w niskich temperaturach, redukcją tarcia i temperatury przekładni, wysoką odpornością na naciski powierzchniowe, redukcją zużycia złuszczeniowego (tzw. *anti-pitting*), wysoką odpornością na ścinanie oraz dobrą kompatybilnością z uszczelnieniami.

W trakcie eksploatacji jakość oleju, pełniącego funkcję środka smarowego, ulega stopniowym zmianom, głównie w kierunku degradacji. Proces ten jest nieunikniony i nasila się wraz z czasem pracy. Mimo to odpowiednio prowadzone działania konserwacyjne mogą skutecznie opóźniać pogarszanie się parametrów oleju.

Degradacja oleju jest to proces zmiany jego właściwości, zwłaszcza użytkowych, następujący w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury oraz tlenu z powietrza, w obecności katalitycznie oddziałujących metali oraz mechanicznych sił ścinających. Skutkami degradacji oleju najczęściej są: zmiana barwy, wzrost liczby kwasowej, powstawanie osadów i laków, wzrost zawartości cząstek stałych (zanieczyszczeń stałych), zmiana lepkości itp. (Total, rozdział 22).

Podczas eksploatacji olej jest narażony na różne rodzaje zanieczyszczeń, które można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne.

Zanieczyszczenia wewnętrzne obejmują:

- cząstki metali i stopów, generowane podczas docierania oraz normalnego zużycia powierzchni trących;
- cząstki elastomerów z uszczelnień;
- fragmenty przegród filtracyjnych;
- produkty degradacji oleju.

Zanieczyszczenia zewnętrzne to:

- kurz (krzemionka);
- cząstki organiczne, takie jak: pyłki roślin, nasiona, owady;
- zanieczyszczenia wniesione wraz z dolewającym olejem.

Zanieczyszczenia zewnętrzne najczęściej dostają się do układu w wyniku:

- nieszczelności układu smarowania;
- niewłaściwej wentylacji zbiornika oleju;

- nieodpowiednich warunków uzupełniania oleju (Gorner). Zmiana właściwości oleju podczas jego eksploatacji wiąże się z takimi procesami jak:
- utlenianie i polimeryzacja węglowodorów;
- tworzenie kwasów i żywic;
- zmniejszenie się stężenia dodatków uszlachetniających;
- mechaniczna destrukcja wiskozatorów, a przez to zmniejszenie wskaźnika lepkości;
- wzrost zawartości zanieczyszczeń stałych pochodzących z używania współpracujących elementów (cząstki stali, brązu, tlenków różnych metali, gumy);
- wzrost zawartości zanieczyszczeń stałych pochodzących z otoczenia (pył, cząstki gruntu);
- wzrost zawartości wody;
- zanieczyszczenie produktami działania bakterii (Tuszyński, 2006).

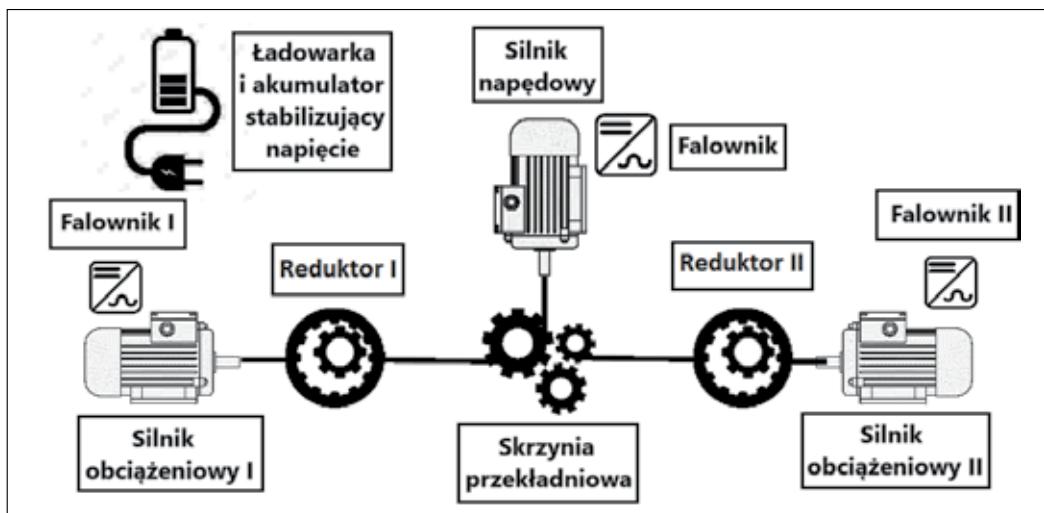
Trendy rozwoju przekładni, polegające na zmniejszaniu rozmiarów, podnoszeniu wymagań jakościowych i zaostrzaniu warunków eksploatacji, stwarzają nowe wyzwania w dziedzinie środków smarowych. Wysoka temperatura i duże obciążenia oraz substancje zanieczyszczające, takie jak woda i produkty degradacji oleju, mogą zakłócić pracę systemu nawet przy regularnej obsłudze. Mniejsze wymiarowo skrzynie biegów są wypełnione mniejszymi ilościami oleju (i dodatków), co przy rosnących obciążeniach powoduje wzrost temperatury pracy i przyspieszone utlenianie oleju. W skrzyniach przekładniowych dąży się do zmniejszenia lepkości oleju i strat tarcia na współpracujących powierzchniach. Efektem tych przedsięwzięć jest obniżenie temperatur pracy skrzyń przekładniowych i poprawa sprawności, co przekłada się na zmniejszenie ilości traconej energii. Odpowiedni dobór oleju pozwala zatem, poza oszczędnością energii, przeliczalną na zmniejszenie emisji CO₂, także – przez obniżenie temperatury pracy – na przedłużenie żywotności oleju i trwałości smarowanego urządzenia (Oleksiak, 2016).

Opis stanowiska badawczego

Elektryczne stanowisko badawcze INiG – PIB ma służyć do prowadzenia programowanych, monitorowanych badań degradacji smarowego oleju przekładniowego zespołów napędowych pojazdów elektrycznych. Schemat blokowy stanowiska badawczego pokazano na rysunku 1.

Poniżej podano opis i charakterystykę techniczną głównych elektrycznych podzespołów napędowego i obciążających wraz z ich sterowaniem, które wchodzi w skład stanowiska badawczego.

1. Silnik napędowy – elektryczny silnik synchroniczny z magnesami trwałymi typu SMKwsK132L-8 o parametrach:



Rysunek 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego (fot. INiG – PIB – GIT)

Figure 1. Block diagram of the research station (photo INiG – PIB – GIT)

- prędkość maksymalna: 10 000 obr/min;
- moment maksymalny: 300 Nm – maksymalny moment został ograniczony do poziomu 245 Nm, czyli wartości maksymalnego momentu dla skrzyni przekładniowej;
- moc maksymalna: 100 kW, odpowiadająca mocy przenoszonej przez skrzynię przekładniową;
- prędkość znamionowa: 3600 obr/min;
- moment znamionowy: 199 Nm;
- moc znamionowa: 75 kW.

Powodem niewykorzystania oryginalnego silnika pojazdu Renault ZOE R135 w stanowisku badawczym jest jego konstrukcja jako synchronicznego silnika wzbudzanego elektromagnetycznie, która uniemożliwia jego skuteczne sterowanie przy użyciu dostępnych na rynku komercyjnych falowników. Dodatkową przeszkodą jest brak dostępu do kodów źródłowych oryginalnego falownika Renault ZOE R135, co uniemożliwiło jego integrację z opracowywanym systemem testowym oraz przeprowadzenie niezależnego, programowalnego sterowania silnikiem w warunkach laboratoryjnych.

2. Falownik – regulator obrotów oraz momentu silnika elektrycznego napędowego typu BorgWarner Gen4 Size 10 o parametrach:
 - maksymalne napięcie DC: 800 V;
 - maksymalny prąd AC: 400 A;
 - maksymalna moc: 100 kW.
3. Silniki obciążające I i II – dwa elektryczne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi typu SMwsg132-M6B o parametrach:
 - prędkość maksymalna: 7000 obr/min;
 - moment maksymalny: 240 Nm;
 - moc maksymalna: 85 kW;
 - prędkość znamionowa: 3600 obr/min;

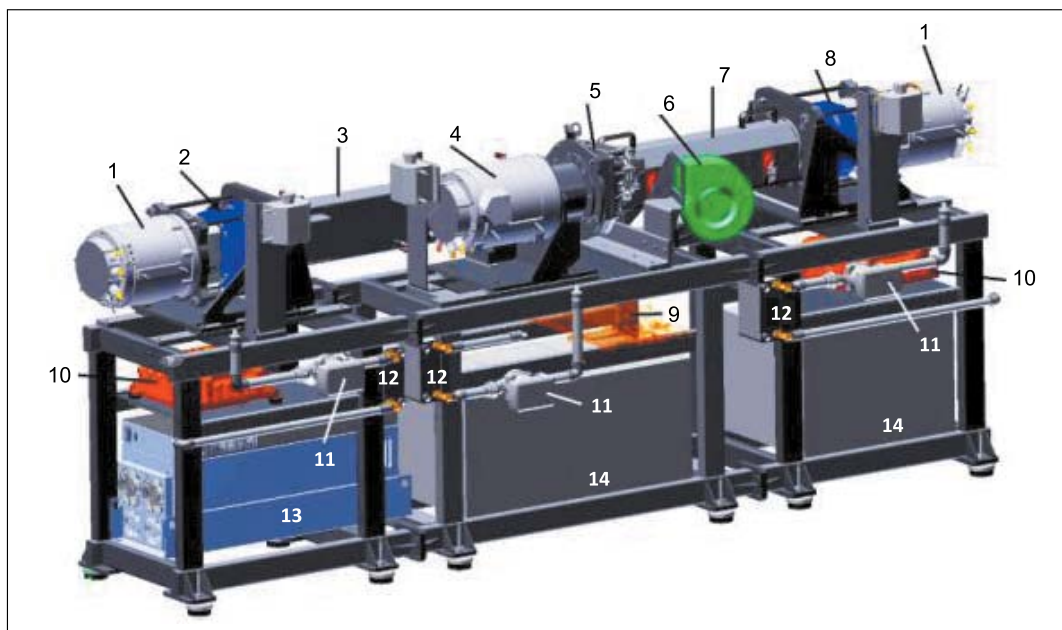
- moment znamionowy: 120 Nm;
- moc znamionowa: 45 kW.

4. Falowniki I i II – regulatory obrotów oraz momentu silników elektrycznych obciążających typu BorgWarner Gen4 Size 8 o parametrach:
 - maksymalne napięcie DC: 400 V;
 - maksymalny prąd AC: 360 A;
 - maksymalna moc: 100 kW.

W układzie wykorzystane zostały dwa reduktory podwyższające moment obciążający silników do poziomu odpowiadającego obciążeniu na obu półosiach generowanemu przez koła pojazdu elektrycznego.

Całość zabudowana została na stalowym stole, którego konstrukcję złożono z kształtowników prostokątnych zamkniętych. Do stołu przymocowano napęd główny, napędy obciążające, przekładnie (reduktory) obciążające oraz skrzynię przekładniową z kompletem półosi, pochodzącą z samochodu Renault ZOE E-Tech Electric R135. Jako źródło informacji o prędkości obrotowej oraz momencie obrotowym wykorzystywane są układy pomiarowe falowników. Moment obrotowy jest estymowany na podstawie pomiaru prądu fazowego silników elektrycznych i został wyskalowany w laboratorium wzorującym. Falowniki zapewniają pomiar prędkości obrotowej z dokładnością nie mniejszą niż ± 10 obr/min. Stanowisko badawcze jest wyposażone w system awaryjnego wyłączenia wszystkich podzespołów w przypadku przekroczenia granicznych parametrów pracy poszczególnych podzespołów.

Stanowisko badawcze składa się z trzech głównych podzespołów zamontowanych na ramach wykonanych z profili stalowych. Na ramie środkowej znajduje się podzespół napędowy służący do napędzania skrzyni przekładniowej, podzespoły hamujące umieszczone są na ramach skrajnych i mają za zadanie odwzorować obciążenie, które oddziałuje



Rysunek 2. Schemat poglądowy najważniejszych podzespołów stanowiska badawczego (fot. INiG – PIB – GIT)

Figure 2. Schematic diagram of the most important components of the research station (photo INiG – PIB – GIT)

Tabela 1. Opis podzespołów stanowiska badawczego wyszczególnionych na rysunku 2

Table 1. Description of the components of the research station specified in Figure 2

Pozycja	Podzespół
1	Obciążający elektryczny silnik synchroniczny z magnesami trwałymi
2, 8	Reduktor – przekładnia redukcyjna momentu obrotowego silników obciążających
3, 7	Ośłona półosi samochodu Renault ZOE
4	Napędowy elektryczny silnik synchroniczny z magnesami trwałymi
5	Bezstopniowa (1-biegowa) skrzynia przekładniowa Renault ZOE R135
6	Wentylator chłodzący skrzynię przekładniową
9, 10	Falowniki silników elektrycznych
11	Pompa obiegu płynu chłodzącego
12	Chłodnica – płytowy wymiennik ciepła plyn–woda
13	Ładowarka DC
14	Pakiet baterii stabilizujących napięcie DC

na półosi podczas jazdy samochodu. Na stanowisku badawczym zabudowane są także współpracujące z wymienionymi podzespołami części, takie jak: falowniki, akumulator z ładowarką, sterownik komunikacyjny, pompy obiegu płynu chłodzącego, zbiorniki wyrównawcze, płytowe wymienniki ciepła, orurowanie układów chłodzenia, wentylator chłodzący skrzynię przekładniową, półosi łączące badaną przekładnię z podzespołami obciążającymi, osłony półosi z czujnikami indukcyjnymi bezpieczeństwa. Schemat poglądowy i najważniejsze podzespoły stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2, opis elementów składowych wyszczególniono w tabeli 1, natomiast wizualizację stanowiska badawczego pokazano na rysunkach 3 i 4.



Rysunek 3. Stanowisko badawcze od strony skrzyni przekładniowej

Figure 3. Test station from the gearbox side



Rysunek 4. Stanowisko badawcze od strony pólasi napędowych
Figure 4. Test stand from the drive shaft side

Stanowisko zasilane jest z sieci trójfazowej za pośrednictwem układu przekształtnikowego realizującego konwersję zmiennego napięcia sieciowego AC do napięcia stałego DC, gdzie do stabilizacji napięcia DC wykorzystana została bateria o pojemności 46 kWh i napięciu z zakresu 365–370 V. W takim układzie przepływ energii odbywa się w oczku pomiędzy silnikami obciążającymi a silnikiem napędowym, natomiast z sieci pobierana jest jedynie energia wynikająca ze strat występujących w układzie elektrycznym zasilania stanowiska badawczego.

Przy założeniu sprawności skrzyni przekładniowej z Renault ZOE na poziomie 97%, maksymalny poziom mocy pobieranej z sieci zasilającej będzie wynosił około 21 kW. W związku z tym sieć trójfazowa będzie obciążona prądem około 30 A, przy maksymalnym 100 kW obciążeniu silnika napędowego. W przypadku znaczących różnic w sprawności skrzyni przekładniowej należy spodziewać się większego prądu pobieranego z sieci trójfazowej, a dokładne określenie wartości bezpieczników będzie możliwe dopiero po przeprowadzeniu badań stanowiska w laboratorium INiG – PIB.

Układ chłodzenia zrealizowany został w postaci hybrydowej. Do chłodzenia silników i falowników wykorzystano układ chłodzenia płynowego za pośrednictwem trzech wymienników ciepła typu płyn–woda. Silniki elektryczne i falowniki chłodzone są płynem w układzie wymuszonego przepływu przez pompy, gdzie na każdy układ napędowy (silnik–falownik) przypada jeden wymiennik, pompa obiegowa oraz zbiornik wyrównawczy. Wymienniki ciepła chłodzone są w sposób ciągły przepływającą wodą, pochodzącą z głównej magistrali chłodzenia całej hamowni w obiegu zamkniętym, wyposażonym w podziemny zbiornik wodny i kolumnę chłodniczą. Natomiast skrzynia przekładniowa chłodzona jest za pomocą wymuszonego przepływu powietrza z trybem pracy zależnym od temperatury smarownego oleju przekładniowego.

Opis zastosowanej skrzyni przekładniowej

W porównaniu z procesem rozwoju pojazdów z tradycyjnymi silnikami spalinowymi koncepcja e-mobilności wprowadza istotne zmiany w podejściu producentów do kwestii projektowania układów przeniesienia napędu. Dotychczas 6-biegowe ręczne przekładnie lub 8-biegowe automatyczne skrzynie biegów stanowiły normę w świecie motoryzacji. Jednak obecnie nowoczesne pojazdy elektryczne, aby zapewnić maksymalną wydajność poprzez przesył energii z wysokim momentem obrotowym, posiadają innego rodzaju automatyczne przekładnie – np. 2-stopniowe przekładnie zębate czołowe, zintegrowane stopniowe przekładnie planetarne lub przekładnie o bezstopniowej zmianie przełożenia, zwane również przekładniami bezstopniowymi lub 1-biegowymi. Często silniki elektryczne, oprzyrządowanie elektryczne oraz układ przeniesienia napędu znajdują się w jednej obudowie, co redukuje całkowitą liczbę elementów w zespołach napędowych i całkowitą wagę systemu. W pojazdach elektrycznych (BEV) ta zintegrowana jednostka może bezpośrednio zasilać elektryczny układ przeniesienia napędu na osie. W pojazdach hybrydowych możliwe są różnorodne konfiguracje przekładni w zależności od współdziałania silnika elektrycznego i spalinowego.

Zasady działania układów przeniesienia napędu pojazdu elektrycznego różnią się od ich odpowiedników w pojazdach z silnikiem spalinowym. Bezstopniowe skrzynie biegów są prostsze konstrukcyjnie oraz tańsze w produkcji w porównaniu z manualnymi lub automatycznymi skrzyniami biegów. Moment obrotowy przenoszony jest ciągle (bez żadnych przerw) pomiędzy dwiema parami kół zębatach, dzięki czemu przełożenie zmienia się „płynnie”. Jednak na poziomie komponentów występuje wiele podobieństw w zakresie wymagań projektowych i produkcyjnych. Kluczowe elementy, takie jak koła zębate proste i śrubowe oraz obudowa, są wspólne dla obu rodzajów układów przeniesienia napędu. Główne wyzwanie w procesie dostosowywania takich elementów do układu przeniesienia napędu pojazdu elektrycznego wiąże się z wyższym momentem obrotowym i prędkością obrotową osiąganą przez silnik elektryczny. Pole tolerancji w produkcji precyzyjnej elementów przekładni takich jak koła zębate proste i śrubowe lub systemy napędowe składające się z przekładni planetarnej, jest zazwyczaj węższe w przypadku podzespołów pojazdów elektrycznych. Wykończenie powierzchni przekładni ma również ogromne znaczenie ze względu na większy przenoszony nacisk powierzchniowy przez zęby przekładni, co stanowi o jej żywotności i generowaniu mniejszego hałasu (Hexagon).

Projekt INiG – PIB zakładał wykorzystanie do badań olejów przekładniowych najbardziej popularnej bezstopniowej skrzyni przekładniowej (1-biegowej) produkowanej przez europejskiego producenta, zapewniającej łatwy dostęp do

podzespołów składowych takich jak koła zębate, które w naszym przypadku są elementami testowymi podlegającymi ocenie. Natomiast na stan dzisiejszy, ze względu na dostępność i charakter pracy skrzyni przekładniowej, gdzie na obu półosiach będą uzyskiwane takie same momenty i prędkości obrotowe, nie przewiduje się oceniania mechanizmu różnicowego. Po intensywnych poszukiwaniach ukierunkowanych na dostępność części zamiennych wybrano przekładnię samochodu osobowego Renault ZOE R135 o maksymalnych przenoszonych parametrach wynoszących odpowiednio 11 163 obr/min, 245 Nm, 100 kW i nominalnej ilości oleju przekładniowego 0,85 L.

W tabeli 2 podano pełne parametry wejściowe, które powinna przenosić skrzynia przekładniowa, a na rysunku 5 przedstawiono schematy złożeniowe wraz z wyszczególnieniem w tabeli 3 opisu elementów składowych skrzyni przekładniowej.

Tabela 2. Parametry wejściowe skrzyni przekładniowej Renault ZOE R135

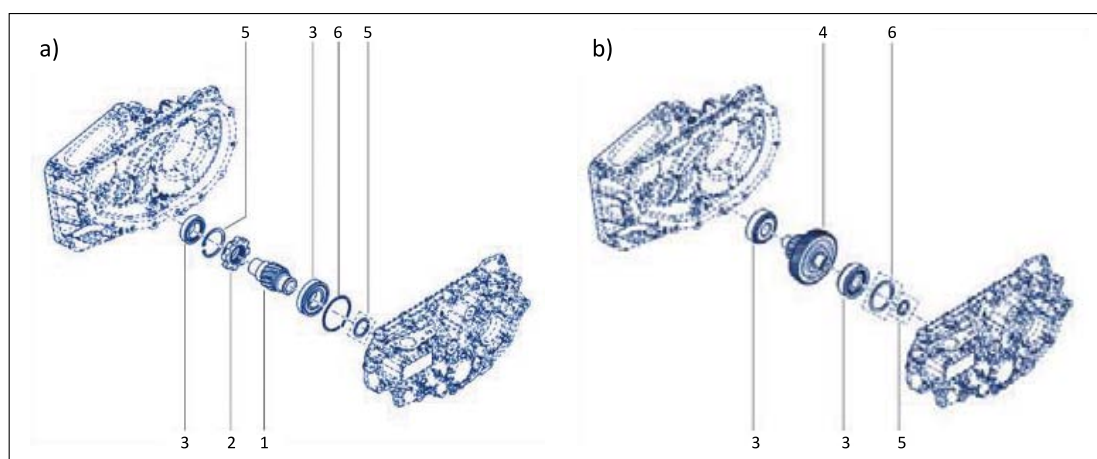
Table 2. Renault ZOE R135 gearbox input parameters

Parametr	Zakres
Moc maksymalna	100 kW (135 KM) przy 4200–11 136 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	245 Nm przy 1500–3600 obr/min

Przedstawiona na rysunku 5 skrzynia przekładniowa jest najczęściej stosowaną bezstopniową (1-biegową) przekładnią w pojazdach elektrycznych. Składa się ona z przekładni redukcyjnej na bazie przekładni walcowej, która zmniejsza wysoką prędkość obrotową silnika elektrycznego do wartości odpowiedniej dla kół jezdnych i niewyszczególnionego na rysunku mechanizmu różnicowego. Stałe przełożenie pozwala na proste i efektywne przeniesienie mocy, a dzięki wysokiemu momentowi obrotowemu silnika elektrycznego nie potrzeba zmiany biegów. Czasami stosowana jest 2-biegowa przekładnia zębata, głównie w pojazdach o dużej mocy lub o bardzo wysokich osiągnięciach. Dwa biegi umożliwiają wtedy bardziej elastyczne wykorzystanie mocy, co przydaje się przy bardzo wysokich prędkościach lub w przypadku bardziej dynamicznego przyspieszenia – np. w pojazdach sportowych. Z tego powodu większość osobowych samochodów elektrycznych jest wyposażona w przekładnię zębatą o stałym przełożeniu, która dostosowuje prędkość obrotową silnika do prędkości kół jezdnych, nie wymagając ciągłych zmian biegów.

Zalety stosowania bezstopniowej skrzyni przekładniowej w samochodach elektrycznych:

- prosta konstrukcja – mniej ruchomych części w porównaniu z wielobiegowymi skrzyniami biegów, co wpływa na niższy koszt produkcji i większą niezawodność;



Rysunek 5. Schemat złożeniowy skrzyni przekładniowej Renault ZOE R135 bez wyszczególnionego mechanizmu różnicowego: a) od strony wejściowej, b) od strony wyjściowej (szkic INiG – PIB – Renault)

Figure 5. Assembly diagram of the Renault ZOE R135 gearbox without the differential mechanism specified: a) of the input side, b) from the output side (sketch INiG – PIB – Renault)

Tabela 3. Opis podzespołów skrzyni przekładniowej Renault ZOE R135

Table 3. Description of the Renault ZOE R135 gearbox components

Bezstopniowa skrzynia przekładniowa Renault ZOE R135	
1 – wałek wejściowy	4 – wałek wyjściowy
2 – koło zębate	5 – spinki zabezpieczające łożyska
3 – łożyska podporowe wałków	6 – przekładki łożysk

- wyższa efektywność energetyczna – mniej strat energii na zmiany przełożeń i mniejsza masa układu;
- mniejsze zużycie części – brak ciągłych zmian biegów i mniejsza liczba elementów przekładni sprawiają, że części zużywają się wolniej;
- płynność pracy – brak odczuwalnych „przeskoków” między biegami, co wpływa na komfort jazdy.

Wady stosowania bezstopniowej skrzyni przekładniowej w samochodach elektrycznych:

- ograniczona wytrzymałość – bezstopniowe przekładnie (1-biegowe) mogą być mniej wytrzymałe niż klasyczne skrzynie biegów, co ogranicza ich stosowanie w pojazdach o dużej mocy;
- wrażliwość na przegrzanie – ze względu na ciągłą pracę pod obciążeniem przekładnie mogą być podatne na przegrzanie, szczególnie w trudniejszych warunkach pracy;
- skomplikowana konserwacja – wymagają specyficznego serwisu oraz droższych materiałów eksploatacyjnych.

Wyzwania związane z przekładniami w pojazdach elektrycznych:

- odprowadzanie ciepła – mimo prostoty konstrukcji przekładnia musi być chłodzona, zwłaszcza przy większych obciążeniach;
- wysoka trwałość materiałów – elementy przekładni muszą być odpowiednio wytrzymałe, aby przenosić duże momenty obrotowe dostępne od razu po uruchomieniu silnika.

Oprogramowanie stanowiska badawczego

Nowo zbudowane symulacyjne stanowisko testowe do badania olejów smarowych przekładni pojazdów elektrycznych w stanie odbioru technicznego, czyli sprawdzenia funkcjonalności wszystkich podzespołów, umożliwiło tylko zadawanie poprzez falowniki silników elektrycznych zmiennych prędkości obrotowych zespołu napędowego. Pojawiła się więc konieczność rozszerzenia oprogramowania stanowiska badawczego, polegającego na zaprojektowaniu testu w zmiennych cyklach badawczych (czasach) i o różnych zależnościach założonych wielkości parametrów pracy (prędkości i momentu obrotowego) zaprogramowanych w danych fazach przejścia, czyli w czasie, po którym osiąga się zadane parametry. Należało również rozszerzyć oprogramowanie o możliwość wprowadzenia maksymalnej prędkości i maksymalnego obciążenia układu silniki elektryczne-skrzynia przekładniowa. Ponadto oprogramowanie musiało zapewniać pracę stanowiska badawczego w trybie automatycznym, czyli dawać możliwość wprowadzenia w powtarzalnych cyklach

złożonej liczby kroków pracy, a także zapewniać pracę w manualnym nastawieniu wszystkich parametrów bez ograniczeń czasowych.

Dlatego też do sterowania pracą programowalnego stanowiska badawczego z silnikami elektrycznymi i bezstopniową skrzynią przekładniową pochodzącą od Renault ZOE R135 i monitorowania tej pracy opracowano specjalne oprogramowanie, szczegółowo opisane poniżej.

Zakładka oprogramowania „Główne”

Po uruchomieniu aplikacji na ekranie widoczne są następujące bloki funkcjonalne (rysunek 6), gdzie STATUS wskazuje stan elementów systemu:

- CAN – zielony kolor oznacza poprawną inicjalizację interfejsu, czerwony oznacza błędną inicjalizację (program nie będzie pracował poprawnie). Brak koloru oznacza, że stan jest jeszcze nieokreślony;
- System – kolor zielony oznacza gotowość systemu do uruchomienia cyklu, kolor żółty oznacza, że system jest w czasie inicjalizacji, natomiast kolor czerwony oznacza, że system nie działa prawidłowo;
- Ostrzeżenie – kolor zielony oznacza brak ostrzeżeń, kolor czerwony oznacza, że w systemie obecne jest ostrzeżenie;
- Błąd – kolor zielony oznacza, że w systemie nie wykryto błędów, kolor czerwony oznacza, że w systemie wystąpił błąd;
- Dane – kolor zielony oznacza, że do systemu wprowadzono prawidłowy cykl do sterowania pracą stanowiska badawczego, kolor czerwony oznacza, że dane są nieprawidłowe lub nie zostały wprowadzone.



Rysunek 6. Główna zakładka aplikacji z wyświetlonymi blokami funkcjonalnymi programu (fot. INiG – PIB)

Figure 6. The main application tab with the program's functional blocks displayed (photo INiG – PIB)

Sterowanie cyklami pracy

Start >> – uruchamia pracę stanowiska badawczego w zdefiniowanym cyklu.

Stop [] – zatrzymuje pracę stanowiska.

Pomiary parametrów podzespołów stanowiska badawczego

W bloku wartości parametrów widoczne są wskazania wartości części parametrów systemu (aktualizowane w czasie rzeczywistym na podstawie danych z magistrali CAN). Aplikacja nie umożliwia detekcji wiarygodności danych, są one pobierane ze sterowników urządzeń wchodzących w skład stanowiska badawczego i są źródłem dodatkowych informacji.

Prezentowane są następujące dane:

- napięcie baterii (Ubat);
- prąd obciążenia baterii (Ibat);
- dopuszczalny prąd rozładowania baterii (Irbat);
- dopuszczalny prąd ładowania baterii (Iłbat);
- stan naładowania baterii (SoC – State of Charge);
- napięcie ładowarki (Uład);
- prąd ładowarki (Iład);
- moc ładowarki (Pład);
- temperatura falownika 1 (Tf1);
- temperatura falownika 2 (Tf2);
- temperatura falownika 3 (Tf3);
- temperatura przekładni planetarnej 1 (Tp1);
- temperatura przekładni planetarnej 2 (Tp2).

Oprócz powyższych parametrów aplikacja umożliwia w sposób ciągły monitorowanie między innymi:

- prędkości i momentów obrotowych silników elektrycznych;
- mocy wyjściowej napędowego silnika elektrycznego;
- temperatur silników elektrycznych;
- temperatury oleju w skrzyni przekładniowej.

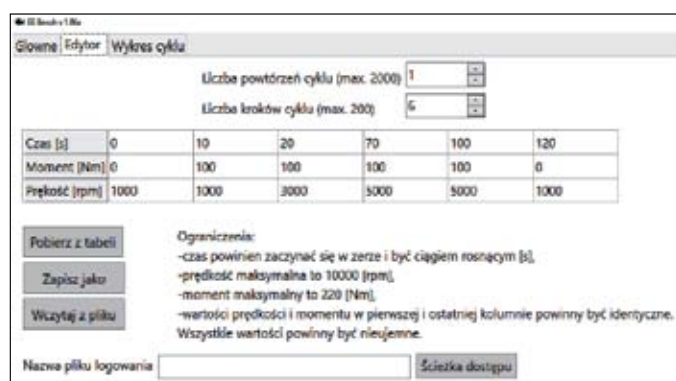
Blok wartości parametrów pracy elementów systemu wyposażony jest dodatkowo w możliwość definiowania wartości generujących poziom ostrzeżenia oraz poziom błędu. Definiowanie realizowane jest poprzez dwukrotne naciśnięcie wartości, która ma ulec zmianie, co w efekcie uruchamia okno dialogowe umożliwiające dodatkowo przeprowadzenie prostych obliczeń numerycznych. Program wymusza założenie, że wartość, po której przekroczeniu nastąpi wyłączenie stanowiska badawczego, musi być większa od ostrzeżenia, a jeżeli ta zależność nie jest spełniona, definiowana aktualnie wartość nie ulegnie zmianie (brak komunikatu o błędzie).

Zakładka oprogramowania „Edytor”

Druga zakładka programu, oznaczona jako „Edytor”, umożliwia definiowanie cyklu pomiarowego – rysunek 7.

Liczba powtórzeń cyklu określa, ile razy zdefiniowany cykl będzie powtarzany, natomiast liczba kroków cyklu to liczba punktów definiujących cykl podstawowy. Następnie w oknie edytora pojawi się tabela, w której dla każdego z kroków należy podać czas zmiany kroku, wartość oczekiwanego momentu obrotowego oraz wartość oczekiwaną prędkość obrotową.

Przycisk „Pobierz z tabeli” powoduje pobranie danych z tabeli i przeniesienie ich do programu sterującego stanowiskiem



Rysunek 7. Okno edytorskie wprowadzającego programu testowego (fot. INiG – PIB)

Figure 7. Editing window of the entered test program (photo INiG – PIB)

badawczym. Podczas tej czynności realizowana jest dodatkowa weryfikacja danych (ciągłość czasu kroku, dopuszczalne wartości prędkości obrotowych i momentów).

W oprogramowaniu zdefiniowana została też krzywa ograniczenia mocy, wynikająca z wykorzystanego napędu elektrycznego. Jeżeli warunek poprawności danych nie zostanie spełniony, to program poinformuje o tym użytkownika ostrzeżeniem – poprawne wczytanie danych zapali zieloną kontrolkę w głównej zakładce w polu SYSTEM: Dane (rysunek 6).

Przycisk „Zapisz jako” umożliwia zapisanie cyklu do pliku CSV. Przycisk „Wczytaj z pliku” umożliwia pobranie danych z pliku CSV.

W polu „Nazwa pliku logowania” należy zdefiniować przedrostek nazwy pliku, w którym będą gromadzone logi. Do nazwy pliku automatycznie dodawane będą informacje o dacie i godzinie realizacji programu. Pliki są automatycznie dzielone w odstępach godzinnych, tak by zabezpieczyć dane w przypadku np. utraty zasilania w stanowisku badawczym lub awarii systemu operacyjnego.

Zabezpieczenia niedefiniowalne

Oprócz możliwości definiowania ostrzeżeń oraz błędów w aplikacji – system nadrzędnie stale monitoruje i analizuje parametry pracy stanowiska badawczego, wykonując awaryjne wyłączenie w przypadku przekroczenia zdefiniowanych w sterowniku głównym stanowiska wartości granicznych. Dodatkowo w przypadku temperatur falowników oraz przekładni, które w programie nie mają definiowanych pól ostrzeżeń i błędów w sytuacji zbliżania się do wartości krytycznej, pola zmieniają kolor odpowiednio na żółty dla ostrzeżenia oraz czerwony dla wartości alarmowej. Możliwe jest definiowanie limitów ostrzeżeń i alarmów oraz ich monitorowanie podczas pracy automatycznej i ręcznej stanowiska badawczego.

Oprogramowanie sterowania i kompleksowego monitorowania pracy stanowiska pozwala na zaprogramowanie

granicznych wartości parametrów prowadzonego testu, po których przekroczeniu, w zależności od znaczenia (wagi) zaistniałego przekroczenia, podawane są ostrzeżenia lub alarmy na monitorze lub następuje wyłączenie stanowiska badawczego wraz z wszystkimi podzespołami.

Platforma sprzętowa i środowisko programistyczne

Do sterowania stanowiskiem badawczym zastosowano komputer PC wyposażony w procesor Intel i5-5300, z 8 GB RAM i systemem operacyjnym Windows 10. Aplikacja systemowa została napisana w języku Object Pascal, natomiast sterownik ECU został zaprogramowany z wykorzystaniem środowiska CODESYS. Do komunikacji PC z ECU wykorzystano magistralę CAN poprzez interfejs PeakCAN USB z optoizolacją, natomiast integracja ECU z falownikami odbywa się poprzez bezpośrednią komunikację magistralą CANopen – falowniki są uruchamiane poprzez przekaźniki sterowane z wyjść PWM sterownika ECU. System chłodzenia skrzyni przekładniowej, składający się z wentylatora, jest włączany po uruchomieniu stanowiska badawczego i wyłączany automatycznie, gdy temperatura oleju przekładniowego spadnie poniżej 40°C – sterowanie odbywa się przez przekaźnik (P162 – IO_PWM_07). Magistrala CAN z interfejsem PeakCAN USB służy do komunikacji i zbierania danych z falowników, sterowników silników oraz czujników temperatury PT1000 połączonych z jednostką ECU poprzez wyjścia analogowe. Nie zastosowano zewnętrznych kart pomiarowych – całość pomiarów i transmisji danych odbywa się przez system CANopen i wejścia sterownika ECU. Rejestrowane dane zapisywane są do pliku w formacie CSV co 1 sekundę i zawierają poniższe dane:

- aktualną datę i godzinę;
- prędkość obrotową silnika napędowego;
- moment na wale silnika napędowego;
- temperatury: oleju, silników elektrycznych, falowników, przekładni;
- prędkości i momenty silników obciążających.

Pliki są dzielone co godzinę, a ich nazwa zawiera automatycznie dodawane datę i czas.

Podsumowanie

Opracowanie nowatorskiego stanowiska badawczego z zastosowaniem bezstopniowej przekładni do badania stopnia degradacji olejów przekładniowych, pracującego na podstawie własnej procedury programowania parametrów badawczych, pozwoli badać i oceniać na stanowisku symulacyjnym opracowywane w skali laboratoryjnej formułacje olejów do przekładni pojazdów elektrycznych, a tym samym wejść w nowy obszar badań – cieczy eksploatacyjnych stosowanych w pojazdach elektrycznych.

Nowo zbudowane stanowisko umożliwia też prowadzenie badań właściwości użytkowo-eksploatacyjnych olejów przekładniowych w powtarzalnych, ściśle określonych warunkach, zbliżonych do warunków rzeczywistej eksploatacji, których nie mogą zapewnić inne badania laboratoryjne.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Rozszerzenie funkcjonalności oprogramowania sterującego stanowiska badawczego do oceny olejów smarowych przekładni elektrycznych zespołów napędowych*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0067/TE/2024, nr archiwalny: DK-4100-52/2024.

Literatura

- Fix My Car. <<https://fixmycar.pl/blog/rodzaje-skrzyn-biegow-i-zasady-ich-dzialania/>> (dostęp: listopad 2024).
- Gorner. <<https://gorner.pl/aktualnosci/jak-zapobiegac-degradacji-oleju-i-chronic-uklady-smarowania/>> (dostęp: 20.11.2024).
- Hexagon. <<https://hexagon.com/pl/resources/resource-library/electric-vehicle-drivetrains>> (dostęp: 19.08.2024).
- Muratorplus technika. <<https://www.muratorplus.pl/technika/samochody/rodzaje-aut-elektrycznych-bev-hev-phev-i-reev-czym-sie-roznia-auta-elektryczne-aa-jjP-kcNe-qFDJ.html>> (dostęp: 5.11.2024).
- Oleksiak S., 2014. Ocena odporności na ścinanie samochodowych olejów przekładniowych. *Nafta-Gaz*, 70(5): 313–319.
- Oleksiak S., 2016. Energooszczędne oleje przekładniowe. *Nafta-Gaz*, 72(12): 1137–1143. DOI: 10.18668/NG.2016.12.18.
- Poradniki/Motoryzacja. <<https://allegro.pl/arttykul/jak-czytac-oznaczenia-olejow-przekladniowych--103401>> (dostęp: 17.11.2024).
- Sacha D., Skibińska A., Żółty M., Barglik E., 2024. Skrzynie biegów (przekładnie) i oleje przekładniowe stosowane w pojazdach elektrycznych. *Nafta-Gaz*, 80(11): 716–722. DOI: 10.18668/NG.2024.11.06.
- Total, rozdział 22. Nadzór nad stanem maszyny i oleju. <[https://gacoi.pl/files/UserFiles/rozdzial 01.pdf](https://gacoi.pl/files/UserFiles/rozdzial%2001.pdf)> (dostęp: 17.11.2024).
- Tuszyński W., 2006. Starzenie samochodowych olejów przekładniowych. Część III. Wpływ na zużycie modelowego wężła tarcia. *Tribologia*, 210(6): 39–56.



Mgr inż. Kornel DYBICH
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: kornel.dybich@inig.pl



Mgr inż. Ewa BARGLIK
Specjalista inżynierijno-techniczny
w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: ewa.barglik@inig.pl



Mgr inż. Agnieszka SKIBIŃSKA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl