

Kazimierz M. ROMANISZYN\*

## Dynamika rozpędzania samochodu zasilanego benzyną i gazem CNG

*W publikacji przedstawiono wyniki badań trakcyjnych samochodu osobowego przystosowanego fabrycznie do alternatywnego zasilania benzyną i sprężonym gazem CNG. Zastosowana instalacja zasilania gazem pozwala na sekwencyjny wtrysk gazu i regulację składu mieszanki ze sprzężeniem zwrotnym z wykorzystaniem sondy lambda. Opisano budowę układu zasilania silnika gazem i metodykę prowadzenia badań. Uzyskane wyniki porównano i oceniono wpływ rodzaju paliwa na dynamikę rozpędzania według stosownych norm.*

Słowa kluczowe: silnik gazowy, sprężony gaz ziemny, napęd, dynamika pojazdu

### The dynamics of the acceleration of a car fuelled with petrol and CNG

*In this publication presented are the results of road tests of a passenger car fuelled alternatively with petrol and IV generation CNG. Described are the design of an engine fuelling system and the methodology of testing. Compared are the obtained results and evaluated is the influence of the type of fuel on the dynamics of car acceleration.*

Key words: gas engine, CNG, drive train, vehicle dynamic

#### 1. Cechy gazu CNG w zastosowaniu do zasilania tłokowych silników spalinowych

W historii rozwoju motoryzacji tłokowe silniki spalino- we zasilane gazem ziemnym były stosowane wcześniej niż silniki zasilane benzyną. Można znaleźć zapisy, że pierwszy pojazd mechaniczny zbudowany przez Austriaka Markusa był wyposażony właśnie w taki silnik. Jednak z czasem zasilanie paliwem gazowym zostało zdominowane przez zasilanie benzyną, jako paliwa wygodniejszego w magazynowaniu i bezpieczniejszego w zastosowaniu.

Obserwowany obecnie powrót do zasilania gazem ziemnym CNG i LPG łączy się z poszukiwaniem paliw alternatywnych, pozwalających obniżyć koszty eksploatacji pojazdów i emisję składników spalin uznawanych za niepożądane.

Z danych literaturowych [1] można wnioskować, że ze względu na wyższy atomowy udział wodoru w gazie ziemnym, silniki zasilane gazem CNG emitują spaliny o zmniejszonych zawartościach siarki, benzenu i węglowodorów aromatycznych. Dodatkowo przyjmuje się, że ten typ zasilania powoduje zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o około 20–25%, jak również węglowodorów i tlenków azotu. Następstwem tego jest zmniejszenie emisji tzw. gazów cieplarnianych do atmosfery. Jednak z drugiej strony metan stanowi około 85% niespalonych węglowodorów emitowanych w spalinach silnika zasilanego CNG. Metan jest gazem o około 60-krotnie większej izolacyjności cieplnej w porównaniu do CO<sub>2</sub>. Mimo to całkowity bilans emisji gazów cieplarnianych jest znacznie korzystniejszy dla silników zasilanych gazem ziemnym. Wydaje się, że zasilanie gazem ziemnym może nieść wiele korzyści w porównaniu z zasilaniem benzyną, a niedogodności logistyczne związane z magazynowaniem gazu są mniej znaczące przy obecnym stanie techniki.

W początkowym okresie stosowania zasilania gazem, systemy te budowano jako systemy nakładkowe, tzn. takie, które były zabudowywane dodatkowo do istniejących w sa-

#### 1. The features of CNG in the fuelling of piston combustion engines

In the history of the automobile industry piston combustion engines fuelled with natural gas had been used before petrol-fuelled ones. Evidence may be found that the first mechanical vehicle ever built by an Austrian Marcus was fitted with such an engine. Over time, however, fuelling with gas was dominated by fuelling with petrol being easier to store and safer to use.

The return to fuelling with natural CNG and LPG gas observed these days is connected with the search for alternative fuels allowing the costs of operating a car to be reduced and the emission of unwanted exhaust gases to be decreased.

From the literature data [1], it can be concluded that due to the higher atomic share of hydrogen in natural gas, engines fuelled with CNG emit gases of lower sulphur, benzene and aromatic hydrocarbons content. Additionally, it is assumed that this type of fuelling results in reduced emission of carbon dioxide by approximately 20–25%, as well as hydrocarbons and nitric oxides. A consequence of this is a reduction in the emission of the so called greenhouse gases into the atmosphere. Methan, on the other hand, forms approximately 85% of unburnt hydrocarbons emitted in the exhaust gases of the CNG-fuelled engine. As it has been found out, methan has about 60 times the thermal insulation of CO<sub>2</sub>. Despite of this, the total balance of the emission of greenhouse gases is much in favour of natural gas fuelled engines. Therefore it may seem that fuelling with natural gas has a lot of advantages over fuelling with petrol and the logistic problems to do with its storage are less significant with the current state of technology.

At the early stages of using natural gas, gas-fuelling systems were designed as put-on i.e. additionally fitted onto the existing standard petrol-fuelling systems in a car. This was

mochodzie systemów zasilania benzyną. Odbywało się to w warsztatach przystosowanych do takich zadań. Jednak samochody przystosowywane w tych warsztatach do zasilania gazem charakteryzowały się wzmożoną emisją składników spalin [6], a często również obniżoną dynamiką. Rozwój techniki spowodował eliminację wielu niekorzystnych cech stosowania nakładkowych systemów zasilania gazem, a uwypuklił zalety tego typu zasilania. Do głównych zalet należy zaliczyć:

- małą emisję węglowodorów i aldehydów, będących czynnikami tworzenia ozonu,
- praktycznie zerową emisję kancerogennych węglowodorów aromatycznych: benzenu i 1,3-butadienu,
- małą emisję cząstek stałych, tlenków azotu i dwutlenku węgla,
- łatwość pozyskiwania gazu ziemnego jako paliwa (po wydobywaniu nie wymaga przetwarzania),
- stabilną pracę tłokowych silników spalinowych w szerokim zakresie zmian współczynnika nadmiaru powietrza,
- wysoką liczbę oktanową (powyżej 100).

Do głównych wad zasilania gazem ziemnym można zaliczyć:

- mniejszy zasięg samochodu przy porównywalnej masie paliwa,
- większe zagrożenie wybuchem,
- słabo rozwiniętą infrastrukturę stacji tankowania,
- większy koszt samochodu w przypadku stosowania zasilania alternatywnego,
- trudniejszy rozruch w porównaniu z benzyną.

Zagadnieniom analizy emisji związków szkodliwych spalin w początkowym okresie po rozruchu silnika samochodu zasilanego alternatywnie benzyną i gazem CNG poświęcono publikację [2]. Według autorów, po rozruchu zimnego silnika przy zasilaniu CNG występuje znaczące obniżenie emisji tlenku węgla w miejskiej części testu NEDC, natomiast w części autostradowej emisyjność ta jest większa niż przy zasilaniu benzyną. Dla samochodu zasilanego benzyną w pierwszej fazie testu NEDC (pierwsze 195 s) emitowane jest 99% ilości tlenku węgla mierzonego w całym teście. Natomiast przy zasilaniu CNG tylko około 27% tej ilości. W przywołanej publikacji podano, że dla prędkości powyżej 70 km/h przy zasilaniu CNG emisja ta jest na poziomie 72% całkowitej emisji w teście. Istotnym jest, że mimo wyższej emisji CO w teście miejskim, dla całości testu odnotowuje się obniżenie emisji CO o około 60% w porównaniu do zasilania benzyną. Według tych samych autorów zasilanie gazem CNG powoduje wyraźne obniżenie emisji węglowodorów w pierwszej fazie testu miejskiego (57% emisji przy zasilaniu CNG wobec 97% przy zasilaniu benzyną), a całkowita emisja HC w teście NEDC jest o około 70% niższa w porównaniu do zasilania benzyną. Stwierdzono, że emisja  $\text{NO}_x$  utrzymuje się na podobnym poziomie jak przy zasilaniu benzyną.

Bardzo istotną informacją jest to, że podczas przeprowadzonych badań stwierdzono niższą o około 15% emisję  $\text{CO}_2$  w części UDC, a około 25% niższą emisję w części EUDC. Uzyskane dane są zbliżone z danymi opisanymi w [3].

made in specialist garages. Cars upgraded this way, however, were characterised by increased emission of exhaust gases [6] and frequently by lower dynamics. The technology advancement caused the elimination of many disadvantageous features of using put-on gas-fuelling systems and stressed the advantages of this type of fuelling.

The main advantages are:

- low emission of hydrocarbons and aldehydes which contribute to ozone creation,
- practically no emission of carcinogenic aromatic hydrocarbons; benzene and 1,3-butadiene,
- low emission of solid particles,  $\text{NO}_x$  and carbon dioxide,
- ease of obtaining natural gas as fuel (no refinement after mining),
- predictable running of piston combustion engines in a wide spectrum of lambda change,
- a high octane number (above 100),
- easy engine start-up compared to fuelling with petrol.

The main disadvantages of fuelling with natural gas are:

- shorter car range with comparable fuel load,
- higher risk of explosion,
- poorly-developed infrastructure of filling stations,
- higher price of a car with an alternative fuelling system.

Bielaczyc and Szczotka [2] address in their publication the analysis of the emission of toxic exhaust gas components at the early stage after the start-up of an engine fuelled alternatively with CNG and petrol. According to the authors there is a significant reduction in the emission of carbon monoxide in the urban part of NEDC test after the start-up of a cold engine fuelled with CNG. However, in the motorway part of the test, the emission is higher than for petrol fuelling. For a petrol-fuelled car in the first phase of NEDC test (first 195 s) 99% of the amount of carbon monoxide measured in the entire test is emitted. For fuelling with CNG, however, this percentage is only about 27. In the publication mentioned above it is stated that for velocities above 70 km/h the emission amounts to 72% of the total emission in the test, for fuelling with CNG. It is crucial that despite higher CO emission in the urban test, for the whole test the emission of CO is lower by about 60% compared with fuelling with petrol. According to the same authors fuelling with CNG gas causes a significant reduction in the emission of hydrocarbons in the first part of the urban test (57% emission for CNG versus 97% for petrol) and the total emission of HC in NEDC test is lower by about 70% compared with fuelling with petrol. It was found that the emission of  $\text{NO}_x$  stays at a similar level to fuelling with petrol.

A very important information is that during the course of the tests approximately 15% lower  $\text{CO}_2$  emission was recorded in the UDC part, and approximately 25% lower emission in the EUDC part. The data obtained are similar to those described in [3].

For some time now, the Automotive Industry Institute (PIMot) has been working on the issues of the emission of exhaust gas components for car engines fuelled with CNG. In the publication [4] it is stated that compared with petrol engines, for air-petrol blends similar to stoichiometric the

Zagadnieniami emisyjności składników spalin silników samochodowych zasilanych CNG od pewnego czasu zajmuje się Przemysław Instytut Motoryzacji. W opracowaniu [4] podano, że w porównaniu z silnikami benzynowymi, dla mieszanek o składzie zbliżonym do stechiometrycznego, mechanizm reakcji chemicznych zachodzących w trójfunkcyjnym reaktorze katalitycznym jest korzystniejszy dla silnika zasilanego CNG, przez co można pod pewnymi warunkami [5] uzyskać wyższą skuteczność oczyszczania spalin. Prace własne prowadzone przez PIMot wykazały zgodność uzyskanych wyników z danymi zawartymi w publikacji [2] i wskazały na bardzo istotny fakt, że korzyści ekologiczne wynikające ze stosowania gazu ziemnego dotyczą instalacji zasilania dobranych starannie (fabrycznie) do danego typu silnika. W przypadku stosowania tzw. nakładkowych systemów zasilania, podobnie jak przy zasilaniu LPG [6], dla układów montowanych w standardowych kompletacjach, można się spodziewać nawet wzrostu szkodliwych składników spalin.

W dalszej części opracowania opisano obiekt badań, metodykę prowadzenia badań oraz uzyskane wyniki uzyskane przez autora niniejszej publikacji. Badania wykonano w ramach realizacji projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Informatyzacji nr 4 T12D 047 28, na samochodzie zasilanym przez fabrycznie opracowany system IV generacji zasilania gazem CNG. Schemat układu zasilania przedstawiono na rysunku 1.

## 2. Obiekt i zakres badań

Do badań dynamiki rozpędzania użyto samochodu osobowego przystosowanego fabrycznie do alternatywnego zasilania benzyną i sprężonym gazem CNG. Dane samochodu i cechy CNG podano w poniższych zestawieniach:

– rok produkcji	2005
– objętość skokowa silnika	1596 cm <sup>3</sup>
– moc maksymalna silnika	benzyna – 76, CNG – 68 kW przy 5750 obr/min
– moment maksymalny silnika	benzyna – 145 N·m, CNG – 130 N·m przy 4000 obr/min
– układ zasilania	benzyna – wtrysk wielopunktowy, CNG – wtrysk wielopunktowy, sekwencyjny
– ogumienie	Bridgestone B391 175/70 R14 z ciśnieniem: przód – 0,26 MPa, tył – 0,30 MPa
– masa własna	1540 kg

Zakres badań obejmował pomiary przy alternatywnym zasilaniu benzyną i gazem CNG:

- prędkości maksymalnej wg regulaminu nr 68 EKG ONZ i PN-92/S-77500,
- intensywności rozpędzania samochodu wg normy PN-92/S-77500:
  - na IV biegu od prędkości początkowej 40 km/h,
  - na IV biegu od prędkości początkowej 60 km/h,
  - na V biegu od prędkości początkowej 50 km/h,
  - na V biegu od prędkości początkowej 60 km/h,

mechanism of chemical reactions in three-function catalyst is better for CNG engines, thanks to which it is possible to get higher effectiveness of cleaning exhaust gases under certain conditions [5]. Own research by PIMot shows that the results obtained were consistent with the data in publication [2] and draws attention to a very important fact that ecological benefits of using natural gas occur when gas-fuelling systems are carefully (factory) designed for a specific engine type. However, in the case of the so called put-on gas fuelling systems, similarly to fuelling with LPG [6], for systems available as “standard kits”, an increase in the amount of toxic exhaust gas components may even be expected.

Further on in the publication described is the object of the testing and the testing methodology as well as the results obtained by the author. The tests were carried out as part of research No 4 T12D 047 28 by the Ministry of Computing and Science, on a car fuelled with a factory-designed IV generation CNG fuelling system.

## 2. The object of the testing and its scope

For the testing of the dynamics of car acceleration a passenger car, factory-adapted for alternative fuelling with petrol and CNG, was used. The characteristics of the car and the CNG are as follows:

– year of manufacture	2005
– engine capacity	1596 cm <sup>3</sup>
– maximum engine power	petrol – 76 kW, CNG – 68 kW at 5750 rpm
– maximum engine torque	petrol – 145 N·m, CNG – 130 N·m at 4000 rpm
– fuelling system	petrol – multipoint injection, CNG – sequential multipoint injection
– tyres	Bridgestone B391 175/70 R14 pressure: front – 0.26 MPa, rear – 0.30 MPa
– own weight	1540 kg

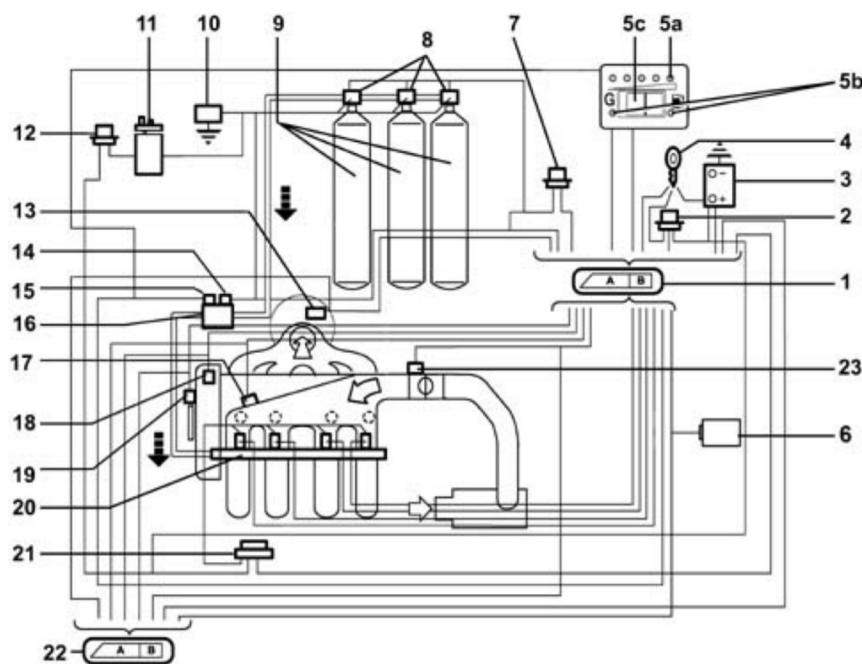
The scheme of the fuelling system is presented in Fig. 1.

The scope of testing covered the measurements for alternative fuelling with petrol and CNG:

- Maximum speed according to EKG Regulation 68 of the UN and Polish Norm 92/S-77500,
- The intensity of car acceleration based on Polish Norm 92/S-77500:
  - in IV gear from the starting speed of 40 km/h,
  - in IV gear from the starting speed of 60 km/h,
  - in V gear from the starting of 50 km/h,
  - in V gear from the starting of 60 km/h,
  - in V gear from the starting of 80 km/h,
  - in III gear from the minimal to maximal speed,
  - in IV gear from the minimal to maximal speed.

The measurements were carried out using Correwit head EEP-2. The parameters of the CNG used in the tests are presented in the Table 1.





Rys. 1. Schemat układu wtrysku i zapłonu samochodu: 1 – centralka sterująca silnika przy zasilaniu metanem, 2 – przełącznik układu wtrysku, 3 – akumulator, 4 – wyłącznik zapłonu, 5A – wskaźnik pozostającego ciśnienia CNG, 5B – dwie diody „sposób zasilania benzyną” (diody żółta) i „sposób zasilania gaz” (diody zielona), 5C – przełącznik między dwoma sposobami funkcjonowania benzyna lub metan, 6 – body Computer, 7 – przełącznik sterujący elektrozworami metanu (na butlach i na reduktorze ciśnienia), 8 – elektrozwory na butlach, 9 – butle metanu, 10 – wyłącznik bezwładnościowy, 11 – pompa elektryczna benzyny, 12 – przełącznik odcinający pompę benzyny, 13 – sonda Lambda przed reaktorem katalitycznym, 14 – elektrozwór na reduktorze ciśnienia, 15 – czujnik ciśnienia metanu, 16 – elektrozwór odcinający na reduktorze ciśnienia metanu, 17 – czujnik ciśnienia i temperatury powietrza, 18 – czujnik fazy silnika, 19 – czujnik prędkości obrotowej silnika i GMP, 20 – kolektor zasilający metanu i elektrowtryskiwacze, 21 – przełącznik zasilania wtryskiwaczy, 22 – centralka sterowania silnikiem zasilanym benzyną, 23 – czujnik położenia przepustnicy

Fig. 1. The scheme of the fuelling and ignition system of the car: 1 – engine control module for fuelling with metene, 2 – fuelling system relay, 3 – battery, 4 – ignition switch, 5A – indicator of the remaining CNG pressure, 5B – two diodes: “fuelling with petrol” (yellow) and “fuelling with CNG” (green), 5C – switch between the two fuelling systems, 6 – body Computer, 7 – relay controlling metene electrovalves (on the bottles and pressure reducer), 8 – electrovalves on the bottles, 9 – bottles of metene, 10 – inert switch, 11 – petrol electric pump, 12 – relay cutting off petrol pump, 13 – Lambda probe before catalytic converter, 14 – electrovalve on the pressure reducer, 15 – metene pressure sensor, 16 – electrovalve cutting off metene pressure on the reducer, 17 – pressure and air temperature sensor, 18 – engine phase sensor, 19 – revolutions and engine top dead centre sensor, 20 – metene fuelling collector and electroinjectors, 21 – injectors fuelling relay, 22 – control module for petrol-fuelled engine, 23 – sensor of the position of the throttling valve

- na V biegu od prędkości początkowej 80 km/h,
- na III biegu od prędkości minimalnej do maksymalnej,
- na IV biegu od prędkości minimalnej do maksymalnej.

Pomiary prowadzono z wykorzystaniem głowicy Correwit EEP-2. Parametry gazu CNG użytego podczas badań przedstawiono w tabeli 1.

### 3. Uzyskane wyniki

Uzyskane wyniki zestawiono i ujęto w formie tabel 2 i 3 oraz rysunkach 2 i 3, przedstawiających prędkości samochodu w zależności od czasu i drogi dla alternatywnego zasilania benzyną i gazem CNG. Dane z przeprowadzonych badań trakcyjnych będą wykorzystane do obliczeń charakterystyk momentu obrotowego w warunkach dynamicznych zgodnie z [9] i zaprezentowane w kolejnych publikacjach. Dla uzyskania pełnych danych do takich obliczeń poszerzono zakres pomiarów o rejestrację rozpędzania samochodu na III i IV biegu od prędkości minimalnej do maksymalnej.

### 4. Podsumowanie

- Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:
- Prędkość maksymalna samochodu była niższa o 9 km/h przy zasilaniu gazem CNG w porównaniu do zasilania benzyną.
  - Podczas wszystkich pomiarów rozpędzania na biegach i przez biegi stwierdzono pogorszenie parametrów charakteryzujących dynamikę samochodu (dłuższe czasy rozpędzania i mniejsze osiągane prędkości wyjścia) przy zasilaniu

### 3. The results obtained

The results obtained are presented in tables 2 and 3 showing car speeds in the function of time and way for alternative fuelling with petrol and CNG. The data from the road tests carried out will be used for calculating torque characteristics in the dynamic conditions according to [9] and presented in next publications. To obtain a full spectrum of data for such calculations the scope of testing was extended by the recording of car acceleration in III and IV gear from the minimal to maximal speed.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych parametrów zastosowanego gazu CNG

Table 1. Basic parameters of used CNG gas

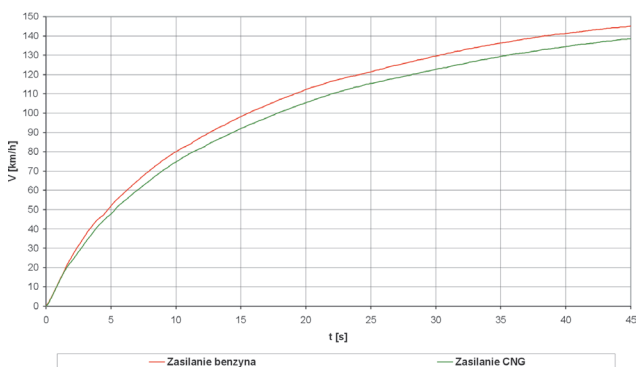
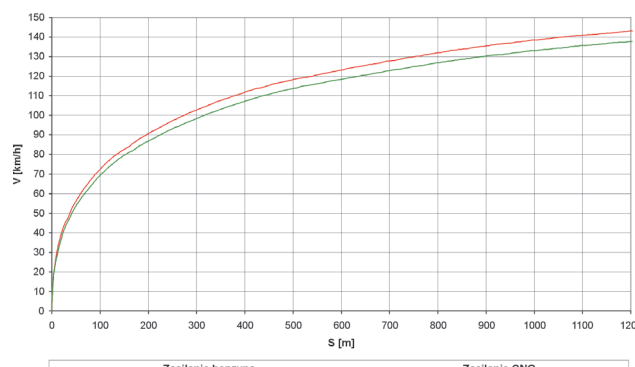
Zawartość metanu / Methane content	[%]	95,489
Zawartość azot + tlen / Content of oxygen and nitrogen	[%]	2,306
Zawartość dwutlenku węgla / Content of carbodioxide	[%]	0,058
Ciepło spalania (0°C, 101,335 kPa) / Burning heat (0°C, 101,335 kPa)	[MJ/m³]	39,748
Wartość opałowa (0°C, 101,335 kPa) / Calorific value (0°C, 101,335 kPa)	[MJ/m³]	35,844
Gęstość (0°C, 101,335 kPa) / Density (0°C, 101,335 kPa)	[kg/m³]	0,748
Liczba Wobbego gazu W / Wobby value of gas - W	[MJ/m³]	52,238

Tabela 2. Wyniki pomiarów prędkości maksymalnej, czasów rozpędzania oraz drogi wybiegu

Table 2. Results of measured: max. speed, acceleration times and way covered

Parametr / Parameter				Zasilanie benzyną / Fuelling with petrol	Zasilanie CNG / Fuelling – CNG
1. Prędkość maksymalna (na V biegu) / Maximum (V gear)			[km/h]	165 ± 3	156 ± 3
2. Intensywność rozpędzania przez biegi / The intensity of acceleration through gears	0 : 100 km/h	czas – droga / time – way	[s – m]	15,6 ± 0,2	17,8 ± 0,2
	0 : 400 m	czas – prędkość / time – way	[s – km/h]	19,9 ± 0,1	20,8 ± 0,2
	0 : 500 m	czas – prędkość / time – way	[s – km/h]	111,8 ± 0,8	107,3 ± 0,6
	0 : 1000 m	czas – prędkość / time – way	[s – km/h]	23,0 ± 0,1	24,0 ± 0,2
3. Intensywność rozpędzania na IV biegu / The intensity of acceleration in IV gear	od 40 km/h	40 : 100 km/h	czas – droga [s – m]	23,0 ± 0,4	28,7 ± 0,2
		0 : 400 m	czas – prędkość [s – km/h]	21,2 ± 0,2	22,3 ± 0,1
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	95,3 ± 0,8	87,8 ± 0,5
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	133,3 ± 1,0	123,5 ± 0,8
	od 60 km/h	60 : 100 km/h	czas – droga [s – m]	15,7 ± 0,2	19,4 ± 0,2
		0 : 400 m	czas – prędkość [s – km/h]	17,5 ± 0,1	18,2 ± 0,1
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	104,7 ± 0,7	97,4 ± 0,6
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	136,6 ± 0,9	128,7 ± 0,8
4. Intensywność rozpędzania na V biegu / The intensity of acceleration in V gear	od 50 km/h	50 : 100 km/h	czas – droga [s – m]	26,9 ± 0,3	34,3 ± 0,4
		0 : 400 m	czas – prędkość [s – km/h]	20,4 ± 0,1	21,2 ± 0,1
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	89,7 ± 0,6	84,7 ± 0,6
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	121,6 ± 0,9	110,7 ± 0,8
	od 60 km/h	60 : 100 km/h	czas – droga [s – m]	21,9 ± 0,3	27,6 ± 0,6
		0 : 400 m	czas – prędkość [s – km/h]	18,5 ± 0,1	19,0 ± 0,1
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	94,5 ± 0,6	90,2 ± 0,6
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	124,6 ± 1,3	113,9 ± 1,0
	od 80 km/h	80 : 120 km/h	czas – droga [s – m]	25,2 ± 0,4	34,6 ± 0,3
		0 : 400 m	czas – prędkość [s – km/h]	15,5 ± 0,1	15,9 ± 0,1
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	106,0 ± 0,7	100,5 ± 0,6
		0 : 1000 m	czas – prędkość [s – km/h]	130,8 ± 0,8	121,0 ± 0,7
5. Droga wybiegu / The distance of car rolling		80 : 0 km/h	droga / way [m]	1336 ± 44	

Liczba po znaku ± jest wartością liczbową (niepewności rozszerzonej)  $U = k \cdot u_c$ , obliczoną na podstawie standardowej niepewności złożonej  $u_c$  oraz współczynnika rozszerzenia  $k = 2$  otrzymanego z rozkładu t-Studenta określającą przedział o poziomie ufności około 95%. / The number after „±” is a numeral (extended uncertainty)  $U = k \cdot u_c$  calculated based on standard compound uncertainty  $u_c$  and coefficient of expansion  $k = 2$  obtained from t-Student Spread detailing the bracket of certainty level of about 95%.

Rys. 2. Rozpędzanie przez biegi,  $V = f(t)$ Fig. 2. Acceleration through the gears,  $V = f(t)$ Rys. 3. Rozpędzanie przez biegi,  $V = f(s)$ Fig. 3. Acceleration through the gears,  $V = f(s)$ 

laniu gazem CNG, w porównaniu do zasilania benzyną (od 4 do 27%).

- Mając na uwadze podobieństwo przebiegów rozpędzania przy zasilaniu benzyną i gazem CNG, można przypuszczać, że charakterystyki szybkościowe momentów przy w obu przypadkach mają podobny kształt, natomiast charakterystyka przy zasilaniu CNG jest obniżona o kilka procent (szacunkowo około 8%).

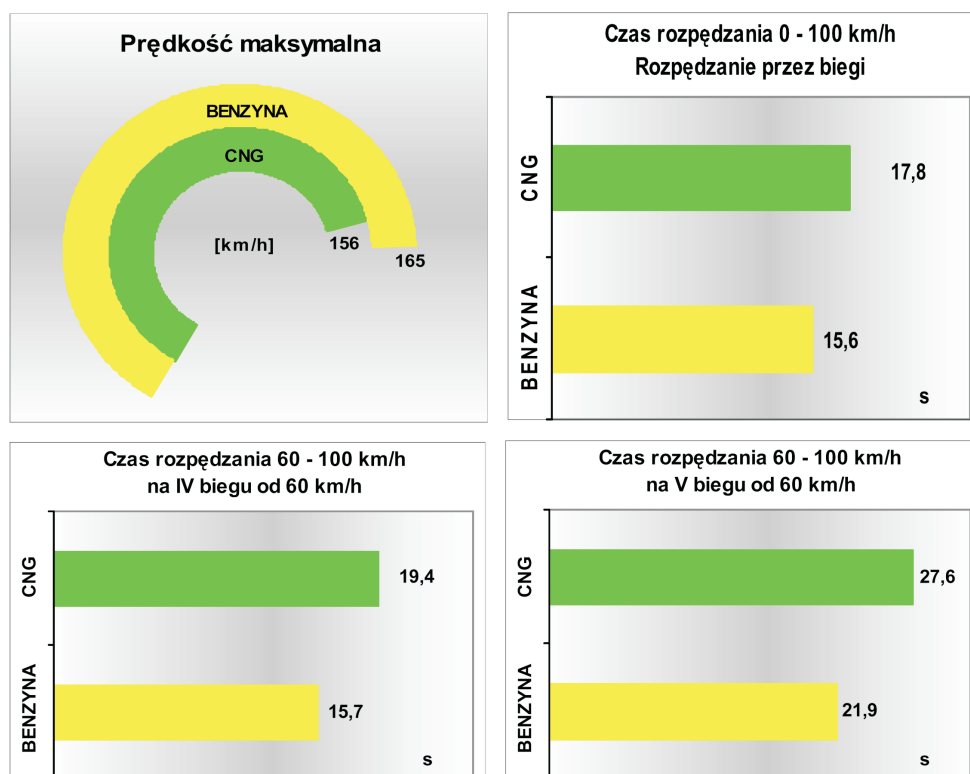
Na rysunku 4 porównano rozwijaną prędkość maksymalną i czas rozpędzania do 100 km/h uzyskane z wybranych pomiarów.

The number after „±” is a numeral (extended uncertainty)  $U = k \cdot u_c$ , calculated based on standard compound uncertainty  $u_c$  and coefficient of expansion  $k = 2$  obtained from t-Student Spread detailing the bracket of certainty level of about 95%.

#### 4. Summary

Based on the tests carried out it has been concluded that:

- Maximum speed of the car was decreased by 9 km/h for fuelling with CNG compared to fuelling with petrol.
- During all the acceleration measurements in and through gears it was noted that the parameters characterising the dynamics and elasticity of the engine got worse (longer



Rys. 4. Porównanie wybranych parametrów rozpędzania samochodu przy zasilaniu benzyną i CNG

Fig. 4. Comparison of the parameters of acceleration during fuelling with petroleum and CNG

acceleration times and lower exit speeds achieved) for the fuelling with CNG, compared to fuelling with petrol (4–27%).

– Bearing in mind the similarity of the courses of the curves of acceleration for fuelling with petrol and CNG, it may be concluded that the speed characteristics of torques in both cases have similar courses, however the characteristic for fuelling with CNG is lowered by a few percent (app. 8%).

The diagrams below present the comparison of the maximum speed achieved and the acceleration times to 100 km/h from the selected measurements.

Artykuł recenzowany

## Literatura/Bibliography

- [1] Merksz J., Pielecha I.: Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [2] Bielaczyc P., Szczotka A.: Analiza emisji związków szkodliwych spalin w początkowym okresie po rozruchu silnika ZI samochodu zasilanego alternatywnie benzyną i CNG. Zeszyty Naukowe BOSMAL, z. 19, 2002.
- [3] Checkel D., Dhaliwal B.: Tailpipe Emissions Comparison Between Propane and Natural Gas Forklifts. SAE Technical Paper Series 2000-01-1865.
- [4] Żółtowski A.: Badania emisji trakcyjnych silników gazowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej serii Mechanika, z. 25, Silniki Gazowe 2003.
- [5] Michael H., Langen P.: Achieving Low Emissions and High Engine Efficiency with Natural Gas. Konferencja NGV, Yokohama 2000.
- [6] Romaniszyn K.M.: Wpływ zasilania gazem LPG na dynamikę rozpędzania i emisyjność spalin samochodu zasilanego gaźnikiem. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, seria Mechanika, z. 25, Silniki Gazowe 2003.
- [7] Brzeżański M., Golec K.: Nowoczesne systemy zasilania silników spalinowych paliwami gazowymi, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej serii Mechanika, z. 25, Silniki Gazowe 2003.
- [8] Romaniszyn K.M.: Wpływ alternatywnego zasilania benzyną i gazem LPG na własności emisyjne i dynamikę samochodu, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego 8T12D 03221: 2003.
- [9] Romaniszyn K.M.: Dynamika rozpędzania samochodów zasilanych alternatywnie benzyną i gazem LPG. Zeszyty Naukowe OBR SM BOSMAL, z. 27, 2005.

\* Dr hab. inż. Kazimierz Maria Romaniszyn – profesor Akademii Techniczno-Humanistycznej i OBR BOSMAL w Bielsku Białej, w latach 1990–2000 dyrektor Ośrodka Badawczo-Rozwojowego BOSMAL w Bielsku Białej.

Mr Kazimierz Maria Romaniszyn, PhD, DSc, MEng – Professor at the University of Bielsko-Biala and the Automotive R&D Center BOSMAL in Bielsko-Biala, in 1990–2000 director of BOSMAL.

