



Wpływ modernizacji oświetlenia na LEDowe na przebieg zapotrzebowania mocy KSE

Opracował Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum

Streszczenie. Zaprezentowany w artykule przykład analizy, bardzo prosty, dotyczący działania ukierunkowanego na powszechną modernizację oświetlenia wskazuje na dwie ważne sprawy [1]. Po pierwsze, nowe podejście do ekonomiki w energetyce (uwolnienie się od *homo energeticusa* i *homo economicusa*) jest już bezwzględnie konieczne. Po drugie, energetyka prosumencka jest rzeczywiście „rogiem obfitości” rozwiązań energetycznych pod względem efektywności ekonomicznej.

1. Przykład analizy porównawczej: modernizacja oświetlenia vs budowa/rewitalizacja bloków węglowych

Analizę wykonano jako porównanie do budowy referencyjnego bloku węglowego. Szacuje się, że w domach/mieszkaniach, których łącznie jest w Polsce około 12 mln, jest zainstalowanych ponad 250 mln tradycyjnych żarówek, o typowych mocach od 40 do 100 W (sumaryczna moc żarówek w reprezentatywnym domu/mieszkanie, to około 1,2 kW). Współczynnik jednoczesności oświetlenia, redukujący moc zainstalowaną do mocy obciążenia w szczycie wieczornym szacuje się tu na około 0,2.

Łatwo wyliczyć, że zastąpienie bloku 1000 MW pod względem mocy wymaga zastąpienia świecących (jednocześnie) 11 mln tradycyjnych żarówek o mocy 100 W żarówkami typu LED (taka wymiana żarówek pociąga za sobą redukcję mocy wynoszącą 90%). Uwzględniając bardzo niekorzystną (pesymistyczną) wartość współczynnika jednoczesności świecenia żarówek poddanych wymianie równą 0,5 (w pierwszym etapie zostaną wymienione żarówki najintensywniej użytkowane) otrzymuje się, że inwestycja w blok może być zastąpiona wymianą 22 mln żarówek (liczba dwukrotnie większa od liczby żarówek świecących jednocześnie) o mocy 100 W. Inaczej, chodzi o wymianę dwóch żarówek 100 W (lub innych żarówek o łącznej mocy 200 W) w jednym gospodarstwie domowym. Modernizacja oświetlenia takiego segmentu oświetlenia jest w pełni realistyczna do czasu antycypowanego, z powodu dyrektywy 2010/75, deficytu mocy.

Do dalszych oszacowań, prowadzonych w cenach stałych, przyjmuje się następujące założenia. Czas analizy wynosi 40 lat (wynika on z „pierwotnego”, do czasu ewentualnej rewitalizacji, rezerwu technicznego bloku (współcześnie budowanego) wynoszącego 200 tys. godzin i z rocznego czasu użytkowania mocy zainstalowanej równego 5 tys. h). Roczny czas funkcjonowania oświetlenia podlegającego modernizacji szacuje się na około 1500 h/rok (około 4 h/dobę). Czyli czas użytkowania oświetlenia w okresie analizy wynosi 60 tys. godzin. Ponieważ liczba wymienionych żarówek (22 mln) jest dwukrotnie większa od uczestniczących w danym momencie w świeceniu (11 mln), to „zapotrzebowanie” na trwałość każdej żarówki LED zastępującej tradycyjną żarówkę wynosi 30 tys. godzin.

Trwałość tradycyjnej żarówki o mocy 100 W równa się 1 tys. godzin, a żarówki LED 30 tys. godzin (jest to trwałość mocno zaniżona, według katalogów trwałość ta wynosi nawet 50 tys. godzin; zaniżenie trwałości ma pewne uzasadnienie wynikające z braku w pełni wiarygodnych danych w odniesieniu do nowej technologii, którą jest oświetlenie LED). To oznacza, że liczba potrzebnych wymian 22 mln tradycyjnych żarówek, gdyby przy nich pozostać, wynosi 30 (przy współczynniku jednoczesności świecenia tych żarówek

wynoszącym 0,5). W przypadku żarówek LED wystarczająca jest pierwsza wymiana, dokonana na początku okresu analizy.

Dalej przyjmuje się cenę tradycyjnej żarówki równą 1,5 PLN, a żarówki LED 20 PLN. Zatem w okresie 40 lat koszt tradycyjnych żarówek wynosi: $22 \text{ mln} \cdot 30 \cdot 1,5 \text{ PLN} = \sim 990 \text{ mln PLN}$. Żarówki LED kosztują natomiast: $22 \text{ mln} \cdot 1 \cdot 20 \text{ PLN} = 440 \text{ mln PLN}$.

Redukcja zużycie energii elektrycznej uzyskana dzięki modernizacji oświetlenia w okresie analizy wynosi około 60 TWh, redukcja zużycia węgla ponad 25 mln ton, a redukcja emisji CO₂ około 55 mln ton. Koszt 25 mln ton węgla szacuje się na około 2 mld \$ (cena węgla na giełdach ARA – 80 \$/t).

Oszacowanie (górnne, optymistyczne) konkurencyjności modernizacji oświetlenia w aspekcie mocy szczytowej w KSE. W tradycyjnych analizach systemowych blok węglowy na węgiel kamienny jest blokiem podszczytowym. (Blokami podstawowymi są bloki: węglowy na węgiel brunatny oraz gazowy *combi*. Blokiem szczytowym jest blok gazowy prosty, tylko z turbiną gazową, bez kotła odzysknicowego).

Porównanie budowy bloku na węgiel kamienny z modernizacją oświetlenia w kontekście mocy szczytowej jest z punktu widzenia systemowego niedopuszczalne (jest błędem w „sztuce”, ze względu na strukturę kosztów zmiennych i stałych tego bloku). Z drugiej strony porównanie takie ma obecnie znaczenie dydaktyczne, bo pokazuje jak niebezpiecznie oddaliła się od realiów praktyka korporacyjna z agresywną argumentacją, że antycypowany deficyt mocy, z powodu dyrektywy 2010/75, będzie miał przyczynę w braku inwestycji w energetykę WEK (węglową, jądrową).

Miarą tego niebezpieczeństwa jest szokujący wynik liczbowy, który daje porównanie „blok 1000 MW i tradycyjne żarówki vs żarówki LED” w aspekcie mocy szczytowej w KSE. Mianowicie, nie wliczając energii elektrycznej równej wolumenowi zapotrzebowania na oświetlenie LED (ten wolumen jest wspólnym czynnikiem kosztotwórczym w obydwu rozwiązaniach), a także pomijając koszt uprawnień do emisji CO₂ (czyli zaniżając koszt rozwiązania z blokiem węglowym) w bardzo wielkim uproszczeniu można przyjąć, że na koszt pierwszego rozwiązania, składają się: nakłady inwestycyjne na blok referencyjny – 3,06 mld €, kupno tradycyjnych żarówek – 990 mln PLN, koszt węgla – 2 mld \$. Uwzględniając obecne kursy walutowe otrzymuje się łączny koszt równy około 19 mld PLN. Koszt drugiego rozwiązania wynosi natomiast tylko 0,44 mld PLN.

Oszacowanie (dolne, pesymistyczne) modernizacji oświetlenia w aspekcie produkcji energii w blokach referencyjnych. Jest to porównanie bliższe poprawności analizy systemowej (chodzi o poprawność w kontekście właściwości bloku na węgiel kamienny jako bloku podszczytowego w KSE). Dla uproszczenia tej analizy redukuje się koszt bloku referencyjnego w rozwiązaniu pierwszym za pomocą współczynnika równego stosunkowi: czasu rocznego funkcjonowania oświetlenia podlegającego modernizacji (1500 h/rok) do czasu rocznego użytkowania mocy zainstalowanej (5 tys. h/rok). Pierwszy czas jest typowy dla bloków szczytowych, drugi dla bloków podszczytowych. Stosunek wymienionych czasów, wynoszący 0,3, prowadzi do redukcji kosztu bloku referencyjnego w pierwszym rozwiązaniu do poziomu 0,92 mld € (jest to ciągle znacznie więcej niż w przypadku „klasycznego” bloku szczytowego gazowego, ale z drugiej strony paliwo jest znacznie tańsze). Czyli w tym oszacowaniu łączny koszt obliczony dla pierwszego rozwiązania (z blokiem węglowym) wynosi około 8 mld PLN. Chociaż jest to ponad dwukrotnie mniejszy

koszt niż w oszacowaniu przeprowadzonym dla bloku węglowego, traktowanego jako blok szczytowy, to i tak budowa bloku węglowego jest całkowicie nieracjonalna w porównaniu z modernizacją oświetlenia.

2. Porównanie skuteczności źródeł światła.

W kontekście oszczędzania/obniżania zużycia energii elektrycznej przez wymianę żarówek tradycyjnych na LED należy porównać, od strony technicznej, skuteczność świetlną źródeł światła. Skuteczność świetlna, w odróżnieniu od mocy źródła światła, to stosunek strumienia świetlnego emitowanego przez źródło do pobranej przez nie mocy, wyrażana w lm/W. [7, 8] W tabeli 2 pokazano porównanie (wartości średnie osiągane przez poszczególne źródła światła) skuteczności świetlnej wybranych źródeł światła. W porównaniu zestawiono również źródła światła nie stosowane w budownictwie mieszkaniowym, takie jak lampy sodowe czy metalohalogenkowe. Źródła te nie są stosowane ze względu na barwę światła oraz czasy załączania i zachowanie koniecznych przerw między okresami świecenia (nie nadają się do częstych włączeń).

Tabela. 2. Skuteczność świetlna η_s [lm/W] [dane z: 4, 5, 8,9]

	Skuteczność świetlna [lm/W]						
Wielkość źródła	Żarowa	Halogen	Świetlówka	Sodowa niskoprężna	Sodowa wysokoprężna	Me-Hal	LED
mała	6	12	40	100	70	50	50
duża	14	20	85	200	150	120	130
średnia	12	16	62,5	150	110	85	90
Trwałość [h]	1 000	2 000	10 000	6 000	12 000	6 000	50 000

Tabela. 3. Wskaźnik a względnej skuteczności świetlnej

Żarowa	1							
Halogen	1 - 1,7	1						
Świetlówka	3,3 - 7,1	2 - 7,1	1					
Sodowa n	8,3 - 17	5 - 17	1,2 - 5	1				
Sodowa w	5,8 - 13	3,5 - 13	0,8 - 3,8	0,4 - 1,5	1			
Me-Hal	4,2 - 10	2,5 - 10	0,6 - 3	0,3 - 1,2	0,3 - 1,7	1		
LED	4,2 - 6,3	2,5 - 6,3	0,6 - 1,9	0,3 - 0,8	0,3 - 0,5	0,4 - 1,5	1	
Źródło światła	Żarowa	Halogen	Świetlówka	Sodowa niskop.	Sodowa wysokop.	Me-Hal	LED	

$$a = \frac{\eta_{s_w}}{\eta_{s_k}}$$

η_{s_w} – skuteczność świetlna źródła światła w wierszu tabeli 3

η_{s_k} – skuteczność świetlna źródła światła w kolumnie tabeli 3

Porównanie rocznego zużycia energii elektrycznej źródeł światła (tab. 4).

Założenia:

Średnia ilość godzin świecenia oświetlenia ulicznego: 4100 h/rok

Ilość zużytej energii elektrycznej przez źródło światła o mocy 1 kW: 4100 kWh/rok

Ilość wyemitowanego dwutlenku węgla z tradycyjnej elektrowni węglowej: 4000 kg/rok

Tabela. 4. Ekwiwalentna roczna energia [kWh] źródeł światła odniesiona do odpowiedniego źródła światła o mocy 1 kW.

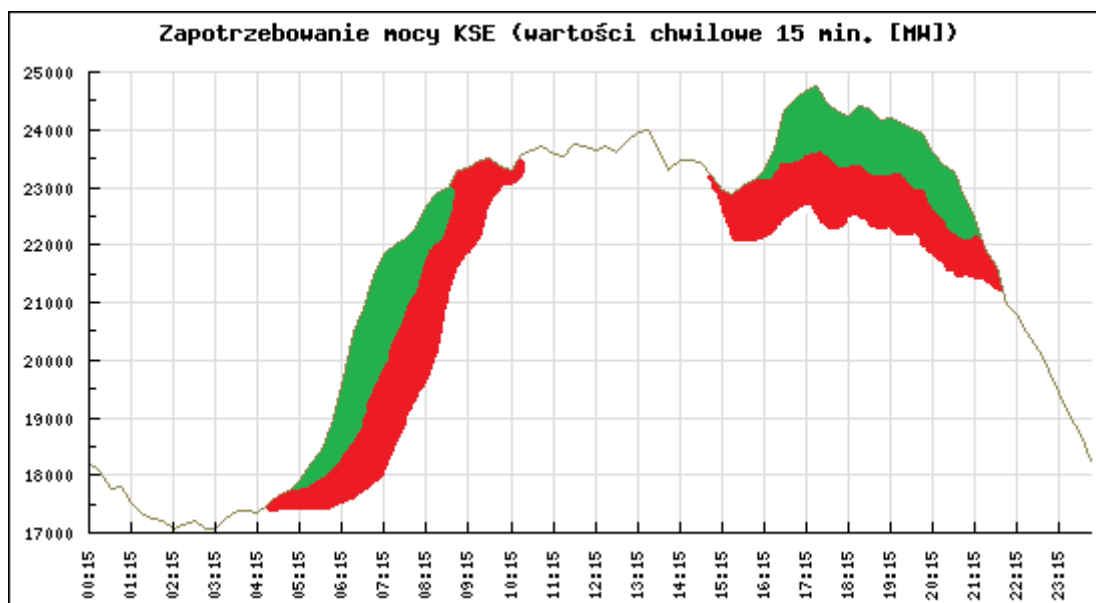
Żarowa	4100	4100 6833	13667 29042	34167 68333	51250 23917	41000 17083	25625 17083
Halogen	4100 2460	4100	29042 8200	68333 20500	51250 14350	41000 10250	25625 10250
Świetlówka	1230 579	2050 579	4100	20500 4824	15375 3376	12300 2412	7688 2412
Sodowa n	492 246	820 246	3485 820	4100	6150 1435	4920 1025	3075 1025
Sodowa w	703 328	1171 328	4979 1093	11714 2733	4100	7029 1367	4393 1367
Me-Hal	984 410	1640 410	6970 1367	16400 3417	12300 2392	4100	6150 1708
LED	984 656	1640 656	6970 2187	16400 5467	12300 8200	9840 2733	4100
	Żarowa	Halogen	Świetlówka	Sodowa n	Sodowa w	Me-Hal	LED

Źródło światła o mocy 1 kW

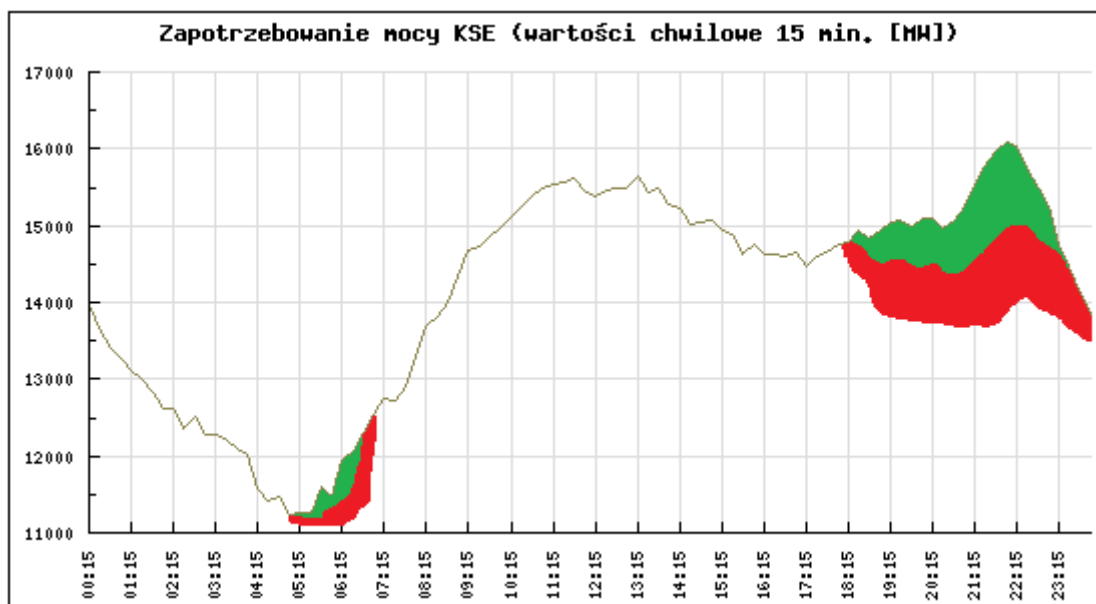
3. Przykład wpływu modernizacji oświetlenia na zmianę jakościową profilu obciążenia KSE.

Na rysunkach 1 i 2 zobrazowano skutek modernizacji oświetlenia w gospodarstwach domowych na profilach dobowych obciążenia KSE reprezentatywnych dla sezonu zimowego (środa, szczyt zimowy, rys. 1) i dla sezonu letniego (środa, rys. 2) [3, Kaniowski]. Przedstawione wyniki wymagają weryfikacji. Ukazują one jednak już obecnie dwie sprawy, jako bezsprzeczne. Po pierwsze, „środowiskiem” właściwym dla analizy energetyki prosumenckiej są profile dobowe obciążenia KSE (znajomość charakterystycznych stanów obliczeniowych KSE – z których najważniejszym w całej historii badań systemowych był zimowy szczyt wieczorny – jest niewystarczająca). Po drugie, następuje historyczna zmiana charakteru tych profili. Jedno tylko działanie, modernizacja oświetlenia może zamienić (globalny) dobowy szczyt w (lokalną) dolinę i pojawienie się (globalnego) szczytu południowego. W rezultacie wytwarzają się całkowicie nowe warunki do stosowania usługi DSM/DSR, mianowicie zapotrzebowanie na tę usługę w (globalnym) szczycie południowym. Oczywiście, źródła wiatrowe i PV komplikują sytuację. Z drugiej strony pojawia się

znakomita, pod względem właściwości (w tym regulacyjnych) w kontekście usług systemowych dla operatorów, technologia w postaci mikrobiogazowni (z mikromagazynami biogazu), zdolnych do pracy w trybie *semi off grid*.



Rys. 1. Potencjał modernizacji oświetlenia w segmencie gospodarstw domowych. Dobowy wykres zapotrzebowania, 23.I. 2013, oraz zredukowane pasma obciążenia, wynikające z wymiany oświetlenia tradycyjnego na częściowo zmodernizowane (kolor zielony) oraz całkowicie zmodernizowane (kolor czerwony i czarny, łącznie) [3, Kaniowski]



Rys. 2. Tak jak rys.1, dobowy wykres zapotrzebowania – 7 VII 2013

4. Oświetlenie LED vs. fluorescencyjne.

Wg [11] w Polsce funkcjonuje 34,9 tys. małych i średnich sklepów z obuwiem oraz odzieżą oraz 78 tys. małych sklepów spożywczych, co daje łącznie prawie 113 tys. powierzchni handlowych. Pod pojęciem "mały sklep" kryje się placówka handlowa, w której pracuje właściciel sam lub wraz z członkami rodziny, O "średnim sklepie" mówimy wówczas gdy mamy na myśli placówkę handlową z zatrudnionym dodatkowym personelem. Tego typu placówki handlowe oświetlone są głównie źródłami fluorescencyjnymi (popularnymi świetłówkami liniowymi lub kompaktowymi). Jest to bardzo duży potencjał dla rynku źródeł światła LED.

Wykonano analizę zastąpienia „świetlówek” żarówkami LED dla jednego sklepu. Dla tej samej powierzchni wykonano dwie analizy oświetlenia. Jedna bazująca na źródłach świetłówkowych, druga na źródłach ledowych. W obu przypadkach podczas projektowania kierowano się tymi samymi wytycznymi, które zawarte są w [6, 10]. Wytyczne przyjęte przy projektowaniu dotyczyły utrzymania odpowiedniej wartości natężenia oświetlenia na powierzchni obliczeniowej, odpowiedniego wskaźnika oślnienia oraz równomierności oświetlenia. Dane co do ilości opraw oświetleniowych oraz ich mocy dla poszczególnych wariantów wyboru źródła światła pozwoliły stworzyć zestawienie porównawcze dotyczące poboru mocy przez urządzenia oświetleniowe w obu przypadkach. Typowe świetłówki liniowe czy kompaktowe są „gorsze” od ledowych, pod względem energetycznym, tylko o ok. 40%. Porównując ceny oświetlenie LED jest droższe od świetlówek trzykrotnie. Natomiast żywotność źródeł LED szacuje się (wg danych producentów) na 30 tys. godz., dla świetlówek jest to 10 tys. godz. W tych proporcjach **różnica** cen niweluje się. Poza tym uzyskany efekt wizualny jest z dużą przewagą na korzyść oświetlenia ledowego ze względu na możliwość wręcz dowolnego kształtowania strumienia świetlnego i barwy bez stosowania wyrafinowanych opraw.

Tabela 5. Zestawienie porównawcze zużycia energii oraz ceny opraw wyposażonych w źródła LED i źródła świetłówek.

	Wariant			
	Źródła świetłówek	Moc, W	Ekwiwalent LED	Moc, W
Ośw. ogólne	5	70	-	0
Ośw. punktowe	28	280	20	200
Łączna moc pobierana przez oprawy, W		345		200
Łączna cena opraw netto		3 951 zł		12 420 zł

Jak wynika z porównania moc żarówek LED jest mniejsza o 145 W. Aby zapewnić dobre oświetlenie i wyekspozowanie produktów przez witrynę sklepową nawet po godzinach otwarcia sklepu część opraw oświetleniowych załączona jest 24 godziny na dobę. W przypadku oświetlenia świetlówkowego jest to 20 opraw oświetlenia punktowego, w przypadku oświetlenia ledowego jest to 12 opraw oświetleniowych. Pozostałe oprawy załączone są od poniedziałku do piątku przez osiem godzin od 10:00 do 18:00 oraz w soboty przez cztery godziny od 10:00 do 14:00.

Tabela 6. Harmonogram pracy opraw oświetleniowych oraz pobór mocy.

	Dni robocze (44 godz / tydz)		Cała doba (168 godz/tydz)	
	Świetlówki	LED	Świetlówki	LED
Tygodniowe zużycie	15,18 kWh	8,8 kWh	33,6 kWh	20,16 kWh

Sumaryczne tygodniowe zużycie w przypadku źródeł świetlówkowych wynosi 48,8 kWh a w przypadku źródeł ledowych 29 kWh. Różnica wynosi 19,8 kWh. Oznacza to, że zamiana źródeł światła ze świetlówkowych na LED spowoduje o ok. 40% mniejsze zużycie energii elektrycznej. Szacując dane dla 100 tys. małych powierzchni handlowych (tab. 6) w okresie rocznym zapotrzebowanie na energię elektryczną zmniejszy się o ok. 100 GWh. Porównując do przypadku wymiany oświetlenia gospodarstw domowych wpływ na profil mocy KSE będzie różnił się znacznie ze względu na czas, w jakim pracują placówki handlowe. Moc ta rozłoży się prawie równomiernie w ciągu całej doby z niewielkim wzrostem w czasie godzin otwarcia sklepu.

Wnioski

Wyniki analizy efektywności modernizacji oświetlenia, pokazane na rys. 1 i 2 mają w kontekście metodyki badawczej, oprócz związanego z metodą kosztów unikniętych, silny wydźwięk jakościowy. Mianowicie pokazują one, że analizę efektywności energetyki prosumenckiej trzeba prowadzić przede wszystkim na dobowych profilach obciążenia KSE. Pokazanie zmiany oświetlenia na ledowe z wykorzystaniem dobowych profili zapotrzebowania KSE ma ogromny sens z powodu przewidywalności wystąpienia efektu obniżenia mocy w przypadku gospodarstw domowych.

Taki sposób postępowania, chociaż stwarza pozory dokładności ma dwa wielkie źródła niepewności wyników. Po pierwsze, zamodelowane obciążenia w praktyce zawsze różnią się od rzeczywistych obciążeń węzłowych dla charakterystycznych stanów pracy SEE. Przy tym to źródło niepewności ma na ogół niewielkie znaczenie praktyczne, bo różnice między obciążeniami rzeczywistymi i modelowymi są niewielkie. Po drugie, i to jest znacznie ważniejsze, uzyskane wyniki praktycznie nigdy nie mają miejsca w rzeczywistości, ale na ich podstawie wyciąga się wnioski o bardzo dużym znaczeniu ekonomicznym, w szczególności dotyczących miliardowych inwestycji w bloki WEK. Modernizacja oświetlenia, o której jest w artykule, dla której warunki powstały praktycznie dopiero w ostatnich dwóch latach, jest

ciągle poza zasięgiem percepcji *homo energeticusów* i *homo economicusów* (energetyka korporacyjna), absolutnie nie wychodzących poza obszar innowacji zachowawczych.

Źródła

- [1] Popczyk J. Energetyka prosumencka – od sojuszu polityczno-korporacyjnego do energetyki prosumenckiej w prosumenckim społeczeństwie. BŻEP (Nr katalogowy 1.1.06). www.klaster3x20.pl
- [2] Popczyk J. *Energetyka prosumencka jako innowacja przełomowa*. BŻEP (Nr katalogowy 1.4.04). www.klaster3x20.pl
- [3] Chodorek M., Kaniowski K. Projekt dydaktyczny „Potencjalna rola energetyki prosumenckiej w redukcji ryzyka deficytu mocy antycypowanego w związku z dyrektywą 2010/75”. Przedmiot Zarządzanie i Organizacja w Elektroenergetyce, prowadzący J. Popczyk, studia II stopnia (magisterskie), Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, rok akademicki 2013/2014.
- [4] www.lenalighting.pl
- [5] <http://www.lednews.pl>
- [6] Centralny Instytut Ochrony Pracy www.ciop.pl
- [7] Oziembowski P. *Jak dobrze oświetlić dom*. oświetleniedomu.pl, 2008
- [8] Musiał E. *Przegląd elektrycznych źródeł światła*. Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2006
- [9] *Test: żarówki LED i energooszczędne*, www.komputerswiat.pl
- [10] Norma PN-EN 12464-1:2003- Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy.
- [11] Raport Soliditet Polska dla "Dziennika gazety prawnej"