

*Sprawozdanie z laboratorium proekologicznych źródeł energii*

**Temat:**

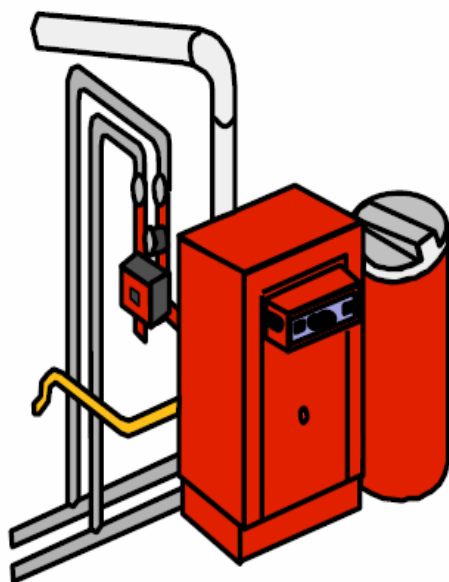
Badanie kotła Atola 17 z podgrzewaczem c.w.u.  
firmy VISSMANN

**Michał Stobiecki, Michał Ryms**  
**Grupa 5; sem. VI**  
**Wydz. Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej**

## I. Wstęp teoretyczny

Kocioł Atola 17 znajduje swoje zastosowanie jako zasilacz centralnego ogrzewania obiektów o powierzchni do  $150 m^2$ . W połączeniu z podgrzewaczem może służyć także do zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową.

### 1. Dane techniczne kotła Atola 17 automat:



Widok kotła Atola z zasobnikiem

Nominalna moc grzewcza:	11-17 kW
Wymagane ciśnienie:	3 Pa
Temperatura spalin:	95 °C
Strumień masy spalin	55 kg/h
Zawartość CO <sub>2</sub> :	4.6 %
Sprawność normatywna:	89.0 %
Zużycie gazu GZ 50 :	1.90 m <sup>3</sup> /h
Pobór mocy 220V/50Hz	90 W

### Gabaryty kotła:

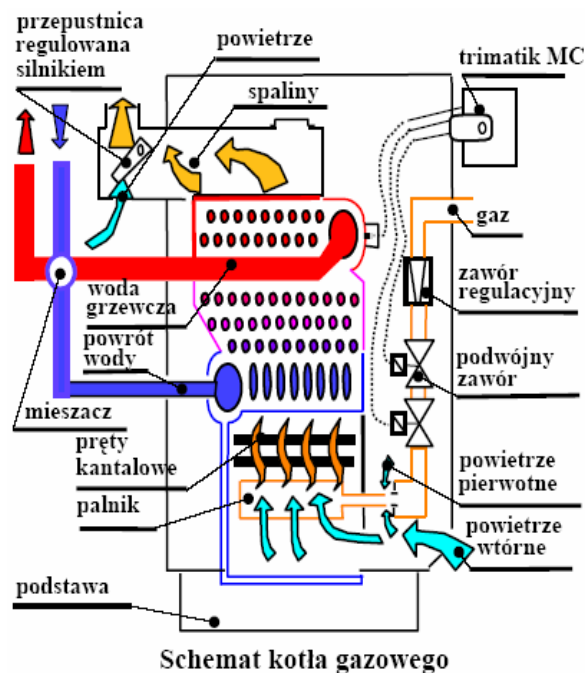
Wysokość	950 mm
Szerokość	502 mm
Głębokość	880 mm
Masa z izolacją	110 kg
Masa wody	4.5 kg

### 2. Dane techniczne zasobnika VertiCell- HG:

Pojemność:	130 l
Długość:	642 mm
Objętość c.w.u. :	25 l
Moc cieplna:	25 kW
Wydajność cwu. o temp. 70°C :	589 l/h
Ciśnienie cwu. :	max. 3 bar
Temperatura cwu. :	max. 110°C

### Wymiary zasobnika:

Szerokość	666 mm
Wysokość	1144 mm
Ciężar z izolacją	74 kg
Dopuszczalne nadciśnienie	10 bar



### 3. Wyposażenie zasobnika VertiCell- HG:

Zasobnik VertiCell-HG składa się z następujących elementów:

- **Regulatora Trimatic-MC** z cyfrowym mikrokomputerowym zegarem sterującym w cyklu dziennym i tygodniowym z kompensacją pogodową,
- **Mieszacza** ogrzewania sterowany silnikiem,
- **Rozdzielacza** obiegu grzewczego,
- **Palnika** atmosferycznego automatycznego,
- **Wielofunkcyjnego zaworu gazowego** z regulatorem ciśnienia,
- **Prętów kantalowych** służących do obniżania temperatury spalania i redukcji NO<sub>x</sub>

### 4. Budowa i zasada działania kotła.

Kocioł jest wykonany z żeliwa sfero-idealnego. Pracuje w układzie pionowym z chłodzoną, również od dołu, komorą spalania, co zapewnia minimalne straty ciepła i dużą sprawność kotła powyżej 89%. Wysoka komora paleniskowa oraz palniki ze stali nierdzewnej zaopatrzone w pręty kantalowe, zapewniają dużą czystość spalania i małą emisję NO<sub>x</sub>.

Kocioł Atola jest niskotemperaturowym kotłem gazowym z palnikami inżektorowymi z bezstopniową i automatyczną regulacją temperatury wody w kotle. W czopuchu kotła jest zamocowana sterowana silnikiem przepustnica, która dławii dopływ powietrza w okresie postojów, przez co straty gotowości ruchowej zostały zredukowane do 0,7 – 2,1%. Kocioł oprócz ekranów wodnych posiada bardzo dobrą izolację o współczynniku przenikania ciepła  $k = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ .

### 5. Podstawy teoretyczne badanie kotła gazowego.

Wychodząc z bilansu energetycznego dochodzimy do wniosku, że energia chemiczna zawarta w paliwie  $Q_B$  częściowo zostaje użytecznie wykorzystana na podgrzanie wody  $Q_u$ , resztę stanowią zaś straty  $Q_{str}$ . Możemy to zapisać następującym wzorem:

$$Q_B = Q_u + Q_{str} \quad [kW]$$

Strumień energii chemicznej paliwa i moc cieplna kotła wynoszą odpowiednio:

$$Q_B = B \cdot H_u \quad [kW]$$

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (t_{w2} - t_{w1}) \quad [kW]$$

gdzie:  $B [m_n^3/s]$  – strumień paliwa o wartości opałowej  $H_u [kJ/m_n^3]$

$m [kg/s]$  – strumień masy wody o temp. wlotowej  $t_{w1}$  i wylotowej  $t_{w2} [^\circ\text{C}]$

$c_p [kJ/(kgK)]$  – średnie ciepło właściwe wody.

Straty ciepła  $Q_{str}$  spowodowane są: niepełnym spalaniem, ogrzewaniem nadmiarowego powietrza, promieniowaniem, stratami przez spaliny i parę wodną, ogrzewaniem pieca instalacji i konstrukcji nośnej. Sprawność brutto kotła wynosi zatem:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_B} \cdot 100\% = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_{w2} - t_{w1})}{B \cdot H_u} \cdot 100\%$$

## II. Przebieg ćwiczenia i opracowanie wyników.

### 1. Metodyka pomiarowa.

Pomiar mocy i sprawności cieplnej kotła należało przeprowadzać w stanie ustalonym. Kocioł trzeba było połączyć poprzez kolektory ciepłej i zimnej wody, poprzez odpowiednie przestawienie zaworów APV (11). Regulując następnie natężeniem wody sieciowej w wymienniku, można było regulować temperaturą wody powrotnej  $t_{w1}$  i tym samym różnicą temperatur  $\Delta t = t_{w2} - t_{w1}$ . Z pomiaru, przepływomierzem ultradźwiękowym (10), objętości przepływającej wody  $m [m^3/s]$ , w czasie  $\tau [s]$  można było, po przemnożeniu i scałkowaniu, wyznaczyć ilość ciepła przekazywanego z kotła do odbiornika, co prezentują poniższe wzory:

- Moc cieplna kotła:

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} m \cdot c_p \cdot (t_{w2} - t_{w1}) d\tau \quad [GJ]$$

$$Q_u = \frac{Q}{\tau} \quad [kW]$$

- Strumień energii chemicznej paliwa:

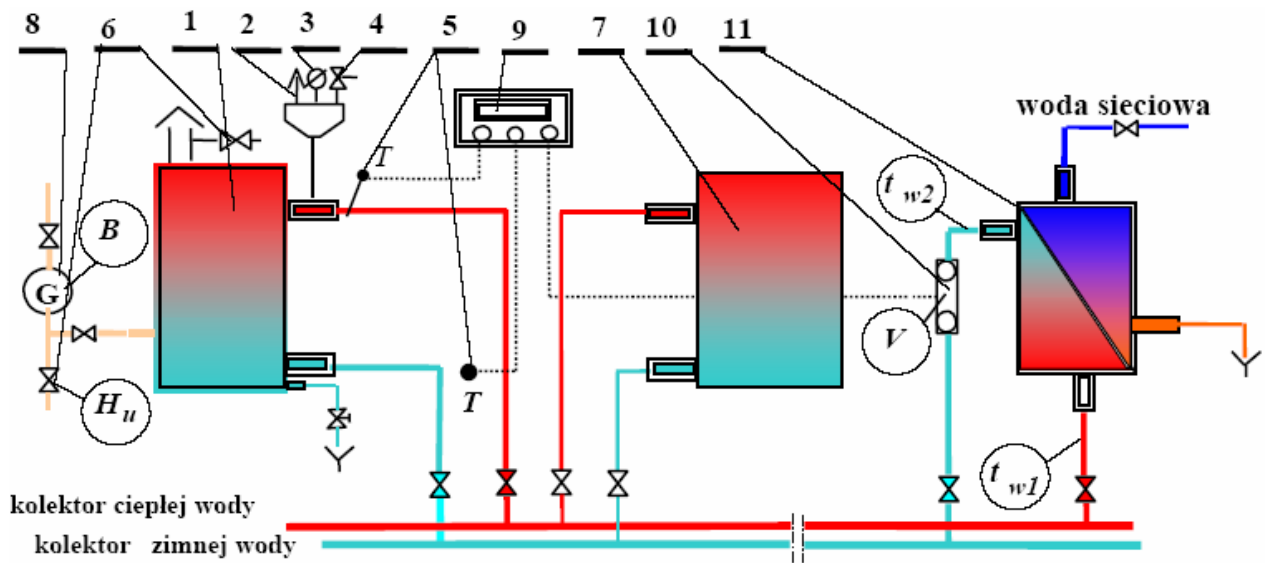
$$Q_B = B \cdot \frac{H_u}{\tau} \quad [kW]$$

- Sprawność cieplna kotła:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_B} \cdot 100\% \quad [\%]$$

Pomiary należało przeprowadzić dla różnych temperatur wody na wlocie i wylocie z kotła, a otrzymane wyniki zestawić na wykresie sprawność w funkcji mocy kotła  $\eta = f(Q_u)$ .

Schemat podłączenia kotła gazowego prezentuje poniższy rysunek poglądowy:



- |   |  |
|---|--|
| 1. Kocioł gazowy Atola  | 7. Podgrzewacz VertiCell-HG 130                                  |
| 2. Zawór odpowietrzający  | 8. Licznik gazowy  |
| 3. Manometr   | 9. Wielofunkcyjny regulator Trimatic-MC                          |
| 4. Sprężynowy zawór bezp.   | 10. Ultradźwiękowy przepływomierz EEM-Q II 6.0 m <sup>3</sup> /h |
| 5. Pt 1000 ESMA 2 szt.  | 11. Wymiennik ciepła f-my APV                                    |
| 6. 2 Kurki probiercze 003L0197<br>króciec redukcyjny 003L0186<br>trójnik 003L0191 |  |

## 2. Opracowanie wyników pomiarowych.

Zadanie polegało na nastawianiu pokręteł zaworów termoregulacyjnych kaloryferów na pozycje: 5, 4, 3 lub 2, a następnie spisaniu aktualnej wartości opałowej gazu  $H_u$  [ $\text{kJ}/\text{m}_n^3$ ] w sieci.

Pomiar rozpoczynano wpisaniem do tabeli stanu początkowego licznika gazu  $B$  [ $\text{m}_n^3$ ], czasu  $\tau_0$  [ $\text{s}$ ], objętościowego natężenia przepływu ciepłej wody z kotła  $V$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ], temperatury na wylocie z kotła  $t_{w1}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] oraz na jego wlocie  $t_{w2}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Następnie pięciokrotnie dla zadanej temperatury odbioru ciepła powtarzano pomiary z częstotliwością co 5 min. Po zmianie zadanej temperatury na odborniku (kaloryferach) powtarzano pomiar.

Przeprowadzono również obliczenia sprawności dla poszczególnych warunków pracy kotła oraz sporządzono wykresy: sprawności  $\eta$  w funkcji obciążenia kotła (według numerów nastaw zaworów termostatycznych) oraz w funkcji mocy kotła  $Q_u$ .

### 3. Obliczenia.

Dokonując obliczeń uwzględniono następujące wartości gęstości  $\rho$ , oraz ciepła właściwego  $c_p$  wody użytkowej:

$$\begin{array}{ll} \text{dla temp. } 40 \text{ C:} & \text{a dla temp. } 50 \text{ C:} \\ \rho = 992,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \rho = 988,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = 4175,4 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} & c_p = 4178,4 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array}$$

Biorąc średnie z tych wartości uzyskano następujące dane obliczeniowe:

$$\begin{array}{l} \rho = \frac{992,22 + 988,03}{2} = 990,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = \frac{4175,4 + 4178,4}{2} = 4176,9 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array}$$

Wartość opalową gazu H przyjęto jako stałą wynoszącą:

$$H = 36 \text{ MJ}$$

Znając poszczególne wartości temperatury, czasu pomiaru i ilość przepływającego czynnika, możemy obliczyć strumień energii chemicznej i moc cieplną kotła, oraz wyznaczyć jego sprawność.

Dla wybranego pomiaru możemy dokonać konkretnych obliczeń:

$$\begin{array}{l} \tau = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}, \\ t_{w1} = 39,8^\circ \text{C} = 312,8 \text{ K}; \\ t_{w2} = 33,0^\circ \text{C} = 306,0 \text{ K}; \\ V = 630 \text{ l/h} = 0,000175 \text{ m}^3/\text{s}; \\ B = 0,091 \text{ m}^3 \\ H = 36 \text{ MJ/m}^3; c_p = 4176,9 \text{ J/kgK}; \rho = 990,1 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

Moc cieplna kotła:

$$Q_B = B \cdot H_u = 36 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \cdot 0,091 \text{ m}^3 = 3276 \cdot 10^3 \text{ J} \cong 3,28 \text{ MJ}$$

Strumień energii chemicznej paliwa (moc kotła):

$$\begin{array}{l} m = \rho \cdot V = 990,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,000175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,173 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ Q_u = m \cdot c_p \cdot (t_{w2} - t_{w1}) = 0,173 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 300 \text{ s} \cdot 4176,9 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (312,8 \text{ K} - 306,0 \text{ K}) \cong 1,48 \text{ MJ} \end{array}$$

Strumień energii strat obliczymy jako:

$$Q_{str} = 10\% \cdot Q_u = 0,1 \cdot 1,48 MJ = 0,15 MJ$$

Natomiast znając powyższe wartości obliczyć już można sprawność cieplną kotła, korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{Q_u + Q_{str}}{Q_B} \cdot 100\% = \frac{1,48 MJ + 0,15 MJ}{3,28 MJ} \cdot 100\% = 49,6\%$$

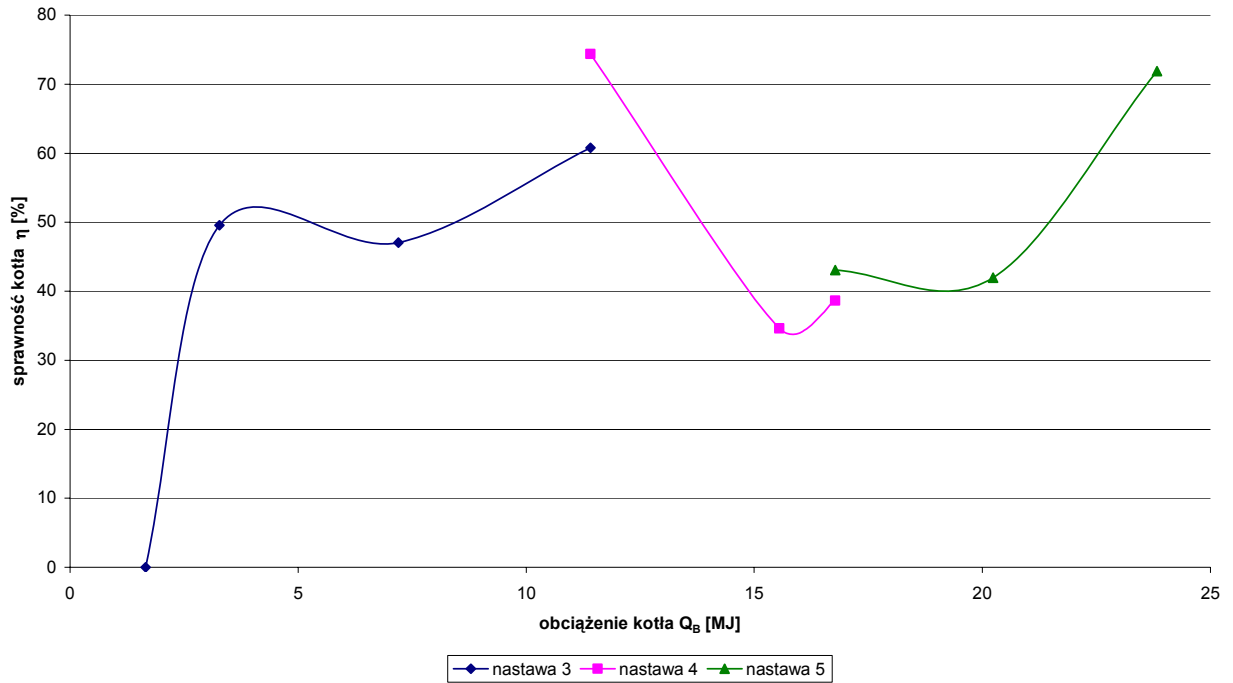
Postępując jak w powyższym przykładzie w stosunku do wszystkich ustawień otrzymano wyniki, które zebrano w poniższej tabeli (Tabela 1).

nastawa	$\tau$ [min]	B [m <sup>3</sup> ]	$t_{w1}$ [°C]	$t_{w2}$ [°C]	V [l/h]	$H_u$ [MJ/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	m [kg/s]	$Q_B$ [MW]	$Q_U$ [MW]	$Q_{str}$ [MW]	$\eta$ [%]
3	0	0,046	36,5	36,5	636	36	4176,9	990,1	0,175	1,66	0,00	0,00	0,0
	5	0,091	39,8	33,0	630				0,173	3,28	1,48	0,15	49,6
	10	0,200	39,8	32,7	629				0,173	7,20	3,08	0,31	47,0
	15	0,317	53,9	44,0	616				0,169	11,41	6,31	0,63	60,8
4	20	0,317	53,0	44,0	622	36	4176,9	990,1	0,171	11,41	7,72	0,77	74,4
	25	0,432	45,2	40,7	631				0,174	15,55	4,89	0,49	34,6
	30	0,466	45,2	40,7	633				0,174	16,78	5,89	0,59	38,6
5	35	0,466	46,3	41,9	619	36	4176,9	990,1	0,170	16,78	6,57	0,66	43,1
	40	0,562	46,3	41,9	636				0,175	20,23	7,72	0,77	41,9
	45	0,662	55,7	47,7	628				0,173	23,83	15,58	1,56	71,9

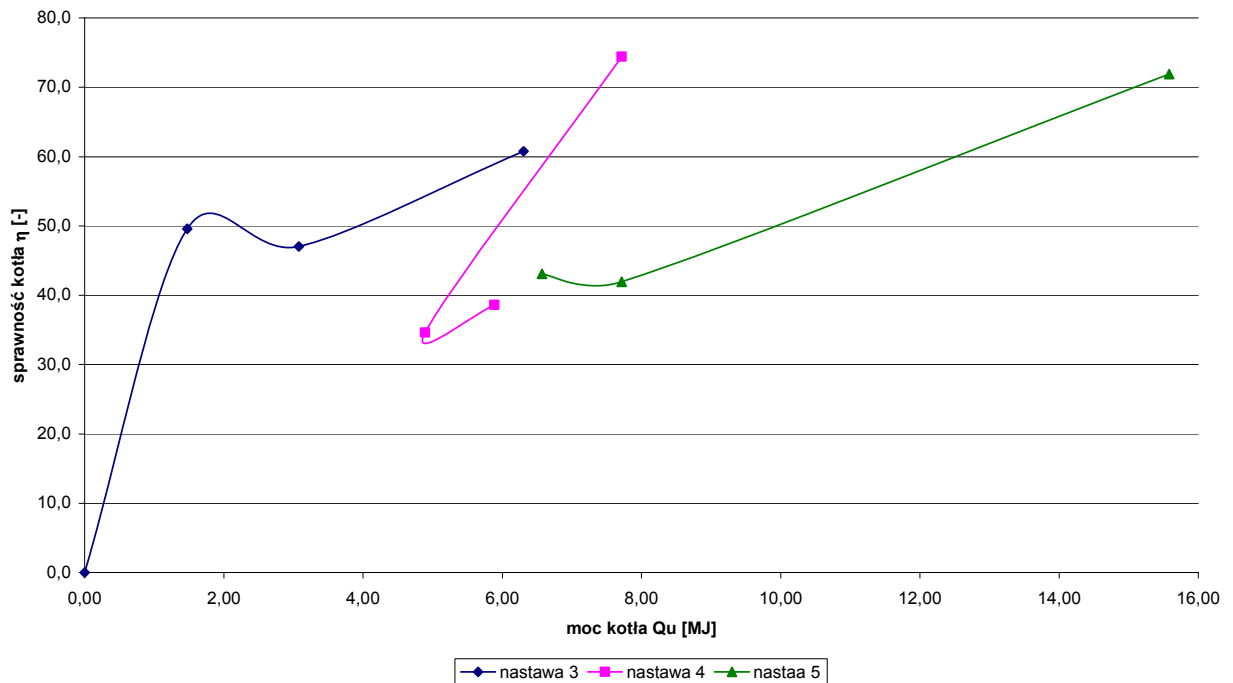
Tabela 1

W oparciu o uzyskane wyniki sporządzono wykresy zależności sprawności kotła w funkcji jego obciążenia oraz w funkcji jego mocy.

Wykres zależności sprawności kotła w funkcji jego obciążenia  $\eta=f(Q_B)$



Wykres zależności sprawności kotła w funkcji jego mocy  $\eta=f(Q_u)$



### III. Podsumowanie i wnioski końcowe.

Sprawność kotła jest tym większa im większa jest jego moc cieplna, a więc strumień



energii przekazywany czynnikowi, w tym wypadku wodzie. Najwyższa otrzymana doświadczalnie wartość sprawności wyniosła w przeprowadzonym doświadczeniu zaledwie (67,6+6,8)%. Rząd powstałych błędów został głównie spowodowany niedokładnością odczytu wskazań licznika gazu i czasu (duży błąd przy wyznaczaniu strumienia energii chemicznej paliwa).

Badany kocioł nie osiągnął w trakcie doświadczenia swojej mocy znamionowej ze względu na stosunkowo wysoką temperaturę otoczenia, co powodowało również stosunkowo szybkie odcięcia ogrzewania. Największą moc strat można zaobserwować na początku grzania, co wynika z nie rozgrzanej instalacji wodnej – są to straty na ogrzanie owej instalacji. Jednocześnie w okresie tym nastąpiło największe spalanie, ponieważ woda w instalacji miała wtedy najniższą temperaturę, wobec czego czujniki wbudowane w kocioł wymuszały intensywne ogrzewanie tej wody. Zmiana nastaw na wyższe umożliwiła dalsze ogrzewanie wody, gdyby tego nie uczyniono kocioł włączałby się w późniejszym czasie w większych odstępach czasu .

Rosnący charakter prostej obrazującej zależność sprawności od nastawy oraz mocy cieplnej kotła sugeruje spory ‘zapas’ mocy kotła, co jest w pełni zrozumiałe – kocioł został zaprojektowany tak, aby sprostał surowszym wymaganiom, niż postawione przed nim w stosunkowo ciepły dzień.

Wszystkie wartości sprawności są obarczone sporym odchyleniem, czego powodem jest duże odchylenie wartości mocy zawartej w spalonym gazie, która była obliczana min. z objętości spalonego gazu. Objętość ta była mierzona miernikiem mechanicznym, prawdopodobnie to miało największy wpływ na odchylenie wyniku. Ostatnia wartość sprawności z pewnością można pominąć, gdyż jest ona obarczona zbyt dużym odchyleniem.