**Metodyka wyliczania redukcji emisji CO2**

**oraz szacowania strat ciepła**

**dla projektów realizowanych ze środków**

**Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego**

**2014-2021**

**W ramach Programu Operacyjnego:**

**„Środowisko, Energia, Zmiany Klimatu”**

|  |  |
| --- | --- |
| **Obszar programowy:** | |
| **Energia odnawialna, efektywność energetyczna i bezpieczeństwo**  **energetyczne** | |
|  |  |
| **Rezultat:** | |
| **Poprawa efektywności energetycznej w przemyśle,**  **budynkach i gminach** | |
|  |  |
| **Działanie:** | |
| **Budowa/modernizacja miejskich systemów ciepłowniczych i eliminacja indywidualnych źródeł ciepła** | |

Spis treści

[1. Metodyka wyliczania redukcji emisji CO2 - źródła energii 3](#_Toc33697394)

[1.1. Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji projektu (bez OZE) 3](#_Toc33697395)

[1.1.1. Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji projektu. 3](#_Toc33697396)

[1.1.2. Roczna emisja CO2 po realizacji projektu 3](#_Toc33697397)

[1.1.3. Roczna emisja dwutlenku węgla przed wykonaniem projektu 5](#_Toc33697398)

[1.1.4. Przykład 9](#_Toc33697399)

[1.2. Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji źródła OZE 11](#_Toc33697400)

[1.2.1. Roczna emisja CO2zastąpiona (uniknięta) w wyniku realizacji projektu 12](#_Toc33697401)

[2. SZACOWANIE ZMNIEJSZENIA STRAT CIEPŁA (SIECI) 14](#_Toc33697402)

[2.1. Oszczędności wynikające z modernizacji sieci ciepłowniczych: 14](#_Toc33697403)

[2.2. Suma rocznych strat ciepła w rurociągu przed modernizacją: 14](#_Toc33697404)

[2.3. Obliczenie strat ciepła spowodowanych nieszczelnością sieci: 16](#_Toc33697405)

[2.4. Przykład: 17](#_Toc33697406)

[3. METODYKA SZACOWANIA ZMNIEJSZENIA STRAT CIEPŁA (węzły) 20](#_Toc33697407)

[3.1. Zmniejszenie strat ciepła w węźle w wyniku zwiększenia jego sprawności 20](#_Toc33697408)

[3.1.1. Założenia 20](#_Toc33697409)

[3.2. Ustalenie danych dotyczących okresu przed modernizacją 21](#_Toc33697410)

[3.3. Ustalenie danych dotyczących okresu po modernizacji (po zrealizowaniu projektu) 21](#_Toc33697411)

[3.4. Szacowanie redukcji strat ciepła w wyniku realizacji projektu 22](#_Toc33697412)

[3.5. Przykład 23](#_Toc33697413)

[3.5.1. Zmniejszenie strat ciepła w rurociągach 23](#_Toc33697414)

[3.5.2. Zmniejszenie zużycia ciepła przez odbiorców (efekt wprowadzenia regulacji) 23](#_Toc33697415)

[3.5.3. Założenia 24](#_Toc33697416)

[3.5.4. Dane 24](#_Toc33697417)

[3.5.5. Obliczenia 25](#_Toc33697418)

# Metodyka wyliczania redukcji emisji CO2 - źródła energii

**Wnioski złożone w ramach konkursu „Budowa/modernizacja miejskich systemów ciepłowniczych i eliminacja indywidualnych źródeł ciepła” ze środków MF EOG 2014-2021 nie mogą być złożone w ramach konkursu „Rozwój wysokosprawnej kogeneracji przemysłowej i zawodowej”.**

## Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji projektu (bez OZE)

### Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji projektu.

W celu obliczenia oszczędności w emisji dwutlenku węgla wynikających z realizacji projektu należy skorzystać z następującego wzoru:

**ΔE = E2-E1 [t/rok] ( 1 )**

gdzie:

**E2**– roczna emisja dwutlenku węgla zastąpiona/uniknięta w wyniku realizacji projektu [t/rok],

**E1**– roczna emisja dwutlenku węgla z instalacji po realizacji projektu [t/rok].

### Roczna emisja CO2 po realizacji projektu

Roczną emisję dwutlenku węgla po realizacji projektu E1 określa się z następującej zależności:

**E1 = 10-3 \* Q1 \* W1 [t/rok] ( 2 )**

gdzie;

Q1 – ilość energii dostarczonej z paliwem zużytym w ciągu roku [GJ/rok]

W1 - wskaźnik emisji dwutlenku węgla z stosowanego paliwa [kg/GJ]

Ilość energii dostarczonej z paliwem Q1 określa się ze wzoru

**Q1 = P1\*U1 [GJ/rok] ( 3 )**

gdzie:

U1 – wartość opałowa paliwa [MJ/kg] lub [MJ/m3]

P1 – roczne zużycie paliwa w instalacji [t/rok], [tys. m3/rok]

Wskaźniki emisji dwutlenku węgla w odniesieniu do wartości opałowej spalanego paliwa dla typowych i często spotykanych paliw zestawiono w tabeli nr 1.

**Tabela nr 1. Wskaźniki emisji dwutlenku węgla ze spalania różnych paliw (w odniesieniu do wartości opałowej)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Lp.** | **Rodzaj paliwa** | **jednostka** | **Wskaźnik emisji** |
| 1 | Węgiel kamienny | kg/GJ | 94,69 |
| 2 | Węgiel brunatny | kg/GJ | 104,09 |
| 3 | Ropa naftowa | kg/GJ | 73,30 |
| 4 | Gaz ziemny | kg/GJ | 56,10 |
| 5 | Inne produkty naftowe | kg/GJ | 73,30 |
| 6 | Koks naftowy | kg/GJ | 97,50 |
| 7 | Koks i półkoks | kg/GJ | 107,00 |
| 8 | Gaz ciekły | kg/GJ | 63,10 |
| 9 | Benzyny silnikowe | kg/GJ | 69,30 |
| 10 | Benzyny lotnicze | kg/GJ | 70,00 |
| 11 | Paliwa odrzutowe | kg/GJ | 71,50 |
| 12 | Olej napędowy | kg/GJ | 74,10 |
| 13 | Oleje opałowe | kg/GJ | 77,40 |
| 14 | Gaz rafineryjny | kg/GJ | 57,60 |
| 15 | Gaz koksowniczy | kg/GJ | 44,40 |
| 16 | Gaz wielkopiecowy | kg/GJ | 260,00 |
| 17 | Biopaliwa tj. biogaz, biomasa, itp.\* | kg/GJ | 0,00 |

\* - dla wszystkich paliw uznawanych za odnawialne źródła energii zakłada się brak emisji dwutlenku węgla, czyli wartość współczynnika emisji dwutlenku węgla zawsze wynosi zero.

Dla paliw nietypowych, nie umieszczonych w tabeli nr 1 wskaźnik emisji dwutlenku węgla można obliczyć z zależności:

**W1 = 3660 \* C1 / U1  [kg/GJ] ( 4 )**

gdzie:

C1 – udział masowy węgla pierwiastkowego w paliwie [kg/kg], [kg/Nm3]

U1 – wartość opałowa paliwa [MJ/kg], [MJ/Nm3]

Ilość paliwa zużytego w ciągu roku określa się ze wzoru:

**[ t/rok ] ( 5 )**

gdzie:

Qesg – ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w sezonie grzewczym [GWh/sezon]

Qespg – ilość energii elektrycznej wyprodukowana w sezonie poza-grzewczym [GWh/sezon]

Qcsg – ilość użytecznej energii cieplnej wyprodukowanej w sezonie grzewczym [GJ/sezon]

Qcspg - ilość użytecznej energii cieplnej wyprodukowanej w sezonie poza-grzewczym [GJ/sezon]

ηesg – sprawność wytwarzania energii elektrycznej w eksploatowanej instalacji, średnia w sezonie grzewczym [ % ]

ηespg - sprawność wytwarzania energii elektrycznej w eksploatowanej instalacji średnia w sezonie pozagrzewczym [%]

ηcsg - sprawność wytwarzania użytecznej energii cieplnej w eksploatowanej instalacji, średnia w sezonie grzewczym [%]

ηcspg - sprawność wytwarzania użytecznej energii cieplnej w eksploatowanej instalacji, średnia w sezonie pozagrzewczym [ % ]

U1 – jak we wzorze ( 4 )

Ilość energii elektrycznej Qek lub cieplnej Qck wyprodukowanej w sezonie grzewczym k= sg lub poza grzewczym k= spg, w przypadku dostarczania energii cieplnej do celów grzewczych określa się na podstawie wykresu uporządkowanego obciążeń cieplnych

**Qek = Mek \* tk \*10-3 [GWh/sezon] ( 6 )**

gdzie:

Mek – średnia moc elektryczna układu produkującego energetyczną i cieplną w sezonie   
grzewczym k=sg lub pozagrzewczym k=spg [MWe]

tk – czas trwania sezonu grzewczego lub pozagrzewczego [ h ] określony na podst. Polskich Norm lub danych meteorologicznych IMiGW

**Qck = 3,6 \* Mck \* tk [GJ/sezon] ( 7 )**

gdzie:

Mck – średnia moc cieplna układu produkującego en elektryczną i cieplną w sezonie grzewczym k=sg lub pozagrzewczym k=spg [MWc]

tk – czas trwania sezonu grzewczego lub pozagrzewczego ( określanego wg danych IMiGW lub Polskiej Normy ) [ h ]

Sprawność wytwarzania energii elektrycznej ηek lub cieplnej ηck obliczana jest na podst. danych projektowych producentów instalacji w odniesieniu do energii zawartej w paliwie określonej za pomocą wartości opałowej, następująco

**ηek , ηck = 100\*Qk/U1 ( 8 )**

gdzie:

Qk – Qe,Qc – uzyskana energia elektryczna/cieplna z 1kg paliwa stosowanego w instalacji

U1 – wartość opałowa 1kg/1Nm3 paliwa [MJ/kg], [MJ/Nm3]

### Roczna emisja dwutlenku węgla przed wykonaniem projektu

Roczną emisję dwutlenku węgla przed wykonaniem projektu określa się w sytuacji, gdyby projekt nie został zrealizowany a ta sama ilość energii elektrycznej i cieplnej zostałby dostarczona z dotychczas eksploatowanej instalacji oraz/lub z krajowej lub lokalnej cieci energetycznej i cieplnej. Tą emisję dwutlenku węgla określono jako zastąpioną.

**E2 = Ezl + Edod ( 9 )**

gdzie:

Ezl – zastąpiona emisja dwutlenku węgla jaka zostałaby wyprodukowana z zlikwidowanej instalacji lub w wyniku ograniczonej produkcji z dotychczasowej instalacji

Edod – zastąpiona emisja dwutlenku węgla jaka zostałaby wyprodukowana z dodatkowo pobranej z krajowego lub lokalnego systemu zaopatrzenia w energię elektryczną i cieplną

Zastąpiona emisja dwutlenku węgla jaka zostałaby wyprodukowana z zlikwidowanej instalacji lub w wyniku ograniczonej produkcji z dotychczasowej instalacji

**Ezl = 10-3 \* Qzl \* W2 [t/rok] ( 14 )**

gdzie:

Qzl – ilość energii dostarczonej z paliwem zużytym w ciągu roku [GJ/rok]

W2 - wskaźnik emisji dwutlenku węgla z dotychczas stosowanego paliwa [kg/GJ]

Ilość energii dostarczonej z paliwem Qzl określa się ze wzoru

**Qzl = Pzl\*U2 [GJ/rok] ( 15 )**

gdzie:

U2 – wartość opałowa paliwa [ MJ/kg] lub [MJ/m3]

Pzl – roczne zużycie paliwa w instalacji [t/rok], [tys. m3/rok]

Ilość paliwa jakie zostałoby zużyte w ciągu roku w określa się ze wzoru:

**[t/rok] (16)**

gdzie:

Qe2sg – ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w sezonie grzewczym [GWh/sezon]

Qe2spg – ilość energii elektrycznej wyprodukowana w sezonie poza-grzewczym [GWh/sezon]

Qc2sg – ilość użytecznej energii cieplnej wyprodukowanej w sezonie grzewczym [GJ/sezon]

Qc2spg- ilość użytecznej energii cieplnej wyprodukowanej w sezonie poza-grzewczym [GJ/sezon]

ηe2sg – sprawność wytwarzania energii elektrycznej w instalacji średnia w sezonie   
grzewczym [ % ]

ηe2spg- sprawność wytwarzania energii elektrycznej w instalacji średnia w sezonie poza-grzewczym [%]

ηc2sg- sprawność wytwarzania użytecznej energii cieplnej w instalacji średnia w sezonie grzewczym [%]

ηc2spg - sprawność wytwarzania użytecznej energii cieplnej w instalacji średnia w sezonie poza-grzewczym [ % ]

U2 – – wartość opałowa paliwa [MJ/kg], [MJ/Nm3]

Ilość energii elektrycznej Qek lub cieplnej Qck, wyprodukowanej w sezonie grzewczym k= sg lub pozagrzewczym k= spg, w przypadku dostarczania energii cieplnej do celów grzewczych określa się na podst. wykresu uporządkowanego obciążeń cieplnych.

**Ilość energii elektrycznej Qe2k:**

**Qe2k = Me2k \* t2k \*10-3 [GWh/sezon] ( 17 )**

gdzie:

Me2k – średnia moc elektryczna układu produkującego energetyczną i cieplną w sezonie

grzewczym k=sg lub pozagrzewczym k=spg [MWe]

tk – czas trwania sezonu grzewczego lub pozagrzewczego [ h ] określony na podst. Polskich Norm lub danych meteorologicznych IMiGW

**Ilość energii cieplnej Qc2k**

**Qc2k = 3,6 \* Mc2k \* t2k [GJ/sezon] ( 18 )**

gdzie:

Mc2k – średnia moc cieplna układu produkującego en elektryczną i cieplną w sezonie grzewczym k=sg lub pozagrzewczym k=spg [MWc]

tk – czas trwania sezonu grzewczego lub pozagrzewczego (określanego wg danych IMiGW  
lub Polskiej Normy) [ h ]

Sprawność wytwarzania energii elektrycznej ηe2k lub cieplnej ηc2k obliczana jest na podstawie dotychczasowych danych eksploatacyjnych instalacji w odniesieniu do energii zawartej   
w paliwie określonej za pomocą wartości opałowej, następująco

**ηe2k , ηc2k = 100\*Q2k/U2l [ % ] ( 19 )**

gdzie:

Qk – Qe,Qc – uzyskana energia elektryczna/cieplna z 1kg paliwa stosowanego w instalacji

Upal – wartość opałowa 1kg/1Nm3 paliwa [MJ/kg], [MJ/Nm3]

Zastąpiona emisja dwutlenku węgla Eedod, jaka zostałaby wyprodukowana z dodatkowo   
pobranej z krajowego lub lokalnego systemu zaopatrzenia w energię elektryczną i cieplną określa się ze wzoru

**Edod = 3600 \* Eedod + Ecdod [ GJ ] ( 20 )**

gdzie:

Eedod – zastąpiona emisja dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanej energii elektrycznej

Ecdod - zastąpiona emisja dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanego ciepła

Zastąpioną emisję dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanej energii elektrycznej określa się jako sumę emisji z wyprodukowanej energii elektrycznej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy i emisji z wyprodukowanej energii elektrycznej sprzedanej do krajowego systemu elektroenergetycznego. Dla energii elektrycznej wyprodukowanej na potrzeby własne przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w typowej (przeciętnej) elektrowni zasilającej Krajową Sieć Elektroenergetyczną z uwzględnieniem strat przesyłu – kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

Dla energii elektrycznej wyprodukowanej i sprzedanej do Krajowej Sieci Elektroenergetycznej przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w typowej (przeciętnej) elektrowni zasilającej Krajową Sieć Elektroenergetyczną bez uwzględnienia strat przesyłu – kolumna nr 4 w tabeli nr 2.

**Eedod = 3600 \* ( QeunW \* WeW + QeunSP\* WeSP) [ GJ ] ( 21 )**

gdzie:

QeunW – wartość rocznej produkcji energii elektrycznej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i wykorzystanej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy (przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii elektrycznej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy)

WeW – wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji en elektr w elektrowniach zasilających krajowy system elektroenergetyczny z uwzględnieniem strat przesyłu (z tab. 2 kol 5)

QeunSP – wartość rocznej produkcji energii elektrycznej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i sprzedanej do Zakładu Energetycznego zasilającego Krajowy System Elektroenergetyczny (przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii elektrycznej sprzedawanej do Zakłady Energetycznego)

WeSP - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej w elektrowniach zasilających krajowy system elektroenergetyczny bez uwzględnienia strat przesyłu   
(z tab. 2 kol 4).

Zastąpiona emisja dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanej energii cieplnej określa się jako sumę emisji z wyprodukowanej energii cieplnej wykorzystanej na potrzeby własne i emisji z wyprodukowanej energii cieplnej sprzedanej odbiorcom zewnętrznym. Dla energii cieplnej   
wyprodukowanej na potrzeby własne przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w przedsiębiorstwie odpowiedniego typu zaopatrującym miejską siec ciepłowniczą, z uwzględnieniem strat przesyłu ciepła w miejskiej sieci ciepłowniczej –   
kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

Dla energii cieplnej wyprodukowanej i sprzedanej odbiorcom zewnętrznym przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w przedsiębiorstwie   
odpowiedniego typu zaopatrującym miejską/lokalną siec ciepłowniczą, bez uwzględnienia strat przesyłu ciepła w miejskiej/lokalnej sieci ciepłowniczej – kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

**Ecdod = QcunW\*WcW + QcunSP \* WcSP [ GJ ] ( 22 )**

QcunW – wartość rocznej produkcji użytecznej energii cieplnej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i wykorzystywanej na potrzeby własne (przy nowej   
instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej użytecznej energii cieplnej   
wykorzystanej na potrzeby własne)

WcW - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii cieplnej z dostępnych lokalnie systemów ciepłowniczych określonych z tab.2 zależnie od stosowanego w tych   
systemach paliwa i z uwzględnieniem strat przesyłu ciepła (kolumna nr 5 w tabeli nr 2)

QcunSP – wartość rocznej produkcji użytecznej energii cieplnej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i sprzedawanej odbiorcom zewnętrznym (przy nowej   
instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej użytecznej energii cieplnej   
i sprzedawanej odbiorcom zewnętrznym)

WcSP - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii cieplnej z dostępnych lokalnie systemów ciepłowniczych określonych z tab.2 zależnie od stosowanego w tych systemach paliwa bez uwzględnienia strat przesyłu ciepła (kolumna nr 4 w tabeli nr 2).

**Tabela nr 2 Wskaźniki emisji dwutlenku węgla dla standardowych źródeł ciepła i energii elektrycznej odniesione do jednostki dostarczonej energii elektrycznej lub cieplnej**

| **Lp.** | **Rodzaj źródła energii cieplnej/elektrycznej** | **jednostka** | **Wskaźnik  emisji CO2 tylko dla produkcji energii  (loco producent)** | **Wskaźnik emisji CO2 dla  produkcji  energii z uwzględnieniem strat przesyłu  (loco odbiorca)** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Typowa elektrownia  zasilająca krajową sieć  elektroenergetyczną | kg/GJ en elektr | 267,6 | 304,0 |
| 2 | Typowa ciepłownia z  kotłami węglowymi  zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą | kg/GJ en cieplnej | 126,5 | 143,7 |
| 3 | Typowa elektrociepłownia z kotłami węglowymi  zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą | kg/GJ en cieplnej | 120,0 | 136,0 |
| 4 | Typowa ciepłownia z  kotłami gazowymi  zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą | kg/GJ en cieplnej | 65,5 | 74,4 |

Wyprodukowaną ilość energii elektrycznej i cieplnej w instalacji po wykonaniu projektu   
w stosunku ponad ilość energii cieplnej i elektrycznej produkowanej w dotychczasowym   
układzie określa się z poniższych zależności.

Wartość rocznej produkcji energii elektrycznej ponad ilość produkowaną w dotychczasowej instalacji (przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii   
elektrycznej)

Qeun = (Qesg+ Qespg ) - (Qe2sg+ Qe2spg )

gdzie:

Qesg – jak we wzorze (16)

Qespg – jak we wzorze (16)

Qe2sg – jak we wzorze (16)

Qe2spg – jak we wzorze (16)

Wartość rocznej produkcji energii cieplnej ponad ilość produkowaną w dotychczasowej   
instalacji (przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii cieplnej)

Qcun = (Qcsg+ Qcspg ) - (Qc2sg+ Qc2spg )

gdzie:

Qcsg – jak we wzorze (16)

Qcspg – jak we wzorze (16)

Qc2sg – jak we wzorze (16)

Qc2spg – jak we wzorze (16)

### Przykład

**Założenia wyjściowe - stan przed przebudową**

Ciepłownia węglowa z kotłami wodnymi o mocy cieplnej maksymalnej 50 MWc

Średnia moc cieplna w sezonie pozagrzewczych 5MWc. Ciepłownia opalana miałem węglowym wartości opałowej 22 MJ/kg. Średnia sprawność cieplna kotłowni w sezonie grzewczym 83%, średnia sprawność cieplna kotłowni w sezonie poza-grzewczym 80%.

**Założenia do przebudowy instalacji**

Budowa instalacji składającej się z kotła parowego opalanego biomasą (zrębki pochodzenia leśnego i rolnego) o mocy cieplnej maksymalnej 10,8 MWc i turbiny parowej przeciwprężnej z generatorem o mocy elektrycznej 2,1 MWe. Instalacja dostarcza maksymalnie 8,0 MWc w postaci pary niskoprężnej.

Ciepło z pary grzewczej w stacji wymienników ciepła będzie zamieniane na ciepło w gorącej wodzie wykorzystywanej do ogrzewania budynków osiedli mieszkaniowych i przygotowania CWU. Energia elektryczna będzie sprzedawana do sieci zarządzanej przez Zakład Energetyczny.

Wymagana moc cieplna w paliwie 12,6 MWc. Instalacja będzie wykorzystywana cały rok:

* w sezonie grzewczym średnia moc cieplna eksploatacyjna 7,5 MWc, średnia moc   
  elektryczna 1,95 MWe
* w sezonie poza-grzewczym średnia moc cieplna eksploatacyjna 5 MWc, średnia moc elektryczna 1,1 MWe

Czas trwania sezonu grzewczego (z PN-82/B-02403) tsg = 222 doby \* 24 h/dobę = 5328 h.

Czas trwania sezonu poza-grzewczego tspg = 8760 – 5328 = 3522 h

Średnia wartość opałowa biomasy – 12 MJ/kg

**Obliczenia**

1. Obliczenia ilości paliwa i energii w paliwie zużywanej przez instalację po wykonaniu   
przebudowy

a) Sprawność wytwarzania energii elektrycznej - na podst. w/w założeń projektowych

ηesg = 16,6 %

ηespg = 14,1 %

b) Sprawność wytwarzania energii cieplnej - na podst. w/w założeń projektowych

ηcsg = 63,4 %

ηcspg = 61,4 %

Ilość energii elektrycznej i cieplnej wyprodukowane w sezonie grzewczym i poza-grzewczym   
(wg wzorów ( 23 ) i ( 24 ))

Ilość energie elektrycznej

**Qek = Mek \* tk \*10-3 [GWh/sezon] ( 23 )**

Qesg = 1,95 \* 5328 = 10,4 [GWh/sezon]

Qespg = 1,1 \* 3522 = 3,9 [GWh/sezon]

Ilość energii cieplnej

**Qck = 0,278 \* Mck \* tk [GJ/sezon] ( 24 )**

Qcsg = 3,6 \* 7,5 \* 5328 = 143856 [GJ/sezon]

Qcspg = 3,6 \* 5 \* 3522 = 63396 [GJ/sezon]

Ilość paliwa zużytego w ciągu roku w instalacji po przebudowie (wg wzoru ( 5 ))

- w związku z tym, że po wykonaniu przebudowy instalacji paliwem jest biomasa, dla której wskaźnik emisji dwutlenku węgla wynosi zero tj. W1 = 0 ilości paliwa można nie liczyć, bo roczna emisja dwutlenku węgla będzie równa zero E1 = 0,0

Roczna emisja dwutlenku węgla przed wykonaniem projektu (emisja uniknięta).

W wyniku zastosowania zbudowanej instalacji zostanie zlikwidowana produkcja ciepła w starej instalacji (ograniczenia pracy kotłów węglowych) oraz zostanie dodatkowo produkowana energia elektryczna.

Obniżenie emisji dwutlenku węgla powstaje w wyniku uniknięcia emisji dwutlenku węgla z obniżonej produkcji energii cieplnej w dotychczasowej ciepłowni oraz z unikniętej emisji dwutlenku węgla związanej z produkcją energii elektrycznej z Krajowej Sieci Energetycznej.

Uniknięta emisja dwutlenku węgla związana z wyprodukowana energie elektryczną

**Eedod = 3600 \* Qeun\* We ( 25 )**

Wskaźnik emisji dwutlenku węgla określa się z tabeli nr 2 kol 4 poz. 1

We = 267,6 kg/GJ

Qeun = Qesg + Qespg

Qeun = 10,4 + 3,9 = 14,3 GWh

Eedod = 3,6 \* 14,3 \* 267,6 = 13776 t/rok

Uniknięta emisja dwutlenku węgla związana z ograniczeniem wytwarzania energii cieplnej   
w instalacji przed przebudową.

Obliczenia emisji dwutlenku węgla po przebudowie instalacji

Wskaźnik emisji dwutlenku węgla określa się z tabeli nr 2 kol 4 poz. 2

**Ecdod = 0,001 \* Qcun\*WcLSC [ GJ ] ( 26 )**

WcLSC = 126,5 kg/GJ

Qcun = Qcsg + Qcspg

Qeun = 143856 + 63396 = 207252 GJ/rok

Ecdod = 0,001 \* 207252 \* 126,5 = 26217 t/rok

Wielkość emisji unikniętej w wyniku realizacji projektu

E2 = Eedod + Ecu = 13776 + 26217 = 39993 t/rok

Oszczędności w emisji dwutlenku węgla wynikających z realizacji projektu wynosi

**ΔE = E2 – E1 = 39993 - 0 = 39993 t/rok**

**Roczne obniżenie emisji CO2****w wyniku zrealizowania projektu wynosi   
ΔE = 39993 ton w ciągu roku**

## Obliczenia oszczędności w emisji CO2 wynikających z realizacji źródła OZE

W celu obliczenia oszczędności w emisji dwutlenku węgla wynikających z realizacji   
projektu należy skorzystać z następującego wzoru:

**ΔE = E1-E2 [t/rok] ( 27 )**

gdzie:

**E1**– roczna emisja dwutlenku węgla zastąpiona (uniknięta) w wyniku realizacji projektu [t/rok],

**E2**– roczna emisja dwutlenku węgla z instalacji po realizacji projektu [t/rok].

Dla wszystkich instalacji OZE wartość wskaźników emisji dwutlenku węgla odniesione do   
produkowanej energii przyjmuje się za zerowe tj. emisja dwutlenku węgla z tych instalacji nie występuje E2 = 0 [t/rok].

### Roczna emisja CO2zastąpiona (uniknięta) w wyniku realizacji projektu

Wielkość emisji dwutlenku węgla zastąpioną (unikniętą) w wyniku realizacji projektu określa się przyjmując, że uniknięto emisję jaka by wystąpiła przy wyprodukowaniu tej samej ilości energii elektrycznej w krajowej sieci energetycznej i/lub cieplnej w lokalnej sieci ciepłowniczej.

**E1 = E1e + E1c 1000\* ( Q1e \* W1KSE  + Q1c \* W1LSC  ) [t/rok] ( 28 )**

gdzie:

E1e – roczna emisja dwutlenku węgla związana z produkcją energii elektrycznej z instalacji po realizacji projektu

E1c – roczna produkcja dwutlenku węgla związana z produkcją energii cieplnej z instalacji po realizacji projektu

W1KSE – wskaźnik emisji dwutlenku węgla dla standardowego źródła energii elektrycznej – typowej elektrowni zasilającej Krajową Sieć Elektroenergetyczną – wartość z tabeli nr 2

Zastąpiona emisja dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanej energii elektrycznej określa się jako sumę emisji z wyprodukowanej energii elektrycznej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy i emisji z wyprodukowanej energii elektrycznej sprzedanej do krajowego systemu elektroenergetycznego.

Dla energii elektrycznej wyprodukowanej na potrzeby własne przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w typowej (przeciętnej) elektrowni zasilającej Krajową Sieć Elektroenergetyczną z uwzględnieniem strat przesyłu – kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

Dla energii elektrycznej wyprodukowanej i sprzedanej do Krajowej Sieci Elektroenergetycznej przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w typowej (przeciętnej) elektrowni zasilającej Krajową Sieć Elektroenergetyczną bez uwzględnienia strat przesyłu – kolumna nr 4 w tabeli nr 2.

**E1e = 3600 \* ( Q1eW \* WeW  + Q1eSP\* WeSP) [ GJ ] ( 29 )**

gdzie:

Q1eW – wartość rocznej produkcji energii elektrycznej ponad ilość produkowaną w dotychczasowej instalacji i wykorzystanej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy ( przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii elektrycznej na potrzeby własne lub lokalnego odbiorcy )

WeW – wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej w elektrowniach   
zasilających krajowy system elektroenergetyczny z uwzględnieniem strat przesyłu   
(z tab. 2 kol 5)

Q1eSP – wartość rocznej produkcji energii elektrycznej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i sprzedanej do Zakładu Energetycznego zasilającego   
Krajowy System Elektroenergetyczny ( przy nowej instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej energii elektrycznej sprzedawanej do Zakłady Energetycznego )

WeSP - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej w elektrowniach zasilających krajowy system elektroenergetyczny bez uwzględnienia strat przesyłu (z tab. 2 kol 4).

Zastąpiona emisja dwutlenku węgla z dodatkowo wyprodukowanej energii cieplnej określa się jako sumę emisji z wyprodukowanej energii cieplnej wykorzystanej na potrzeby własne i emisji z wyprodukowanej energii cieplnej sprzedanej odbiorcom zewnętrznym. Dla energii cieplnej wyprodukowanej na potrzeby własne przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w przedsiębiorstwie odpowiedniego typu zaopatrującym miejską sieć ciepłowniczą, z uwzględnieniem strat przesyłu ciepła w miejskiej sieci ciepłowniczej – kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

Dla energii cieplnej wyprodukowanej i sprzedanej odbiorcom zewnętrznym przyjmuje się wskaźnik emisji dwutlenku węgla jak dla energii wyprodukowanej w przedsiębiorstwie odpowiedniego typu zaopatrującym miejską/lokalną siec ciepłowniczą, bez uwzględnienia strat przesyłu ciepła w miejskiej/lokalnej sieci ciepłowniczej – kolumna nr 5 w tabeli nr 2.

**E1c = Q1cW\*WcW + Q1cSP \* WcSP [ GJ ] ( 30 )**

Q1cW – wartość rocznej produkcji użytecznej energii cieplnej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i wykorzystywanej na potrzeby własne (przy nowej   
instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej użytecznej energii cieplnej   
wykorzystanej na potrzeby własne)

WcW - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii cieplnej z dostępnych lokalnie systemów ciepłowniczych określonych z tab.2 zależnie od stosowanego w tych   
systemach paliwa i z uwzględnieniem strat przesyłu ciepła (kolumna nr 5 w tabeli nr 2).

Q1cSP – wartość rocznej produkcji użytecznej energii cieplnej ponad ilość produkowaną   
w dotychczasowej instalacji i sprzedawanej odbiorcom zewnętrznym (przy nowej   
instalacji odpowiada całkowitej ilości produkowanej użytecznej energii cieplnej i sprzedawanej odbiorcom zewnętrznym).

WcSP - wskaźnik emisji dwutlenku węgla przy produkcji energii cieplnej z dostępnych lokalnie systemów ciepłowniczych określonych z tab.1 zależnie od stosowanego w tych   
systemach paliwa bez uwzględnienia strat przesyłu ciepła (kolumna nr 4 w tabeli nr 2)

# SZACOWANIE ZMNIEJSZENIA STRAT CIEPŁA (SIECI)

## Oszczędności wynikające z modernizacji sieci ciepłowniczych:

W celu obliczenia oszczędności wynikających z modernizacji sieci ciepłowniczych należy skorzystać z następującego wzoru:

∆E = E1-E2 [GJ/rok] ( 1 )

gdzie:

**E1** - straty ciepła przed modernizacją [GJ/rok]

**E2** - straty ciepła po modernizacji [GJ/rok]

## Suma rocznych strat ciepła w rurociągu przed modernizacją:

W celu obliczenia sumy rocznych strat ciepła w rurociągu przed modernizacją należy skorzystać z następującego wzoru:

E1 = Eq+ En[GJ/rok] ( 2 )

gdzie:

**Eq** - straty ciepła przez przenikanie w całym roku stanowiące sumę strat ciepła w okresie sezonu grzewczego i poza nim [GJ/rok]

**En** - roczne straty ciepła spowodowane nieszczelnością [GJ/rok]

W tym celu należy obliczyć wartości Eq oraz En (na podstawie wzorów 3,4,5,6):

Eq = Es + El [GJ/rok] ( 3 )

**Es** - straty ciepła w sezonie grzewczym [GJ/rok]

**El** - straty ciepła poza sezonem grzewczym [GJ/rok]

gdzie:

Es=10-5 × 8,64 × qs × Li × Ds [GJ/rok] ( 4 )

**Ds** - liczba dni trwania sezonu grzewczego [dni]

**Li** - długość odcinka sieci; w przypadku, gdy odcinek sieci wyposażony jest w armaturę, jego długość należy odpowiednio zwiększyć zgodnie z ogólnymi zasadami obliczania strat rurociągów [m]

Jednostkowe straty ciepła w sieci w sezonie grzewczym obliczyć można ze wzoru:

qs = u × (t1śr + t2śr - 2ts) [W/m] ( 5 )

Podane we wzorze 5 wielkości t1śr oraz t2śr określa się przy pomocy wykresu regulacyjnego (t1=f(tz) oraz t2=f(tz)) (zgodnie z rysunkiem 1), po wstawieniu tz=tzśr1; przy czym tz - temperatura zewnętrzna (temperatura otoczenia).

**t1śr** - średnia temperatura wody w okresie ogrzewania w rurociągu zasilającym [oC]

**t2śr** - średnia temperatura wody w okresie ogrzewania w rurociągu powrotnym [oC]

**tzśr1** - średnia temperatura zewnętrzna w okresie ogrzewania [0C]

**tzśr2** - średnia temperatura zewnętrzna poza okresem ogrzewania [0C]

**ts** - temperatura na zewnątrz rurociągu

W przypadku, gdy rurociąg położony jest w gruncie ts = 8 [oC].

W przypadku rurociągów napowietrznych ts = tzśr1 (w okresie grzewczym) i ts =tzśr2 (poza okresem grzewczym).

W przypadku rurociągów umieszczonych w kanałach ts zależy od nominalnych temperatur sieci, a jej wartość można odczytać w tabeli1.

**u** - współczynnik strat ciepła, charakteryzujący rurociąg [W/mK] wyznaczony wg wzoru 8; wartości u0 - uwzględniające średnicę rurociągu z tabeli 2 i wartości a - uwzględniające pogorszenie się stanu izolacji rurociągu w wyniku jej starzenia, z tabeli 3.

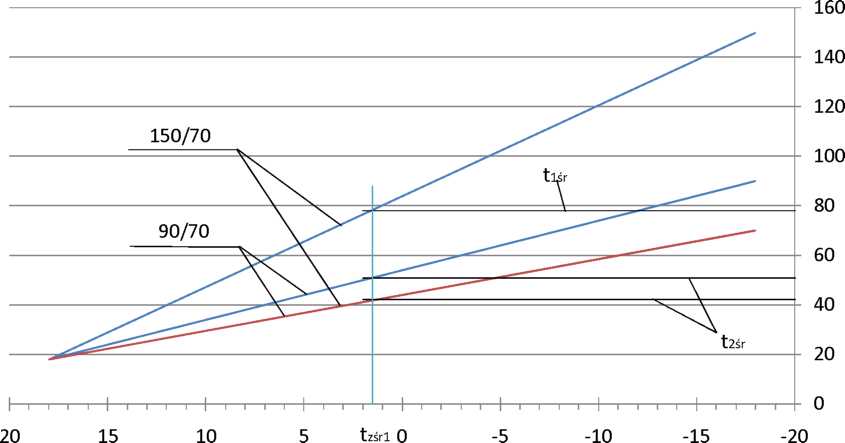
Tabela 1. Temperatura powietrza (ts) w kanałach nieprzechodnich sieci cieplnych (wg PN-85/B-02421)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dnom rurociągu | Maksymalne obliczeniowe temperatury czynnika (zasilanie/powrót) | | | | |
| Mm | 180/70 | 150/70 | 130/70 | 110/70 | 90-95/70 |
| do 50 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| 65-150 | 21 | 19 | 17 | 16 | 15 |
| 200-350 | 28 | 25 | 23 | 21 | 19 |
| 400-600 | 33 | 29 | 27 | 25 | 22 |
| 700-900 | 36 | 33 | 30 | 27 | 24 |
| 1000-1400 | 39 | 35 | 32 | 29 | 25 |

Temperatura wody sieciowej w st. C

Rys.1. Przykładowy wykres regulacyjny sieci wysokoparametrowej (150/70)

i niskoparametrowej (90/70)



Temperatura zewnętrzna, 0C

Straty ciepła w sieci poza sezonem grzewczym:

El = 10-5 × 8,64 × qi × Li × (365 - Ds) [GJ/rok] ( 6 )

**ql**  średnie jednostkowe straty w sieci poza sezonem grzewczym [W/m] wyznacza się ze wzoru 7 podobnego do wzoru 5,

**Li** - długość odcinka sieci; w przypadku, gdy odcinek sieci wyposażony jest w armaturę, jego długość należy odpowiednio zwiększyć zgodnie z ogólnymi zasadami obliczania strat rurociągów, [m]

**Ds** - liczba dni trwania sezonu grzewczego [dni]

ql = u × (110 - 2 ts) ( 7 )

Współczynnik strat ciepła (u) wyznacza się w następujący sposób:

u = a × u0 ( 8 )

**a** - wskaźnik pogorszenia izolacji

Tabela 2. Współczynnik strat ciepła w rurociągu (przed modernizacją)

|  |  |
| --- | --- |
| **2xD**nom **rurociągu** | **Współczynnik strat ciepła (u**0**)** |
| **[mm]** | **[W/mK]** |
| **20** | **0,2624** |
| **25** | **0,2909** |
| **32** | **0,3364** |
| **40** | **0,3481** |
| **50** | **0,3767** |
| **65** | **0,4453** |
| **80** | **0,4829** |
| **100** | **0,5269** |
| **125** | **0,5770** |
| **150** | **0,6209** |
| **200** | **0,7496** |
| **250** | **0,8409** |
| **300** | **0,9948** |
| **350** | **1,0299** |
| **400** | **1,1939** |
| **450** | **1,3100** |
| **500** | **1,3700** |

Tabela 3. Wskaźnik (a) pogorszenia izolacji rurociągu (przed modernizacją)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Wskaźnik**  **pogorszenia**  **izolacji** | **Liczba lat eksploatacji rurociągu** | | | | | |
| **0-5** | **6-10** | **11-15** | **16-20** | **21-25** | **powyżej 25** |
| **A** | **1** | **1,2** | **1,4** | **1,6** | **1,75** | **1,85** |

## Obliczenie strat ciepła spowodowanych nieszczelnością sieci:

W celu obliczenia strat ciepła spowodowanych nieszczelnością sieci należy skorzystać z następującego wzoru:

En= 3,26 × Li × Dwn2×vs × (t1śr + t2śr - 24) × 10-9 [GJ/rok] ( 9 )

**Dwn** - wewnętrzna średnica rurociągu w [mm]

**vs** - stosunek rocznych ubytków wody w sieci do wielkości zładu

**UWAGA:**

**W celu obliczenia strat ciepła po modernizacji należy skorzystać z tych samych reguł, które zostały zastosowane przy wyliczaniu strat przed modernizacją (wzory 3,4,5,6,7), z tą różnicą, że współczynnik strat ciepła (u) zamiast z tabeli 2, należy uzyskać od dostawcy rur preizolowanych. Straty nieszczelności przyjmuje się zerowe.**

**W celu obliczenia zmniejszenia strat ciepła w procentach w wyniku wymiany rur tradycyjnych na preizolowane należy skorzystać ze wzoru:**

O=(∆E/E1) × 100% ( 10 )

## Przykład:

Obliczenie zmniejszenia strat ciepła uzyskane w wyniku modernizacji, polegającej na wymianie 500 m podwójnego rurociągu o średnicy nominalnej 300 mm umieszczonego w kanale na rurociąg preizolowany o średnicy nominalnej 200 mm umieszczony w gruncie.

1. **Dane ogólne:**

Na podstawie danych zachowanych w przedsiębiorstwie, należy określić następujące średnie wieloletnie (5-letnie) dane potrzebne w dalszych obliczeniach:

* liczba dni trwania okresu grzewczego Ds = 255 [dni]
* średnia temperatura zewnętrzna w okresie ogrzewania tzśr1 = 1,5 [0C]

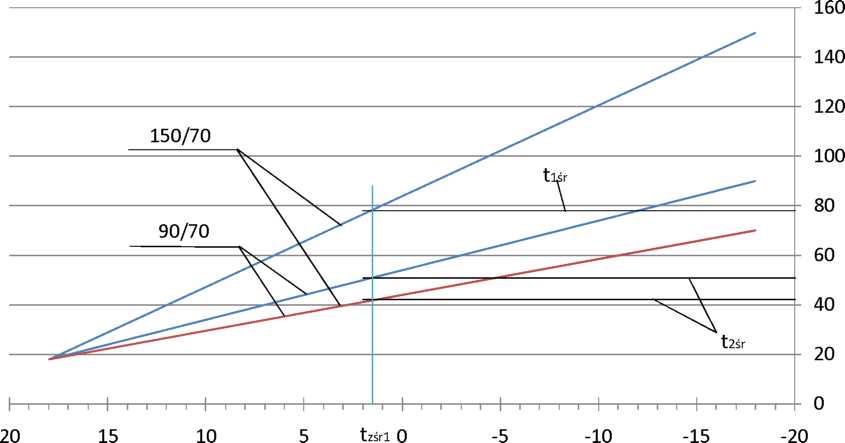
Należy skorzystać z wykresu regulacyjnego, w celu wyznaczenia temperatur t1śr i t2śr na podstawie tzśr1

Na podstawie poniższego wykresu - dla tzśr1 = 1,5 0C:

* średnia temperatura wody w okresie ogrzewania w rurociągu zasilającym  
  t1śr = 78,5 0C,

Rys.1. Przykładowy wykres regulacyjny sieci wysokoparametrowej (150/70)

i niskoparametrowej (90/70)



Temperatura zewnętrzna, 0C

* średnia temperatura wody w okresie ogrzewania w rurociągu powrotnym t2śr = 420C.

Temperatura wody sieciowej w st. C

**Dane rurociągu wymienianego:**

* długość wymienianego odcinka sieci, Li = 500m
* średnica zewnętrzna rurociągu Dzw = 323,9 mm (co odpowiada Dnom = 300 mm)
* Dwn = 312,7 mm
* czas pracy rurociągu - 23 lata
* a = 1,75 (tabela 3)
* pojemność zładu (całej sieci) Vs = 12 000 m3
* ilość uzupełnianej wody Vu = 38 400 m3
* vs = 38400/12000 = 3,2
* temperatura w kanale ts = 25 0C (tabela 1)
* u0 = 0,9948 W/m K (tabela 2)

1. **Dane rurociągu preizolowanego**:

* średnica zewnętrzna rurociągu Dzw = 219,1 mm, co odpowiada Dnom = 200 mm
* średnica wewnętrzna rurociągu Dwn = 210,1 mm
* u =u0= 0,425 W/m K (przyjęto rurociąg firmy L0gst0r produkowany metodą ciągłą, w izolacji standardowej).

1. **Obliczenia:**

**Straty ciepła przed modernizacją**

**Jednostkowe straty ciepła w okresie ogrzewania przed modernizacją (wg wzorów 5,8):**

qs = u × (t1śr + t2śr - 2ts) = 0,9948 × 1,75 × (78,5 + 42 – 2 × 25) = **122,73 W/m**

**Jednostkowe straty ciepła poza okresem ogrzewania przed modernizacją (wg wzorów 7,8):**

ql = u × (110 - 2ts) = 0,9948 × 1,75 × (110 – 2 × 25) = **104,45 W/m**

**Straty ciepła w całym roku (wg wzorów 3,4,6):**

Eq = Es+ El = 10-5 × 8,64 × Li × (Ds × qs + (365-Ds) × ql) =10-5×8,64×500×(255×122,73+

110×104,45) = **1848,34 GJ/rok**

**Roczne straty ciepła spowodowane nieszczelnością (wg wzoru 9):**

En=3,26×Li ×Dwn2×vs ×(t1śr +t2śr - 24)=3,26**×**500**×**210,12 **×**3,2**×**(78,5+42-24)**×**10-9 = **22,22 GJ/rok**

**Suma rocznych strat ciepła w rurociągu przed modernizacją(wg wzoru 2):**

E1 = Eq + En = 1848,34 +22,22 = **1870,56 GJ/rok**

**Straty ciepła po modernizacji**

**Jednostkowe straty ciepła w okresie ogrzewania po modernizacji (wg wzoru 5):**

qs = u × (t1śr + t2śr - 2ts) = 0,425 **×** (78,5 + 42 - 2×8) = **44,41 W/m**

**Jednostkowe straty ciepła w okresie ogrzewania po modernizacji (wg wzoru 7):**

ql = u × (110 - 2ts) = 0,425×(110 - 2×8) = **39,95 W/m**

**Straty ciepła w całym roku po modernizacji (wg wzorów 3,4,6):**

E2 = Eq = Es + El = 10-5×8,64 **×** Li **×** (Ds × qs + (365-Ds) × ql) =10-5 × 8,64 × 500 × (255 × 44,41 + 110 × 39,95) = **679,06 GJ/rok**

**Zmniejszenie rocznych strat ciepła w wyniku modernizacji, polegającej na wymianie rurociągu ciepłowniczego ułożonego w kanale, na rurociąg preizolowany o mniejszej średnicy:**

**∆E = E1 - E2 = 1870,56 - 679,06 = 1191,50 [GJ/rok]**

Udział oszczędności [%]

**O=(∆E/E1) × 100% = (1191,50/1870,56) × 100% = 64 %**

# METODYKA SZACOWANIA ZMNIEJSZENIA STRAT CIEPŁA (węzły)

Na etapie prac modernizacyjnych prowadzonych w sieciach cieplnych najczęstszym przypadkiem poza wymianą rurociągów na preizolowane jest wymiana nieefektywnych węzłów cieplnych. Dotyczy to w szczególności wymiany węzłów grupowych na indywidualne oraz węzłów bezpośrednich (hydroelewatorowych) na wymiennikowe. Najważniejsze przyczyny wymiany lub modernizacji węzłów to:

* **względy techniczne** - zużycie techniczne, niewystarczająca funkcjonalność (ograniczona możliwość sterowania i regulacji lub wręcz jej brak), konieczność zmniejszenia zajmowanej powierzchni itp.;
* **względy ekonomiczne** - ograniczenie strat ciepła i strat nośnika ciepła (wody grzewczej), ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez węzeł cieplny, zmniejszenie liczby osób zatrudnionych do obsługi węzłów itp.;
* realizacja wymienionych wyżej zmian, przynosi za sobą na ogół efekty **ekologiczn**e sprowadzające się do zmniejszenia zapotrzebowania na energię (ciepło).

Zasadniczym celem jaki jest brany pod uwagę w rankingu projektów efekt ekologiczny (oszczędność zużycia ciepła) osiągnięty po ich wdrożeniu. Dlatego tylko ten aspekt modernizacji i wymian węzłów będzie dalej omawiany.

* Zmniejszenie strat ciepła w węźle w wyniku zwiększenia j ego sprawności,
* Zmniejszenie strat ciepła w rurociągach, które wymieniono z powodu wymiany węzła (np. przy wymianie węzłów grupowych na indywidualne),
* Zmniejszenie zużycia ciepła przez odbiorców (efekt wprowadzenia regulacji).

Przystępując zatem do szacowania efektów ekologicznych jakie będą uzyskane w wyniku realizacji projektu polegającego na wymianie węzłów, należy określić, które z trzech wyżej wymienionych składowych, złożą się na efekt końcowy.

**Sposób oszacowania każdego z powyższych efektów, podany został poniżej**.

## Zmniejszenie strat ciepła w węźle w wyniku zwiększenia jego sprawności

### Założenia

W rachunku szacowania strat nie ma rozgraniczenia na węzły cieplne jednofunkcyjne i dwufunkcyjne.

Metoda pozwala na uwzględnienie wszystkich możliwych do wykonania zakresów modernizacji węzła cieplnego. W szczególności wyodrębniono następujące zakresy podlegające modernizacji:

* wymiana wymiennika ciepła,
* wymiana układu pompowego,
* zmiana sposobu zabezpieczenia węzła cieplnego (zamknięcie układu),
* wymiana automatyki pogodowej,
* wymiana całego węzła wymiennikowego.

Metoda, pozwalając na przyjmowanie przez każdego beneficjenta wskaźnika wykorzystania zamówionej mocy cieplnej, daje możliwość uwzględnienia wpływu:

* czynników związanych z lokalizacją systemu ciepłowniczego, którego elementem jest węzeł cieplny, w kraju (wpływ temperatur),
* wyposażenia oraz stanu technicznego danego węzła,
* charakteru odbioru ciepła (przemysł, mieszkalnictwo).

## Ustalenie danych dotyczących okresu przed modernizacją

Na podstawie istniejącego wyposażenia węzła cieplnego, dla danego węzła cieplnego, beneficjent określa aktualną sprawność węzła. Wielkość sprawności przetwarzania w istniejących węzłach cieplnych określono w Tabeli 1.

Wielkość zapotrzebowania mocy [MW] dla c.o. (w przypadku węzłów jednofunkcyjnych) lub dla c.o. i c.w.u. (w przypadku węzłów dwufunkcyjnych) zostaje wyznaczona na podstawie umów sprzedaży ciepła zawartych z odbiorcami ciepła.

W oparciu o określoną powyżej wielkość zapotrzebowania mocy wyliczane jest roczne zapotrzebowanie ciepła brutto i netto [GJ/a].

Do obliczeń stosować należy wzory:

***E1netto = Q*** × wnśr

gdzie:

E1netto - roczna wielkość zapotrzebowania ciepła netto (odbiorcy) przed modernizacją w GJ/rok

Q - moc zamówiona przez odbiorców (na podstawie zawartych umów sprzedaży ciepła) w roku przed modernizacją, w MW

wnśr - średni wskaźnik wykorzystania zamówionej mocy cieplnej[[1]](#footnote-1), ustalony jako średnia arytmetyczna z okresu ostatnich 5 lat kalendarzowych lub z faktycznego okresu prowadzenia działalności przez przedsiębiorstwo energetyczne, gdy okres ten jest krótszy niż 5 lat, w GJ/MW/rok.

***E1brutto = Einetto / η1***

gdzie:

η1 - sprawność węzła cieplnego przed modernizacją (wg Tabeli 1)

E1brutto - wielkość zapotrzebowania ciepła brutto przed modernizacją, w GJ/rok.

Straty ciepła w węźle przed modernizacją:

S1 ***= E1brutto*** — ***E1netto***

## Ustalenie danych dotyczących okresu po modernizacji (po zrealizowaniu projektu)

Na podstawie planowanego do wykonania zakresu rzeczowego modernizacji oraz parametrów technicznych urządzeń zastosowanych przy modernizacji (wynikających z dokumentacji technicznej) beneficjent szacuje planowaną sprawność węzła cieplnego. Wielkość sprawności przetwarzania w węzłach cieplnych po modernizacji określono w Tabeli 1.

Wielkości zapotrzebowania mocy oraz zapotrzebowania ciepła netto (odbiorcy) po wykonaniu modernizacji pozostawia się na dotychczasowym poziomie. Założenie to wynika z faktu, że projekt winien wskazać na oszczędności, które uzyska beneficjent. Ewentualne działania odbiorców zmierzające do oszczędności energii cieplnej są pomijane, jako że nie są one wynikiem działań modernizacyjnych beneficjenta.

Przy założeniach jak w pkt. 2.1. dla planowanej sprawności węzła, dokonuje się obliczenia wielkości zapotrzebowania ciepła brutto.

Tabela 1. Sprawność przetwarzania w węzłach wymiennikowych i hydroelewatorowych

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Sprawność | węzłów |
| Lp. | Zakres wyposażenia węzła | Węzeł grupowy  [ % ] | Węzeł indywidualny  [ % ] |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Węzeł nowy następująco wyposażony: wymienniki płytowe, pompy z płynną regulacją obrotów, automatyka pogodowa, układ zamknięty wyposażony w przeponowe naczynia wzbiorcze | 96 | 98 |
| 2 | Węzeł istniejący:  wymienniki inne niż płytowe (WCO, JAD), pompy z płynną regulacją obrotów, automatyka pogodowa, układ zamknięty wyposażony w przeponowe naczynie wzbiorcze | 95 | 97 |
| 3 | Węzeł istniejący:  wymienniki płytowe, pompy z płynną regulacją obrotów, automatyka pogodowa, układ otwarty lub zamknięty bez przeponowych naczyń wzbiorczych | 95 | 97 |
| 4 | Węzeł istniejący:  wymienniki płytowe, pompy starszego typu bez płynnej regulacji obrotów, automatyka pogodowa, układ zamknięty wyposażony w przeponowe naczynia wzbiorcze | 95,5 | 97,5 |
| 5 | Węzeł istniejący:  wymienniki inne niż płytowe (WCO, JAD), pompy starszego typu bez płynnej regulacji, automatyka pogodowa, układ zamknięty wyposażony w przeponowe naczynia wzbiorcze | 94**,**5 | 96,5 |
| 6 | Węzeł istniejący:  wymienniki inne niż płytowe (WCO, JAD), pompy z płynną regulacją obrotów, automatyka pogodowa, układ otwarty lub zamknięty bez przeponowych naczyń wzbiorczych | 94 | 96 |
| 7 | Węzeł istniejący:  wymienniki inne niż płytowe (WCO, JAD), pompy starszego typu bez płynnej regulacji obrotów, automatyka pogodowa, układ otwarty lub zamknięty bez przeponowych naczyń wzbiorczych | 93,5 | 95,5 |
| 8 | Węzeł istniejący: Hydroelewator | 95 | 97 |

Do obliczeń stosować należy wzór:

***E2brutto = E1netto***/ ***η2***

gdzie:

η2 - sprawność węzła cieplnego po modernizacji (wg Tabeli 1)

E2brutto - wielkość zapotrzebowania ciepła brutto po modernizacji

## Szacowanie redukcji strat ciepła w wyniku realizacji projektu

W celu obliczenia redukcji strat ciepła z tytułu modernizacji węzła cieplnego w procentach należy skorzystać ze wzoru:

***O = (∆Ebrutto/S1)*** × ***100%***

gdzie:

***∆Ebrutto = E1brutto − E2brutto***

## Przykład

Obliczanie zmniejszenia strat ciepła w wyniku modernizacji węzła cieplnego, polegającej na zmianie sposobu zabezpieczenia węzła cieplnego poprzez zamknięcie układu.

Istniejący węzeł cieplny wyposażony jest w wymienniki płytowe, pompy z płynną regulacją obrotów, automatykę pogodową oraz układ zamknięty bez przeponowych naczyń wzbiorczych.

1. Dane:

* wielkość zapotrzebowania mocy węzła cieplnego (zgodnie z umowami zawartymi z odbiorcami ciepła) Q = 3,647 MW,
* wskaźnik wykorzystania zamówionej mocy cieplnej wn = 5 800 GJ/MW/a, ustalony przez beneficjenta jako średnia arytmetyczna z okresu ostatnich 5 lat (dla całej firmy),
* sprawność przetwarzania węzła cieplnego przed modernizacją η1 = 95% (wg Tabeli nr 1, wiersz 3, kolumna 3),
* sprawność przetwarzania węzła cieplnego po modernizacji η2 = 96% (wg Tabeli nr 1, wiersz 1, kolumna 3).

1. Obliczenia:

* wielkość zapotrzebowania ciepła netto przed modernizacją

E1netto = Q × wn = 3,647 × 5 800 = 21 153 GJ/a

* wielkość zapotrzebowania ciepła brutto przed modernizacją

E1brutto = E1netto / η1 = 21 153 / 0,95 = 22 266 GJ/a

* wielkość strat ciepła w węźle przed modernizacją:

***S1= E1brutto*** – ***E1netto*** =22 266 - 21 153 =1 113

* wielkość zapotrzebowania ciepła brutto po modernizacji

E2brutto = E1netto / η2 = 21 153 / 0,96 = 22 034 GJ/a

* wielkość redukcji strat ciepła w roku w wyniku modernizacji węzła cieplnego

∆E brutto = E1brutto − E2brutto = 22 266 GJ/a − 22 034 GJ/a  = 232 GJ/a

* wielkość redukcji strat ciepła w procentach

O = ∆Ebrutto / S1 • 100% = 232 / 1 113 × 100% = 20,8%

### Zmniejszenie strat ciepła w rurociągach

Sposób postępowania przy szacowaniu strat ciepła w rurociągach, które będą wymienione w konsekwencji wymiany węzła, została szczegółowo opisana w części ***Sposób szacowania zmniejszenia strat ciepła (sieci)***

### Zmniejszenie zużycia ciepła przez odbiorców (efekt wprowadzenia regulacji)

Prezentowana metoda opisuje sposób szacowania oszczędności energii jakie pojawią się po zautomatyzowaniu węzła cieplnego. Założono przy tym, że przed modernizacją w węźle nie było automatyki reagującej na temperaturę zewnętrzną np. automatyki pogodowej i wprowadzono ją dopiero w wyniku modernizacji. W rozległych systemach cieplnych zasilanych ze źródeł zdalczynnych warunki pogodowe zmieniają się szybciej niż wynosi inercja systemu. Czas dopływu wody grzejnej do najbardziej oddalonego obiektu dochodzi do kilku godzin. W związku z tym zdarza się, że dopływająca do węzła woda grzewcza ma temperaturę inną niż wynikałoby to z tabel temperatur. Po zautomatyzowaniu węzeł cieplny będzie ewentualny nadmiar lub niedobór temperatury regulował odpowiednią zmianą przepływu utrzymując przy tym temperaturę powrotną na poziomie zadanym zgodnie z tabelą regulacyjną. Oszacowanie poziomu oszczędności przeprowadzono analizując zarejestrowane dane godzinowe temperatur zasilania i powietrza zewnętrznego w minionym sezonie grzewczym.

### Założenia

Poniższe założenia są przede wszystkim uproszczeniami mającymi na celu uczynienie metody oceny łatwiejszej w stosowaniu.

* + - Oszczędności mogą być generowane wówczas, gdy rzeczywista temperatura zasilania (Tz) jest wyższa od temperatury zasilania wymaganej tabelą regulacyjną (tz). W sezonie grzewczym występuje (x) takich godzin.
    - W niezautomatyzowanym węźle cieplnym występuje stały przepływ czynnika grzewczego (regulacja jakościowa) G = const.
    - Rozważono dwa skrajne przypadki zachowania się niezautomatyzowanego węzła cieplnego wraz z instalacją co i porównano je z zachowaniem węzła wyposażonego w automatykę pogodową.

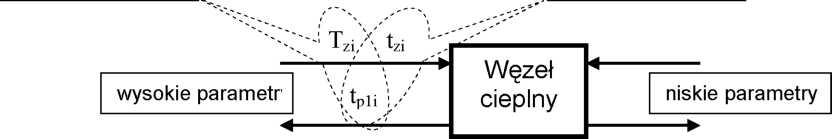
### Dane

PRZYPADEK 1

Przy założeniu stałej temperatury wewnętrznej, nadmiar energii cieplnej dostarczonej do obiektu będzie odprowadzony za pomocą „otwarcia okien”. Temperatura powrotu do sieci cieplnej będzie zgodna z tabelą temperatur dla aktualnej temperatury zewnętrznej i wyniesie tp1 gdzie tp1= f (tzewn).

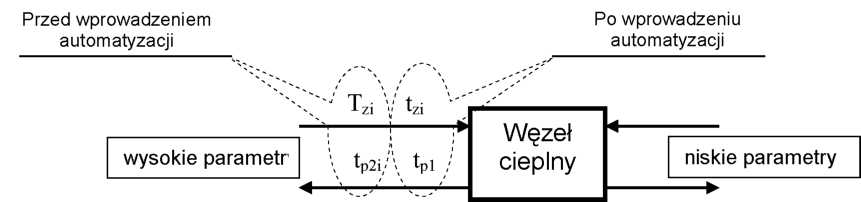
Przed wprowadzeniem Po wprowadzeniu

automatyzacji automatyzacji



**Rys.1. Temperatury wody sieciowej w węźle dla przypadku 1.**

PRZYPADEK 2



**Rys.2. Temperatury wody sieciowej w węźle dla przypadku 2.**

Przy założeniu podwyższenia temperatury wewnętrznej (okna zamknięte) temperatura powrotu do sieci cieplnej również będzie zawyżona i będzie pozostawać w relacji do aktualnej temperatury zasilania Tz i wyniesie tp2 gdzie tp2 = rel (Tz)

### Obliczenia

Ciepło (w kJ) oddane w węźle oblicza się wg wzoru (ogólnego)

E = G × *τ × 1,163 (tz - tp)*

gdzie:

G - natężenie przepływu wody, [t/h]

τ- czas, [s]

tz - temperatura wody - zasilanie, [ 0C] tp - temperatura wody - powrót, [ 0C]

Podstawiając *A = G × τ × 1,163* otrzymuje się *E = A (tz - tp)*

PRZYPADEK 1.

* ciepło dostarczane z wodą grzewczą w czasie τ(równa energii przekazywanej przez węzeł niezautomatyzowany)

*Ed1 = A × (Tz - tp1)*

* ciepło odbierane (przekazywane instalacji przez węzeł wyposażony w automatykę pogodową)

*Eo1 = A × (tz - tp1)*

* ciepło zaoszczędzone w wyniku automatyzacji węzła

*∆Eosz1 = Ed1− Eo1*

po podstawieniu i po uproszczeniu

*∆Eosz1 = A × (Tz - tz)*

oszczędności (w %) odniesione do ilości ciepła przed zautomatyzowaniem węzła



czyli

(1)

**

Oszczędności obliczone zgodnie ze wzorem (1) dotyczą jednej godziny ogrzewania, podczas której Tz > tz .

Jeśli przyjąć, że takich godzin jest w sezonie grzewczym x, a cały sezon trwa n godzin, wówczas suma korzyści w ciągu sezonu grzewczego (roku) wyniesie:

(2)



gdzie:

x - liczba godzin w sezonie grzewczym dla których Tz > tz

n - liczba wszystkich godzin w sezonie grzewczym

Tzi - rzeczywista godzinowa temperatura zasilania w źródle ciepła

tzi - tabelaryczna godzinowa temperatura zasilania w węźle cieplnym

tp1i - tabelaryczna godzinowa temperatura powrotu z węzła cieplnego odniesiona do aktualnej temperatury powietrza zewnętrznego (Tzewi)

PRZYPADEK 2.

* ciepło dostarczone z wodą grzewczą

*Ed2 = A ×(Tz- tp2)*

* ciepło odbierane (gdyby węzeł był zautomatyzowany)

*Eo2 = A × (tz - tpi)*

* ciepło zaoszczędzone w wyniku automatyzacji węzła

*∆Eosz2 = Ed2 × Eo2*

po podstawieniu

∆*Eosz2 = A × (Tz - tp2)− A × (tz - tpi)*

oszczędności (w %) odniesione do ilości ciepła przed zautomatyzowaniem węzła



czyli

(3)



Oszczędności obliczone zgodnie ze wzorem (3) dotyczą jednej godziny ogrzewania, podczas której Tz > tz .

Jeśli przyjąć, że takich godzin jest w sezonie grzewczym x, a cały sezon trwa n godzin, wówczas suma korzyści w ciągu sezonu grzewczym (roku) wyniesie:

(4)



gdzie:

x - liczba godzin w sezonie grzewczym dla których Tzi > tzi , n - liczba wszystkich godzin w sezonie grzewczym,

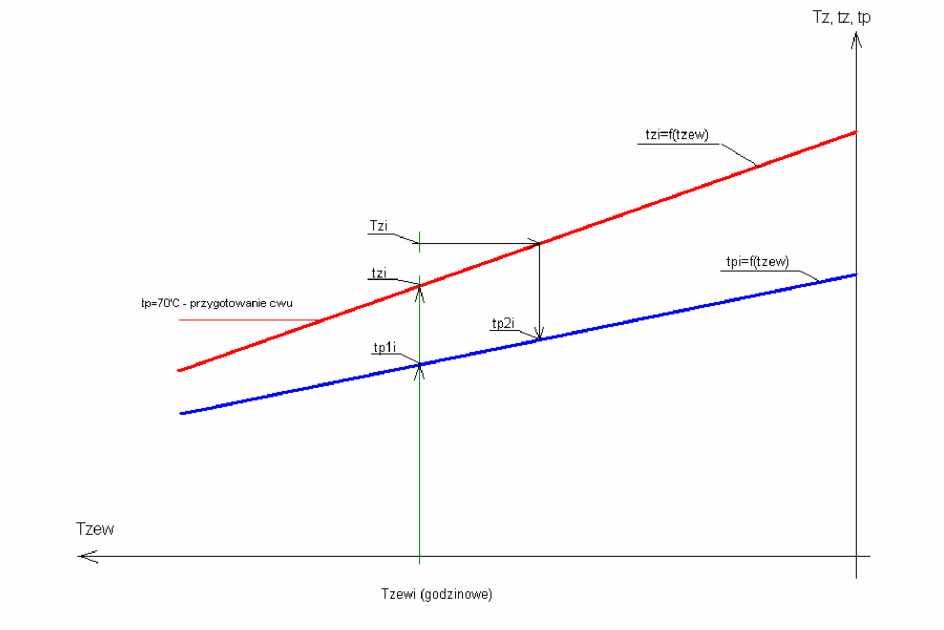
Tzi, tzi, tp1i - jak dla przypadku 1,

tp2i - tabelaryczna godzinowa temperatura powrotu w węźle cieplnym odniesiona do aktualnej temperatury zasilania z sieci cieplnej (Tzi).

UWAGA!

Do określania tzi, tp1i, tp2i należy użyć tabeli regulacyjnej dla wymiennikowego węzła cieplnego nieuwzględniającej załamania wykresu regulacyjnego spowodowanego koniecznością wytworzenia ciepłej wody użytkowej.

Rys.3. Wykres regulacyjny - objaśnienie użytych symboli



Przy założeniu, że w budynku, w którym zautomatyzowano węzeł stosunek przypadków 1 rodzaju do przypadków 2 rodzaju wynosi 25:75, oszczędności uzyskane w sezonie grzewczym oblicza się wg wzoru.

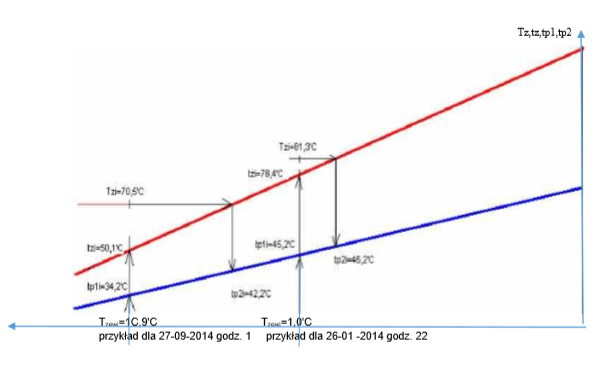
(5)

***Uosz = 0,25 ×Uosz1 + 0,75Uosz2***

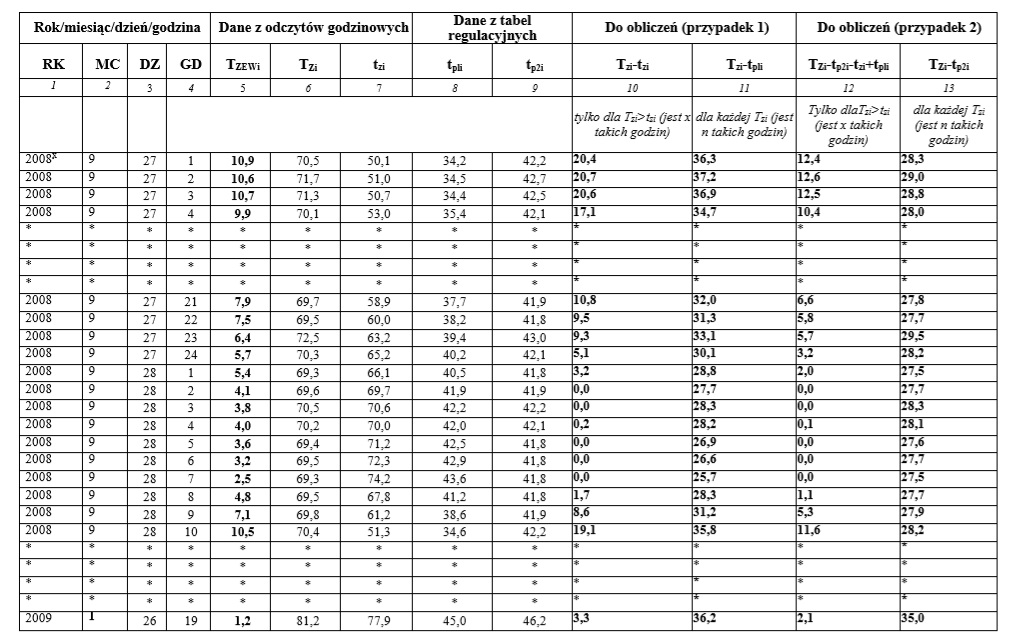
**Przykład obliczeniowy**

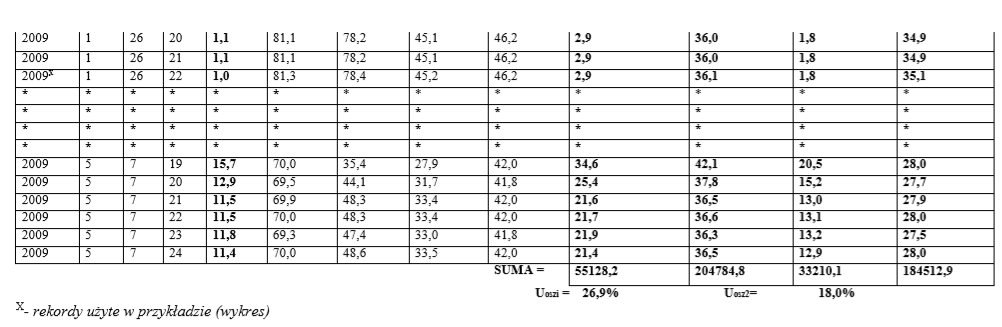
Dane o:

* wysokości godzinowej temperatury powietrza zewnętrznego zapisujemy w kol. 5 oznaczonej jako (Tzewi)
* rzeczywistej godzinowej temperatury czynnika grzewczego na zasilaniu w źródle ciepła zapisujemy w kol. 6 oznaczonej jako (Tzi)
* tabelarycznej godzinowej temperatury czynnika grzewczego na zasilaniu odniesionej do aktualnej godzinowej temperatury powietrza zewnętrznego z kol. 5 zapisujemy w kol. 7 oznaczonej jako (tzi)
* tabelarycznej godzinowej temperatury czynnika grzewczego na powrocie odniesionej do aktualnej w danej godzinie temperatury powietrza zewnętrznego z kol. 5 zapisujemy w kol. 8 oznaczonej jako (tpJi)
* tabelarycznej godzinowej temperatury czynnika grzewczego na powrocie odniesionej do aktualnej w danej godzinie temperatury czynnika grzewczego na zasilaniu w źródle ciepła z kol. 6 zapisujemy w kol. 9 oznaczonej jako (tp2i),



* W kolumnie 10 wpisujemy wyniki różnicy (Tzi-tzi) z zastrzeżeniem, że jeżeli (Tzitzi)>0, wpisujemy wynik różnicy (Tzi-tzi), natomiast jeżeli (Tzi-tzi) <= 0, wpisujemy wartość 0.
* W kolumnie 11 wpisujemy wyniki różnicy (Tzi-tpJi).
* Kolumny 10 i 11 posłużą nam do obliczenia przypadku 1.
* W kolumnie 12 wpisujemy wyniki zależności (Tzi-tp2i-tzi+tpii) z zastrzeżeniem, że jeżeli (Tzi-tzi) > 0, wpisujemy wynik zależności (Tzi-tp2i-tzi+tp1i), natomiast jeżeli (Tzi-tzi) <= 0, wpisujemy wartość 0.
* W kolumnie 13 wpisujemy wyniki różnicy (Tzi-tp2i).
* Kolumny 12 i 13 posłużą nam do obliczenia przypadku 2.
* Udział oszczędności dla przypadku 1 (Uosz1) obliczono jako iloraz sumy wartości z kolumny 10 i sumy wartości z kolumny 11 wyrażone w procentach (realizacja wzoru 2)
* Udział oszczędności dla przypadku 2 (Uosz2) obliczono jako iloraz sumy wartości z kolumny 12 i sumy wartości z kolumny 13 wyrażone w procentach (realizacja wzoru 4).





Przy założeniu, że w budynkach, w których zautomatyzowano węzły stosunek przypadków 1 rodzaju do przypadków 2 rodzaju wynosi 25:75, w sezonie grzewczym uzyskano średni wynik oszczędności na poziomie 20,2% albowiem:

**Uosz = 0,25 × Uos,. + 0,75 × UOSZ2**

**Uosz = 0,25 × 26,9% +0,75 × 18,0% = 20,2%**

1. wskaźnik wykorzystania zamówionej mocy cieplnej to stosunek ilości sprzedanego ciepła i zamówionej mocy cieplnej w roku [↑](#footnote-ref-1)