

Dr inż. Anna Życzyńska

Katedra Konserwacji Zabytków
Wydział Budownictwa i Architektury
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka nr 40, 20-816 Lublin, Polska
E-mail: a.zyczynska@pollub.pl

Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla miejskiego systemu ciepłowniczego ze źródłem ciepła pracującym w skojarzeniu

Słowa kluczowe: energia pierwotna, współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej, energia końcowa, kogeneracja, system ciepłowniczy, źródło ciepła

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę określania współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w oparciu o dyrektywy UE oraz przepisy krajowe. Na podstawie rzeczywistych pomiarów uzyskanych podczas eksploatacji układu i przekazanych przez producentów i dystrybutora ciepła, przeprowadzono obliczenia w/w współczynnika dla wybranego miejskiego systemu ciepłowniczego. Analizę wykonano dla kilku wariantów i objęto nią okres czterech lat tj. od 2008 r. do 2011 r. Wyniki otrzymane w warunkach eksploatacyjnych zostały porównane z wartościami obowiązującymi do stosowania w obliczeniach.

1. Wprowadzenie

Jednym z celów polityki energetycznej wielu państw jest ograniczenie zużycia energii, a tym samym emisji CO₂ do atmosfery. Dużą rolę w tym zakresie odgrywa produkcja energii w układach kogeneracyjnych oraz prawidłowa dystrybucja energii cieplnej do odbiorcy końcowego. Kogeneracja to proces technologiczny w którym jednocześnie wytwarzana jest energia elektryczna i ciepło, w odróżnieniu od odrębnego wytwarzania energii elektrycznej w typowej elektrowni kondensacyjnej a ciepła w klasycznej ciepłowni. Dlatego obecnie dla scentralizowanych systemów ciepłowniczych określa się współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do budynku (w_i). Ze względu na wysoką wartość w_i dla energii elektrycznej ogranicza się jej udział w ogrzewaniu budynków [1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 18]. Współczynnik w_i jest wykorzystywany między innymi do wyznaczania rocznego wskaźnika obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody (oznaczany jako EP). W myśl przepisów krajowych EP jest jednym z parametrów decydującym o spełnieniu wymagań w zakresie oszczędności energii i utrzymaniu jej zużycia na racjonalnie niskim poziomie dla budynku. Współczynnik w_i stanowi o ostatecznym wyniku obliczeń charakterystyki energetycznej budynku zamieszczonej w świadectwie energetycznym. EP wyrażany jest w kWh w ciągu roku na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze [kWh/m²rok]. Jego małe wartości oznaczają niskie zapotrzebowanie budynku na energię pierwotną. Wartość EP określa się na podstawie zapotrzebowania budynku na energię użytkową oraz końcową. Wielkość energii użytkowej oblicza się przy parametrach obliczeniowych i tzw. warunkach brzegowych standardowych środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Natomiast przy obliczaniu energii końcowej uwzględnia się całkowitą sprawność układów instalacyjnych w jakie wyposażony jest budynek. Zgodnie z obowiązującymi wytycznymi UE i krajowymi przeliczanie energii końcowej na nieodnawialną energię pierwotną dokonywane jest poprzez współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej. Wobec powyższego wartość tego

współczynnika dla systemu ciepłowniczego (w_H) ma decydujący wpływ na wskaźnik EP budynku, podobnie jak współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej wynikające z wykorzystywania nośników energii takich jak węgiel, olej opałowy, gaz ziemny, energia odnawialna czy energia elektryczna.

Zgodnie z przepisami krajowymi wartość współczynnika w_i należy przyjmować z [14] lub można obliczać, posiadając informacje o systemie ciepłowniczym. W niniejszym artykule przedstawiono metodę obliczeń i uzyskane wartości współczynnika w_i jako w_H (jedynie na ogrzewanie) dla wybranego miejskiego systemu ciepłowniczego. Analizę przeprowadzono dla kilku wariantów w oparciu o rzeczywiste wyniki pomiarów za lata 2008-2011, uzyskane w warunkach eksploatacyjnych od producentów i dystrybutora ciepła. Otrzymane wartości końcowe zostały porównane z wartościami zawartymi w obowiązujących przepisach krajowych.

2. Opis Miejskiego Systemu Ciepłowniczego (MSC)

Ciepło dla potrzeb grzewczych wybranego miejskiego systemu ciepłowniczego wytwarzane jest w dwóch źródłach (oznaczono „duże” jako A i „małe” jako B), które produkują energię elektryczną i ciepło w kogeneracji, a w przypadku wzrostu zapotrzebowania na ciepło, dodatkowo w sposób konwencjonalny. Głównym odbiorcą ciepła z wyżej opisanych źródeł jest miejski system ciepłowniczy. Tylko niewielka część ciepła sprzedawana jest bezpośrednio przez producentów poza tym systemem. Schematy produkcji energii w źródle A przedstawiano na rys.1 natomiast w źródle B na rys. 2. Dystrybucja ciepła odbywa się poprzez sieć ciepłowniczą wysoko i niskoparametrową, węzły ciepłownicze indywidualne i grupowe do czterech kategorii odbiorców. Obszar zasilania podzielony jest na trzy strefy tj. zasilanie tylko przez źródło A, tylko przez źródło B oraz strefę trzecią wspólną dla obu źródeł. W 2011 r. udział źródła A w całkowitej sprzedaży ciepła do systemu ciepłowniczego wyniósł 68,1%, natomiast źródła B 31,9 % [4, 11, 19].

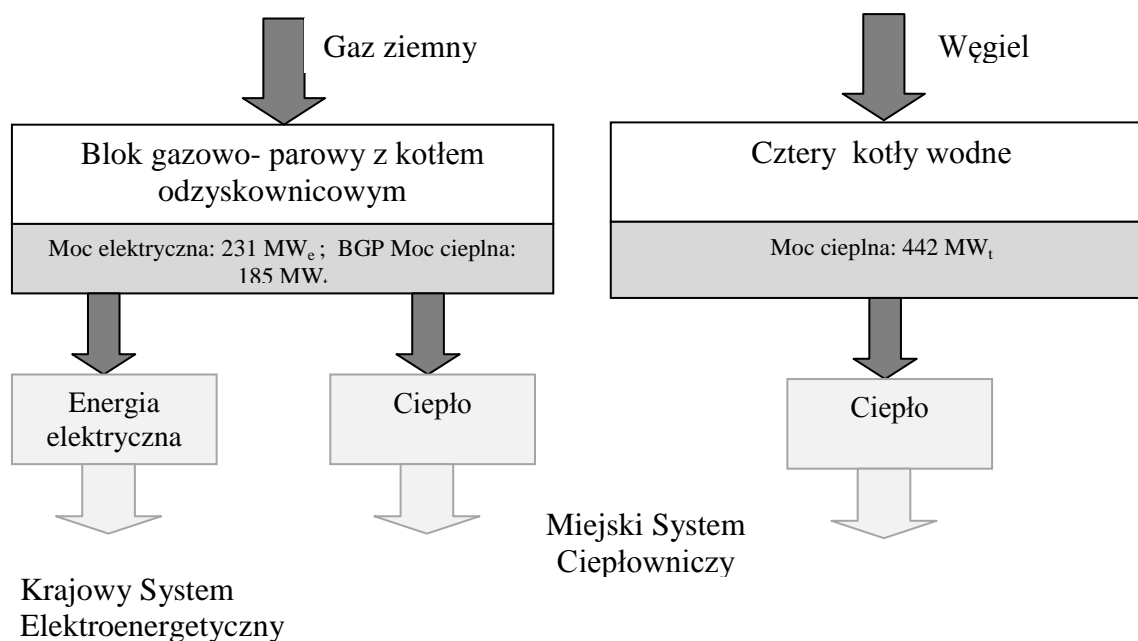
W tabeli 1 przedstawiono dane charakterystyczne dla źródła A, w tabeli 2 dla źródła B, natomiast w tabeli 3 dane dotyczące odbioru ciepła z obu źródeł za lata 2008-2011.

Tabela 1. Dane charakterystyczne dla źródła A [4,19].

Rodzaj paliwa	Parametr	2011 r.	2010 r.	2009 r.	2008 r.
Węgiel	Ilość [Mg]	21 181	47 391	20 904	20 845
	Wartość opałowa [kJ/kg]	21 531	21 077	21 273	21 330
	Energia w paliwie [GJ]	456 048	998 860	444 691	444 624
Gaz ziemny	Ilość [tys. m ³]	272 166	248 451	227 427	230 216
	Wartość opałowa [kJ/m ³]	36 132	36 116	36 099	36 217
	Energia z paliwie [GJ]	9 833 902	8 973 056	8 209 887	8 337 733
Olej opałowy (jedynie dla potrzeb własnych źródła)	Ilość [Mg]	152	219	17	32
	Wartość opałowa [kJ/kg]	40 190	40 190	40 190	40 190
	Energia w paliwie [GJ]	6 109	8 802	683	1 286
Łącznie ilość energii w paliwie [GJ]		10 296 059	9 980 718	8 655 261	8 783 643

cd. Tabela 1. Dane charakterystyczne dla źródła A [4,19].

Udział energii z paliwa	Węgiel [%]	4,43	10,01	5,14	5,06
	Gaz ziemny [%]	95,51%	89,90	94,85	94,92
	Olej opałowy [%]	0,06	0,09	0,01	0,01
Produkcja energii elektrycznej					
Sprzedaż energii [GJ]		4 435 866	4 051 645	3 728 981	3 816 270
Potrzeby własne [GJ]		44 557	56 210	23 382	37 246
Razem ilość energii [GJ]		4 480 423	4 107 856	3 752 363	3 853 516
Udział sprzedaży [%]		99,0	98,6	99,4	99,0
Udział potrzeb własnych [%]		1,0	1,4	0,6	1,0



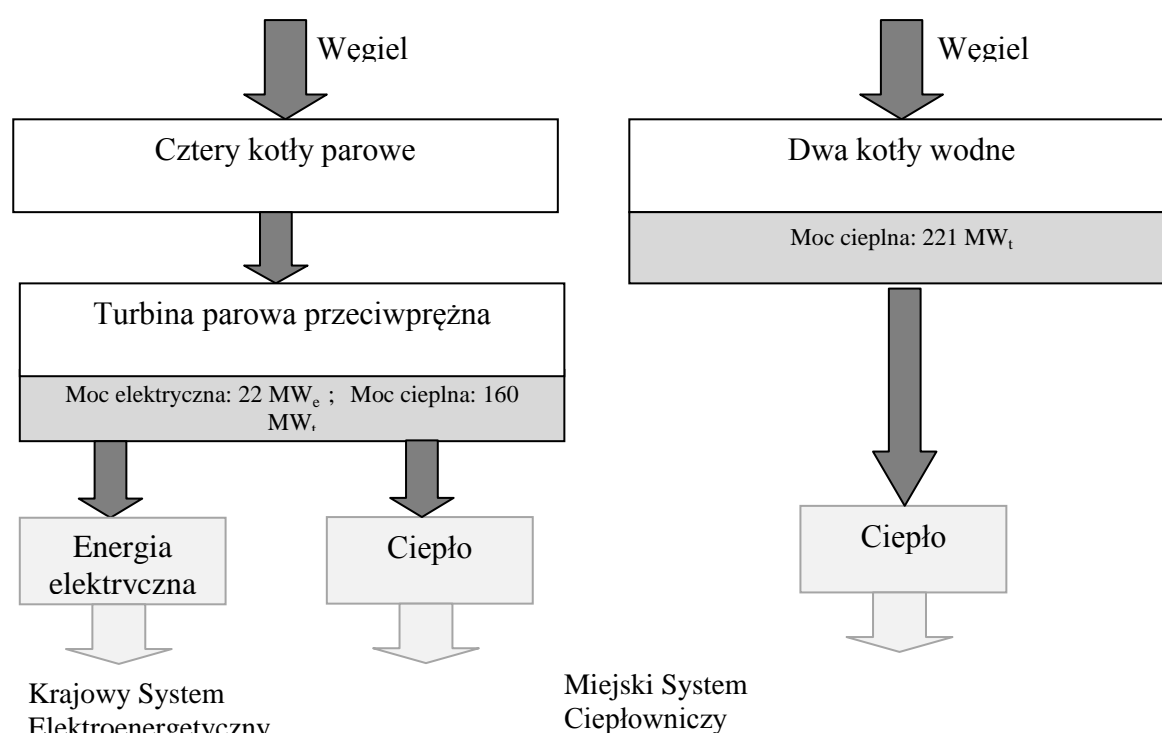
Rys.1. Schemat produkcji energii w źródle A

Tabela 2. Dane charakterystyczne dla źródła B [4, 19].

Rodzaj paliwa	Parametr	2011 r.	2010 r.	2009 r.	2008 r.
Węgiel	Ilość [Mg]	115 030	124 914	121 185	124 543
	Wartość opałowa [kJ/kg]	20 351	20 796	21 364	20 935
	Energia w paliwie [GJ]	2 340 967	2 597 718	2 588 991	2 607 300
Gaz ziemny (jedynie dla potrzeb własnych źródła)	Ilość [tys. m ³]	20,6	16,9	17,8	34,3
	Wartość opałowa [kJ/m ³]	36 742	36 585	36 423	36 093
	Energia z paliwie [GJ]	756	617	647	1 237
Łącznie ilość energii w paliwie [GJ]		2 341 723	2 598 335	2 589 638	2 608 538

cd. Tabela 2. Dane charakterystyczne dla źródła B [4, 19].

Udział energii z paliwa	Węgiel [%]	99,97	99,98	99,97	99,95
	Gaz ziemny [%]	0,03	0,02	0,03	0,05
Produkcja energii elektrycznej					
Sprzedaż energii [GJ]	250 234	269 447	257 824	264 885	
Potrzeby własne [GJ]	49 962	52 098	51 556	58 237	
Razem ilość energii [GJ]	300 196	321 545	309 380	323 122	
Udział sprzedaży [%]	83,4	83,8	83,3	82,0	
Udział potrzeb własnych [%]	16,6	16,2	16,7	18,0	



Rys.2. Schemat produkcji energii w źródle B

Tabela 3. Odbiór ciepła ze źródeł A i B [4, 19].

Odbiorca	2011 r.	2010 r.	2009 r.	2008 r.
Miejski System Ciepłowniczy (MSC) [GJ]	3 980 836	4 402 986	4 064 271	4 038 320
Źródło A [GJ] *)	172	196	191	189
Źródło B [GJ] *)	55 936	84 113	74 858	67 160
Razem ilość ciepła [GJ]	4 036 944	4 487 295	4 139 320	4 105 669
Udział MSC [%]	98,610	98,121	98,187	98,360
Udział źródło A [%] *)	0,004	0,004	0,005	0,005
Udział źródło B [%] *)	1,386	1,874	1,808	1,636

*) odbiorcy ciepła poza MSC

3. Metodyka wyznaczania współczynnika w_H

Na podstawie [7, 8] oraz założeń krajowych zgodnie z [14] przedstawionych w tabeli 4, uzyskanych informacji od producentów i dystrybutora ciepła, w celu wyznaczania w_H dla miejskiego systemu ciepłowniczego wykorzystano zależność (1) zakładając produkcję energii elektrycznej i ciepłej w skojarzeniu wg schematu zamieszczonego na rys.3.

$$w_H = \frac{\sum_i Q_{P,i} \cdot w_i - \sum_j E_{EC,j} \cdot w_{el}}{\sum_k Q_{OD,k}} \quad (1)$$

gdzie:

w_H – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla wybranego miejskiego systemu ciepłowniczego,

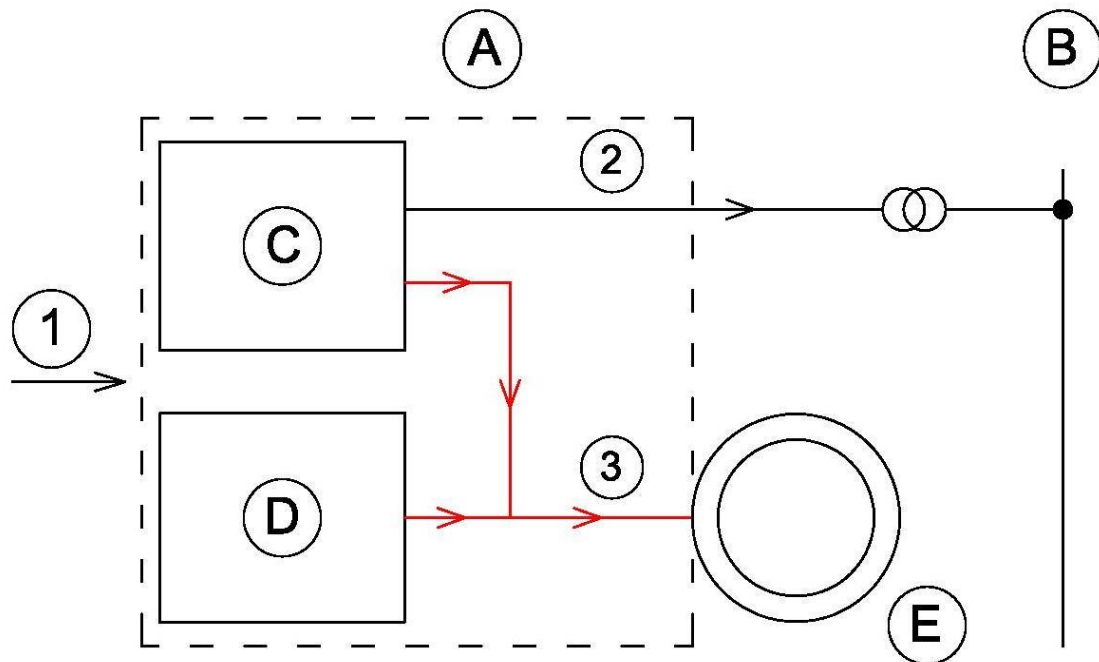
w_i – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla i-tego paliwa przyjęty wg założeń krajowych zawartych w [14]

w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla energii elektrycznej

$Q_{P,i}$ – energia dostarczona w i-tym paliwie

$E_{EC,j}$ – energia elektryczna wytworzona w j-tym źródle energii i oddana do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego oraz zużyta w źródle

$Q_{OD,k}$ – ciepło dostarczone przez miejski system ciepłowniczy do k-tego odbiorcy



Rys. 3 Schemat do metody bilansowania energii w istniejącym systemie: A – źródło ciepła i energii elektrycznej; B – sieć elektroenergetyczna; C – produkcja energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu; D – produkcja ciepła; E – odbiorcy ciepła; 1 – energia dostarczona w paliwie; 2 – energia elektryczna (sprzedana i potrzeby własne źródła); 3 – ciepło dostarczone do odbiorcy [7].

Tabela 4. Współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej wg [14].

L.p.	Nośnik energii końcowej		Współczynnik nakładu w_i
1	Paliwo / źródło energii	Olej opałowy	1,1
2		Gaz ziemny	1,1
3		Gaz płynny	1,1
4		Węgiel kamienny	1,1
5		Węgiel brunatny	1,1
6		Biomasa	0,2
7		Kolektor słoneczny termiczny	0,0
8	Ciepło z kogeneracji ¹⁾	Węgiel kamienny, gaz ziemny ³⁾	0,8
9		Energia odnawialna (biogaz, biomasa)	0,15
10	Systemy ciepłownicze lokalne	Ciepło z ciepłowni węglowej	1,3
11		Ciepło z ciepłowni gazowej / olejowej	1,2
12		Ciepło z ciepłowni na biomasę	0,2
13	Energia elektryczna	Produkcja mieszana ²⁾	3,0
14		Systemy PV ⁴⁾	0,7
¹⁾ skojarzona produkcji energii elektrycznej i ciepła, ²⁾ dotyczy zasilania z sieci elektroenergetycznej systemowej, ³⁾ w przypadku braku informacji o parametrach energetycznych ciepła sieciowego z elektrociepłowni (kogeneracja), przyjmuje się $w_H = 1,2$, ⁴⁾ ogniwa fotowoltaiczne (produkcja energii elektrycznej z energii słonecznej) Uwaga: kolektor słoneczny termiczny - $w_H = 0,0$			

4. Wyniki obliczeń

Obliczenia w_H przeprowadzono trzema sposobami i oznaczono jako warianty W1, W2, W3A i W3B przy następujących założeniach dla każdego ze sposobów obliczeń:

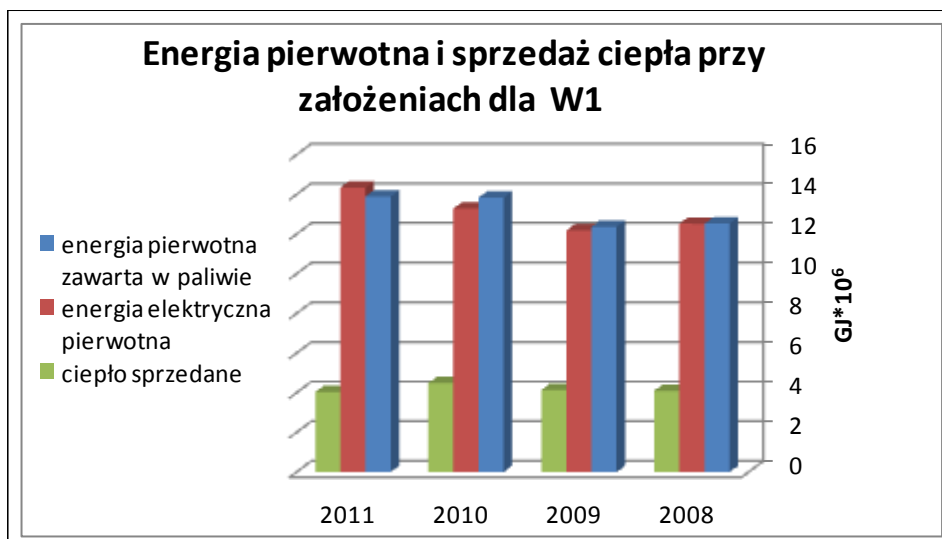
W1 – wg wytycznych zawartych w przepisach krajowych [14] tj. przyjmując $w_{el} = 3,0$

W2 – przyjęto, że źródło A jest elektrownią zawodową kondensacyjną i charakteryzuje się własną wartością w_{el} źródła A, natomiast dla źródła B przyjęto $w_{el} = 3,0$ (ze względu na brak pełnych informacji), wskaźnik średni w_{el}^* wyznaczono jako średnią ważoną względem ilości produkowanej energii elektrycznej w poszczególnych źródłach

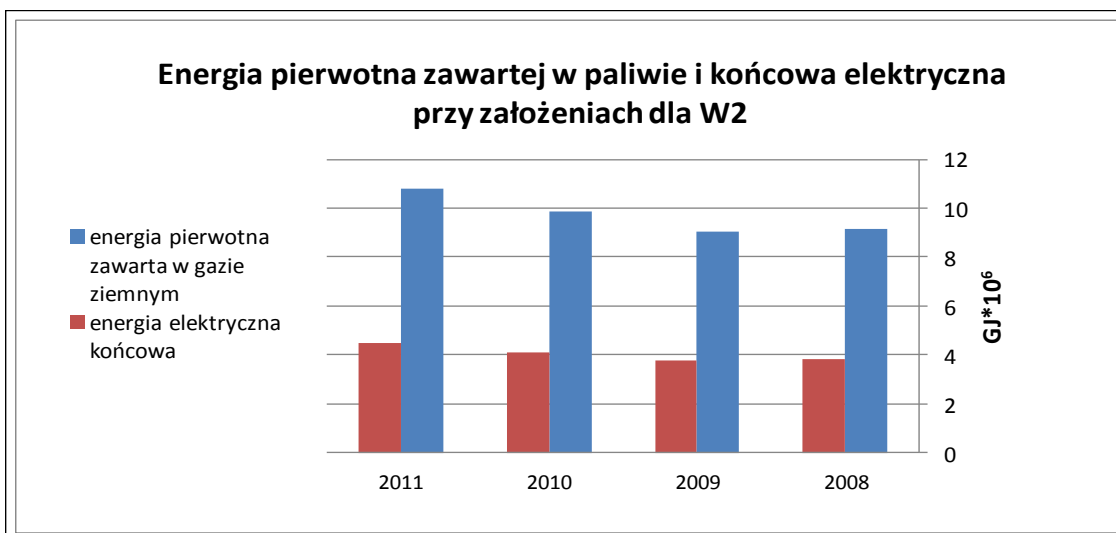
W3A– wg wytycznych zawartych w dyrektywach UE tj. przyjmując $w_{el} = 2,5$ [7],

W3B– wg wytycznych zawartych w dyrektywach UE tj. przyjmując $w_{el} = 2,8$ [8],

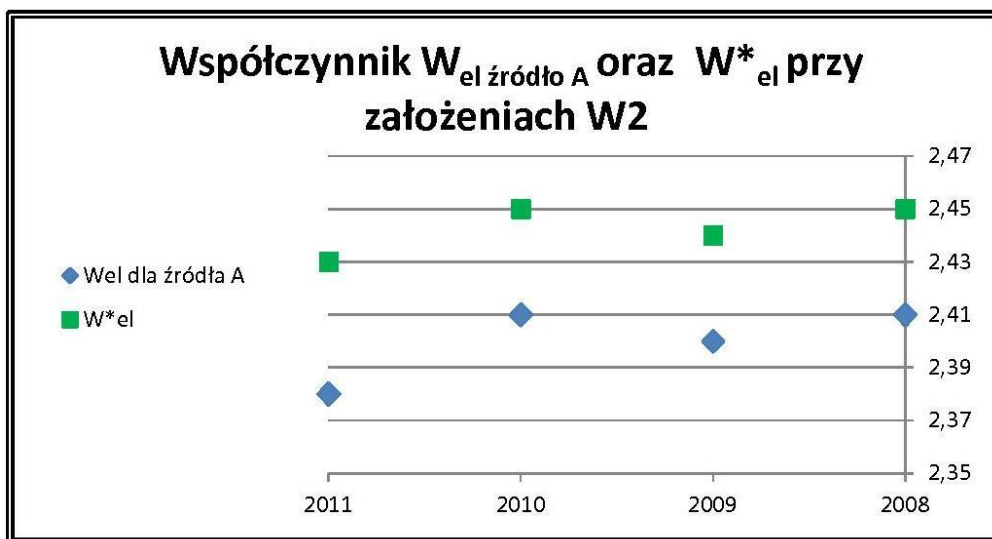
Na rys. 4 przedstawiono wartości energii pierwotnej określonej wg obowiązujących przepisów krajowych oraz ciepła (przy założeniach jak dla wariantu W1), natomiast rys.5 przedstawia relacje pomiędzy energią pierwotną zawartą w gazie ziemnym a końcowa elektryczną dla źródła ciepła A, którego charakterystyka decyduje o wartości w_H . Na rys. 6 przedstawiono wartości współczynnika nakładu dla energii elektrycznej przy założeniach jak dla wariantu W2. W tabeli 5 zamieszczono wyniki obliczeń w_H dla poszczególnych wariantów.



Rys. 4 Ilość energii pierwotnej zawartej w paliwie, pierwotnej elektrycznej oraz sprzedaż ciepła przy założeniach jak dla wariantu W1.



Rys. 5 Ilość energii pierwotnej zawartej w paliwie i końcowej elektrycznej przy założeniach wariantu W2.



Rys. 6 Wartość współczynnika $w_{el\ \text{źródło A}}$ oraz w_{el}^* dla założeń wariantu W2

Tabela 5. Współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_H) dla poszczególnych wariantów [4, 19]

Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej	2011	2010	2009	2008
Wariant W1	-0,1091*	0,1223	0,0445	0,0004
Wariant W2	0,5457	0,6716	0,5793	0,5823
Wariant W3A	0,4830	0,6158	0,5351	0,5090
Wariant W3B	0,1278	0,3197	0,2407	0,2038

*) Zgodnie z [2] w przypadku ujemnych wartości w_H należy przyjmować wartość równą 0

W celu podania pełniejszej charakterystyki systemu ciepłowniczego dla obydwu źródeł ciepła określono udział produkcji energii elektrycznej w odniesieniu do energii całkowitej wyprodukowanej w danym źródle ciepła wg zależności (2), (wyniki obliczeń podano w tabeli 6).

$$\varphi_{el} = \frac{Q_{el}}{Q_{el} + Q_{co}} \quad (2)$$

Tabela 6. Udział produkcji energii elektrycznej do energii całkowitej wyprodukowanej w źródle [4, 19].

	2011	2010	2009	2008
Produkcja ciepła w źródle A - Q_{coA} [GJ]	3 103 499	3 369 995	2 964 692	2 932 408
Produkcja ciepła w źródle B - Q_{coB} [GJ]	1 455 690	1 671 277	1 700 692	1 679 791
Produkcja energii elektrycznej w źródle A - Q_{elA} [GJ]	4 480 423	4 107 856	3 752 363	3 853 516
Produkcja energii elektrycznej w źródle B - Q_{elB} [GJ]	300 196	321 545	309 380	323 122
Wskaźnik φ_{elA}	0,591	0,549	0,559	0,568
Wskaźnik φ_{elB}	0,166	0,155	0,148	0,156

5. Podsumowanie

Wartości w_H dla poszczególnych wariantów obliczeń podane w tabeli 5 znacznie się różnią. Wynika to ze sposobu przyjmowania wartości w_{el} do obliczeń wg zależności (1). Po przeanalizowaniu danych otrzymanych na podstawie pomiarów z eksploatacji układu i uzyskanych wyników, najbardziej zasadne wydaje się przyjmowanie przy obliczaniu w_H dla systemu ciepłowniczego współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla produkcji energii elektrycznej charakterystycznego dla danego układu (w_{el} źródło lub w_{el}^*). Współczynnik ten jest zależny od struktury produkcji ciepła i energii elektrycznej w źródle oraz warunków panujących w układzie podczas jego eksploatacji. Zasadne jest określanie rzeczywistej wartości współczynnika dla energii elektrycznej, a nie przyjmowanie wartości $w_{el} = 3$ (wg założeń krajowych) bez względu na specyfikę pracy źródła ciepła. Przy takim założeniu, w omówionym przypadku w_H przyjmuje wartość ujemną. Obliczenia wskazują, że w analizowanym miejskim systemie ciepłowniczym zasilanym ze źródeł skojarzonych wartość w_{el}^* w badanym okresie czterech lat zmieniała się nieznacznie od 2,43 do 2,45.

Wykorzystując rzeczywistą wartość współczynnika w_{el}^* uzyskano współczynnik w_H dla systemu w 2011 roku na poziomie 0,5457. Oznacza to, że jest on znacznie niższy od wartości tabelarycznych dla konwencjonalnych nośników energii oraz wartości $w_H = 0,8$ zawartej w [14] dla ciepła z kogeneracji przy spalaniu gazu ziemnego i węgla.

Z ogólnie dostępnych informacji wynika, że w systemach ciepłowniczych innych miast w kraju, zasilanych z elektrociepłowni produkujących energię w kogeneracji współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej mieści się w zakresie od 0,47 ÷ 0,80. Zalecane w przepisach krajowych przyjmowanie $w_{el} = 3$ jest nieuzasadnione.

Wartość w_{el} powinna być zmniejszona po zebraniu rzeczywistych pomiarów prowadzonych podczas eksploatacji źródeł z całego kraju produkujących energię w kogeneracji. Przyjmując wartości $w_{el} = 2,8$ lub $w_{el} = 2,5$, przy tej samej strukturze produkcji energii w_H , jest zawsze dodatnie i zbliżone do wartości uzyskanych w przykładowych obliczeniach w wytycznych unijnych.

W 2011 r. ciepło przesyłane w analizowanym systemem ciepłowniczym w około 85% pochodziła z produkcji energii w kogeneracji, co pozwoliło na uzyskanie bardzo niskiego współczynnika w_H . Dlatego między innymi tego rodzaju system ciepłowniczy należy obecnie ocenić jako najbardziej odpowiednie źródło zaopatrzenia budynków znajdujących się w obszarze jego zasilania w ciepło z punktu widzenia wymagań ekologicznych i zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną.

6. Bibliografia

1. Balaras C, Droutsa K, Dascalaki E, Kontoyiannidis S. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings* 2005; 37: 429-442.
2. Climent F, Pardo A. Decoupling factors on the energy-output linkage: The Spanish case. *Energy Policy* 2007; 35: 522-528.
3. Cursino dos Santos A H, Werneck Fagá M T, Moutinho dos Santos E. The risks of an energy efficiency policy for buildings based solely on the consumption evaluation of final energy *Electrical Power and Energy Systems* 2013; 44: 70-77.
4. Dane dotyczące rodzajów, parametrów i wielkości zużycia paliw oraz produkcji i sprzedaży energii elektrycznej oraz ciepłej uzyskane od producenta i dystrybutora energii za lata 2008-2011.
5. Georges L, Massart C, Van Moeseke G, De Herde A. Environmental and economic performance of heating systems for energy-efficient dwellings: Case of passive and low-energy single-family houses. *Energy Policy* 2013; 40: 452-464.
6. Hassine I, Eicker U. Impact of load structure variation and solar thermal energy integration on an existing district heating network. *Applied Thermal Engineering* 2013; 50: 1437-1446.
7. Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 2.2.5. Space heating generation systems, the performance of quality district heating and large volume system CEN/TC 228 WI 00228 027, 2004-12.
8. Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-5 Space heating generation systems, the performance and quality of district heating and large volume system CEN/TC 228 WI 027, 2006-08, prEN 15316-4-5:2006 (E).
9. Howarda B, Parshallb L, Thompsonc J, Hammerb S, Dickinsond J, Modi V. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings* 2012;45:141-151.
10. Johansson P, Nylander A, Johnsson F. Primary energy use for heating in the Swedish

- building sector—Current trends and proposed target. *Energy Policy* 2007; 35:1386-1404.
11. Kogeneracja jako główny element ochrony środowiska – realizacja polityki poprawy efektywności energetycznej przez wytwórców i dostawców energii na Lubelszczyźnie na przykładzie Lublina. Lubelskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Lublinie, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Elektrociepłownia Lublin Wrotków, Megatem EC – Lublin Sp. z o.o. konferencja: ECOFORUM Lublin: 09. 2011.
 12. Landweher M, Jochem E. From primary to final energy consumption-Analysing structural and efficiency changes on the energy supply side. *Energy Policy* 1997;Vol.25: 697-702.
 13. Loncar D, I. Ridjan I. Medium term development prospects of cogeneration district heating systems in transition country - Croatian case. *Energy* 2012; 48: 32-39.
 14. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. nr 201/2008 r., poz. 1240).
 15. Shimoda Y, Nagota T, Isayama N, Mizuno M. Verification of energy efficiency of district heating and cooling system by simulation considering design and operation parameters *Building and Environment* 2003; 43: 569–577.
 16. Współczynnik w_H nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla ciepła dostarczanego przez Przedsiębiorstwo Energetyczne w Siedlcach sp.z o.o. Siedlce: 0.1. 2010.
 17. Verda V, Colella F. Primary energy savings through thermal storage in district heating networks. *Energy* 2011; 36: 4278-4286.
 18. Zhi-Ping S. Total energy system analysis of heating. *Energy* 2000; 25: 807-822.
 19. Życzyńska A, Surmacz P, Dyś G. Obliczenia wskaźnika nakładu energii pierwotnej dla lubelskiego systemu ciepłowniczego oraz ilości ciepła w m.s.c. produkowanej w kogeneracji. Fundacja Rozwoju Politechniki Lubelskiej; Lublin: 03. 2012.