



Zbigniew Rusak

Zimowe testy systemów bezpieczeństwa

– na przykładzie autobusów Mercedes-Benz i Setra

Najnowsza Setra S 517 HDH w drodze na tor lodowy w Arvidsjaur

W procesie zapewniania bezpieczeństwa podróży istotne znaczenie mają testy eksploatacyjne autobusów. Prowadzone są one w różnych warunkach terenowych i pogodowych. W artykule przedstawiono zimowe testy, którym poddawane są autobusy Mercedes i Setra. Ich wyniki umożliwiają doskonalenie podzespołów i systemów mających wpływ na poziom bezpieczeństwa podróży.

Podróżując autobusem, trudno sobie wyobrazić, ile godzin testu muszą przejść prototypy autobusów, zanim zostaną skierowane do seryjnej produkcji. Jednak podjęcie decyzji o produkcji nowego modelu nie kończy procesu prób. Każda nowa kompletacja układu napędowego, każda zmiana jednego z głównych podzespołów czy jakakolwiek korekta oprogramowania w systemach bezpieczeństwa pociąga za sobą konieczność poddania kolejnej wersji pojazdu całemu cyklowi prób, w tym także tych prowadzonych w ekstremalnych warunkach. Nasuwa się pytanie: „po co?”. Odpowiedź jest prosta – każdy z szanujących się producentów autobusów musi sprawdzić zachowanie się produktu w każdej sytuacji, nawet tej, która rzadko zdarza się na europejskich drogach.

Testy drogowe to proces weryfikacji prawidłowości przyjętego w toku projektowania modelu matematycznego. Autobusy uzbrojone w specjalistyczny sprzęt pomiarowy zbierają tysiące danych o funkcjonowaniu niemal wszystkich jego podzespołów w różnych warunkach drogowych. W polityce koncernu Daimler wszystkie autobusy Mercedes-Benz i Setra poddawane są wielomiesięcznym testom eksploatacyjnym: zarówno w warunkach tropikalnych przy temperaturach powyżej 40°C. w hiszpańskich górach Sierra Nevada, jak i w pobliżu kręgu polarnego w Finlandii i w Szwecji przy temperaturach oscylujących w granicach od -25°C do -40°C. Dodatkowo testy wytrzymałościowe prowadzone są także

na górskich drogach środkowej Turcji, które charakteryzują się zróżnicowaną nawierzchnią oraz dużą zmiennością temperatur i wilgotności w ciągu dnia. W niniejszym artykule przedstawiono zakres testów zimowych, jakim poddawane są autobusy Mercedes i Setra na zamrożonych jeziorach północnej Europy.

Historia badań

Pierwszym testom polarnym zostały poddane w 1981 r. autobusy turystyczne Mercedes-Benz O303 oraz Setra serii 200. To właśnie w tych modelach zamontowano po raz pierwszy systemy przeciwpoślizgowe ABS. Wynik prac konstruktorów Daimlera pokazano specjalistom z branży na torze w fińskim Rovaniemi. Zadawające wyniki prób zaowocowały decyzją o wprowadzeniu systemu ABS do seryjnej produkcji w 1984 r. Dziś, gdy systemy ABS/ASR/ESP są typowym wyposażeniem pojazdu, niewiele osób zdaje sobie sprawę, że bez testów arktycznych wprowadzenie coraz nowocześniejszych systemów bezpieczeństwa, takich jak aktywny tempomat czy Breake Assistent, byłoby niemożliwe.

Warunki klimatyczne obszarów koła podbiegunowego

Wraz z rozwojem techniki i coraz większym zastosowaniem wszechobecnej elektroniki liczba prób przeprowadzanych w warunkach arktycznych nieustannie rosła. Stąd obok Rovaniemi pojawiły się nowe tory prób, zlokalizowane w sąsiedztwie kręgu polarnego, m.in. w szwedzkich miejscowościach Arvidsjaur i Arjeplog (na wysokości 65. i 66. równoleżnika).

Laponia jest mekką dla zespołów doświadczalnych branży motoryzacyjnej. Każdej zimy, w okresie od stycznia do marca, ten obszar dalekiej północy przyciąga inżynierów, mechaników i kierowców z działu badawczego Daimler Buses, którzy testują

każdy model nowego autobusu. Ciężkim próbom poddawane są tutaj elementy układu napędowego, kierowniczego, zawieszenia, komponenty systemów bezpieczeństwa i wszelkie materiały wykończeniowe. Zima w Laponii faktycznie rozpoczyna się jesienią. W Arvidsjaur już w październiku minimalna temperatura dzienna regularnie spada poniżej 0°C i stan ten utrzymuje się aż do maja. Średnio w miejscowościach tych występuje 186 dni mrozu, a średnia roczna temperatura powietrza wynosi 0°C. Intensywne opady śniegu są również tutaj normą. Pokrywa śnieżna pozostaje na drogach aż do kwietnia włącznie.

Ale testy nie ograniczają się jedynie do dróg, lecz są również prowadzone na specjalnych torach przygotowywanych na lodowej tafli zamrożonego jeziora oraz na ośnieżonym lotnisku. Jak tylko pokrywa lodowa jeziora osiągnie wymaganą grubość, służby drogowe przy pomocy ciężkiego sprzętu regularnie usuwają śnieg z powierzchni lodu. Lód pod bezpośrednim działaniem niskich temperatur zwiększa swoją grubość i tym samym nośność, zatem możliwy jest wjazd na tafle jeziora ciężkich pojazdów. Warto dodać, że – zgodnie ze szwedzkimi przepisami – na tak przygotowanych torach obowiązują takie same przepisy ruchu drogowego jak na drogach publicznych. Na torach symulowane są różne warunki drogowe. Lodowa powierzchnia sąsiaduje z pasem chropowatego śniegu o zupełnie innej przyczepności. Możliwe jest także przygotowanie powierzchni pokrytej cienką warstwą mgły wodnej.

Chociaż pod warstwą lodu jest dwustumetrowa głębia, kierowcy doświadczalni nie muszą się niczego obawiać. Powierzchnia toru i dróg dojazdowych ma nośność 40 t.

Podobne warunki klimatyczne panują w odległej o 500 km na wschód fińskiej miejscowości Rovaniemi, uznawanej za rodzinne miasto Świętego Mikołaja. 800-metrowy tor wraz z dużym okręgiem o średnicy 280 m, wykonany na lokalnym lotnisku, jest wykorzystywany przez biura konstrukcyjne Daimlera i WABCO. W odróżnieniu od torów na jeziorach, na torze w Rovaniemi możliwe jest prowadzenie prób hamowania i sterowności na styku nawierzchni asfaltowych i pokrytych lodem, z czym często może spotkać się kierowca w warunkach zimowych. Tory są zupełnie płaskie, pozbawione nachyleń, dzięki czemu można dokładnie śledzić rozkład sił, jakim poddawany jest pojazd podczas poślizgu.

Zaletą Rovaniemi, w którym mieszka 60 tys. mieszkańców, w przypadku testowania autobusów miejskich, jest możliwość sprawdzenia pojazdu w normalnym ruchu drogowym w ekstremalnych warunkach atmosferycznych.



Mercedes-Benz O303 podczas prób systemu ABS (fot. Daimler)

Zakres badań w warunkach arktycznych

Wg założeń koncernu autobusy Mercedes-Benz i Setra muszą kojarzyć się klientom z najwyższym poziomem bezpieczeństwa jazdy i zachowania sterowności. Dlatego tak ważne jest intensywne testowanie poszczególnych komponentów, całych zespołów i kompletnych autobusów w ekstremalnych warunkach zimowych – zarówno na śniegu, jak i na lodzie. Autobusy budowane w Stuttgarcie, Mannheim, Neu Ulm i w Hosdere charakteryzują się wysokim nasyceniem systemów bezpieczeństwa i wprowadzaniem najnowszych rozwiązań. Active Brake Assist 3 i AEBS (zaawansowany system hamowania awaryjnego) już dziś spełniają wymagania prawne, które wejdą w życie w 2018 r. Zgodnie z przyjętymi standardami jakościowymi autobusy Daimlera i ich komponenty muszą prawidłowo funkcjonować, gdy temperatura zewnętrzna spadnie do -25°C. Niektóre z komponentów muszą być odporne na mrozy sięgające -40°C, np. centralny wyświetlacz w kokpicie musi być tak zbudowany, aby rozpocząć pracę natychmiast (mimo niskich temperatur).

Faza arktycznych testów trwa około 6 tygodni – od końca stycznia do połowy marca. Jest ona poprzedzona trzytygodniowym okresem przygotowań, w ramach których w pojazdach montowane są przyrządy pomiarowe. Wraz z autobusami przygotowywane są także części zapasowe i komponenty, podlegające odrębnym testom. Autobusy są również wypełniane balastem, którego ilość zależy od celów i procedur testowych. Tak przygotowane pojazdy



Drogi w północnej Szwecji są tak wąskie, że jeden z mijających się użytkowników drogi musi się cofnąć do specjalnie przygotowanej wnęki



Ciężki sprzęt podczas przygotowywania toru prób z nawierzchnią o zmiennej przyczepności

pokonują na własnych kołach około 3 tys. km do Arjeplog lub Rovaniemi. Trasa ta jest także elementem badań, w ramach których sprawdzana jest praca ogrzewania i klimatyzacji przy różnorodnych temperaturach i wilgotności. Jej pokonanie zabiera około 4 dni. Trasa do koła podbiegunowego dla autobusów turystycznych i międzymiastowych przebiega w głównej mierze wzdłuż autostrad i dróg szybkiego ruchu. Dodatkowo miasto Rovaniemi ma zdefiniowaną zarówno testową trasę miejską, jak i podmiejską. W ten sposób testy przechodzą wszystkie modele autobusów Mercedes-Benz i Setra w różnych możliwych kompletacjach.

Proces arktycznych testów jest bardzo szeroki. Lista kontrolna obejmuje ponad 300 pozycji. W zakres testów wchodzi m.in. kontrola pracy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (zarówno stanowiska kierowcy i przewodnika, jak również przestrzeni pasażerskiej), odszranianie przedniej szyby, działanie wycieraczek, szczelność drzwi i klap, działanie mechanizmów otwierania drzwi (zarówno pneumatycznych, jak i elektrycznych), szczelność i niezawodność instalacji pneumatycznej, odporność na blokowanie filtra powietrza przez intensywnie padający śnieg, wydajność podgrzewania układu wtryskowego Ad-Blue i proces zakładania łańcuchów na osi napędowej.

Sekwencja badań jest ustalana wg hierarchii ważności poszczególnych układów: najpierw układ napędowy i jezdny, wszystkie komponenty zabudowywane na stanowisku kierowcy, elementy wyposażenia przestrzeni pasażerskiej oraz wszystkie



Faza testowa poprzedzona jest okresem przygotowań, w ramach których autobusy wyposażane są w sprzęt pomiarowy

systemy bezpieczeństwa. Centralnym punktem corocznych testów arktycznych jest kontrola zachowania stabilności toru jazdy na śniegu i lodzie z różnymi prędkościami przy uaktywnionym lub wyłączonym systemie kontroli trakcji ESP.

Innym kluczowym aspektem zimowych testów jest sprawdzenie wytrzymałości i charakterystyki materiałów w ekstremalnie niskich temperaturach. Sprawdzane są m.in. połączenia paneli metalowych z tworzywami sztucznymi, ponieważ każdy z tych materiałów ma inny współczynnik rozszerzalności cieplnej. Kontroli podlegają także wszelkie połączenia wykonane metodą klejenia, gdyż wraz z obniżaniem się temperatury zmniejsza się również elastyczność spoin.

Badaniu podlega także silnik wraz z systemem oczyszczania gazów spalinowych, pracą przekładni i wszystkich elementów osprzętu. Przed próbą zimnego rozruchu pojazd pozostawiany jest na 48 godzin z otwartą klapą silnika. W takich warunkach nawet temperatura oleju w misce olejowej spada do poziomu temperatury otoczenia. Próba jest zaliczona, o ile rozruch silnika w tych warunkach nastąpi w ciągu kilku sekund, a po uruchomieniu silnik zacznie pracować regularnie.

W przypadku podwozia i zawieszenia podstawowym problemem jest test systemu kontroli trakcji ESP oraz działanie układu hamulcowego i kierowniczego. Podczas prób ESP podstawową kwestią jest ustalenie czasu załączenia systemu od momentu zarejestrowania poślizgu kół.



Mercedes-Benz Sprinter Travel 65 podczas próby hamowania



Jednym z testowanych elementów jest szczelność drzwi



Ślalom Mercedesa Tourismo K na nawierzchni o różnym współczynniku przyczepności



Przed próbą zimnego rozruchu autobus stoi przez 48 godzin z otwartą klapą silnika, aby wszystkie płyny eksploatacyjne osiągnęły temperaturę otoczenia (fot. Daimler)

Wyniki obszernego zakresu prób prowadzonych na śniegu i lodzie wykorzystywane są także w szkoleniu kierowców w ramach programu OMNIplus. W czasie ćwiczeń realizowanych na kole podbiegunowym kierowcy mogą praktycznie porównać zachowanie pojazdu przy pełnym hamowaniu na lodzie lub na nawierzchni o różnych współczynnikach tarcia po lewej i prawej stronie pojazdu (mikrosplit), jeździe po lodowym kole przy różnych prędkościach, nagłej zmianie pasa ruchu w celu ominięcia przeszkody (manewry wymijające), zgodnie ze standardami VDA. Testy prowadzone przy współudziale kierowców o różnicowanej technice jazdy pozwalają tak przygotować oprogramowanie sterowników, aby autobus zawsze reagował zgodnie z oczekiwaniami kierowcy i to bez względu na wielkość pojazdu. Zakres testów jest taki sam zarówno dla minibusów, jak i dla trójosiowego, wysokopokładowego autobusu turystycznego.

Efektom prowadzonych testów minibusu Mercedes-Benz Sprinter Travel 65 jest takie zestrojenie zawieszenia, które gwarantuje maksimum komfortu i równocześnie zachowanie stabilności przy nagłych zmianach kierunku, pomimo małego rozstawu kół. W kompaktowym autobusie turystycznym Mercedes-Benz Tourismo K, charakteryzującym się wysoką zwrotnością dzięki małemu rozstawowi osi, stabilność jazdy uzyskano dzięki optymalnie dobranemu rozkładowi nacisków na poszczególne osie oraz precyzyjnie dostrojonym systemom bezpieczeństwa i wspomagania.

Mercedes-Benz Travego (Coach Of The Year 2010) od wielu lat jest promowany jako „Safety Coach”. Miano to w pełni potwierdzają także testy arktyczne. Jego zachowanie w różnych warunkach drogowych, mimo wysoko położonego środka ciężkości, jest niemal wzorcowe. Dotyczy to także autobusów Setra TopClass serii 500, którego wysokość wynosi 3,88 m.

Optymalne dostrojenie pracy wszystkich podzespołów w autobusach ma szczególne znaczenie nie tylko z powodu innych niż w samochodach ciężarowych wymiarów, rozkładu obciążenia, układu osi czy profilów prędkości, lecz przede wszystkim z powodu ich podstawowej funkcji, jaką jest przewóz osób. Dlatego – w odróżnieniu od samochodów ciężarowych – maksymalne ciśnienie hamowania, kontrolowane przez układ Active Brake Assist, w autobusach Mercedes-Benz i Setra narasta stopniowo, aby maksymalnie ochronić pasażerów stojących przed ewentualnym upadkiem. Dobór parametrów pracy jest procesem bardzo żmudnym i czasochłonnym, wymagającym przeprowadzenia setek prób i zaangażowania wielu osób.



Na tor prób autobusy muszą dotrzeć na własnych kołach. Na zdjęciu przegubowy Mercedes-Benz Citaro CapaCity L podczas przejazdu do Rovaniemi (fot. Daimler)



Jednym z najważniejszych elementów testów arktycznych jest test systemu kontroli trakcji ESP



Mercedes-Benz Citaro G podczas prób na torze lodowym



Autobusy z silnikami Euro 6 podczas testów arktycznych (fot. Daimler)

Testy arktyczne autobusów z silnikami Euro 6

Testy arktyczne miały szczególne znaczenie przy wprowadzaniu nowych jednostek napędowych, spełniających normę czystości spalin Euro-6, z uwagi na ich rozbudowany osprzęt i skomplikowane układy recyrkulacji spalin oraz chłodzenia. Pierwsze próby z nowymi jednostkami napędowymi rozpoczęto już w 2004 r., czyli na 10 lat przed wprowadzeniem nowej normy. 2 lata później pierwsze autobusy obecnej generacji, z charakterystycznym maskowaniem nadwozia, wyposażone w prototypowy silnik Euro-6, zostały poddane testom drogowym. Cały cykl prób zakończono w 2013 r., kierując nowe pojazdy do seryjnej produkcji. W ciągu 7 lat testom poddano 60 prototypów nowych autobusów, z których 26 skierowano do badań wytrzymałościowych. Razem pojazdy te przejechały ponad 5 mln km. W badaniach uczestniczyło łącznie 42 inżynierów testowych, 33 mechaników i duży zespół kierowców.

Podczas testów szczególnej uwagi wymagał układ wydechowy i układ chłodzenia. Nowo zaprojektowane przedziały silnikowe, z ich precyzyjnie obliczonym przepływem powietrza, zostały wystawione na próbę w bardzo niskich temperaturach Laponii. Testowano także układ kontroli emisji gazów na miejskich trasach Rovaniemi przy krytycznym składzie mieszanki, niskim obciążeniu i ekstremalnie niskich temperaturach.



„Automatyczny kierowca” wspomagający proces optymalizacji sterownika ATC

Stateczność ruchu autobusów miejskich w warunkach zimowych

Wydawać by się mogło, że testowanie systemów bezpieczeństwa w autobusach miejskich jest zbędne z uwagi na znacznie niższe prędkości występujące w ruchu miejskim oraz znacznie lepszą jakość zimowego utrzymania dróg. Nie można jednak zapominać, że wraz z suburbanizacją niskopodłogowe autobusy miejskie wyjeżdżają coraz dalej poza granice miasta. Z drugiej strony w Europie jest także wiele miast o zróżnicowanej topografii, z siecią ulic o dużym nachyleniu. To są wystarczające czynniki, aby autobusy miejskie objąć próbami arktycznymi, podobnie jak autobusy turystyczne i międzymiastowe. Szczególną grupą autobusów miejskich poddawanych testom są wielkopojemne autobusy przegubowe z największym pojazdem tego typu – czteroosiowym Mercedesem Citaro C2 CapaCity L o długości 21,5 m. We wszystkich autobusach przegubowych serii C2 zastosowano przeguby z nową generacją elektronicznych sterowników ATC, uwzględniających kąt zgięcia przegubu, prędkość jazdy, kąt skrętu kół przednich i prędkość obrotową silnika. Dlaczego ten element pojazdu jest tak ważny? Dzisiaj eksploatowane autobusy przegubowe to z reguły „pchacze” z silnikiem umieszczonym z tyłu. W skrajnie niekorzystnych warunkach, przy poślizgu kół przednich i stromym zjeździe lub przy wjeździe do nieodśnieżonej zatoki autobusowej, tylny człon, pchając cały pojazd do przodu, może doprowadzić do przekroczenia maksymalnego kąta zgięcia przegubu i „złamania pojazdu”. Niekorzystne zjawisko będzie pogłębiane z uwagi na niską sztywność przegubu. Dlatego we wszystkich autobusach tego typu mocowane są dodatkowe siłowniki hydrauliczne, dobierające siłę tłumienia w zależności od prędkości i kąta skrętu. W systemie ATC nowy sterownik analizuje jeszcze obciążenie pojazdu i prędkość obrotową silnika.

Wraz z rozwojem elektroniki w nowym kontrolerze zabudowano 32-bitowe mikroprocesory, które są bardziej niezawodne i z większą precyzją i szybkością reagują na sygnały pobierane z silnika, przegubu i układu kierowniczego. Dodatkowo zastosowano większą skalę integracji, ograniczając liczbę połączeń elektrycznych. Jeśli ruch autobusu staje się niestabilny, siła tłumienia siłowników hydraulicznych wzrasta i jednocześnie zmniejsza się moment napędowy przekazywany na koła tylne. Tym samym szybciej stabilizowany jest ruch pojazdu. Przed wprowadzeniem do seryjnej produkcji układ ATC przeszedł intensywne testy na kole podbiegunowym w celu optymalizacji wszystkich parametrów ruchu. Typowe warunki ruchu podczas jazdy na śniegu i lodzie były idealne w procesie optymalizacji. Aby zapewnić powtarzalność prób, skon-

struowano nowe narzędzie testowe, zwane „automatycznym kierowcą”, zapisujące wszystkie parametry pracy pojazdu, zwłaszcza układu kierowniczego. Po zarejestrowaniu parametrów przejazdu można je odtworzyć, dzięki czemu w kolejnej próbie autobus pojedzie automatycznie tym samym torem jazdy. Dzięki powyższym próbom i wprowadzeniu narzędzi optymalizacyjnych nowy system ATC reaguje szybko, precyzyjnie i przewidywalnie, nie zaskakując kierowcy niespodziewanymi reakcjami. Atuty nowego systemu ATC są szczególnie widoczne podczas „testu łosia”, czyli szybkiej zmiany pasa ruchu na śliskiej nawierzchni oraz pełnego hamowania z prędkości 80 km/h na nawierzchniach o różnorodnej przyczepności. Wszystkie próby, mimo ekstremalnych warunków, kończyły się 100-procentową powtarzalnością.

Testy zimowe w całym procesie badań

Jak już wspomniano, wszystkie nowe modele autobusów Mercedes-Benz i Setra, jak również nowe komponenty i oprogramowanie, muszą przejść cały cykl prób. W dzisiejszych czasach wiele elementów pojazdu można poddać symulacji komputerowej, co znacznie skraca czas prac projektowych. Jednak w wielu przypadkach rzeczywistość na drodze różni się od modelu matematycznego czy laboratoryjnych warunków testów prowadzonych na hamowni podwozowej. Biorąc pod uwagę szeroki zakres parametrów ruchu drogowego i ich wzajemne oddziaływanie na siebie, stworzenie uniwersalnych modeli matematycznych jest bardzo trudne. Dotyczy to szczególnie zjawisk przebiegających dynamicznie, związanych z emisją spalin, hamowaniem i szeroko pojętą kontrolą trakcji. W ostatnim czasie szczególnie dotkliwie przekonał się o tym Volkswagen (w zakresie oprogramowania jednostek napędowych). Dlatego tak ważne jest sprawdzenie matematycznych modeli w warunkach rzeczywistych: od przepływu powietrza w komorze silnika aż do prawidłowego funkcjonowania wycieraczek przy różnej intensywności opadów i przy różnej prędkości, zarówno w warunkach zimowych obszarów arktycznych, jak i latem w górach Sierra Nevada, gdzie temperatura zewnętrzna dochodzi do 40°C. Tylko wtedy można uniknąć sprzedaży niedopracowanych rozwiązań. Pierwszymi użytkownikami nowych konstrukcji są kierowcy doświadczalni. Ich zadaniem jest spojrzeć na nowy pojazd jak najbardziej krytycznym okiem, z uwzględnieniem wszystkich elementów. Prowadzenie pojazdu najlepiej oceniane jest podczas



Przełubowy Citaro podczas „testu łosia” (fot. Daimler)

testów zimowych, jednak ocena ta nie ogranicza się jedynie do skuteczności hamowania i stabilnej jazdy, lecz również obejmuje takie aspekty, jak rozłożenie elementów kontrolnych i przełączników na desce rozdzielczej oraz czułość pedałów hamowania i przyspieszenia w różnych warunkach ruchowych. Podczas testów kierowcy doświadczalni muszą angażować wszystkie zmysły, aby jak najlepiej przekazać relację współpracującym konstruktorom. Ważne jest również ich wieloletnie doświadczenie zebrane podczas testów dziesiątek modeli pojazdów. Cały zespół doświadczalny koncernu liczy łącznie 200 osób. Testy pojazdów trwają 6 dni w tygodniu od rana do wieczora. Większość prac odbywa się w ciemności i w trudnych warunkach. Każde wyjście na zewnątrz pojazdu wymaga wzmożonej uwagi ze względu na bardzo niskie temperatury i często ograniczoną widoczność. Jednak pomimo tych trudności testy na kole podbiegunowym są bardzo popularne wśród pracowników działu konstrukcyjnego, niosąc nowe doświadczenia i wyzwania.

Zdjęcia nieoznaczone – Zbigniew Rusak

Autor:

mgr inż. **Zbigniew Rusak** – Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium” w Radomiu



Porównanie sterowników ATC starej i nowej generacji



Cała stawka testowych autobusów podczas prób nocnych (fot. Daimler)