

APPLICATION OF DATA RECONCILIATION ALGORITHM AT ENGINE PROBLEMS

Zbigniew Żmudka, Stefan Postrzednik

Silesian University of Technology
Institute of Thermal Technology
Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, Poland
tel.: +48 32 2371332, fax: +48 32 2372872
e-mail: zmudka@itc.polsl.pl postef@polsl.pl

Abstract

Selected problems with examples of application of measurement data reconciliation algorithm are presented. First example concerns reconciliation of balances of elements taking part in combustion process. In case of complete exhaust gas analysis, number of the balances is larger than number of determined unknown quantities (n'_a and n''_{ss}). Therefore the unknowns can be calculated in various ways, dependent on selection of balance equations set. The remaining equations will not be fulfilled precisely because of unavoidable measuring errors and as a consequence the same calculated quantities will take different values. In order to avoid these differences (to obtain one value of the parameter) and to obtain compatibility of all balance equations, it is necessary to carry out balance validation by reconciliation algorithm. The essence of the algorithm is correction of the measurement results, after that results of unknown quantities, calculated from different sets of balances, will be equal.

Next example applies to the problem of selection of Seiliger-Sabathe cycle parameters according to real engine cycle (determined experimentally on the basis of indication; inverse problem). The following parameters are validated by reconciliation algorithm: load factor ($\gamma = p_3/p_2$) and combustion extension ratio ($\phi = V_4/V_3$). These parameters are connected by common dependence.

Keywords: combustion engines, exhaust gas constitution, element balances, ideal cycle, measurement data reconciliation algorithm

ZASTOSOWANIE RACHUNKU WYRÓWNAWCZEGO W ZAGADNIENIACH SILNIKOWYCH

Streszczenie

Przedstawiono wybrane problemy, wraz z przykładami, zastosowania rachunku wyrównawczego do uzgadniania danych pomiarowych. Pierwszy przykład dotyczy uzgadniania równań bilansowych pierwiastków uczestniczących w procesie spalania. W przypadku odpowiednio pełnej analizy spalin liczba równań bilansowych jest większa od liczby wyznaczanych wielkości niewiadomych (n'_a oraz n''_{ss}). Niewiadome te mogą więc być obliczane na wiele sposobów, zależnych od wyboru zestawu równań bilansowych. Pozostałe zależności nie będą dokładnie spełnione, czego powodem jest występowanie nieuniknionych błędów pomiarowych, a w konsekwencji te same obliczane wielkości przyjmować będą różne wartości. W celu uniknięcia tych różnic (uzyskania jednej wartości parametru) oraz uzyskania zgodności wszystkich równań bilansowych niezbędne jest przeprowadzenie procedury uzgadniania równań bilansowych za pomocą metod rachunku wyrównawczego. Istotą tego rachunku jest korekta wyników pomiarowych, po której wyniki obliczeń wielkości niewiadomych, wyznaczonych z różnych zestawów równań bilansowych, będą jednakowe.

Kolejny przykład dotyczy zagadnienia doboru parametrów obiegu porównawczego Seiligera-Sabathe'a stosownie do rzeczywistego (wyznaczonego eksperymentalnie na podstawie indykacji; zagadnienie odwrotne) obiegu silnika. Uzgadnianiem objęto parametr (stopień) obciążenia ($\gamma = p_3/p_2$) oraz parametr (stopień dociążenia) przewlekłości spalania ($\phi = V_4/V_3$), które łączy wspólna zależność. Przeprowadzone obliczenia i uzyskane rezultaty potwierdziły potrzebę stosowania rachunku wyrównawczego.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, skład spalin, bilanse pierwiastków, obieg teoretyczny, algorytm uzgadniania danych pomiarowych

1. Wprowadzenie – cel stosowania rachunku wyrównawczego

W eksperymentalnych badaniach silników spalinowych często występują sytuacje, gdy liczba obliczanych wielkości niewiadomych jest mniejsza od liczby niezależnych równań wiążących te wielkości z danymi pomiarowymi. Niewiadome wyznaczone bezpośrednio z tych równań, mogą być obliczane na wiele sposobów, zależnych od wyboru zestawu równań. Pozostałe zależności nie będą dokładnie spełnione, czego powodem jest występowanie nieuniknionych błędów pomiarowych, a w konsekwencji te same wielkości przyjmować będą różne wartości. W celu uniknięcia tych różnic (uzyskania jednej wartości parametru) oraz uzyskania zgodności wszystkich równań niezbędne jest przeprowadzenie procedury uzgadniania równań za pomocą metod rachunku wyrównawczego [2, 3]. Istotą tego rachunku jest korekta wyników pomiarowych, po której wyniki obliczeń wielkości niewiadomych, wyznaczone z różnych zestawów równań, będą jednakowe.

Wszystkie niezależne równania, tzw. równania warunków, tworzą układ funkcji o ogólnej postaci [3, 4]:

$$F_k = F_k(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n, y_1, \dots, y_j, \dots, y_u), \quad k = 1 \dots r, \quad (1)$$

gdzie: x_i – wielkość mierzona ($i = 1 \dots n$),
 n – liczba wielkości mierzonych (składników zasadniczych),
 y_j – niewiadoma ($j = 1 \dots u$),
 u – liczba niewiadomych,
 r – liczba równań warunków.

Równania warunków tworzące układ (1) muszą spełniać warunek wzajemnej niezależności i warunek wyznaczalności niewiadomych. Sprawdzenie tych warunków polega na badaniu rzędu odpowiednich macierzy Jacobiego, z pochodnych cząstkowych funkcji F_k według argumentów x_i oraz y_j [3, 4].

Podstawiając wyniki pomiarów i przybliżone (wstępnie obliczone) wartości niewiadomych do równań warunków, część z nich nie spełnia się. Uzyskuje się układ:

$$F_k(x_{1,0} \dots x_{i,0} \dots x_{n,0}, y_{1,0} \dots y_{j,0} \dots y_{u,0}) = -w_k, \quad (2)$$

gdzie: $x_{i,0}$ – wynik pomiaru i -tej wielkości ($i = 1 \dots n$),
 $y_{j,0}$ – przybliżona wartość j -tej niewiadomej ($j = 1 \dots u$),
 w_k – niezgodność k -tego równania warunku ($k = 1 \dots r$).

Niezgodności w_k równań warunków wykorzystanych do wstępnego obliczenia niewiadomych oczywiście wynoszą zero ($w_k = 0$).

W celu uzyskania zgodności wszystkich równań warunków należy wprowadzić poprawki v_i wyników pomiarów oraz poprawki δ_j przybliżonych wartości niewiadomych. Poprawki oblicza się z układu równań [3, 4]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_{ki} v_i + \sum_{j=1}^u b_{kj} \delta_j = w_k & (k = 1 \dots r) \\ \frac{v_i}{m_i^2} = \sum_{k=1}^r a_{ki} k_k & (i = 1 \dots n), \\ \sum_{k=1}^r b_{kj} k_k = 0 & (j = 1 \dots u) \end{cases} \quad (3)$$

gdzie: k_k – korelaty, współczynniki przy wyznaczaniu ekstremum warunkowego,
 m_i – średni błąd bezwzględny wyniku pomiaru i -tej wielkości.

Współczynniki a_{ki} oraz b_{kj} powyższego układu równań są pochodnymi cząstkowymi funkcji F_k odpowiednio według wielkości mierzonych x_i i według niewiadomych y_j , obliczonymi w punkcie o współrzędnych:

$$(x_{1,0} \dots x_{i,0} \dots x_{n,0}, y_{1,0} \dots y_{j,0} \dots y_{u,0})$$

Wyznacza się je więc z zależności:

$$a_{ki} = \left(\frac{\partial F_k}{\partial x_i} \right)_0, \quad b_{kj} = \left(\frac{\partial F_k}{\partial y_j} \right)_0 \quad (4)$$

2. Uzgadnianie równań bilansowych pierwiastków uczestniczących w procesie spalania

Sytuacja, gdy liczba równań jest większa od liczby niewiadomych często występuje podczas przeprowadzania pomiarów składu spalin, mających na celu wyznaczenie tych wielkości, których bezpośredni pomiar jest trudny lub niemożliwy. W algorytmie obliczeniowym wykorzystuje się wówczas równania bilansowe pierwiastków biorących udział w procesie spalania. Niewiadome (n'_a oraz n''_{ss}), wyznaczone bezpośrednio z tych równań, mogą być obliczane na wiele sposobów, zależnych od wyboru zestawu równań bilansowych. Ponadto algorytm taki, stwarza pewną swobodę wyboru jakościowego składu spalin, jaki powinien być brany pod uwagę. Decydujące znaczenie w tym względzie powinien mieć wpływ określonych składników i ich błędów pomiarowych na wyniki obliczeń.

W zależności od celu obliczeń oraz możliwości technicznych, przy sporządzaniu bilansów wyróżnia się tzw. zespół składników zasadniczych (tj. substancji zasadniczych, którymi najczęściej są wielkości mierzone). W przypadku, gdy liczba równań jest większa od liczby niewiadomych możliwe jest zwiększenie dokładności obliczeń przez przeprowadzenie uzgadniania równań bilansowych substancji za pomocą rachunku wyrównawczego [2, 3].

W przedstawionym przykładzie, dla składu spalin w wybranym punkcie pracy silnika o zapłonie iskrowym, po uwzględnieniu wniosków wynikających z analizy liczb wpływowych, jako zespół składników zasadniczych przyjęto mierzone udziały molowe następujących składników spalin: $[CO_2]$, $[CO]$, $[O_2]$. Pozostałe substancje (NO_x , C_mH_n) występujące w spalinach nie objęto uzgadnianiem, ponieważ ich wpływ na wyniki obliczeń jest nieznaczny. Natomiast uzgadnianiem objęto również elementarny skład paliwa (udział węgla c oraz udział wodoru h). Nie ma jednak potrzeby uzgadniania udziału tlenu i azotu w paliwie, ponieważ znaczenie udziałów tych pierwiastków w paliwie, ze względu na obliczanie n'_a oraz n''_{ss} , jest bardzo małe, co dodatkowo potwierdza analiza liczb wpływowych. Dla benzyny zwykle zakłada się $o \approx 0$, natomiast dla oleju napędowego udział tlenu $o \approx 0,003 \div 0,005$. W tej sytuacji liczba równań warunków, wynikająca z bilansów pierwiastków wraz z równaniem na sumę udziałów molowych składników spalin suchych i równaniem na sumę udziałów gramowych składników paliwa, jest większa od liczby niewiadomych. Możliwe jest zatem przeprowadzenie uzgodnienia równań bilansowych. Uwzględniając przyjęte założenia zespół składników zasadniczych oraz niewiadomych wraz z odpowiednimi oznaczeniami zestawiono w tablicy 1.

Tab. 1. Zestawienie zespołu składników zasadniczych (wielkości mierzone) oraz niewiadomych
Tab. 1. Set of principal constituents (measured quantities) and unknowns

| składnik zasadniczy | $[CO_2]$ | $[CO]$ | $[O_2]$ | c | h | niewiadoma | $[N_2]$ | n''_{ss} | n'_a |
|--|----------|--------|---------|-------|-------|------------------------|------------|------------|------------|
| oznaczenie składnika | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | oznaczenie niewiadomej | y_1 | y_2 | y_3 |
| oznaczenie poprawki | v_1 | v_2 | v_3 | v_4 | v_5 | oznaczenie poprawki | δ_1 | δ_2 | δ_3 |
| oznaczenie średniego błędu bezwzględnego | m_1 | m_2 | m_3 | m_4 | m_5 | | | | |

Układ równań warunków ma postać:

$$0,21n'_a + \frac{o}{32} - \frac{h}{4} - n''_{ss} \left([\text{CO}_2] + \frac{1}{2}[\text{CO}] + [\text{O}_2] \right) = 0 \quad (\text{a})$$

$$0,79n'_a - n''_{ss}[\text{N}_2] = 0 \quad (\text{b})$$

$$\frac{c}{12} - n''_{ss}([\text{CO}_2] + [\text{CO}]) = 0 \quad (\text{c}). \quad (5)$$

$$[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{O}_2] + [\text{N}_2] - 1 = 0 \quad (\text{d})$$

$$c + h + o - 1 = 0 \quad (\text{e})$$

Powyższe równanie (a) to połączony bilans tlenu i wodoru oraz odpowiednio: równie (b) – bilans azotu, (c) – bilans węgla przy dodatkowym założeniu spalania całkowitego, (d) – przyjęty skład spalin suchych, (e) – elementarny skład paliwa. Zatem w pięciu równaniach występują trzy niewiadome ($[\text{N}_2]$, n''_{ss} oraz n'_a). Równania w układzie (5) spełniają warunek wzajemnej niezależności i warunek wyznaczalności niewiadomych.

Do wstępnego wyznaczenia niewiadomych przyjęto równania (a), (c) oraz (d). Układ równań (3) umożliwiający obliczenie poprawek v_i wyników pomiarów oraz poprawek δ_j przybliżonych wartości niewiadomych, dla układu równań warunków (5), przyjmuje więc postać:

$$-n''_{ss}v_1 - \frac{1}{2}n''_{ss}v_2 - n''_{ss}v_3 - \frac{1}{4}v_5 - \left([\text{CO}_2] + \frac{1}{2}[\text{CO}] + [\text{O}_2] \right) \delta_2 + 0,21\delta_3 = 0, \quad (6.1)$$

$$-n''_{ss}\delta_1 - [\text{N}_2]\delta_2 + 0,79\delta_3 = w_2, \quad (6.2)$$

$$-n''_{ss}v_1 - n''_{ss}v_2 + \frac{1}{12}v_4 - ([\text{CO}_2] + [\text{CO}])\delta_2 = 0, \quad (6.3)$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + \delta_1 = 0, \quad (6.4)$$

$$v_4 + v_5 = w_5, \quad (6.5)$$

$$\frac{v_1}{m_1^2} = -n''_{ss}k_1 - n''_{ss}k_3 + k_4, \quad (6.6)$$

$$\frac{v_2}{m_2^2} = -\frac{1}{2}n''_{ss}k_1 - n''_{ss}k_3 + k_4, \quad (6.7)$$

$$\frac{v_3}{m_3^2} = -n''_{ss}k_1 + k_4, \quad (6.8)$$

$$\frac{v_4}{m_4^2} = \frac{1}{12}k_3 + k_5, \quad (6.9)$$

$$\frac{v_5}{m_5^2} = -\frac{1}{4}k_1 + k_5, \quad (6.10)$$

$$-n''_{ss}k_2 + k_4 = 0, \quad (6.11)$$

$$-\left([\text{CO}_2] + \frac{1}{2}[\text{CO}] + [\text{O}_2] \right) k_1 - [\text{N}_2]k_2 - ([\text{CO}_2] + [\text{CO}])k_3 = 0, \quad (6.12)$$

$$0,21k_1 + 0,79k_2 = 0. \quad (6.13)$$

Dla przeprowadzonych badań ustalono, że średnie błędy bezwzględne wyników pomiarów udziałów molowych uwzględnianych składników spalin wynoszą:

$$m_1 = m_3 = 0,002 \quad m_2 = 0,0005,$$

natomiast odpowiednie błędy bezwzględne wyznaczania elementarnego składu paliwa:

$$m_4 = m_5 = 0,005.$$

Po rozwiązaniu układu równań (6) otrzymuje się poprawki v_i wyników pomiarów, poprawki δ_j niewiadomych oraz wartości korelat k_k . W tabelicy 2 zestawione zostały wyniki pomiarów oraz wyniki uzgodnienia dla wybranego przykładowo punktu pracy badanego silnika o zapłonie iskrowym.

Tab. 2. Wyniki uzgadniania równań bilansowych pierwiastków uczestniczących w procesie spalania dla wybranego punktu pracy badanego silnika o zapłonie iskrowym

Tab. 2. Results of the element balances reconciliation for selected operation point of spark ignition engine tested

| Symbol wielkości | Oznaczenie poprawki | Wynik pomiaru lub przybliżona wartość niewiadomej | Poprawka | Wartość poprawiona |
|---|---------------------|---|----------|--|
| Zespół składników zasadniczych (wielkości mierzone) | | | | |
| [CO ₂] | v_1 | 0,133 | 0,0003 | 0,1333 |
| [CO] | v_2 | 0,002 | 0,0003 | 0,0023 |
| [O ₂] | v_3 | 0,020 | 0,0002 | 0,0202 |
| c | v_4 | 0,855 | -0,0013 | 0,8537 |
| h | v_5 | 0,145 | 0,0013 | 0,1463 |
| Niewiadome | | | | |
| [N ₂] | δ_1 | 0,845 | -0,0008 | 0,8442 |
| n''_{ss} | δ_2 | 0,5278 $\frac{\text{kmol ss}}{\text{kg pal.}}$ | -0,0031 | 0,5247 $\frac{\text{kmol ss}}{\text{kg pal.}}$ |
| n'_a | δ_3 | 0,5597 $\frac{\text{kmol pow.}}{\text{kg pal.}}$ | 0,0011 | 0,5608 $\frac{\text{kmol pow.}}{\text{kg pal.}}$ |

Poprawki składu spalin oraz poprawki elementarnego składu paliwa spełniają warunek:

$$|v_i| < 3|m_i|$$

co czyni zadość warunkom stosowalności metody uzgadniania [3, 4]. Założona dokładność pomiarów została dotrzymana i wyniki uzgodnienia można uznać za zadowalające. W punktach pracy, w których powyższy warunek nie jest spełniony wyniki pomiarów należy odrzucić.

Przeprowadzenie uzgodnienia bilansów pierwiastków umożliwi wyznaczenie jednoznacznych i najbardziej prawdopodobnych wartości niewiadomych wraz z oceną ich dokładności. Błędy m_j niewiadomych y_j po uzgodnieniu można obliczyć zgodnie z prawem przenoszenia błędów według zależności [3, 4]:

$$m_j^2 = \left(\frac{\partial y_j}{\partial x_1}\right)_0^2 m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial y_j}{\partial x_i}\right)_0^2 m_i^2 + \dots + \left(\frac{\partial y_j}{\partial x_n}\right)_0^2 m_n^2 \quad (7)$$

gdzie: x_i – zmienna niezależna (wielkość mierzona); $i = 1 \dots n$,

n – liczba zmiennych niezależnych,

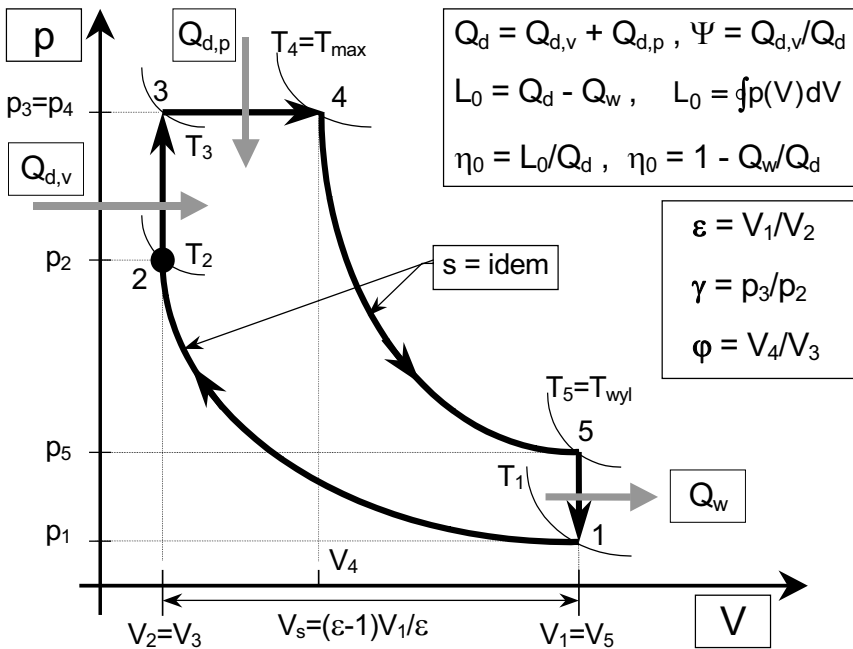
m_i – błąd i -tej zmiennej niezależnej.

Procedura uzgadniania może być wykorzystana także do kontroli dokładności wielkości, które są szacowane np. na podstawie danych literaturowych oraz kontroli założeń upraszczających (skład paliwa, liczba składników spalin uwzględniana w obliczeniach, itp.).

Przedstawione przykładowe obliczenia jednostkowej ilości powietrza n'_a oraz spalin suchych n''_{ss} z zastosowaniem rachunku wyrównawczego w pełni potwierdziły potrzebę jego stosowania.

3. Uzgadnianie parametrów obiegu porównawczego Seiligera-Sabathe'a

Przedstawiony w poprzednim punkcie przykład jest zagadnieniem wielowymiarowym, który trudno zilustrować graficznie. Dlatego też zaprezentowany zostanie jeszcze jeden przykład, w którym występują trzy wielkości objęte uzgadnianiem. Przykład ten dotyczy zagadnienia doboru parametrów obiegu porównawczego Seiligera-Sabathe'a (rys. 1) [1] stosownie do rzeczywistego (wyznaczonego eksperymentalnie na podstawie indykacji, zagadnienie odwrotne) obiegu silnika.



Rys. 1. Teoretyczny obieg porównawczy Seiligera-Sabathe'a
Fig. 1. Ideal Seiliger-Sabathe cycle

Aby jednoznacznie określić przebieg obiegu Seiligera-Sabathe'a należy wyznaczyć [1]:
– parametr (stopień) obciążenia γ :

$$\gamma = \frac{p_3}{p_2}, \quad \gamma \geq 1, \tag{8}$$

– oraz parametr przewlekłości spalania (stopień dociążenia) φ :

$$\varphi = \frac{V_4}{V_3}, \quad \varphi \geq 1, \tag{9}$$

skąd następnie można wyznaczyć liczbę Ψ rozdziału ciepła, definiowaną jako:

$$\Psi = \frac{Q_{d,v}}{Q_d}, \quad 0 \leq \Psi \leq 1. \quad (10)$$

Wielkości, z pomocą których definiowane są powyższe parametry zaznaczono na rysunku 1, przedstawiającym obieg Seiligera-Sabathe'a w układzie p-V. Zdefiniowane parametry łączy wspólnie niezależne formuły [1]:

$$\gamma = 1 + \frac{E \Psi (\kappa - 1)}{\varepsilon^{(\kappa-1)}}, \quad \varphi = 1 + \frac{(\kappa - 1)E(1 - \Psi)}{\kappa(E \Psi (\kappa - 1) + \varepsilon^{(\kappa-1)})}, \quad (11)$$

gdzie: $\varepsilon = V_1/V_2$ – stopień kompresji,

E – parametr energetyczno-stechiometryczny, definiowany jako [1]:

$$E = \frac{Q_d}{p_1 V_1}. \quad (12)$$

W przypadku eksperymentalnego (na podstawie indykacji) wyznaczenia parametrów γ oraz φ , wobec znajomości wartości parametru E oraz stopnia kompresji ε , w dwóch równaniach (11) wystąpi jedna niewiadoma – liczba rozdziału ciepła Ψ . Tak więc w tej sytuacji możliwe jest uzgadnianie zależności (11), które stanowią równania warunków, w celu uzyskania ich zgodności.

Przyjęto następujące oznaczenia:

v_γ – poprawka stopnia obciążenia γ ,

v_φ – poprawka stopnia dociążenia φ ,

δ – poprawka liczby rozdziału ciepła Ψ oraz

$m_\gamma = m_\varphi = 0,1$ – średni błąd bezwzględny wyniku pomiaru γ oraz φ .

Przyjmując pierwsze z równań warunków (11) do wstępnego obliczenia niewiadomej liczby Ψ rozdziału ciepła, układ równań (3) umożliwiający obliczenie poprawek przyjmie postać (13):

$$-\varepsilon^{(\kappa-1)} v_\gamma + (\kappa - 1)E \delta = 0. \quad (13.1)$$

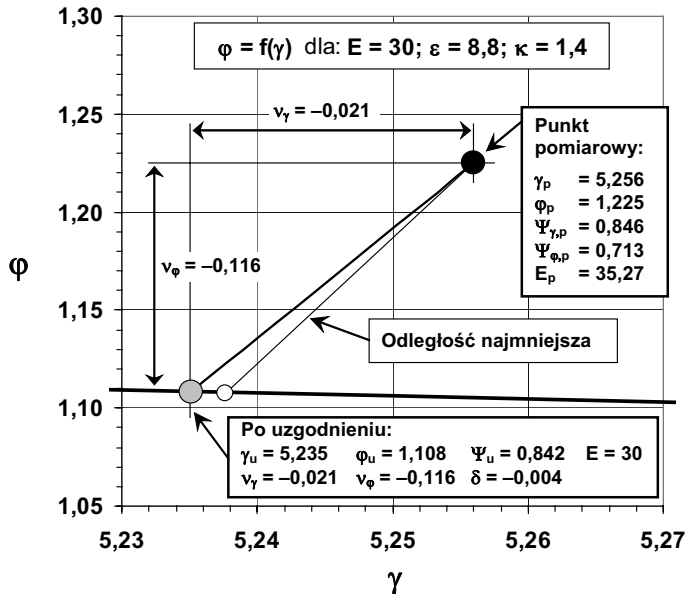
$$\left[\kappa E (\kappa - 1) \Psi + \kappa \varepsilon^{(\kappa-1)} \right] v_\varphi + (\kappa - 1)E [(\varphi - 1)\kappa + 1] \delta = w_2. \quad (13.2)$$

$$\frac{v_\gamma}{m_\gamma^2} = -\varepsilon^{(\kappa-1)} k_1. \quad (13.3)$$

$$\frac{v_\varphi}{m_\varphi^2} = \left[\kappa E (\kappa - 1) \Psi + \kappa \varepsilon^{(\kappa-1)} \right] k_2. \quad (13.4)$$

$$(\kappa - 1)E k_1 + [(\varphi - 1)\kappa E (\kappa - 1) + (\kappa - 1)E] k_2 = 0. \quad (13.5)$$

Effekt uzgadniania dla tego przykładu przedstawiono graficznie na rysunku 2. Wyznaczony eksperymentalnie punkt pomiarowy nie leży na charakterystyce obrazującej dokładny przebieg zależności $\varphi = f(\gamma)$ z powodu błędów pomiarowych. Także z tego powodu, z dwóch zależności (11), otrzymano dwie, niejednakowe wartości niewiadomej liczby Ψ ($\Psi_{\gamma,p}$ oraz $\Psi_{\varphi,p}$ – rys. 2) rozdziału ciepła. Po zastosowaniu procedury uzgadniania formuł (11) nastąpiło przesunięcie punktu pomiarowego na linię $\varphi = f(\gamma)$, ponieważ teraz zależności (11) są ściśle spełnione. Uzyskuje się także jednakowe wartości liczby Ψ (na rysunku 2 oznaczonej Ψ_u) rozdziału ciepła z obu wzorów (11).



Rys. 2. Wyniki uzgadniania parametrów (γ oraz φ) obiegu porównawczego Seiligera-Sabathe'a
 Fig. 2. Results of validation of Seiliger-Sabathe cycle parameters (γ and φ) by reconciliation algorithm

4. Podsumowanie

Przedstawiono wybrane przykłady zastosowania rachunku wyrównawczego w celu uzgodnienia równań bilansowych pierwiastków biorących udział w procesie spalania oraz zależności wiążących parametry obiegu porównawczego Seiligera-Sabathe'a, które w pełni potwierdziły potrzebę stosowania tego rachunku. Procedura uzgadniania jest wyjątkowo przydatna w sytuacjach, gdy formuły, z których obliczane są wielkości niewiadome, są szczególnie „wrażliwe” na błędy pomiarów wielkości wyznaczanych eksperymentalnie. Algorytm uzgadniania daje następujące korzyści [3, 4]:

- uzyskuje się jednoznaczne i najbardziej prawdopodobne wartości niewiadomych, wraz z oceną ich dokładności,
- prawdopodobne błędy wyników pomiarów ulegają zmniejszeniu,
- uzyskuje się możliwość kontroli, czy założona dokładność pomiarów została dotrzymana; można odrzucić te wyniki pomiarów, których prawdopodobny błąd przekroczył wymagany zakres.

Ponadto, rachunek wyrównawczy może być wykorzystany także do kontroli dokładności wielkości, które są szacowane np. na podstawie danych literaturowych oraz w celu kontroli założeń upraszczających (skład paliwa, liczba składników spalin uwzględniana w obliczeniach).

Literatura

- [1] Postrzednik, S., Żmudka Z., *Limitations and Possibilities of Improving of IC Engines Operating Parameters*, Proceedings of 17th International Conference on Efficiency and Environmental Impact of Energy Systems ECOS'2004, Vol. I, Mexico, Guanajuato 2004.
- [2] Szargut, J., *Termodynamika techniczna*, Wydawnictwo Pol. Śl., Gliwice 2000.
- [3] Szargut, J., *Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej*, WNT, Warszawa 1983.
- [4] Szargut, J., *Rachunek wyrównawczy w technice cieplnej*, Wyd. PAN O/Katowice 1984.