

ESTIMATION OF USEFULNESS OF HFM-5 AIR-MASS METER FOR FORECAST CYCLE FILLING UP OF SI ENGINE

Józef Nita
Iwona Komorska

Radom University of Technology
Institute of Maintenance of Vehicles and Machines
Chrobrego Street 45, 26-600 Radom, Poland
tel.: +48 48 3617648, fax: +48 48 3617644
e-mail: j_nita@o2.pl, iwona.komorska@pr.radom.pl

Abstract

The results of investigations on the measure assignment of single cylinder filling up of the SI engine using voltage signal of the constant-temperature air-mass meter HFM-5 made by BOSCH were presented in the paper. Output voltage signal coming from the meter is connected with air mass filling up the cylinder by the 6th order equation. It was established that the voltage signal measure in whole filling up range can be its average value assigned in the initial, limited filling angle range, calculated from inlet valve opening moment. This measure maps accurate enough the average value of air-mass meter voltage signal calculated for whole filling up range only for rotational speeds less than 1250 rpm. Above this value the correction of the measure is necessary, linearly dependent of rotational speed. It accomplishes the method of forecast of filling up the cylinder and make the forecast accuracy worse. The analyze of the measure character allows to fix the range of rotational speed in which the speed of air-mass meter is sufficient enough for measuring and prognosing the cycle filling up. For HFM-5 air-mass meter its usefulness is documented for rotational speeds lower than 1250 rpm in full range of engine load.

Keywords: SI engine, filling up the cylinder, forecast of the cylinder filling up

OCENA PRZYDATNOŚCI TERMOANEMOMETRU HFM-5 DO PROGNOZOWANIA CYKLOWEGO NAPEŁNIENIA SILNIKA ZI

Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki badań wykonanych w celu wyznaczenia estymaty napięciowego sygnału napełniania cylindra silnika ZI generowanego przez stałotemperaturowy termoanemometr HFM-5 firmy BOSCH. Napięciowy sygnał wyjściowy z tego miernika powiązany jest równaniem 6. stopnia z masowym wydatkiem powietrza napełniającego cylinder. W wyniku badań ustalono, że estymatą sygnału napięciowego w całym przedziale napełniania może być jego wartość średnia wyznaczona w początkowym, ograniczonym przedziale kątowym napełnienia, liczoną od kąta otwarcia zaworu dolotowego. Miara ta odwzorowuje z wystarczającą dokładnością wartość średnią napięciowego sygnału z HFM-5 obliczoną dla całego przedziału napełniania tylko do prędkości obrotowej $n \approx 1250$ obr/min. Powyżej tej prędkości konieczna jest korekta wartości estymaty, zależna liniowo od prędkości obrotowej. Komplikuje to sposób prognozowania napełnienia cylindra oraz obniża dokładność prognozy. Analiza właściwości tej estymaty pozwala jednocześnie ustalić zakres prędkości obrotowej, w którym szybkość działania termoanemometru jest wystarczająca dla pomiaru i prognozowania cyklowego napełnienia. W przypadku miernika HFM-5, jego przydatność jest udokumentowana dla prędkości obrotowych nie większych niż 1250 obr/min w pełnym zakresie obciążeń silnika.

Słowa kluczowe: silnik o zapłonie iskrowym, napełnienie cylindra, prognozowanie napełnienia cylindra

1. Wprowadzenie

W sterowaniu w czasie rzeczywistym składem mieszanki w silniku o zapłonie iskrowym nadrzędnym celem jest zapewnienie wymaganego składu w każdym, kolejnym cyklu napełniania.

Jest to istotne w aspekcie osiągnięć ekologicznych, ekonomicznych i wydolnościowych silnika [1]. Dla zrealizowania takiego sterowania wymagana jest znajomość cyklowego napełnienia powietrzem na tyle wcześnie, aby możliwe było jeszcze w tym cyklu pracy silnika dostarczenie wymaganej ilości paliwa [6, 7]. Jediną metodą osiągnięcia tego celu jest prognozowanie cyklowego napełnienia.

Prognozowanie napełnienia może się odbywać w oparciu o:

- a) wyznaczony wcześniej związek napełnienia A^c z wybranymi wielkościami procesu napełniania (np. ciśnieniem p w kolektorze dolotowym, otwarciem α przepustnicy powietrza, prędkością obrotową n bądź innymi):

$$A^c = f(p, n, \alpha, \dots), \quad (1)$$

- b) pomiar napełnienia A_φ w początkowym przedziale kątowym $\Delta\varphi_m$ fazy napełniania i wyznaczenie w czasie rzeczywistym napełnienia uzupełniającego A_p z wykorzystaniem innych wielkości, takich jak np. w punkcie a):

$$A^c = A_\varphi + A_p(p, n, \alpha, \dots), \quad (2)$$

- c) pomiar napełnienia A_φ jak w punkcie b) i powiązanie tego wyniku z napełnieniem uzupełniającym A_p według jednowymiarowej zależności:

$$A^c = A_\varphi + A_p(A_\varphi), \quad (3)$$

Prognozowanie według zasad a) lub b) może się odbyć z wykorzystaniem:

- parametrów obliczonych dla cykli pracy silnika poprzedzających cykl z prognozowanym napełnieniem,
- parametrów obliczonych dla cyklu, w którym prognozowane jest napełnienie.

Rozwiązanie w obydwóch przypadkach ma postać tzw. mapy (bądź map) czyli związków przestrzennych i jest obarczone wadami, w tym obniżoną dokładnością rozwiązania (problem kwantyfikacji parametrów mapy).

Najkorzystniejsze ze względu na dokładność uzyskanej prognozy jest prognozowanie według wariantu c). Jeżeli użyty zostanie miernik masowego wydatku powietrza, prognozowanie sprowadza się do pomiaru tego wydatku w początkowym przedziale fazy napełniania cylindra i przemnożeniu wyniku przez współczynnik wyznaczony na etapie kalibracji systemu. Istota tego prognozowania, zasygnalizowana w [2], sprowadza się do uzyskania odpowiedzi na trzy pytania:

- a) jaka miara napięciowa (estymata) bazująca na sygnale napięciowym u_a z miernika masowego wydatku powietrza określona na pełnym przedziale napełnienia przybliżałaby najdokładniej masę powietrza A^c , które napełniło cylinder,
- b) jaka miara napięciowa (estymata) bazująca na sygnale napięciowym u_a z miernika masowego wydatku powietrza określona na ograniczonym, początkowym przedziale napełnienia przybliżałaby najdokładniej napięciową estymatę napełnienia, określoną na całym przedziale napełnienia,
- c) jaki jest optymalny - ze względu na dokładność prognozy napełnienia i pewność przepływu wtrysniętego na zawór zasilający paliwa do cylindra – kąt graniczny przedziału prognozowania.

Ten sposób prognozowania napełniania jest przedmiotem niniejszej publikacji, a jej celem jest zbadanie możliwości prognozowania napełniania przy stosowaniu powszechnie dostępnego miernika masowego wydatku powietrza HFM-5 firmy BOSCH [6].

Statycznie-dynamiczne właściwości miernika HFM-5 przedstawiono m.in. w publikacji [3]. Jest to termooanemometr stałotemperaturowy typu Hot Film, którego charakterystyka statyczna ma postać wielomianu 6-tego stopnia:

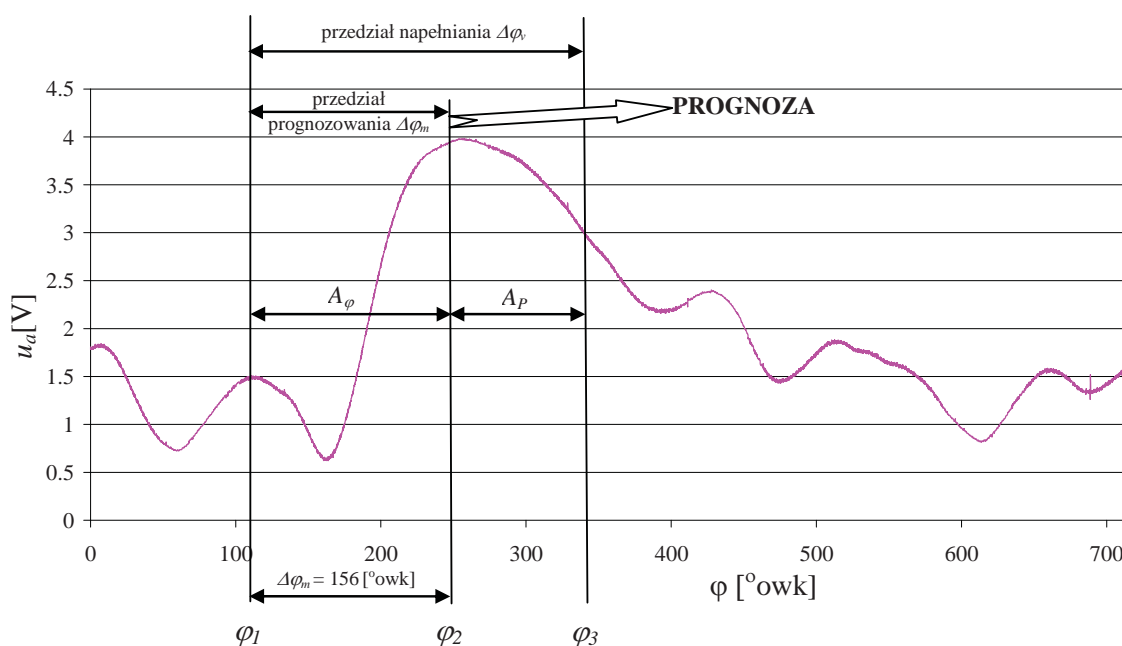
$$a \text{ [kg / h]} = c_6 \cdot u_a^6 + c_5 \cdot u_a^5 + \dots + c_1 \cdot u_a + c_0, \quad (4)$$

a deklarowany czas ustalania się odpowiedzi $T_{63} = 15$ ms. Jego cechą znaną jest zdolność do identyfikacji kierunku mierzonego przepływu, co istotnie upraszcza np. całkowanie wydatku w celu obliczenia masowego napełnienia. Z tego powodu przy braku przepływu sygnał wyjściowy $u_a = 1$ V, a dla przepływów zwrotnych sygnał ten zawiera się w przedziale 0-1 V. Właściwość tę wykorzystano w prezentowanych badaniach.

2. Charakter sygnału napełniania z termooanemometru HFM5

Typowy przebieg sygnału z termooanemometru dla pojedynczego napełnienia przedstawiono na Rys. 1. Charakter tego sygnału zmienia się wraz ze zmianą prędkości obrotowej (Rys. 2) i w nieznanym stopniu w wyniku zmiany obciążenia (Rys. 3).

Niezależnie od prędkości obrotowej i obciążenia, zawsze w fazie przekroczenia zaworów występuje widoczny na Rys. 1-3 przepływ zwrotny, a dla bardzo małych przepływów widoczne są jego oscylacje, które wraz ze wzrostem prędkości obrotowej zanikają, co może być również wynikiem zbyt dużej inercji miernika.



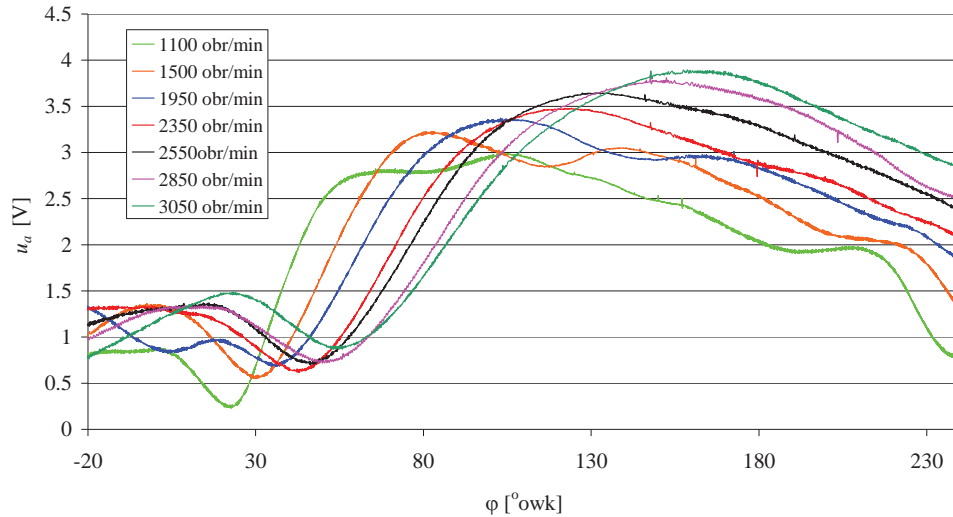
Rys. 1. Ilustracja idei prognozowania masy powietrza na przykładzie pojedynczego cyklu napełniania
 Fig. 1. The illustration of the idea of air mass forecast on the example of the single filling up cycle

Na Rys. 2 przedstawiającym sygnał z termooanemometru HFM-5 dla różnych prędkości obrotowych, lecz dla jednego, stałego obciążenia, którego miarą był napięciowy sygnał ciśnienia w kolektorze dolotowym, widać wyraźnie inercyjne działanie miernika. Wartości maksymalnego wydatku, występujące w miejscu maksimum sygnału u_a , wraz ze wzrostem prędkości obrotowej przesuwały się w kierunku zamykania zaworu dolotowego, co przeczy fizyce przepływu w silniku tłokowym. Należy pamiętać, że dla wzrastającej prędkości obrotowej ten sam kąt owk oznacza zmniejszający się czas trwania napełniania.

Należałoby przypuszczać, że przedstawienie sygnału napełniania w funkcji kąta obrotu wału korbowego spowoduje uniezależnienie go od prędkości obrotowej. Tak się jednak nie dzieje ze względu na dość dużą inercję miernika.

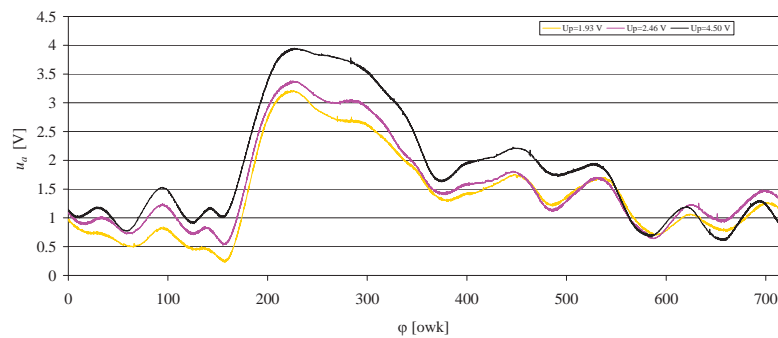
Obserwując sygnał z termooanemometru HFM-5 można zauważyć, że jego amplituda (a więc

również wartość średnia) jest zależna od obciążenia silnika, którego miarą stosowaną tu jest wartość średnia ciśnienia U_p^- w kolektorze dolotowym liczona podczas cyklu napełniania. Na Rys. 3 przedstawiono sygnał napełniania z termooanemometru dla prędkości obrotowej $n=1950$ obr/min i trzech wartości obciążenia silnika. Jak widać amplituda sygnału rośnie wraz z obciążeniem, a charakter przebiegu jest powtarzalny.



Rys. 2. Porównanie sygnału napełniania dla kilku różnych wartości prędkości obrotowej i jednakowego ciśnienia w kolektorze dolotowym (stałe obciążenie silnika)

Fig. 2. Comparison of filling signals for several different rotational speed values and the same manifold pressure value (constant engine load)



Rys. 3. Porównanie sygnału napełniania dla trzech różnych wartości ciśnienia w kolektorze dolotowym
Fig. 3. Comparison of filling signal for three different manifold pressure values

Rysunki 2 i 3 przedstawiają wybrane z 243 stanów $n \times p$ silnika przykłady charakteru sygnału u_a . Wszystkie rejestracje potwierdzają powyższe spostrzeżenia. Wykorzystano je dla uzasadnienia prawidłowości wyboru estymaty sygnału napełnienia z całego przedziału napełniania $\Delta\varphi_v$.

3. Propozycja estymaty sygnału napełnienia

Dla poszukiwania estymaty sygnału napełnienia przyjęto przedział prognozowania $\Delta\varphi_m$ z granicami: dolną φ_1 i górną φ_2 . Z racji na możliwość przyrządu HFM-5 identyfikacji kierunku przepływu w sygnale u_a przyjęto:

$$\varphi_1 = \varphi_{OZD}.$$

Górną granicę φ_2 przyjęto:

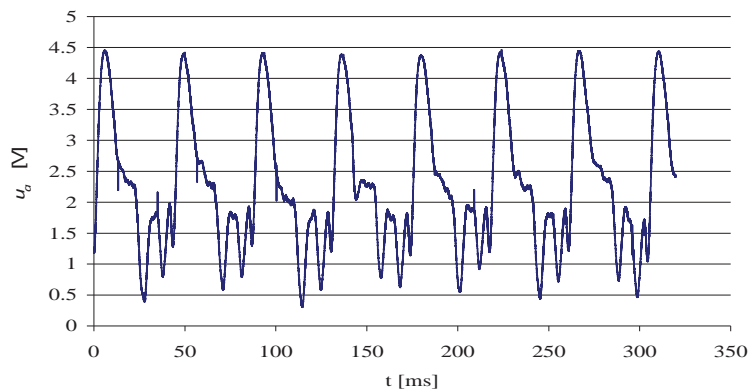
$$\varphi_2 = 156 [^\circ\text{owk}].$$

Jest to taki kąt, przy którym w procesie sterowania wtryskiem z wykorzystaniem opracowanej prognozy, w każdych warunkach prędkości i obciążenia sterownik zdąży, przed zamknięciem zaworu dolotowego wykonać wtrysk uzupełniający $T_u = 1,85 \pm 0,15$ ms [6]. W publikacji [4] przedstawiono inny sposób wyznaczania granicy φ_2 w powiązaniu z prędkością obrotową, w którym dla każdej prędkości obrotowej górna granica φ_2 przedziału prognozowania występuje dla maksymalnego, chwilowego wydatku w cyklu:

$$a(\varphi_2) = a_{\max}.$$

Rozpatrywany sygnał a z miernika HFM-5 można traktować, w zależności od celu, w jakim jest on badany, zarówno jako losowy lub deterministyczny. W tym przypadku sygnałowi napięciowemu z termoanemometru przyporządkowano model deterministyczny, niosący informację o obciążeniu silnika.

Ponieważ badania silnika przeprowadzone zostały w stanach ustalonych, tzn. przy ustalonych prędkościach i obciążeniach, można założyć, że jest to sygnał cyklostacjonarny czyli taki, którego miary (np. wartość średnia, wartość średniokwadratowa itp.) nie zmieniają się w czasie (Rys. 4).



Rys. 4. Przykładowy sygnał napięciowy z termoanemometru HFM-5 BOSCH dla prędkości obrotowej $n = 2760$ obr/min i napięcia $U_p = 4.749$ V będącego miarą ciśnienia w kolektorze dolotowym

Fig. 4. Example of voltage waveform of HFM-5 BOSCH air-mass meter for rotational speed $n = 2760$ rpm and $U_p = 4.749$ V that is a measure of manifold pressure

Rozpatrywany sygnał zaliczono do sygnałów pseudo-okresowych w funkcji kąta obrotu wału korbowego o okresie równym 4π (2 obroty wału korbowego).

W artykule przedstawiono metodę, która pozwala oszacować masę powietrza napełniającego cylinder w bieżącym cyklu napełniania na podstawie obserwacji początkowego fragmentu sygnału napięciowego z termoanemometru HFM-5 firmy Bosch. Konieczny był zatem wybór miary (estymaty) sygnału, która z jednej strony pozwala na takie prognozowanie, a z drugiej strony jest łatwa w praktycznym zastosowaniu. Zważywszy na charakter sygnału (Rys. 4) przyjęto, że taką miarą w pełnym przedziale napełniania może być wartość średnia sygnału z termoanemometru wyznaczona z całki po kącie obrotu wału korbowego i długości przedziału napełniania (5):

$$U_A^- = \frac{1}{\Delta\varphi_v} \int_{\varphi} u_a(\varphi) d\varphi, \quad (5)$$

gdzie:

$u_a(\varphi)$ [V] - sygnał z termoanemometru w funkcji kąta obrotu wału korbowego,

φ [°owk] - kąt obrotu wału korbowego,

$\Delta\varphi_v$ [°owk] - stały przedział napełniania (przedział otwartego zaworu dolotowego),

U_A^- [V] - wartość średnia sygnału z termoanemometru [V] za cykl napełniania (otwarcia zaworu dolotowego).

Jeżeli miarą napełnienia cyklowego A_r^c jest wartość U_A^- wg (5) to założono, że miarą, na podstawie której może odbywać się prognozowanie napełnienia może być wartość średnia sygnału u_a wyznaczona w początkowej części $\Delta\varphi_m$ przedziału napełniania zgodnie z (6):

$$U_m^- = \frac{1}{\Delta\varphi_m} \int_{\varphi} u_a(\varphi) d\varphi, \quad (6)$$

gdzie:

$\Delta\varphi_m$ [°owk] - stały kąt prognozowania,

U_m^- [V] - wartość średnia sygnału z termooanemometru za wybrany kąt prognozowania (od 18 do 44 zęba – z 60-ciozębnego nadajnika kąowego położenia wału).

Jeżeli w obszarze $\Delta n \times \Delta p$ U_A^- wg (5) jest liniową miarą cyklowego, rzeczywistego napełnienia cylindra A_r^c czyli:

$$A_r^c = k_1 \cdot U_A^-, \quad (7)$$

to aby miara U_m^- wg (6) mogła być uznana za estymatę napełnienia A_r^c w tym obszarze zgodnie z (8):

$$A_r^c = k_2 \cdot U_m^-, \quad (8)$$

musi być ona również powiązana liniowo w tym obszarze z miarą U_A^- wg (9):

$$U_A^- = k_3 \cdot U_m^-. \quad (9)$$

Oznacza to, że miarę U_m^- wg (6) i (11) będzie można uznać za estymatę rzeczywistego, cyklowego napełnienia A_r^c tylko w takim obszarze $\Delta n \times \Delta p$, w którym prawdziwe będą równocześnie zależności (7) i (9). Weryfikację poprawności tezy wg (7) przedstawiono w publikacji [5], a w przedkładanej publikacji dokonano oceny jakości miary wg (9).

Ponieważ rejestrowany sygnał jest sygnałem dyskretnym, średnie zapisane wzorami (5) i (6) obliczyć można ze wzorów:

$$U_A^- = \frac{1}{N_v} \sum_{\varphi_1}^{\varphi_3} u_a(n), \quad (10)$$

oraz

$$U_m^- = \frac{1}{N_m} \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} u_a(n), \quad (11)$$

gdzie:

$u_a(n)$ - dyskretny sygnał z termooanemometru Bosch,

N - numer próbki,

U_A^-, U_m^- - wartość średnia sygnału z termooanemometru odpowiednio za przedział napełniania i przedział prognozowania,

N_v, N_m - liczba próbek zarejestrowanych odpowiednio w czasie trwania przedziału napełniania i przedziału prognozowania,

φ_1 - kąt oznaczający początek cyklu napełniania (kąt otwarcia zaworu dolotowego),

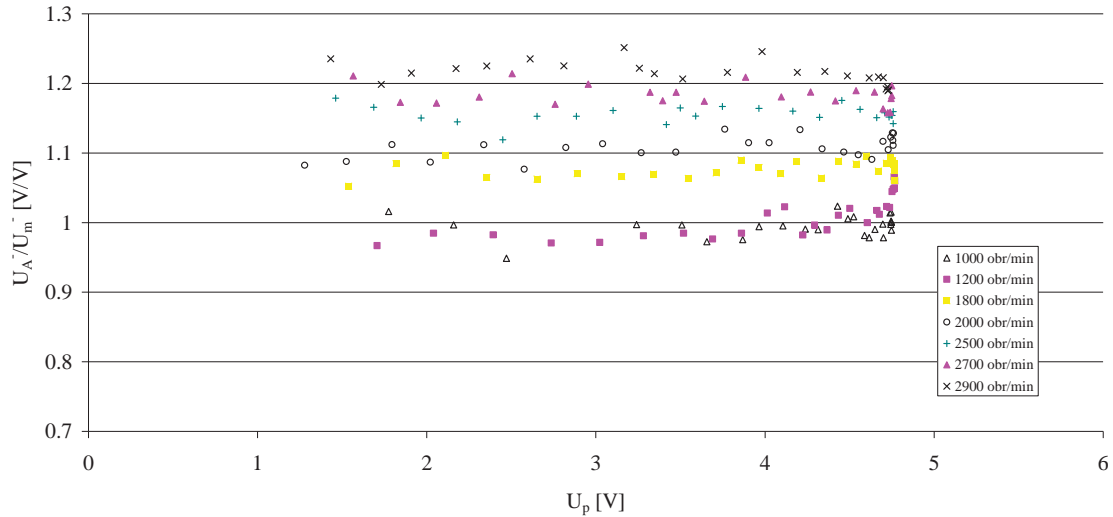
φ_2 - kąt prognozowania,

φ_3 - kąt oznaczający koniec cyklu napełniania (kąt zamknięcia zaworu dolotowego).

Powyższe kąty są liczone od punktu GMP.

4. Analiza wyników badań

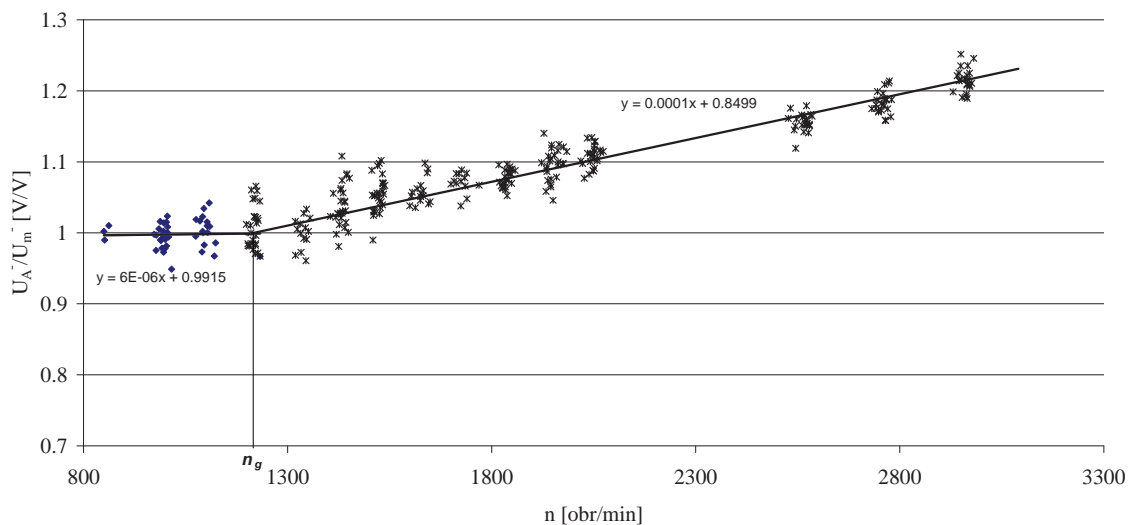
Oceny jakości zaproponowanej estymaty napełniania według równań (6) i (11) w analizowanym zakresie prędkości i obciążeń można dokonać w oparciu o wyniki przedstawione na Rys. 5 i 6. Rys.5 przedstawia wzajemną, ilościową relację obydwóch miar w funkcji miary obciążenia (ciśnienia w kolektorze) U_p^- dla kilku wybranych prędkości obrotowych. U_p^- jest wartością średnią cyklową miary ciśnienia w kolektorze dolotowym.



Rys. 5. Stosunek wartości średniej U_A^- za cykl napełniania do wartości średniej U_m^- za kąt prognozowania w funkcji obciążenia mierzonego sygnałem napięciowym z czujnika ciśnienia w kolektorze dolotowym

Fig. 5. The ratio of average measure U_A^- for filling up cycle to average measure U_m^- for forecast angle versus engine load measured as voltage signal from MAP sensor

Cechą pozytywną tej estymaty jest jej niezależność dla danej prędkości obrotowej od miary U_p^- obciążenia silnika. Dla każdej prędkości linia trendu ma w przybliżeniu zerowe nachylenie do osi U_p^- . Właściwością negatywną tej estymaty jest jej zależność od prędkości obrotowej. Jak wynika z Rys. 5 zależność ta ma dwojaki charakter. Problem ten jest wyeksponowany na Rys. 6.



Rys. 6. Trend zmian stosunku wartości średniej za cykl napełniania U_A^- do wartości średniej za kąt prognozowania U_m^- w funkcji prędkości obrotowej silnika n

Fig. 6. The trend of U_A^- to U_m^- ratio versus engine rotational speed n

Dla $n > n_g$ wyznaczona linia trendu zmian $\frac{U_A^-}{U_m^-}$ w funkcji prędkości obrotowej ma w przybliżeniu kształt prostej wznoszącej. Można to wyjaśnić korzystając z Rys. 2. Wyraźnie widać, że od pewnej prędkości przebieg sygnału z miernika nie mieści się w przedziale otwarcia zaworu dolotowego. Im wyższa prędkość obrotowa tym wartość $U_{A,op}^-$ obliczona wg zależności (10) dla kątów $\varphi > \varphi_2$ jest wyższa, co skutkuje wzrostem U_A^- , a tym samym wzrostem $\frac{U_A^-}{U_m^-}$. Jest to wynikiem inercji miernika HFM-5. Iloraz ten w przedziale $\Delta\varphi_m$ wynosi 1, a poza przedziałem (do $\varphi_3 = \varphi_{ZZD}$) wzrasta wskutek wzrostu U_A^- .

Poniżej prędkości granicznej ($n < n_g$), jak dowodzą rejestracje pokazane na Rys. 2 oraz inne, nie zamieszczone w tej publikacji, cały przebieg napełniania zmierzony miernikiem HFM-5 mieści się w przedziale napełniania $\Delta\varphi_v$.

Powoduje to, że potencjalne błędy pomiaru napełnienia, wynikające z niewystarczającej szybkości miernika są (przy założeniu symetrii inercji miernika dla narastania i zmniejszania przepływu) takie same dla zbrocza przedniego i tylnego sygnału u_a , przez co kompensują się. Taka zależność estymaty U_m^- od prędkości dla $n > n_g$ oznacza, że dla prawidłowego prognozowania napełnienia uzupełniającego A_p miara U_p^- musi być wspomagana prędkością obrotową n , co komplikuje proces prognozowania i obniża jego dokładność ze względu na konieczną kwantyfikację obydwu wielkości. Problem ten jest przybliżony w [7].

Wartości średnie U_A^- i U_m^- obliczone z przebiegów u_a z termooanemometru HFM-5, z racji na nieliniowość jego charakterystyki (4), nie są tożsame z rzeczywistą masą A_r^c powietrza pobraną do cylindra. Na Rys. 7 przedstawiono zależność rzeczywistej masy powietrza A_r^c , które napełniło cylinder, od wartości średniej U_A^- sygnału z termooanemometru za cykl napełniania. Zależność $A_r^c = f(U_A^-)$ przedstawiono dla różnych prędkości obrotowych.

Rzeczywiste, cyklowe napełnienie A_r^c obliczono na podstawie pomiaru wydatku masowego paliwa F^c wtrysniętego na zawór dolotowy i współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda_{e,s}^-$, oznaczającego wartość średnią za fazę wydechu współczynnika lambda zmierzonego w stanach ustalonych silnika miernikiem MEXA 700 HORIBA po korekcie jego opóźnienia (12):

$$A_r^c = 14,7 \cdot \lambda_{e,s}^- \cdot F^c(T_\Sigma^c), \quad (12)$$

gdzie T_Σ^c jest sumarycznym czasem otwarcia wtryskiwacza w analizowanym cyklu pracy silnika.

Prawidłowo wyznaczona estymata U_m^- powinna zapewnić w obszarze $\Delta n \times \Delta p$ prawdziwość równości (13):

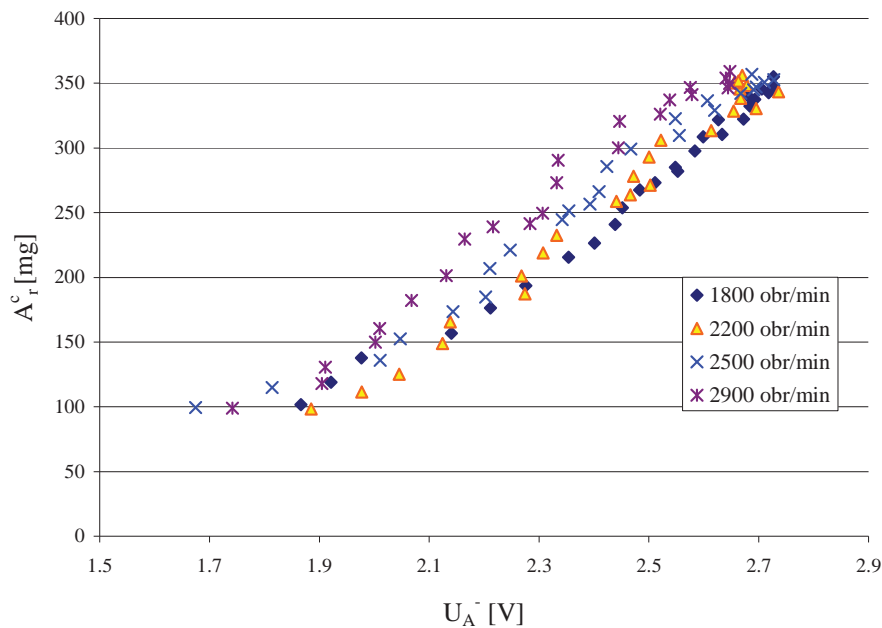
$$A^c = A_r^c. \quad (13)$$

Rozmiar obszaru $\Delta n \times \Delta p$ zależy od dynamicznych własności zastosowanego termooanemometru i jest on tym większy im inercja miernika jest mniejsza.

4. Wnioski

1. Sygnał napięciowy z termooanemometru HFM-5 może być użyty do prognozowania cyklowego napełnienia tylko w ściśle określonym zakresie prędkości i obciążenia.
2. Przedstawiona w publikacji estymata cyklowego napełnienia będąca wartością średnią sygnału

napięciowego z tego miernika w stałym, początkowym zakresie przedziału otwarcia zaworu dolotowego, nie jest wrażliwa na zmianę obciążenia silnika, co oznacza, że może być stosowana w całym zakresie badanego obciążenia.



Rys. 7. Zależność pomiędzy rzeczywistą masą powietrza w cylindrze i wartością średnią napięcia zmierzonego termooanemometrem HFM-5 dla wybranych prędkości obrotowych

Fig. 7. Real air mass in cylinder versus average voltage value measured with HFM-5 air-mass meter for chosen rotational speed values

3. Inercja termooanemometru HFM-5 powoduje, że tylko w zakresie prędkości mniejszych niż 1250 obr/min wyznaczona estymata dobrze odwzorowuje napięciową miarę całkowitego napełnienia. Powyżej tej prędkości estymata musi być korygowana (uzależniona) w funkcji prędkości obrotowej.
4. Dla pomiaru i prognozowania cyklowego napełnienia w silniku o ZI wymagany jest termooanemometr o istotnie mniejszej w stosunku do HFM-5 inercji. Im wyższa jest maksymalna prędkość obrotowa silnika tym inercja miernika stosowanego do pomiaru i prognozowania cyklowego napełnienia powinna być mniejsza.

Literatura

- [1] *Automotive Electric/Electronic Systems*, Pub. by Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1988.
- [2] *Hot-film air mass meter, Type HFM-5*, Informacja techniczna Bosch.
- [3] Nita, J., *Determination of Cylinder Filling to Control Fuel Injection*, Proceedings of EAEC Congress, Budapest 2007.
- [4] Nita, J., Wołczyński, Z., *Determination of Cylinder fill with the use of HFM-5 air-mass meter*, Proceedings of Journal of KONES 2007.
- [5] Nita, J., Wołczyński, Z., *Ocena przydatności termooanemometru HFM-5 do pomiaru cyklowego napełnienia silnika ZI*, Publikacja zgłoszona na KONES 2010.
- [6] *Nowy sposób sterowania składem mieszanki paliwowo-powietrznej w silniku benzynowym w stanach przejściowych*, Sprawozdanie z projektu finansowanego przez KBN Nr 1785/T12/2001/20, Politechnika Radomska, 2001.
- [7] *Rozwój sposobu sterowania składem mieszanki z cyklu na cykl na przykładzie silnika benzynowego*, Sprawozdanie z projektu finansowanego przez MNiI Nr 1623/T12/2004/27, Politechnika Radomska, 2007.

