

Dariusz GUTEK

## PROJEKT MODYFIKACJI STEROWNIKA STERUJĄCEGO SEKTORAMI PAMIĘCI KONTROLERA OBSŁUGUJĄCEGO KOMPUTER POKŁADOWY SAMOCHODU

*W artykule omówiony został projekt i realizacja płytki drukowanej oraz modyfikacji oprogramowania, które może poprawić oryginalne ustawienia silnika spalinowego względem mocy oraz momentu obrotowego. Opisany układ może zawrzeć oryginalny i zmodyfikowany program do obsługi sterownika silnika, które mogą zostać przedstawione w czasie rzeczywistym. Zaprezentowano także wybrane testy prezentowanego rozwiązania zarówno dla silnika benzynowego jak i diesla, które potwierdzają wzrost mocy i momentu obrotowego dla każdego z silników.*

### WSTĘP

W niniejszej pracy poruszono dwa zagadnienia związane z poprawą możliwości oraz efektywności spalinowych jednostek napędowych. Pierwszym z nich jest projekt programu umożliwiającego statyczną zmianę przebiegu krzywej mocy i momentu obrotowego generowanego przez silniki współczesnych aut. Modyfikacja odbywa się bezinwazyjnie przez złącze diagnostyczne OBD2 (On-Board Diagnostics level 2) montowane seryjnie w autach już przed 2000 rokiem. Za zmiany statyczne odpowiada dodatkowy kod wprowadzony do oryginalnego oprogramowania komputera sterującego jednostki napędowej.

Drugim natomiast jest projekt płytki drukowanej który pozwala na dynamiczne zmiany parametrów w czasie rzeczywistym. Wymaga on ingerencji w elektronikę jednostki centralnej poprzez odlutowanie układu a w jego miejsce wlutowanie płytki -adaptera, umożliwiającego wybór między dwoma trybami programu sterującego. Za zmiany dynamiczne jest odpowiedzialny zaprojektowany układ, który jest adoptowany i montowany do płyty głównej komputera sterującego jednostki napędowej.

Dzięki dokonaniu badań i przeprowadzeniu testów udowodniono, że możliwe jest korzystanie z dwóch charakterystyk komputera sterującego jednostki napędowej (z angielskiego ECU – Engine Control Unit), który jest odpowiedzialny za wysterowanie podzespołów umożliwiających poprawną pracę silnika. Niewątpliwą zaletą opracowanego zagadnienia jest możliwość zmiany trybu pracy zarówno statycznie - przed uruchomieniem jednostki oraz dynamicznie w trakcie pracy.

### 1. ŚRODOWISKO PROGRAMOWANIA

#### 1.1. Środowisko KiCad

W projekcie wykorzystano program o nazwie KiCad [4]. KiCad to oprogramowanie open source GNU GPL v2 które udostępniane jest bezpłatnie. Zaliczmy go do kategorii Electronic Design Automation (EDA), pozwala on na edycję i tworzenie płytek drukowanych. Zaprogramowany przez Jean-Pierre Charras'a umożliwia budowanie schematów i obwodów płytek drukowanych do 32 warstw miedzianych. Bazuje na bibliotece wxWidgets dzięki czemu można go uruchomić na wielu systemach np. Windows, Solaris, Mac OS czy FreeBSD. Składa się z pięciu narzędzi które oferują spore możliwości:

- Eeschema to edytor zaawansowany edytor schematów. Dzięki temu narzędziu można przetestować poprawność naszego schematu oraz wygenerować listę materiałową BOM (Bill Of Material);
- Cvpccb jest to program pośredniczący pomiędzy edytorem schematów Eeschema a edytorem płytek drukowanych Pcbnew. Cvpccb przypisuje obudowy dla elementów przekazanych do projektu z Eeschema. Przypisanie może być manualne lub automatyczne;
- Pcbnew dzięki temu narzędziu można projektować płytki drukowane na podstawie wcześniej utworzonego projektu schematu. Ciekawą funkcją Pcbnew jest możliwość wyświetlania wyglądu płytki Pcb w 3D z pomocą OpenGL;
- Gerbview jest to przeglądarka plików o rozszerzeniu GERBER pozwala na zweryfikowanie poprawności projektu;
- bitmap2Component - program pozwala na przetworzenie dowolnej grafiki rastrowej (siatka pionowo pozioma wyświetlająca kolorowe piksele) na zestaw elementów graficznych akceptowanych przez Pcbnew.

KiCad oferuje możliwość rozwoju swojej płytki drukowanej za pomocą trzech wzajemnie ze sobą powiązanych i niezależnych najważniejszych zastosowań: Eeschema, Cvpccb oraz Pcbnew. Rozwój odbywa się w trzech krokach.

Pierwszym krokiem jest możliwość „przechwytu” schematu. Dzięki edytorowi Eeschema, program KiCad umożliwia tworzenie zaawansowanych schematów elektronicznych bądź całą grupę hierarchiczną schematów. Program proponuje kilka gotowych schematów, które są zapisane w domyślnej bibliotece KiCad. Dostępne jest także narzędzie do sprawdzania czy stworzony układ spełnia wszystkie wymagania bezpieczeństwa ERC (Electrical Rule Check), i polega na tym że sprawdza czy wszystkie połączenia są bezpieczne.

Kolejnym krokiem rozwoju płytki drukowanej jest zastosowanie Pcbnew. To narzędzie kojarzy, każdy element na płytce ze schematem. Program KiCad jest wyposażony w bardzo dużą bibliotekę komponentów, których można użyć do budowania płytki drukowanej.

Ostatnim punktem jest określenie wyglądu schematu i płytki drukowanej. Edytor Pcbnew jest w stanie obsłużyć do 16 warstw miedzianych oraz 12 warstw technicznych (np. sitodruku czy solder mask – zabezpieczenie przed korozją).

Pozwala także zobaczyć końcowy wygląd płytki drukowanej.

W programie KiCad dostępna jest także opcja przeglądarki 3D. Pozwala ona na ostateczny widok schematu w trójwymiarze. Do wytworzenia plików potrzebnych do produkcji płytek drukowanych, używa się podprogramów Pcbnew oraz Gerber.

Możliwe jest także wyeksportowanie schematu do pliku Pdf.

## 1.2. Projekt płytki drukowanej

Zaprojektowana i wykonana płytka drukowana posiada cztery wyjścia z których każde odpowiedzialne jest za inną czynność (Rys.1).



Rys. 1. Górna warstwa płytki drukowanej [2]

Pierwszy port od strony lewej, oznaczony numerem 1 to wejście odpowiadające za możliwość przełączania pomiędzy dwoma układami pamięci (w tym konkretnym przypadku są to układy AM29F400BT). Dwa środkowe wyjścia które oznaczone są numerami 2 oraz 3 odpowiadają za sygnalizację odnośnie tego jaki program jest aktywny w danym momencie. Do tych portów, podłączone będą diody wyprowadzone do przycisku/włącznika w konsoli pojazdu dzięki którym użytkownik będzie na bieżąco informowany w jakim aktualnie trybie znajduje się sterownik silnika.

Diody domyślnie będą różnego koloru więc będzie można łatwo poznać czy aktywny jest tryb domyślny, czy tryb wzmocniony.

Port numer 4 służy do zmian map pamięci za pomocą pedału przyspieszenia – zmiana napięciaysterowania. Aktualnie działanie wyjścia jest w fazie testów.

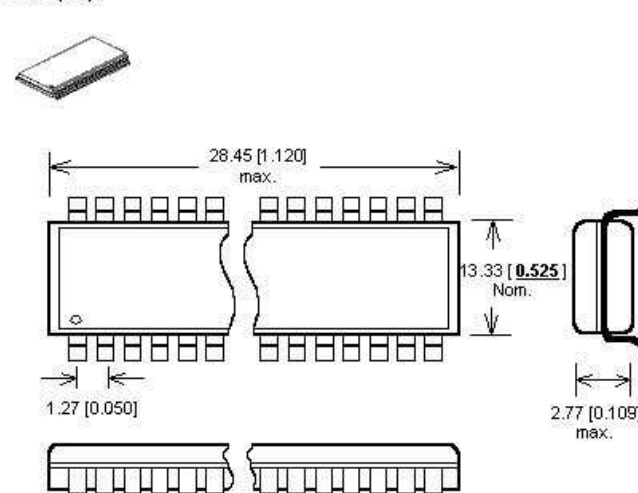
Do portu o numerze 1 podłączony jest mikro włącznik, którego wciśnięcie wywołuje zwarcie z masą, a tym samym następuje zmiana odczytu danych przez procesor z jednej pamięci na drugą. Dzieje się to w czasie rzeczywistym, bez żadnych negatywnych objawów zakłócenia pracy jednostki.

Możliwość adaptacji płytki drukowanej jest dużo większa i prostsza (z punktu widzenia poświęconego czasu) niż kodu, a to z tego względu iż by zastosować płytkę sterownik jednostki centralnej nie musi być wyposażony w procesor Infineon C166.

Wystarczy aby układ sterujący współpracował z pamięcią wielokrotnego zapisu typu AM29F400BT/BB bądź AM29F800BT/BB i nie tylko.

Warunkiem jest to by była to pamięć w obudowie PSOP44, taka jak na poniższym rysunku (Rys.2).

PSOP (44)



Rys. 2. Wymiary pamięci PSOP44 [1]

## 1.3. Projektowana funkcjonalność

W prezentowanym układzie istnieje możliwość przełączania pomiędzy dwoma ustawieniami sterowania jednostki centralnej.

Pierwsze z nich to mapy domyślne która są seryjnie programowane na układ AM29F400BT. Jednostka napędowa generuje na nich moc i moment obrotowy przewidziane przez producenta. Ustawienia te nazywamy domyślnymi. Natomiast druga pamięć jest zaprogramowana mapami o zmienionych parametrach pracy przez co wzmacnia osiągi silnika. Te ustawianie nazywamy wzmocnionymi.

Mapy domyślne to ustawienia dostarczone i zaprogramowane przez dostawcę sterownika lub producenta pojazdu. W pamięci zawarte są optymalne ustawienia dla danych serii silników, czyli takie które będą generowały odpowiednie parametry, ale jednocześnie zawarty będzie pewien margines bezpieczeństwa po to aby jednostka napędowa jak i jej osprzęt nie uległy w krótkim czasie zbyt szybkiemu zużyciu.

Mapy wzmocnione to mapa w których wykorzystywane są marginesy bezpieczeństwa, które stosują producenci. Wzmocnienie silnika o 15% – 20% nie wpływa znacznie na żywotność silnika. Jest to bezpieczny poziom jeżeli chodzi o podnoszenie osiągnięć jednostki.

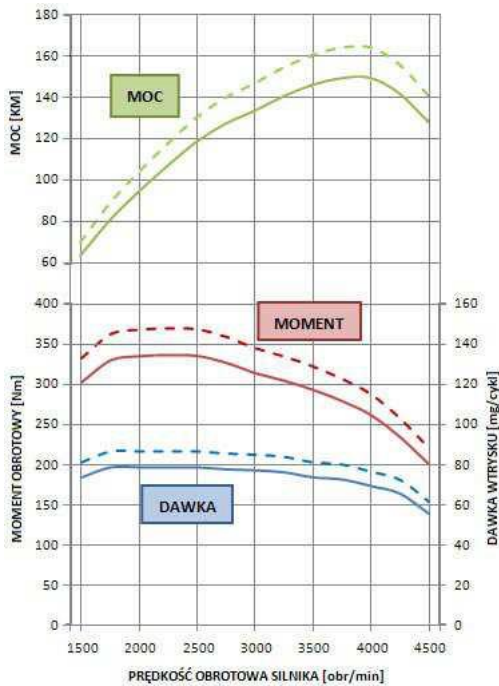
Zwróćmy uwagę że moc silnika to iloczyn prędkości obrotowej i momentu obrotowego. Przyrost mocy silnika polega na zwiększeniu momentu obrotowego. Aby podwyższyć moment obrotowy (przykładowo w silniku diesla) trzeba osiągnąć większe ciśnienie w cylindrze, a więc zwiększyć dawkę wtryskiwanego paliwa oraz podnieść ciśnienie doładowania.

Zwiększanie momentu obrotowego powoduje lepsze przyspieszenie samochodu w każdym zakresie obrotów. Generując większy moment obrotowy zwiększa się moc silnika dzięki czemu prędkość maksymalna pojazdu ulegnie znacznej poprawie.

Na rysunku 3. przedstawiono charakterystykę mocy i momentu obrotowego, która wyraźnie pokazuje możliwości jednostki oraz charakterystyki, z których użytkownik będzie mógł korzystać.

Widzimy kolejno:

- moc silnika przed i po modyfikacji;
- moment obrotowy przed i po modyfikacji;
- dawka wtrysku przed i po modyfikacji.



Rys. 3. Wykres przystołu mocy i momentu obrotowego w zależności od dawki paliwa [1]

## 1.4. Modyfikacja programu komputera sterującego

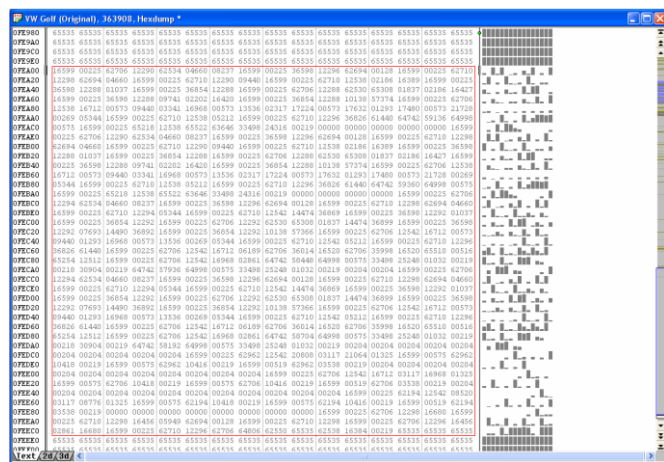
Program odpowiadający za przełączanie się pomiędzy adresami pamięci roboczej sterownika jednostki sterującej ma za zadanie umożliwienie modyfikacji przy braku mechanicznej ingerencji w sterownik. Oznacza to, że można go zaprogramować do ECU poprzez złącze diagnostyczne OBD2 tym samym nie pozostawiając śladów modyfikacji.

Poszczególne zmiany ustawień są możliwe w dwóch wariantach:

- za pomocą pedałów przyspieszenia i hamulca;
- za pomocą manetki tempomatu.

Każda zmiana pomiędzy mapami jest sygnalizowana mrugnięciem diody, do której mamy dostęp z poziomu pamięci jednostki sterującej.

Na tym etapie istnieje możliwość adaptacji programu do sterowników pracujących z procesorami Infineon C166. Są to sterowniki z rodziny Bosch EDC15V/P/VM+ (jednostki napędowe diesla) oraz Bosch Motronic ME7.5 (jednostki napędowe benzynowe).



Rys. 4. Kod programu sterownika dodany do fabrycznego kodu [1]

Sterowniki te wyposażone są najczęściej w pamięć wielokrotnego zapisu AM29F400BT/BB bądź AM29F800BT/BB. Pierwsza z nich jest o pojemności 4Mbit natomiast druga 8Mbit.

Kolejnym krokiem jest konwertowanie kodu programu jest na język wyższego poziomu, a następnie dodawanie go do programu sterującego znajdującego się w pamięci sterownika co przedstawia rysunek 4 - kod zaznaczony jest ramką.

W planach jest wprowadzenie modyfikacji do sterowników silników motocyklowych[3], jednak niniejsza praca omawia jedynie silniki spalinowe montowane w samochodach osobowych.

## 2. INTEGRACJA UKŁADU Z KOMPUTEREM POKŁADOWYM

Proponowana bardziej zaawansowana adaptacja przy pomocy płytki drukowanej polega na ingerencji w oryginalne części jednostki sterującej pracę silnika. Wymaga przy tym zdolności manualnych, głównie umiejętności lutowania układów scalonych. Aby zainstalować układ zmieniający dynamicznie charakterystykę mocy jednostki napędowej należy wykonać kilka czynności.

W pierwszej kolejności należy zdemontować oryginalny sterownik komputera pokładowego, który odpowiedzialny jest za sterowanie całym osprzętem jednostki napędowej w samochodzie. Następną czynnością jaką trzeba wykonać to otworzenie i odlutowanie za pomocą gorącego powietrza (metoda bezinwazyjna – po poprawnym odlutowaniu układy zachowują 100% sprawność) ze sterownika oryginalny układ.

Następnie należy przygotować komputer do wlotowania adaptera, który umożliwi montaż układu pozwalającego na korzystanie z dwóch charakterystyk. Przygotowanie polega na oczyszczeniu pól, do których zostanie przyłutowany adapter, a następnie wlotowanie w przygotowane miejsce (Rys.5).



Rys. 5. Sterownik Bosch EDC15P+ z zamontowaną płytką [2]

Należy pamiętać, że dobierając nieodpowiednią temperaturę lutowania można w łatwy sposób rozwarstwic płytke, oderwać pole czy uszkodzić inne elementy obecne na płytce (należy zaznaczyć że odległość między polami w układzie PSOP44 to zaledwie 1.27mm). W przypadku sterowników rodziny Bosch EDC15 i Motronic ME7.5, na których przeprowadzono wyżej wymienione operacje ustalono, że odpowiednia temperatura powietrza to od 320 do 350°C, natomiast dla lutowania jest to ~370°C. Wyższe temperatury mogą spowodować uszkodzenie układów, płytki jak i przegrzanie cyny, która traci swoje właściwości przewodzące.

Ostatnią czynnością do wykonania jest umiejscowienie przycisku bądź mikro włącznika odpowiadającego za zmianę oprogramowania.

wania sterownika w kokpicie samochodu oraz umiejscowienie dwóch diod które będą wskazywały jaki tryb jest aktualnie w użyciu (domyślnie dla wygody użytkownika powinny być zamontowane we włączniku).

Jedną z głównych korzyści stosowania układu dynamicznej zmiany mocy silnika jest to, że użytkownik nie jest zmuszony używać ciągle jednego trybu jak ma to miejsce w programie do zmiany map. Przelączenie między trybami jest możliwe w dowolnym momencie bez konieczności zatrzymywania i gaszenia jednostki.

Użytkowanie układu jest bezinwazyjne – ingerencja w sterownik jest jednokrotna, a w razie kolejnych zmian oprogramowania kolejne wersje można programować już po złączeniu diagnostycznym (wybór przyciskiem, na którą pamięć mają zostać wgrane nowe mapy).

### 3. TESTY WYDAJNOŚCIOWE PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA

Po zaadaptowaniu proponowanego układu można zauważyć kilka korzyści. Jedną z ważniejszych i najbardziej zauważalnych zmian jest wzrost mocy silnika. Zazwyczaj jest to przyrost o około 20-30% w stosunku do ustawień producenta. Należy pamiętać, że nie należy zbyt mocno podnosić parametrów pracy silnika, aby nie doprowadzić do uszkodzenia jego oraz samego osprzętu.

Modyfikacja mocy silnika poprzez zwiększanie momentu obrotowego ma dwie główne zalety. Pierwszą z nich jest uzyskanie zupełnie innej, lepszej dynamiki jazdy. Drugi aspekt to poprawa prędkości maksymalnej jak i zmniejszenie spalania.

Auto na drodze zachowuje się o wiele elastyczniej, lepiej reaguje na gaz, a dodatkowo mając większy moment obrotowy już w niskich partiach prędkości silnika nie potrzeba używać wysokich zakresów obrotów by sprawić rozpędzić samochód do stałej prędkości, co za tym idzie zmniejsza się zużycia paliwa.

Poniżej przedstawione zostały wykresy kilku aut które zostały zmodyfikowane z wykorzystaniem zaprogramowanej płytki drukowanej.



**Rys. 6.** Wykres seryjnej mocy i momentu obrotowego silnika 1.8T 163HP [2]

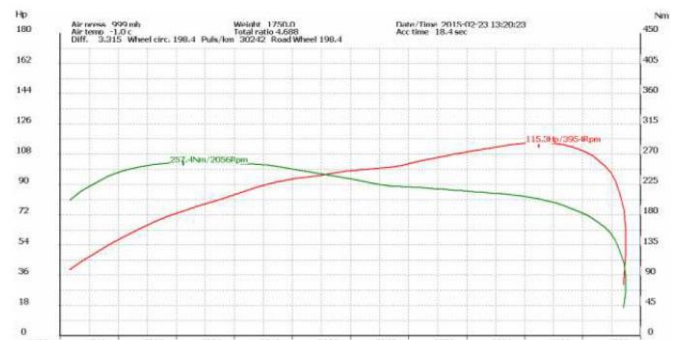
Rysunek 6 przedstawia wykres silnika 1.8T o seryjnej mocy 163HP, który wygenerował na seryjnym programie 163.6HP – a więc spełnia założenia producenta.



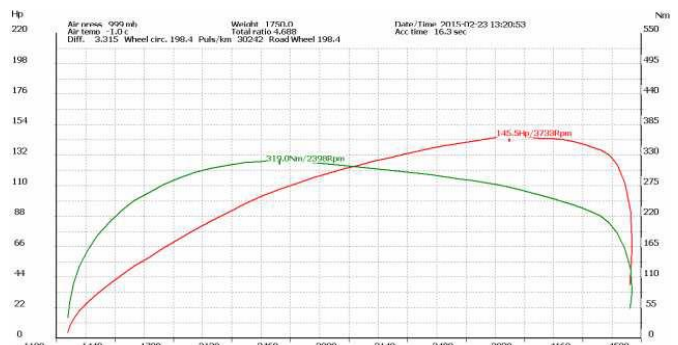
**Rys. 7.** Wykres mocy i momentu obrotowego silnika 1.8T 163HP po modyfikacji [2]

Na rysunku 7. przedstawiono wykres po modyfikacji z zastosowaniem płytki drukowanej. Wygenerowana moc to 189.5HP, a więc w porównaniu z domyślnym programem przyrost wyniósł 25.9HP co daje ~16% większą moc. Warto zaznaczyć, że przyrost momentu wyniósł ponad 27%.

Kolejnym przykładem użytym do testów bardzo popularna jednostka 1.9TDI grupy Volkswagen(Rys.8).



**Rys. 8.** Wykres seryjnej mocy i momentu obrotowego silnika 1.9TDI 105HP [2]



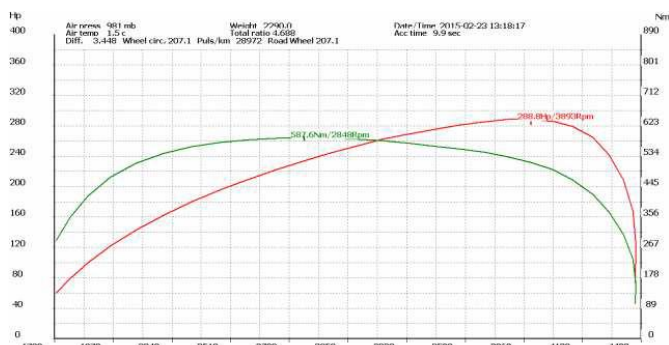
**Rys. 9.** Wykres mocy i momentu obrotowego silnika 1.9TDI 105HP po modyfikacji [2]

Zauważono bardzo dużą poprawę nie tylko wartości maksymalnych mocy i momentu lecz płynność generowania tych parametrów. Przyrost rzędu 26% mocy i 24% (Rys.9) momentu daje zauważalne odczucia podczas jazdy. Auto uzyskało lepszą elastyczność przy czym podzespoły silnika nadal pracują na bezpiecznych nastawach.

Kolejny przykład to testy już ponad 10-letniego Audi A6 C6 z silnikiem 3.0TDI o mocy 224HP (Rys 10.). Prezentuje możliwości jakie można uzyskać po zastosowaniu zaprogramowanej płytki z dwoma charakterystykami (Rys.11).



**Rys. 10.** Wykres seryjnej mocy i momentu obrotowego silnika 3.0TDI 224HP[2]



**Rys. 11.** Wykres mocy i momentu obrotowego silnika 3.0TDI 224HP po modyfikacji [2]

Z powyższego wynika, że auto bez żadnych modyfikacji mechanicznych osiąga przyrosty 30% mocy i niemal 29% momentu obrotowego.

Należy zaznaczyć że pomiary mocy i momentu obrotowego zostały wykonane przy pomocy profesjonalnej hamowni drogowej duńskiej firmy Dynomet. Wszystkie parametry mierzone są z częstotliwością 60 razy na jeden obrót koła co w rzeczywistości daje dokładne, powtarzalne pomiary charakterystyki mocy i momentu.

## PODSUMOWANIE

W celu sprawdzenia możliwości i korzyści wynikających z zastosowania układu do dynamicznej zmiany oprogramowania zostało przebadanych kilkanaście pojazdów w różnym wieku. Po odpowiedniej obróbce oprogramowania sterującego użytkownik może poznać możliwości swojego samochodu po zmianach, a zwiększone osiągi będą oczekiwanym efektem możliwym do fizycznego przetestowania w trakcie eksploatacji pojazdu, tym samym nie obciążając go dodatkowymi kosztami.

Należy zaznaczyć że sama adaptacja programu sterującego bądź płytki drukowanej do sterownika jednostki napędowej nie podniesie mocy i momentu obrotowego w danym silniku. Daje ona możliwość korzystania z dwóch charakterystyk (przykładowo domyślna i wzmocniona), które muszą być odpowiednio zmienione przez profesjonalne firmy zajmujące się tego rodzaju modyfikacjami zwiększania parametrów, a następnie zaprogramowane na układy pamięci sterownika.

W takim wypadku użytkownik ma niebywałą dotychczas możliwość korzystania z mocy seryjnej jak i zwiększonej bez kolejnych ingerencji w sterownik oraz bez potrzeby kolejnych wizyt w firmach często oddalonych o kilkadziesiąt kilometrów by przywrócić fabryczne ustawienia przykładowo w sytuacji sprzedaży samochodu.

Jeżeli pojazd podlega gwarancji producenta warto zastosować samą modyfikację kodu programu, gdyż jest to metoda bezinwazyjna, bez konieczności ingerencji w elektronikę jednostki, a co za tym

idzie po wybraniu seryjnych ustawień producent w trakcie diagnozowania pojazdu nie ma możliwości sprawdzenia czy auto jest modyfikowane czy też nie (było by to możliwe jedynie w przypadku odczytania zawartości pamięci i porównania sum kontrolnych z dedykowanym do tego rodzaju silnika plikiem).

Głównym atutem proponowanej płytki jest dynamiczna zmiana oprogramowania za pomocą jednego przycisku. Zastosowano możliwie największą prostotę przełączania jeżeli chodzi o wybór charakterystyki pojazdu.

## BIBLIOGRAFIA

- Hyde R., Asembler. Sztuka programowania. Wydanie II, Gliwice 2010.
- Świątek D., Kuszewski G., Opracowanie programu sterującego sektorami pamięci kontrolera obsługującego komputer pokładowy, Praca inżynierska pod kierunkiem Gutek D., Politechnika Lubelska, Lublin 2014.
- Gutek D., Mobilny system eksploatacji i obsługi motocykla, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe - 2016, nr 10.
- <http://kicad-pcb.org/>, strona producenta, 2016

### Project aimed at modification of device driver for managing memory sectors of on-board car computer controller

*In the present work there are two solutions which are connected to improve performance and efficiency of car engine.*

*First of them is a special program project, which allow to statically grow up power and torque generating by engine. This modification is the simplest because there is no need of interfere in original parts included in car. The code was made with help of IDA (Interactive Disassembler) which is used to disassemble processor machine code and all what is needed to install new program into Engine Computer Unit is the diagnostic connector OBD2 (On-Board Diagnostics Level 2) which is mounted in almost every car after 2000 year. New program raises the performance of engine even 30% compared with original program installed by manufacturer.*

*The second solution is a PCB (Printed Circuit Board) project which was designed is KiCad and allows user to change the characteristic of engine dynamic in real time. To achieve this point there is necessity of interference in ECU electronics.*

*The serial Flash must be unsoldered and instead of it there will settle PCB adapter which is responsible for changes between two control programs. First of them is stock program installed by manufacturer. The second one will boost up the engine efficiency. It's very attractive because one device makes possibility to have different software than the stock one.*

*Project was tested on a several cars which was equipped in diesel engine and also gasoline engine. All of units gave a improvement by raised power, torque and the fuel consumption has decreased.*

Autor:

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