

MODYFIKACJA OPROGRAMOWANIA SILNIKA SAMOCHODU OSOBOWEGO ORAZ JEGO WPŁYW NA OSIĄGI I EKONOMIĘ EKSPLOATACJI JEDNOSTKI NAPĘDOWEJ

W artykule omówiono jak modyfikacja oprogramowania sterującego jednostką napędową wpływa na osiągi oraz ekonomię pojazdu. W kolejnym etapie nastąpiło przeprowadzenie zaawansowanych testów oraz technicznych badań z wykorzystaniem wysokiej jakości sprzętu do diagnostyki i wykonywania pomiarów. Modyfikacje miały na celu wyznaczenie pozytywnych jak i negatywnych aspektów wpływających na : moc oraz moment obrotowy silnika, elastyczność w zakresie konkretnych prędkości oraz wzrost ekonomii użytkowania pojazdu. Przeprowadzone badania pozwoliły określić przyrost mocy jak również różnice spalania dla wybranych jednostek napędowych

WSTĘP

Od początku lat 90-tych ubiegłego stulecia, gdy zaczęto wprowadzać elektroniczne sterowanie jednostki napędowej nastąpił przełom w motoryzacji. Dzięki coraz to nowszym i szybszym układom scalonym praca silnika, jego osiągi oraz ekonomia uległy diametralnej poprawie. Począwszy od pierwszych pionierskich sterowników opartych na układach 8-bitowych aż do obecnych układ sterujących na bazie procesorów Infineon Tricore, projektanci jednostek napędowych zawsze pozostawiali znaczny zapas ich możliwości. Dzięki coraz łatwiejszemu dostępowi do nowoczesnych technologii, modyfikacje oprogramowania sterującego stały się coraz bardziej dostępne i mniej inwazyjne.

Współcześnie istnieją dwa rodzaje możliwości zwiększania mocy oraz momentu obrotowego w silnikach.

Pierwszym z nich jest użycie dodatkowego urządzenia podłączonego do wiązki silnika pojazdu, które ma za zadanie wymusić zmianę pracy jednostki sterującej poprzez modulację sygnałów. Urządzenie takie nazywane jest jako "Power Box" [9].

Drugą metodą jest bezpośrednia modyfikacja oprogramowania jednostki zapisanego w ECU (*ang.* – *Electronic Control Unit*) pojazdu. Jest to niezwykle pracochłonna i wymagająca pokaźnej wiedzy w dziedzinie informatyki a także elektroniki, całkowicie profesjonalna metoda zmiany oczekiwanych od podzespołów parametrów [2].

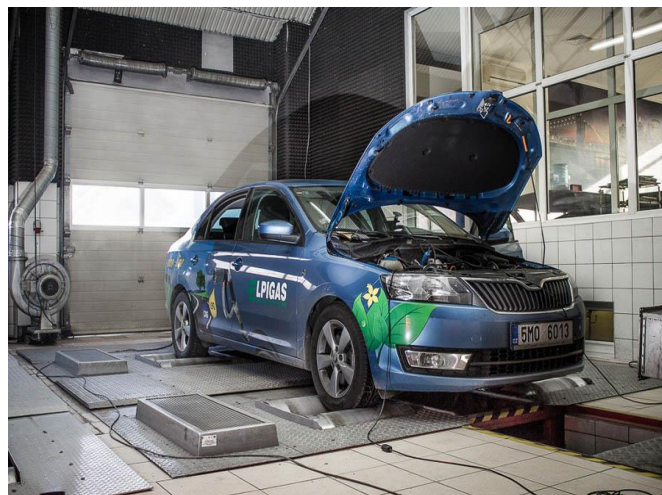
Metoda ta polega na pełnym odczytaniu ze sterownika pojazdu pamięci jedno bądź wielokrotnego zapisu, a w nowszych samochodach bezpośredniego odczytu z procesora ECU w którym to zawarte są informacje sterujące osprzętem silnika.

Odczytanie oprogramowania odbywać się może na trzy niżej wymienione sposoby:

- poprzez wylutowanie pamięci i jej odczyt w programatorze;
- przez złącze diagnostyczne OBDII (*ang.* – *On-Board Diagnostics*) [5];
- bezpośrednio z procesora poprzez złącze BDM bądź w trybie BootMode.

Odczytana zawartość jest modyfikowana w stworzonych do tego środowiskach jak np. WinOLS firmy EVC [6]. Etapem końcowym jest wgranie nowo powstałego oprogramowania do sterownika pojazdu. Metoda ta określana jest jako "Chip-Tuning".

Modyfikacje przedstawione wyżej, najczęściej przeprowadza się na turbodoładowanych jednostkach wysokoprężnych, ponieważ niemal każdy z tych silników wyposażony jest w elektroniczną jednostkę sterującą. Wadą tych rozwiązań jest to, iż nie można dzięki nim podnieść osiągow silnika, który nie posiada elektronicznej jednostki sterującej. Metody te nie są opłacalne również w silnikach nie posiadających turbosprężarki (potocznie nazywane wolnosącymi) [3, 10].

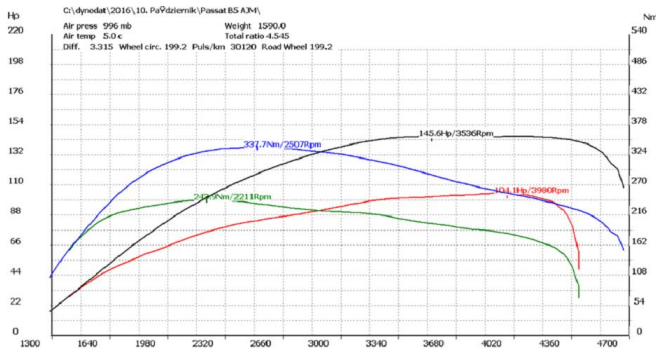


Rys. 1. Pomiar, modyfikacje i testy – kontrola aktualnych parametrów na hamowni

Obecne urządzenia diagnostyczno-pomiarowe pozwalają określić przebieg mocy i momentu obrotowego, a także zobrazować konkretne wartości (rys. 1). Najważniejsze z nich to:

- aktualnie wtryskiwaną dawkę paliwa;
- ciśnienie powietrza doładowanego;
- długość, początek oraz ciśnienie wtrysku;
- moment obrotowy uzyskiwany na silniku/na kołach;
- moc uzyskiwana na silniku/na kołach;
- stosunek powietrze-paliwo - AFR (*ang.* *Air Fuel Ratio*)
- inne kluczowe parametry pracy silnika, konieczne do analizy w przeprowadzonym procesie modyfikacji [4, 7].

- dzięki zastosowaniu nowej technologii sterowania jednostką napędową istnieje łatwiejszy oraz mniej inwazyjny sposób wzmacniania jednostek napędowych;
- zmiana oprogramowania komputera pokładowego pojazdu pozwala na podniesie mocy oraz momentu obrotowego nawet ponad 30% co jest doskonałym wynikiem.



Rys. 5. Odzworowanie mocy oraz momentu dla seryjnego oraz zmodyfikowanego oprogramowania

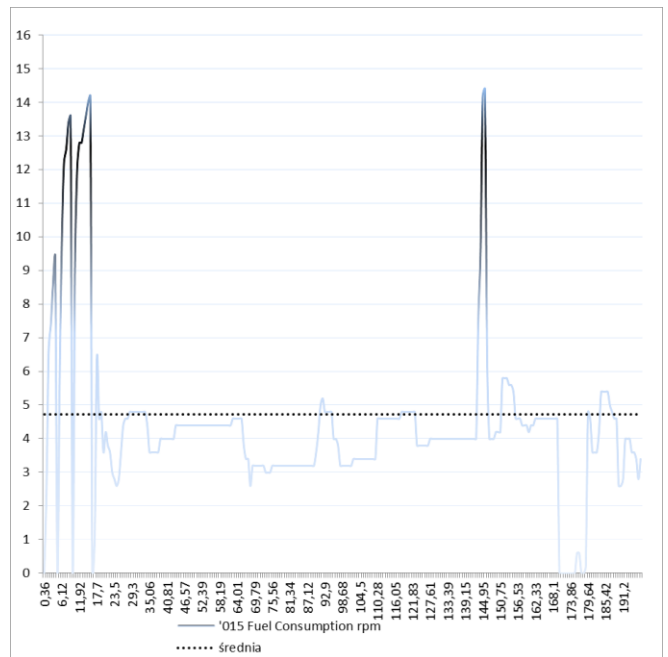
2.2. Charakterystyki spalania pojazdu

Bardzo ważnym aspektem przeprowadzonych badań był również wpływ modyfikacji na wyniki ekonomiczne testowanego pojazdu. Jedną z ważniejszych wartości edytowaną w celu poprawienia osiągnięć w pojeździe jest zwiększenie dawki wtryskiwanego paliwa, co intuicyjnie pozwala stwierdzić, iż spalanie dla pojazdu ze zmodyfikowanym oprogramowaniem powinno wzrosnąć. W celu określenia charakterystyki średniego spalania przeprowadzono po dwa testy dla oprogramowania seryjnego jak i zmodyfikowanego.

Pierwsza próba dotyczyła przeprowadzana była dla jednostajnej, płynnej jazdy w trasie. Trasa pokonana przez pojazd była dokładnie taka sama bez względu na to jakie oprogramowanie zastosowano. W celu wyeliminowania dodatkowych błędów wpływających na przekłamanie pomiaru zunifikowano podstawowe parametry testu:

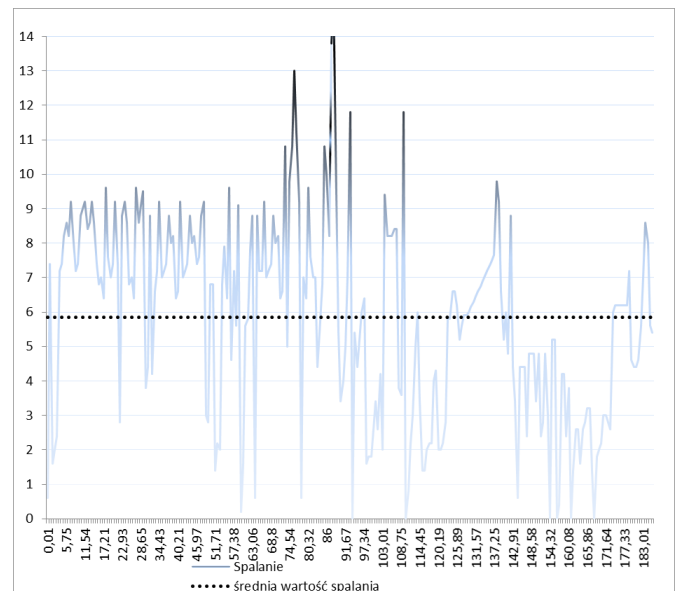
- jeden kierowca testowy starający się utrzymać identyczny styl jazdy;
- testy przeprowadzono tego samego dnia w celu wyeliminowania różnicy temperatur oraz wahań ciśnienia atmosferycznego;
- badania przeprowadzono po pełnym rozgrzaniu silnika do 90°C w celu uniknięcia zniekształcenia pomiarów spowodowanego dogrzewaniem silnika.

Analiza osiągniętych pomiarów - 350 próbek została przedstawiona na rysunku 6. Pozwala to w pełni i dokładnie określić wartość średniego spalania dla przejechanego dystansu. Okazało się, iż spalanie uzyskane przy pomiarach seryjnego oprogramowania oscylowało wokół średniej 4.709 l/100 km. Natomiast dla zmodyfikowanego oprogramowania jest to wartość oscylowała wokół 4.41 l/100 km. Oznacza to, że zmiana mocy pojazdu nie wpłynęła na zwiększenie ilości zużycia paliwa a wręcz przeciwnie odnotowany został spadek wartości średniego spalania o 6,3% na korzyść zmodyfikowanego do większej mocy oprogramowania.



Rys. 6. Wartość spalania dla pojazdu przed modyfikacją dla jazdy płynnej

Druga próba to odzworowanie charakterystyki spalania dla miejskiego trybu jazdy. Tryb ten cechuje częsta zmiana prędkości (brak płynności jazdy), nagłymi spadkami szybkości pojazdu wywołanymi częstym hamowaniem. Jest to najbardziej obciążający oraz najmniej ekonomiczny tryb pracy dla silnika. Tak jak dla poprzedniego przykładu, starano się wykonać idealnie dokładne pomiary jednak nie było to możliwe ze względu na bardzo różnorodny ruch uliczny. W celu wyeliminowania błędów pomiarowych przejechano ten sam dystans jednak do analizy przeznaczono większą ilość próbek - 800, co obrazuje rysunek 7.



Rys. 7. Wartość spalania dla pojazdu po modyfikacji oprogramowania dla jazdy w ruchu ulicznym miejskim

Po przeanalizowaniu całości pomiarów okazuje się iż wartość średniego spalania uzyskana dla zmodyfikowanego programu waha się w granicach średniej 5,84 l/100 km. Oprogramowanie seryjne pozwoliło osiągnąć wynik w granicach średniej 6,12 l/100 km. Wynik osiągnięty dla wzmocnionego oprogramowania jest więc o około

4,5% niższy co przemawia kolejny raz na korzyść zmodyfikowanego oprogramowania

2.3. Interpretacja raportów spalania badanych pojazdów

Przeprowadzenie badań dotyczących określenia zużycia paliwa - raport spalania - pozwala określić jak zmiana charakterystyki pracy jednostki napędowej wpływa na wartości ekonomiczne występujące podczas jazdy. Uzyskane wyniki wskazują, iż zarówno podczas poruszania się pojazdu w mieście, jak i poza miastem w trakcie jazdy możliwe ze stałą prędkością, lepszą ekonomią charakteryzuje się wzmocnione oprogramowanie.

Z obserwacji przeprowadzonych pomiarów nasuwa się dwa wnioski. Pierwszym z nich jest zauważalnie mniejsze zużycie paliwa podczas jazdy ze stałą prędkością. Oprogramowanie seryjnie zaimplementowane do pojazdu charakteryzuje się niewiele większą średnią spalania w porównaniu z programowaniem zmodyfikowanym. Poniżej przedstawiono porównanie dwóch programów dla jednej stałej prędkości. W tym przypadku jest to prędkość 90 km/h osiągana na piątym biegu przy prędkości obrotowej 1750 obrotów na minutę. Tabela 1 prezentuje raport spalania dla seryjnego oprogramowania natomiast w tabeli 2 widnieje raport dla wzmocnionego programu.

Tab. 1. Raport spalania dla programu seryjnego

Czas	Obr/m	chwil.spal	śr spal.	chwil.spal
49.56	1638	32.9	7.80	32.9
51.00	1701	19.5	4.80	19.5
51.74	1722	27.7	6.80	27.7
52.46	1764	26.1	6.60	26.1
53.18	1764	20.6	5.20	20.3
53.90	1785	19.2	5.00	19.2
54.62	1785	13.7	3.40	13.7

Tab. 2. Raport spalania dla programu zmodyfikowanego

Czas	Obr/m	chwil.spal	śr spal.	chwil.spal
183.26	1659	23.1	5.40	23.1
183.98	1680	22.8	5.40	22.8
184.70	1701	22.5	5.40	22.5
185.42	1722	22.0	5.40	22.0
186.14	1722	20.0	5.00	20.0
186.86	1764	19.2	4.80	19.2
187.58	1764	18.4	4.60	18.4

Powyższe skrócone tabele prezentują jak wygląda ilość spalanej paliwa dla zadanych obrotów. Jak można zauważyć spalanie chwilowe dla wzmocnionej charakterystyki jest bardziej stałe niż dla seryjnego oprogramowania dzięki czemu wartość średnia spalanej paliwa jest mniejsza. Oryginalne oprogramowanie cechuje znaczna rozbieżność wyników, ich zakres to wartości pomiędzy 3,40 l/100 km a 7,80 l/100 km co daje zakres równy 4,40 l/100 km. Jest to znaczna rozbieżność pomiędzy próbkami, zwłaszcza jeśli pod uwagę wzięto stałą prędkość i tylko kilka próbek. Zdecydowanie lepiej na tym tle wypada oprogramowanie wzmocnione dla którego rozbieżność wartości spalania chwilowego określana jest pomiędzy 4,60 l/100 km a 5,40 l/100 km wynosi dokładnie 0,80 l/100 km. Dla pełnego porównania obliczone zostały również wartości średniego spalania dla wyników uzyskanych w powyższych tabelach. Dla oprogramowania seryjnego wartość ta wynosi 5,66 l/100 km, natomiast dla oprogramowania wzmocnionego wartość ta wynosi 5,14 l/100 km. Z powyższych tabel oraz zaprezentowanych wartości

średnich łatwo jest wywnioskować, iż dla niewielkich różnic wartości prędkości obrotowej, zdecydowanie bardziej ekonomiczna jest wzmocniona charakterystyka.

Kolejnym wnioskiem jest zdecydowanie większe zużycie paliwa podczas rozpędzania pojazdu. Ten fakt przemawia również na korzyść wzmocnionego oprogramowania. Zarówno jak podczas stałej prędkości oprogramowanie wzmocnione ma zdecydowanie lepsze wyniki, tak w trakcie przyspieszania pojazdu do określonej prędkości, spalanie również jest znacznie mniejsze niż dla seryjnego oprogramowania. Można to zauważyć analizując poniższe tabele. Tabela 3 przedstawia wartości dla wzmocnionej charakterystyki natomiast tabela 4 dla charakterystyki seryjnej.

Tab. 3. Oznaczenia pociągów pasażerskich

Czas	Obr/m	chwil.spal	śr spal.	chwil.spal
49.56	1638	32.9	7.80	32.9
51.00	1701	19.5	4.80	19.5
51.74	1722	27.7	6.80	27.7
52.46	1764	26.1	6.60	26.1
53.18	1764	20.6	5.20	20.3
53.90	1785	19.2	5.00	19.2
54.62	1785	13.7	3.40	13.7

Tab. 4. Oznaczenia pociągów pasażerskich

Czas	Obr/m	chwil.spal	śr spal.	chwil.spal
183.26	1659	23.1	5.40	23.1
183.98	1680	22.8	5.40	22.8
184.70	1701	22.5	5.40	22.5
185.42	1722	22.0	5.40	22.0
186.14	1722	20.0	5.00	20.0
186.86	1764	19.2	4.80	19.2
187.58	1764	18.4	4.60	18.4

Tabele prezentują jak zmienia się wartość chwilowego spalania podczas przyspieszania pojazdu do określonej prędkości. Określona prędkość w tym wypadku to wartość 60 km/h uzyskana na 3 biegu dla 2200 obr/min. Z przedstawionych tabel można wyciągnąć wniosek, iż pomimo szybszego rozpędzania się pojazdu (w takim samym odstępie czasowym pojazd z oprogramowaniem seryjnym osiągnął niższe obroty silnika) dla oprogramowania wzmocnionego wartość chwilowa spalania jest zdecydowanie niższa niż dla charakterystyki seryjnej. Pojazd wyposażony w oryginalne oprogramowanie w czasie 3,62 sekundy zmienił wartość obrotową o 399 obr/min natomiast ten sam pojazd posiadający wzmocnione oprogramowanie w czasie próbkowania równym 3,63 sekundy zmienił wartość obrotową o 588 obr/min. Jest to przyrost prędkości obrotowej o 47% w tym samym czasie. Bardzo łatwo można zaobserwować, iż pojazd posiadający wzmocnioną charakterystykę napędową znacznie szybciej przyspiesza do określonej prędkości bez zwiększonego wpływu na spalanie chwilowe. Wnioskując pojazd wyposażony w oryginalne oprogramowanie w celu zwiększenia prędkości obrotowej silnika o 399 obr/min zużył średnio 13,43l/100km paliwa, natomiast wzmocniona jednostka w celu zwiększenia prędkości obrotowej o 588 obr/min zużyła średnio 9,67l/100km paliwa.

Powyższe wnioski wskazują znaczną przewagę oprogramowania zmodyfikowanego nad seryjnym jeżeli chodzi o osiągnięcie niższego spalania pojazdu. Badania wykazały, iż zarówno podczas utrzymywania zadanej prędkości jak i podczas przyspieszania pojazd ze zmodyfikowanym oprogramowaniem osiągnął mniejsze

wartości chwilowego spalania paliwa. Pozwala to stwierdzić, że zaimplementowanie wzmocnionej charakterystyki do pojazdu nie tylko zwiększy jego osiągi, ale także w przypadku tego samego stylu jazdy jak przy oryginalnym oprogramowaniu sterownika pojazdu, zwiększy jego ekonomiczność.

Podsumowując, auto posiadające seryjne oprogramowanie nie wykorzystuje w pełni potencjału pojazdu, co więcej jest również znacznie nie ekonomiczne co udowodniły przeprowadzone badania. Z obserwacji wielu pojazdów zarówno z zaimplementowanym wzmocnionym jak i seryjnym oprogramowaniem można zauważyć istotną rzecz. Wzmocnienie oprogramowania nie wpływa na szybszą eksploatację podzespołów poprzez znaczne ich obciążenie, lecz wydłuża nawet ich żywotność dzięki odpowiedniej kalibracji, tak aby podzespoły działały z największą dla nich mocą bez skrajnego ich przeciążenia.

PODSUMOWANIE

Dzięki zastosowaniu elektronicznego sterowania jednostką napędową, możliwe jest dokonanie wielu nieinwazyjnych modyfikacji pozwalających zwiększać moc, moment obrotowy a także wpływać na ekonomię pojazdu. Z przeprowadzonych badań wynika iż poprawnie dokonana modyfikacja pozwala nie tylko znacznie wzmocnić moc pojazdu a także przy zachowaniu tego samego stylu jazdy zmniejszyć spalanie pojazdu. Niestety pomimo ogólnej dostępności tego typu rozwiązania, modyfikacje przeprowadzone w nieautoryzowanych serwisach mogą przynieść bardzo niepożądane skutki. Zaczynając od mniej poważnych np. wystąpienia dymienia z rury wydechowej pojazdu spowodowane dostarczaniem zbyt bogatych dawek paliwa, aż po mechaniczne uszkodzenie silnika spowodowane wprowadzeniem nieodpowiednich wartości do wysterowania.

Ze względu na wiele zalet, elektronicznie wzmacnianie jest jak najbardziej uzasadnione Ważne aby przed modyfikacją oprogramowania upewnić się iż wszystkie podzespoły pojazdu są w pełni sprawne.

BIBLIOGRAFIA

1. Frykowski B., Grzejszczyk E., *Systemy transmisji danych*, WKiŁ, Warszawa 2009.
2. Günther H., tł. Szulborski A., *Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej*, WKiŁ, Warszawa 2010.
3. Gutek D., *Projekt modyfikacji sterownika sterującego sektorami pamięci kontrolera obsługującego komputer pokładowy samochodu – Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe - 2017, nr 6.*
4. Janiszewski T., Mavrantzas S., *Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych*, WKiŁ, Warszawa 2013.
5. Styła S., Boguta A., *Możliwości diagnostyczne interfejsów pracujących w standardzie OBD – Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe - 2013, nr 3.*
6. EVC electronic, Software WinOLS, <https://www.evc.de/en/product/ols/software/>, 10.2017.
7. Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych. Część 2. Wyposażenie elektroniczne*, WKiŁ, Warszawa 2013.
8. Trzeciak K. *Diagnostyka samochodów osobowych*, WKiŁ, Warszawa 2010.

9. Wrzask L., Juszczeń Z., *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, KaBe, Krosno 2009.
10. Zając P., Kołodziejczyk L.M., *Silniki spalinowe*, WSiP, Warszawa 2001.

Modification of the software for a passenger car engine and its impact on the performance and economy of the drive unit exploitation

The main goal of the article was to carry out professional, possibly comprehensive modifications of the software of the computer governing the operation of a passenger car drive unit with a variety of parameter selection options.

In the next stage, advanced tests and technical inspection were carried out using high quality diagnostic and measuring equipment.

Modifications were aimed at identifying both positive and negative aspects affecting:

- *the engine's power output and torque;*
- *flexibility in specific speed ranges;*
- *an increase in the level of the economical usage of the vehicle.*

The tests were carried out on various vehicles with petrol and diesel engines in order to optimally mirror the actual impact of parameter changes on particular drive units. The conducted tests were intended to cast light on the hidden capabilities of drive units and to show how they could be used without the necessity of interfering with mechanical systems.

All the tested cars were controlled with electronic components manufactured by Bosch in order to unify the implemented modifications, and the production dates of the tested vehicles belonged to the period from 1999 to 2012. The age distribution of the vehicles was intended to make the users aware of how wide a range of customers could benefit from a significant improvement in power and torque characteristics in such a car.

Increasing flexibility of the vehicle is the principal factor allowing the user of the roads to safely perform the manoeuvres of joining the traffic or overtaking. The above-mentioned measures are actually impossible to implement on one's own and the user themselves also has to correctly estimate whether their car is in the technical condition which will allow them to safely perform such interference..

Autorzy:

inż. **Grzegorz Kuszewski** – Politechnika Lubelska – Wydział Elektrotechniki i Informatyki, kierunek Informatyka, ul. Nadbystrzycka 36b, 20-618 Lublin, grzegorz.kuszewski@polub.pl.

inż. **Dariusz Świątek** – Politechnika Lubelska – Wydział Elektrotechniki i Informatyki, kierunek Informatyka, ul. Nadbystrzycka 36b, 20-618 Lublin, dariusz.swiatek@pollub.pl.

dr inż. **Dariusz Gutek** – Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, ul. Nadbystrzycka 36b, 20-618 Lublin, d.gutek@pollub.pl.