

Zastosowanie automatyki sterowania i programów do zarządzania energią w audycie energetycznym przedsiębiorstwa

Streszczenie

Ustawa o efektywności energetycznej [1] i wynikające z niej obwieszczenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. "w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej" [2] przewidują jako jedną z metod poprawy efektywności energetycznej „instalację urządzeń pomiarowo-kontrolnych, teletransmisyjnych oraz automatyki w ramach wdrażania systemów zarządzania energią”. Artykuł przedstawia na konkretnych przykładach audytów energetycznych wykonanych przez autora, jak takie rozwiązanie może wpłynąć na poprawę efektywności energetycznej przedsiębiorstw różnych branż i jakie warunki musi spełnić taki system, by działać efektywnie.

Wstęp

Ustawa o efektywności energetycznej z 20.05.2016r narzuca obowiązek przeprowadzenia audytu energetycznego dla dużych przedsiębiorstw raz na 4 lata. Ponieważ pierwszy raz spełnienie tego obowiązku było wymagane do 30.09.2017r, w roku przyszłym ponownie przedsiębiorstwa powinny przystąpić do wykonania audytu.

Doświadczenia z poprzednich audytów pokazują, że audytorzy najczęściej zalecali przedsiębiorstwom podstawowe modernizacje, takie jak: termomodernizacja budynków (np. biurów, hal fabrycznych), wymiana oświetlenia na LED, wymiana sieci ciepłowniczej, czy źródeł ciepła, zastosowanie OZE (np. fotowoltaiki).

W obecnym okresie wykonywania audytów są możliwe dwa przypadki:

1. Jeśli przedsiębiorca wdrożył zalecenia, należy wskazać nowe, efektywne energetycznie i ekonomicznie uzasadnione metody oszczędzania energii.
2. Jeżeli zalecenia nie zostały wdrożone, warto się im przyjrzeć ponownie i w nowym audycie uwzględnić dalsze czynniki, które spowodują, że proponowane działania doprowadzą do najbardziej optymalnego wykorzystania energii.

Jedną z takich metod obniżenia zużycia energii jest zastosowanie programów do zarządzania energią.

Wspomniana ustawa o efektywności energetycznej [1] przewiduje środki poprawy efektywności energetycznej przedsiębiorstwa, które są zalecane do wykorzystania. Lista ta jest doprecyzowana w obwieszczeniu Ministra Energii z dnia 23

listopada 2016 r. "w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej" [2]i przewiduje stosowanie takich systemów w co najmniej kilku zakresach:

1. przebudowy lub remontu budynku wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi. Obwieszczenie mówi o „instalacji urządzeń pomiarowo-kontrolnych, teletransmisyjnych oraz automatyki w ramach wdrażania systemów zarządzania energią”
2. poprawy efektywności energetycznej w zakresie modernizacji lub wymiany oświetlenia wewnętrznego przewidziane jest również „wdrażanie inteligentnych systemów sterowania oświetleniem, o regulowanych parametrach w zależności od potrzeb użytkowych i warunków zewnętrznych”,
3. w procesach przemysłowych lub w procesach energetycznych lub telekomunikacyjnych, lub informatycznych przewiduje się stosowanie systemów pomiarowych, monitorujących i sterujących procesami energetycznymi i przemysłowymi w ramach wdrażania systemów zarządzania energią,

Praktyka jest jednak często inna. Większość przedsiębiorstw , w których autor wykonywał audyt energetyczny lub audyt efektywności energetycznej nie miało wdrożonych programów do zarządzania energią, a nawet nie posiadało mierników podstawowych wartości przepływu energii w przedsiębiorstwie. Powodowało to sytuację, w której czasem nie było zmierzonej nawet np. energii wychodzącej z kotłowni na potrzeby poszczególnych procesów (w tym produkcyjnych), podczas gdy ta energia była zużywana przez cały rok w dużych ilościach.

Podobnie z energią elektryczną. Wiele przedsiębiorstw, opierało się tylko na danych łącznych o jej zakupie z mierników operatora energetycznego. Nie posiadało własnych pomiarów zużycia tej energii , a także nie analizowało tej sfery działalności w ogóle.

Jeśli przyjrzymy się nielicznym przypadkom, gdy program do zarządzania energią w budynku lub przedsiębiorstwie jest zainstalowany, najczęściej okazuje się, że pod jego nazwą kryje się jedynie zbieranie danych i wizualizacja dla użytkownika. Oczywiście, taka informacja jest już cenna, gdyż jeśli jest prawidłowo analizowana może wpłynąć na oszczędność energii. Jednak taki program sam nie wygeneruje żadnej oszczędności, a jeśli jego potencjalni użytkownicy nie poświęcą wystarczająco dużo czasu i uwagi, by wyciągnąć z niego wnioski, cały wydatek nie przyniesie żadnej korzyści. W takiej sytuacji inwestycja w program nie zwróci się nigdy.

Potrzebny jest zatem program, który sam będzie automatycznie zarządzał energią w wybranych obszarach. Automatyka sterowania pozwoli na obniżenie zużycia energii. Dopiero w następnym kroku, dostarczając informacji obsłudze (np. głównemu

energetykowi) pozwoli na wyciąganie dalszych wniosków przez człowieka i wdrażanie kolejnych oszczędności.

Oszczędności energii w budynkach

Na początek rozważmy, jak można ograniczyć zużycie energii w budynkach. Wiele firm posiada budynki : biurowe, produkcyjne, usługowe, magazynowe, sklepowe. Są też np. hotele, domy wczasowe itd. Warunkiem zasadniczym jest aby budynek był duży, o dużej powierzchni i kubaturze i co za tym idzie, odpowiednio wysokim zużyciu energii na ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie. Zastosowanie tych rad do małego budynku np. portierni, małego sklepiku lub domku jednorodzinnego nie przyniosłoby oczekiwanych rezultatów.

Zastosowanie regulacji pogodowej

Powszechnie znana, choć już nie tak często stosowana, jest regulacja pogodowa źródła ciepła np. kotła gazowego, pompy ciepła czy węzła cieplnego. Oczywiście zaletą jest dobieranie temperatury obiegu grzewczego do aktualnej temperatury zewnętrznej. Pierwszą korzyścią z tego podejścia jest ograniczenie przegrzewania pomieszczeń na skutek zastosowania zbyt dużej mocy grzewczej. Np. jeśli sterownik wykryje wzrost temperatury zewnętrznej, zacznie redukować moc grzewczą. Daje to oszczędność energii przy jednoczesnym zachowaniu pełnego komfortu cieplnego. W przeciwnym razie, wręcz odwrotnie: przegrzanie pomieszczenia na skutek nie uwzględnienia wzrostu temperatury zewnętrznej spowoduje, oprócz zwiększenia zużycia energii, dyskomfort użytkownika przegrzanego pomieszczenia. Metoda ta ma jeszcze jedną ważną zaletę, na którą użytkownicy mniej zwracają uwagę, a jest ona bardzo istotna. Dopasowywanie krzywej grzewczej do aktualnych potrzeb pozwala na dłuższą pracę urządzenia grzewczego na niższych temperaturach zasilania i powrotu instalacji c.o. W przypadku pomp ciepła praca z niższą temperaturą zasilania powoduje wzrost COP pompy ciepła, a przez to spadek zużycia energii elektrycznej lub gazu (w przypadku pomp ciepła zasilanych gazem) na dostarczenie tej samej ilości ciepła. Różnice pokazuje tabela nr 1:

typ pompy ciepła	COP		poprawa efektywności
	55/45°C	35/28°C	
			%
glikol/woda, sprężarkowe, napędzane elektrycznie	3,5	4,0	14,3%
powietrze/woda, sprężarkowe, napędzane elektrycznie	2,6	3,0	15,4%
glikol/woda, absorpcyjne, napędzane gazem	1,4	1,6	14,3%
powietrze/woda, absorpcyjne, napędzane gazem	1,3	1,4	7,7%

Tab. 1 Efektywność pomp ciepła wg rozporządzenia [3]

Jak widać z przywołanych w tabeli przykładów, umiejętne sterowanie pompą ciepła może dać oszczędności rzędu kilkunastu procent energii.

Podobny przykład dla powszechniej (od pomp ciepła) stosowanych kotłów gazowych kondensacyjnych podaje tabela 2.

moc kotła gazowego kondensacyjnego	sprawność		poprawa sprawności
	70/55°C	55/45°C	%
do 50kW	0,9	0,9	3,3%
powyżej 50 do 120 kW	0,9	1,0	3,3%
powyżej 120 do 1200 kW	0,95	0,98	3,2%

Tab.2 Średnia sprawność kotłów gazowych kondensacyjnych wg rozporządzenia [3]

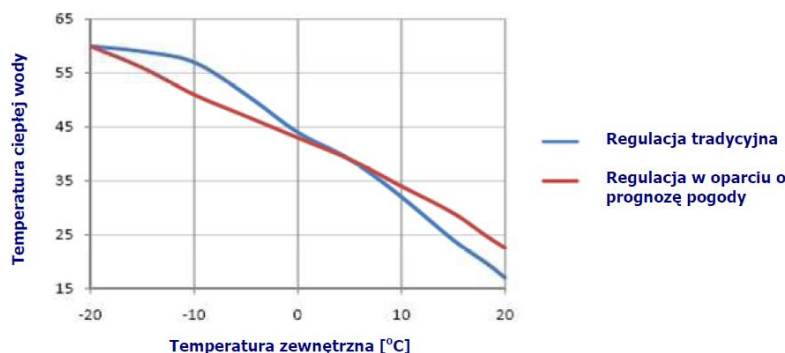
Poprawa sprawności o kilka procent może się wydawać nieznacząca w stosunku do danych z tabeli 1, jednak w przypadku dużych wartości energii produkowanych w sezonie grzewczym, kilkuprocentowa poprawa może oznaczać duże oszczędności zarówno energii, jak i jej kosztu.

Warto tu jednak zwrócić uwagę na fakt, że większość produkowanych i sprzedawanych z urządzeniami grzewczymi sterowników pogodowych działa na zasadzie stałych ustawień krzywej grzewczej wprowadzanych zwykle przez serwis instalujący inne urządzenie grzewcze np. kocioł. Firmy instalacyjne zwykle ustawiają wysokie parametry grzewcze, gdyż wówczas nie mają problemów z reklamacją, że urządzenie nie dogrzewa. Traci się wówczas na sprawności urządzenia grzewczego, gdyż realizując taką źle dobraną krzywą grzewczą, sterownik szybko wymusza na urządzeniu grzewczym uzyskiwanie wysokich temperatur spoza zakresu optymalnej sprawności. Rzadko się zdarza użytkownik, który angażuje się w samodzielne dobranie paramentów krzywej grzewczej. Nie jest to proste, gdyż zależy też od paru czynników jak np. pojemności cieplnej budynku, zysków wewnętrznych i słonecznych. Zatem często wymaga to kilkukrotnego korygowania, nim dojdzie się do optymalnych parametrów pracy.

Ponieważ jednak większość użytkowników tego nie robi, jednym z zaleceń audytu energetycznego, które da się zrealizować bez kosztów inwestycyjnych jest regulacja ustawień sterownika pogodowego.

Zastosowanie regulacji prognozowej

Regulacja prognozowa jest metodą regulacji ogrzewania efektywniejszą niż opisana poprzednio regulacja pogodowa. Dodatkowe oszczędności uzyskiwane są poprzez przewidywanie zmian pogody na podstawie jej prognozy 5 dniowej. Pozwala to na lepsze dostosowanie poziomu grzania do zmian pogody. Jednocześnie, w budynku zainstalowane są tzw. regulatory klimatu, których zadaniem jest rejestrowanie zmian temperatury i wilgotności w pomieszczeniach ogrzewanych. Umożliwia to oszacowanie niektórych parametrów budynku, jak np. pojemności cieplnej i uwzględnieniu jej w dalszych kalkulacjach ilości energii i mocy grzewczej wymaganej przez budynek. Przykładem takiego rozwiązania jest firma E-Gain.



Wykres 1 Porównanie parametrów regulacji tradycyjnej i prognozowej (źródło E-Gain)

Oszczędności powstają zarówno w okresie, gdy temperatura zewnętrzna przyrasta, jak i w czasie jej spadku.

W okresie wzrostu temperatury zewnętrznej spada zapotrzebowanie na ciepło budynku. Sterownik pogodowy zareaguje dopiero, gdy ta zmiana zostanie przez niego odnotowana. Sterownik prognozowy, mając te informacje, z wyprzedzeniem może ograniczać grzanie tak, by wykorzystując pojemność cieplną budynku, utrzymać stałą temperaturę pomieszczeń ogrzewanych. Jak wynika z tego, sterownik pogodowy najpierw doprowadzi do niewielkiego przegrzania pomieszczenia, a potem znacznie i szybko ograniczy grzanie po wykryciu zmiany. Sterownik prognozowy płynnie i powoli ograniczy temperaturę obiegu grzewczego, mając dłuższy czas na zmianę parametrów (prognoza wyprzedza dane pomiarowe z czujnika temperatury). W przypadku kotłów gazowych kondensacyjnych i pomp ciepła ten sposób sterowania pozwoli im na pracę w warunkach zbliżonych do optymalnych i przez to podniesie ich sprawność.

Przy spadku temperatury zewnętrznej jest podobnie. Sterownik pogodowy zareaguje, gdy czujnik temperatury zewnętrznej odnotuje zmianę. Jeśli będzie to gwałtowne ochłodzenie to, aby nie dopuścić do szybkiego wychłodzenia budynku, sterownik będzie podnosił temperaturę zasilania instalacji c.o. . To z kolei sprawi, że parametry sprawności kotłów gazowych kondensacyjnych i pomp ciepła znów znajdą się poza zakresem optymalnym. Regulacja prognozowa spowoduje możliwość wcześniejszego nagromadzenia energii, przy wykorzystaniu pojemności cieplnej budynku (i energii w buforze c.o. jeśli taki jest) i dzięki temu, znów dłużej utrzyma możliwość pracy kotłów gazowych kondensacyjnych i pomp ciepła w warunkach optymalnej sprawności.

Przykłady praktycznych wdrożeń przedstawione na stronie: <https://www.egain.io/pl/firma/historie-klientow/> pokazują, że rzeczywiste zmierzone obniżenia zużycia energii dzięki zastosowaniu regulacji prognozowej wyniosły od 10% do ok. 17% poprzedniego zużycia energii.

Praktyka wykonywanych przez autora audytów energetycznych budynków i przedsiębiorstw pokazuje, że zastosowanie automatyki sterowania ogrzewaniem w

oparciu o regulację prognozową jest działaniem przynoszącym krótkie czasy zwrotu inwestycji.

Przykład:

Biurowiec w Warszawie składający się z 8 kondygnacji nadziemnych i 1 podziemnej zasilany miejskim ciepłem sieciowym. Powierzchnia budynku $6\,915,0\text{m}^2$, kubatura $30\,942,0\text{m}^3$. Zapotrzebowanie na moc cieplną ok. $0,9\text{MW}$ zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w sezonie grzewczym $3\,244,6\text{GJ}$.



Rys. 1 Budynek biurowy w Warszawie

Analiza wariantów modernizacji systemu grzewczego pokazuje, że w tym działaniu najkrótszy czas zwrotu daje zachowanie istniejącego węzła cieplnego, przy jednoczesnym zastosowaniu automatyki prognozowej sterowania pracą instalacji c.o. W poniższej tabeli to wariant W1, który wykazuje prosty czas zwrotu inwestycji 5,1 lat:

7.4.1 Ocena i wybór optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność systemu grzewczego.										
Dane:		$Q_{H,0} = 2\,530,8$ GJ/rok $Q_{0,0} = 3\,244,6$ GJ/rok $Q_{0,0} = 868,8$ kW	$W_{H,0} = 1,00$	$W_{0,0} = 1,00$	$\eta_0 = 0,78$					
Warianty przedsięwzięcia poprawiającego sprawność systemu c.o.										
W1 - Instalacja programu regulacji prognozowej										
W2 - W1 + instalacja programu do zarządzania energią we wszystkich ogrzewanych pomieszczeniach na piętrach I-VII budynku oraz 13 zestawów: pompa obiegowa z obejściem + zawór 4-drogowy + regulator obiegu grzewczego, dla każdego pionu										
W3 - W1 + instalacja programu do zarządzania energią z czujnikami temperatury w 50 pomieszczeniach ogrzewanych na piętrach I-VII budynku oraz 13 zestawów: pompa obiegowa z obejściem + zawór 4-drogowy + regulator obiegu grzewczego, dla każdego pionu										
W4 - W2 + instalacja klimakonwektorów we wszystkich pomieszczeniach ogrzewanych na piętrach I-VII w budynku										
W5 - W3 + instalacja klimakonwektorów w 50 pomieszczeniach ogrzewanych na piętrach I-VII w budynku										
W6 - W2 + instalacja belek do montażu sufitowego z funkcją grzania i chłodzenia we wszystkich pomieszczeniach ogrzewanych na piętrach I-VII w budynku										
W7 - W3 + instalacja belek do montażu sufitowego z funkcją grzania i chłodzenia w 50 pomieszczeniach ogrzewanych na piętrach I-VII w budynku										
W tabeli poniżej zestawiono zmiany współczynników sprawności związane z wprowadzeniem proponowanych usprawnień.										
Lp.	Rodzaj usprawnienia	Stan istniejący	Współczynniki sprawności							
			Wariant							
			W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	
1	wytwarzanie ciepła	$\eta_{H,g} = 0,99$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2	przesyłanie ciepła	$\eta_{H,d} = 0,90$	0,90	0,90	0,90	0,95	0,91	0,95	0,95	0,91
3	regulacja i wykorzystanie ciepła	$\eta_{H,e} = 0,88$	0,88	0,93	0,89	0,93	0,89	0,93	0,93	0,89
4	akumulacja ciepła	$\eta_{H,s} = 1,00$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	sprawność całkowita systemu	$\eta_{H,0} = 0,78$	0,78	0,83	0,79	0,87	0,80	0,87	0,80	0,80
6	uwzględnienie przerw na ogrzewanie w okresie tygodnia	$w_t = 1,00$	1,00	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
7	uwzględnienie przerw na ogrzewanie w ciągu doby	$w_d = 1,00$	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Ocena proponowanego przedsięwzięcia										
Lp.	Opis	jedm.	Stan istniejący	Wariant						
				W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
1	Sprawność całkowita systemu grzewczego $\eta_{H,0}$	-	0,78	0,78	0,83	0,79	0,87	0,80	0,87	0,80
2	Uwzględnienie przerw tygodniowych w_t	-	1,00	1,00	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
3	Uwzględnienie przerw dobowych w_d	-	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
4	Oszczędność kosztów	zł/rok		2 151,95	23 030,97	16 172,55	29 258,72	17 951,46	29 258,72	17 951,46
5	Koszt przedsięwzięcia $N_{0,0}$	zł		12 201,00	945 324,78	220 701,49	3 359 887,34	453 390,29	3 342 601,37	451 724,46
6	SPBT	lata		5,7	41,0	13,6	114,8	25,3	114,2	25,2

Tab.3 Przykładowe obliczenia wariantów modernizacji instalacji c.o. z uwzględnieniem regulacji prognozowej

Precyzyjna regulacja temperatury w pomieszczeniach

Wspominane wyżej rozporządzenie [3] pokazuje wpływ sposobu regulacji temperatury wewnętrznej w pomieszczeniach na sprawność regulacji ogrzewania:

Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji:	sprawność regulacji	poprawa sprawności %
centralnej bez automatycznej regulacji miejscowej	0,77	0
automatycznej miejscowej	0,82	6,49%
centralnej i miejscowej z zaworem termostatycznym o działaniu proporcjonalnym z zakresem proporcjonalności P - 2K	0,88	14,29%
centralnej i miejscowej z zaworem termostatycznym o działaniu proporcjonalnym z zakresem proporcjonalności P - 1K	0,89	15,58%
centralnej i miejscowej z zaworem termostatycznym o działaniu proporcjonalno-całkującym PI z funkcjami adaptacyjną i optymalizującą	0,93	20,78%

Tab.4 Poprawa sprawności na skutek precyzyjnej regulacji instalacji c.o.

Przedstawione w tabeli wartości sprawności dotyczą najbardziej popularnego systemu ogrzewania wodnego. W przypadku innych rodzajów ogrzewania (powietrzne, elektryczne itp.) tabele również przewidują poprawę, ze względu na bardziej precyzyjne sterowanie z funkcjami adaptacyjną i optymalizującą.

Program do zarządzania energią w odniesieniu do ogrzewania pomieszczeń

Maksymalne wykorzystanie zysków wewnętrznych

Program do zarządzania energią, stosując odpowiednie algorytmy i uzyskując dane z wielu źródeł, może połączyć w sobie zalety regulacji prognozowej i precyzyjnej regulacji temperatury pomieszczeń i uzyskać maksimum oszczędności.

Ważną cechą programu do zarządzania energią w przedsiębiorstwie jest dostęp do wielu danych z różnych obszarów działania przedsiębiorstwa jednocześnie, co pozwala na dalsze oszczędności.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że zwykle w obliczeniach cieplnych budynków przyjmuje się średnie wartości zysków wewnętrznych. Podobnie działają wspomniane wcześniej sterowniki adaptacyjne o działaniu proporcjonalno-całkującym. Dlatego tego typu rozwiązania dobrze sprawdzają się w dużych budynkach, w których pozornie zyski wewnętrzne nie podlegają dużym wahaniom. Przykładami takich budynków mogą być budynki mieszkalne wielorodzinne, szkoły w okresie ich funkcjonowania, domy pomocy społecznej, biura itd. Nawet w takich obiektach jak szkoły czy biura poziom zysków wewnętrznych podlega dobowym wahaniom. Jednak godziny pracy szkoły lub biura są określone i da się je łatwo uwzględnić, tworząc odpowiedni harmonogram dobowy i tygodniowy.

Metoda ta nie sprawdzi się w przypadku np. budynków produkcyjnych, gdzie zyski wewnętrzne od urządzeń produkcyjnych mogą mieć znaczny udział w pokrywaniu strat ciepła wentylacyjnych i przez przegrody budynku, a jednocześnie, ze względu na zmienne obciążenie zakładu produkcją, oraz ze względu na to, że każda część cyklu produkcyjnego wymaga zaangażowania innej wartości energii mogą się znacznie wahać. Autor robił audyty energetyczne w przedsiębiorstwach, gdzie udział zysków wewnętrznych był na poziomie 50%, a nawet blisko 100% strat cieplnych budynku. Każde obniżenie poziomu produkcji znacznie wpływało na zapotrzebowanie na moc do ogrzewania budynku. W tym przypadku ustawianie paramentów mocy grzewczej zależnej jedynie od temperatury zewnętrznej się nie sprawdzi. Spowoduje, że urządzenia grzewcze często będą pracowały krótkimi odcinkami czasu, ale ze zbyt dużą mocą, tracąc możliwości poprawy sprawności wykazane w tabelach 1 i 2.

Niektóre urządzenia grzewcze mają sterowniki adaptacyjne, co niweluje problem, bo sterowniki „uczą się” parametrów budynku np. pojemności cieplnej, na zasadzie przeliczania, jakie przyrosty temperatury osiągnięto w poprzednich okresach, przy danej temperaturze zewnętrznej. Pozwala to zwolnić użytkownika z konieczności regulowania krzywej grzewczej i dobrze się sprawdza w budynkach o stabilnych parametrach, o których była mowa wcześniej. W budynkach produkcyjnych wyliczanie średniej z poprzednich okresów nie zawsze się sprawdza, bo bieżąca produkcja może wzrosnąć lub znacznie spaść, czego przykład mieliśmy w okresie ostatniej pandemii.

W budynkach produkcyjnych jedynie dobrze skonfigurowany system do zarządzania energią, mający odczyty mocy aktualnie pracujących urządzeń w budynku, a nie tylko temperatury zewnętrznej, pozwoli na prawidłowy dobór mocy grzewczej, a co za tym idzie temperatury zasilania c.o. tak, by nie tracąc komfortu cieplnego, zapewnić jak najdłuższą pracę urządzeń grzewczych w optymalnych parametrach sprawności cieplnej.

Program do zarządzania energią, wiedząc, ile urządzeń na produkcji działa i jaką mocą, może od razu po ich włączeniu poznać poziom zysków wewnętrznych. Ta informacja pozwala mu zareagować z wyprzedzeniem, nim energia cieplna z maszyn produkcyjnych zacznie być odczuwalna, podobnie jak w przypadku regulacji prognozowej regulator jest przygotowany na warunki, które dopiero nastąpią. Umożliwi to na zwiększenie mocy grzewczej przy spadku mocy aktualnie używanej na produkcji i obniżenie, gdy ta moc wzrośnie. Sterownik adaptacyjny do ogrzewania nie ma takiej informacji i zareaguje dopiero na zmianę temperatury w pomieszczeniu, gdy będzie ona zauważalna. Dzięki temu, program do zarządzania energią można będzie lepiej niż w przypadku wyżej opisanych systemów regulacji wykorzystać możliwości poprawy sprawności urządzeń grzewczych w zależności od temperatury zasilania c.o. przedstawione w tab. 1 i 2.

Oszczędność energii dzięki kontroli procesu produkcyjnego

W halach o dużej kubaturze zdarza się, że straty ciepła wentylacyjne są znaczne na skutek wymaganych przez produkcję częstości wymian powietrza. Takie wysokie wymagania dotyczące częstości wymian powietrza zdarzają się w wielu branżach przemysłowych. Z praktyki audytów autora artykułu można przytoczyć 2 przykłady: galwanizernie oraz przemysł drzewny.

Szczególnie w tym drugim przypadku program do zarządzania energią może pokazać swoje możliwości do oszczędzania energii. Zostanie to omówione na przykładzie jednego z audytów wykonanych przez autora w firmie zajmującej się produkcją wyrobów z drewna. Program do zarządzania energią miał m.in. realizować taką funkcję:

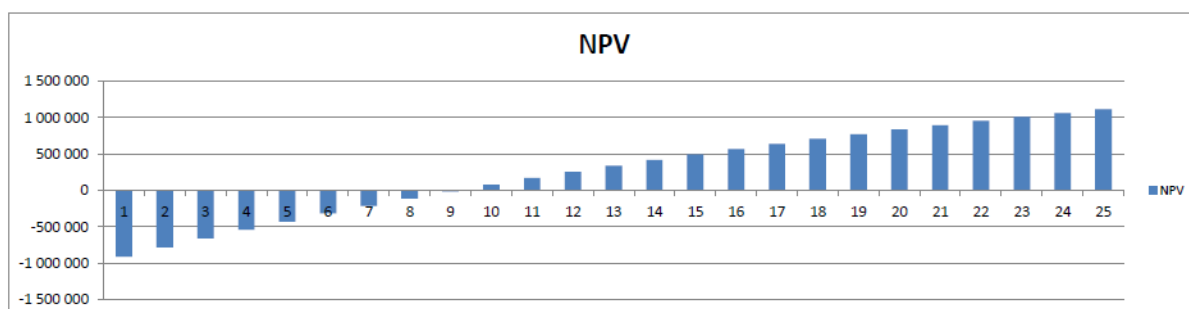
W hali gdzie jest obróbka drewna w stanie przed modernizacją (jak wynika z wyliczeń w audycie) jest ok. 10- krotna wymiana powietrza na godzinę. Wynika to z pracy instalacji wyciągowej, zapewniającej odpylanie stanowisk pracy. W audycie energetycznym przedsiębiorstwa proponowałem m.in zastosowanie kontroli, które maszyny aktualnie pracują. Wystarczy sprawdzenie, czy prąd płynie na zasilaniu urządzenia. Informacja ta pozwalałaby sterować przepustnicą powietrza, która uruchamiałaby wyciąg z tego miejsca pracy tylko gdy jest czynne. To robiłby program do zarządzania energią. Następnie ten sam program sumowałby strumienie powietrza i na falowniku zainstalowanym do każdego wentylatora ustawiał taką wydajność, jaka rzeczywiście w tej chwili jest potrzebna.

Praktyka pokazuje, że nie zawsze wykorzystywana jest pełna moc produkcyjna. To wynika ze zmiennej ilości zamówień. Często tylko ok. 2/3 maszyn pracuje, ale wyciągi w stanie przed modernizacją pracowały na wszystkich stanowiskach pracy, czyli tej 1/3 niepracujących też. Takie dostosowanie strumienia powietrza wyciągowego do aktualnych potrzeb ograniczy nie tylko energię elektryczną do wentylatorów (łączna moc wentylatorów to ok. 0,7MW), ale też straty ciepła z hali w sezonie grzewczym. Program do zarządzania energią, sterując wyciągami ze stanowisk obróbki drewna, może dać duże oszczędności energii do ogrzewania hali, a także energii elektrycznej do wentylatorów. Przykład obliczeń oszczędności energii i czasu zwrotu inwestycji przedstawia tabela:

Lp.		Jedn.	Stan aktualny	W1	W2
1.	Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby silników wentylatorów	MWh/rok	1 761,984	1 268,629	1 268,629
2.	Roczna oszczędność energii elektrycznej na potrzeby silników wentylatorów	MWh/rok		493,356	493,356
3.	Koszt zakupu energii elektrycznej na potrzeby silników wentylatorów	zł/rok	492 897,40	354 886,14	354 886,137
4.	Roczna oszczędność kosztów na potrzeby silników wentylatorów	zł/rok		138 011,27	138 011,268
5.	Koszt instalacji falowników	zł		299 491,06	299 491,062
6.	Koszt instalacji 110 sztuk przepustnic	zł		22 089,21	22 089,210
7.	Program do zarządzania energią w przedsiębiorstwie	zł		757 612,34	719 450,00
8.	Łączny koszt modernizacji	zł		1 079 192,610	1 041 030,272
9.	SPBT	lata		7,8	7,5

Tab.5 Obliczenie czasu zwrotu inwestycji dla programu do zarządzania energią z funkcją sterownia strumieniem powietrza wentylacyjnego

Analiza NPV dla tego przypadku pokazana jest na wykresie



Wykres 2 Wartości NPV dla rozpatrywanej modernizacji

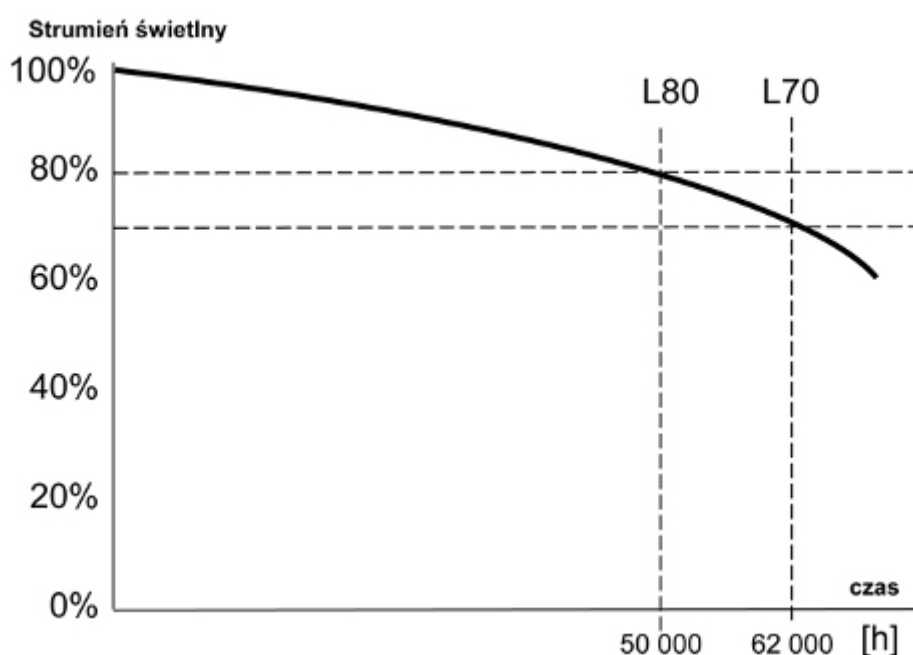
Sterowanie oświetleniem

W większości rozpatrywanych przypadków modernizacji oświetlenia sprowadza się ona do wymiany opraw lub źródeł światła na LED. Natomiast rozporządzenie [4] w par 3 pkt 1 wymaga „wskazania dopuszczalnych, ze względów technicznych, i

ekonomicznie uzasadnionych rodzajów i wariantów realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej, z uwzględnieniem zastosowania różnych technologii” jednym z alternatywnych rozwiązań dla zastosowania opraw LED jest wybranie źródeł światła też LED, ale z możliwością sterowania natężeniem światła np. poprzez regulację natężenia prądu płynącego przez źródło światła oraz zastosowanie automatycznej regulacji oświetlenia w programie do zarządzania energią .

Aby móc dynamicznie sterować poziomem oświetlenia, należy przy stanowiskach pracy zamontować czujniki poziomu oświetlenia i połączyć je z programem do zarządzania energią, który dynamicznie, w zależności od ilości światła naturalnego, może regulować poziom strumienia światła sztucznego, tak, by zachować wymagany poziom oświetlenia, ale ograniczyć jego przekroczenia.

Program do zarządzania energią eliminuje też straty energii, wynikające ze starzenia się źródła światła. Zwykle nowe oprawy mają większy strumień światła niż minimalnie wymagana w celu zapewnienia właściwego poziomu oświetlenia, ponieważ w czasie wielu lat pracy skuteczność emisji światła spada, a w całym okresie pracy oświetlenie musi spełniać wymagania norm. Ilustruje to zjawisko poniższy wykres. Ograniczenie mocy opraw tak by strumień światła był na poziomie wymaganym, a nie większym przyniesie oszczędność energii w ciągu większości czasu z przewidywanego okresu eksploatacji.



Wykres 2 Spadek skuteczności LED w czasie eksploatacji [5]

Jeżeli spadek skuteczności do 80% przyjmuje się jako czas eksploatacji (na wykresie to 50 000h),to oznacza, że aby zapewnić spełnienie normy przez cały czas eksploatacji należy tak dobrać źródło światła, by 80% jego skuteczności wystarczało do tego celu. Konsekwencją tego jest z kolei fakt, że przez większość czasu pracy źródło daje wyższy

strumień światła niż jest wymagany. Można go zatem ograniczyć do poziomu normy, zmniejszając tym samym jego moc, a więc oszczędzając energię.

Warunkiem dodatkowym jest zastosowanie źródeł światła, których natężenie może być regulowane. Takie rozwiązania występują wśród źródeł światła LED, ale trzeba to uwzględnić przy zakupie.

Oszczędności można oszacować na podstawie normy PN-EN 15193:2010P: „Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia. Norma zawiera tablicę, w której umieszczone są wskaźniki dla oświetlenia poszczególnych rodzajów budynków” [6] np.

Wartości porównawcze i kryteria projektowania oświetlenia w budynkach ¹⁾								
Rodzaj budynku	Klasa jakości ²⁾	P _{em} [kWh/m ² ·rok]	P _{pc} [kWh/m ² ·rok]	P _N [W/m ²]	Bez cte natężenia oświetlenia		Z cte natężenia oświetlenia	
					LENI	LENI	LENI	LENI
					Wartość graniczna		Wartość graniczna	
					Ręczne	Auto	Ręczne	Auto
					[kWh/m ² ×rok]		[kWh/m ² ×rok]	
Biuro	*	1	5	15	42,1	35,3	38,3	32,2
	**	1	5	20	54,6	45,5	49,6	41,4
	***	1	5	25	67,1	55,8	60,8	50,6
Szkoła	*	1	5	15	34,9	27,0	31,9	24,8
	**	1	5	20	44,9	34,4	40,9	31,4
	***	1	5	25	54,9	41,8	49,9	38,1
Szpital	*	1	5	15	70,6	55,9	63,9	50,7
	**	1	5	25	115,6	91,1	104,4	82,3
	***	1	5	35	160,6	126,3	144,9	114,0

Tab.6 Maksymalne wartości wskaźników zużycia energii elektrycznej na oświetlenie (wg PN-EN 15193:2010P)[6]

Przykładowo: dla dobrego poziomu oświetlenia w biurze (w tabeli 3), stosując automatykę, można zredukować współczynnik LENI, czyli roczną ilość kWh energii na oświetlenie 1 m² z 67,1 na 50,6. To stanowi $(67,1-50,6) / 67,1 = 24,59\%$, czyli ok. ¼ dodatkowej oszczędności energii elektrycznej na oświetlenie.

Nie ulega wątpliwości, że w przyszłości wraz ze wzrostem cen energii elektrycznej, systemy z zastosowaniem automatyki będą pojawiać się coraz częściej. Obecnie, ze względu na wysoki koszt LED sterowanych oraz elementów wykonawczych programu do zarządzania energią, czasy zwrotu takiej inwestycji najczęściej są dłuższe niż standardowych rozwiązań.

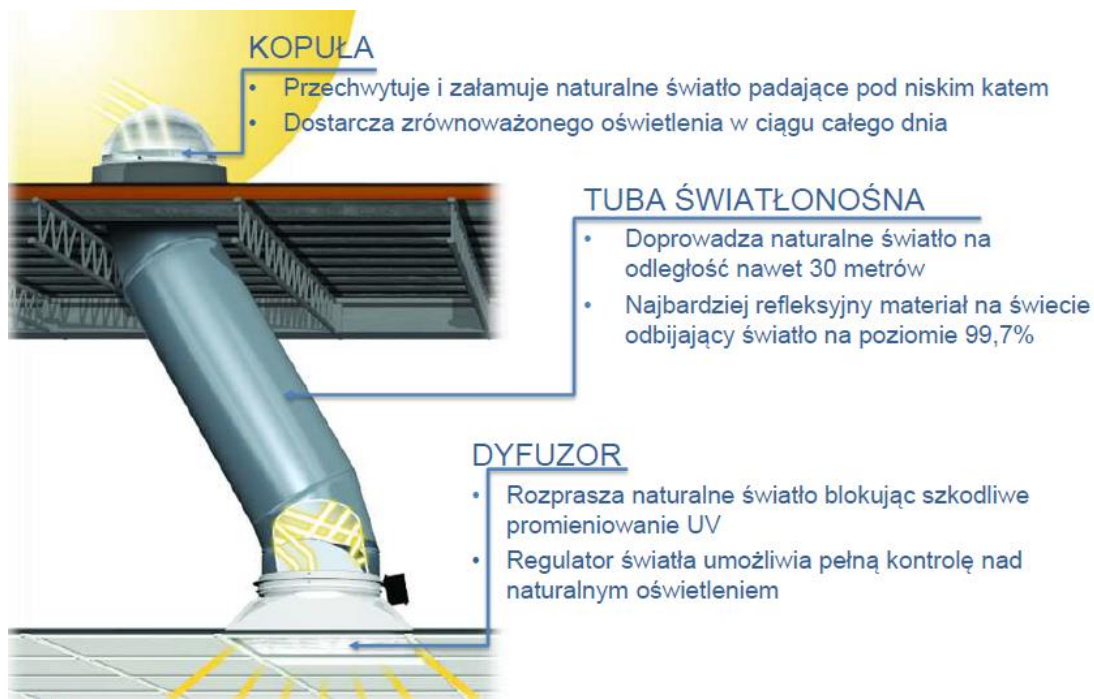
Przykład pokazuje tabela:

L.p.	Omówienie	Jednostki	Stan istniejący	W1	W2
1.	Moc jednostkowa opraw oświetlenia podstawowego w budynku P_N	W/m ²	5,63	2,32	2,32
2.	Czas użytkowania oświetlenia podstawowego w ciągu dnia t_D	h	4 468	4 468	4 468
3.	Czas użytkowania oświetlenia podstawowego w ciągu nocy t_N	h	1 372	1 372	1 372
4.	Współczynnik uwzględniający obniżenie natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego F_C	----	1,00	1,00	0,93
5.	Współczynnik uwzględniający nieobecność użytkowników w miejscu pracy F_O	----	1,00	1,00	0,80
6.	Współczynnik uwzględniający wykorzystanie światła dziennego F_D	----	1,0	1,0	0,80
7.	Liczbowy wskaźnik energii oświetlenia LENI	kWh/m ² rok	32,9	13,6	8,6
8.	Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku dla wbudowanej instalacji oświetleniowej $Q_{KL} = A_f \cdot LENI$	kWh/rok	139 178,9	57 465,6	36 213,0
9.	Roczne oszczędności energii końcowej po modernizacji systemu oświetlenia ΔQ_{KL}	kWh/rok		81 713,3	102 965,9
10.	Jednostkowe opłaty za energię elektryczną C_{jed}	zł/kWh	0,25154		
11.	Roczne koszty zmienne zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia wbudowanego K	zł/rok	35 009,06	14 454,90	9 109,01
12.	Roczne oszczędności kosztów zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia ΔQ_K	zł/rok		20 554,16	25 900,04
13.	Koszt modernizacji systemu oświetlenia N_U	zł		20 842,36	132 775,96
14.	Prosty czas zwrotu SPBT	lat		1,0	5,1

Tab.7 Czas zwrotu modernizacji oświetlenia w dwóch wariantach

Wariant W1 to standardowe oprawy LED bez sterowania, W2- z wyżej opisanym sterowaniem automatycznym.

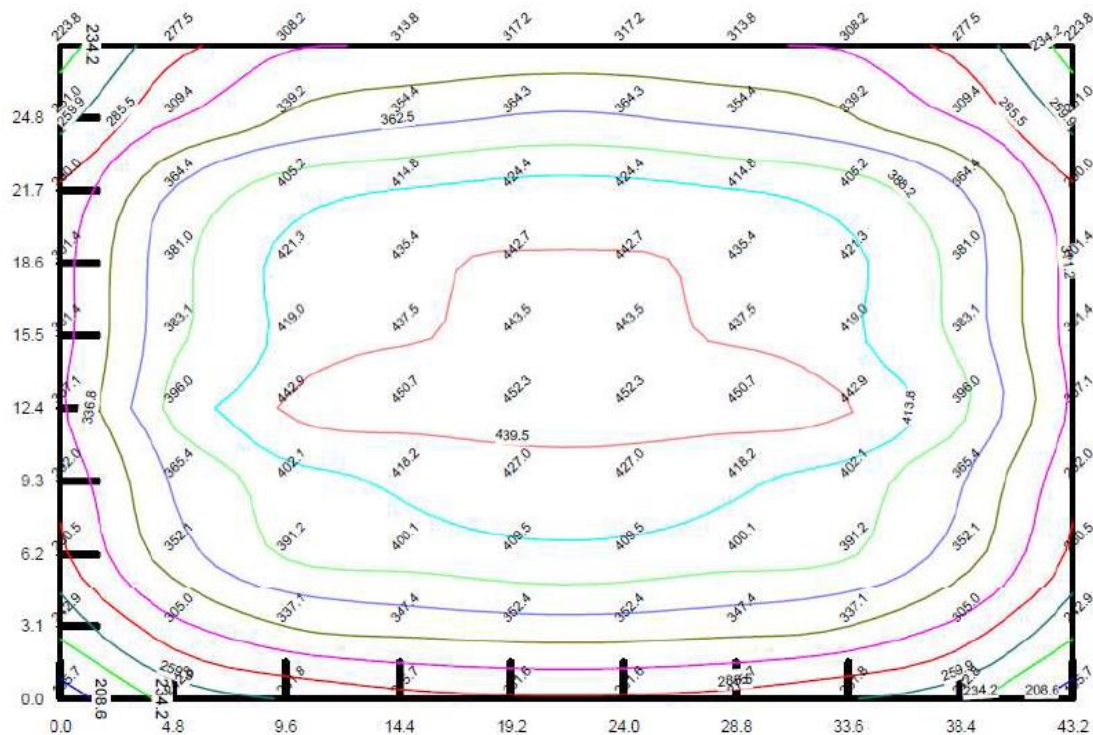
Dalsze zwiększenie oszczędności energii dałoby połączenie technologii automatycznej regulacji oświetlenia z zastosowaniem świetlików lub rur świetlnych. Rury świetlne są lepszym rozwiązaniem, gdyż dzięki soczewce skupiającej u góry na dachu do rury trafia skoncentrowane promieniowanie słoneczne. Duży współczynnik odbicia pozwala przesłać to światło nawet do kilkunastu metrów, ograniczając straty do minimum. Jednocześnie, małe w stosunku do świetlika wymiary, ograniczają straty ciepła, gdyż zawsze współczynnik przenikania ciepła przez okno lub świetlik jest większy niż przez strop docieplony zgodnie z wymagania rozporządzenia.



Rys. 2 Zasada działania tuby światłonośnej [8]

Przykład zastosowanie rur świetlnych w hali przedstawia rysunek poniżej. Są to wyniki symulacji poziomu oświetlenia hali w warunkach jesiennie- zimowych. W okresie letnim przewidywane wyniki będą ok. 2 razy wyższe.

Rysunek poniżej przedstawia średnie natężenie oświetlenia na poziomie min. 300lx:



Rys.3 Wyniki symulacji natężenia światła pochodzącego z rur świetlnych

w hali

Wprowadzenie energii słońca do oświetlenia hali przy użyciu rur świetlnych to przykład zastosowania energii odnawialnej, jakim jest słońce. Jak widać na przykładzie, wykorzystanie energii słonecznej w celu zaoszczędzenia energii elektrycznej nie zawsze musi opierać się na fotowoltaice. Uzyskanie maksymalnej oszczędności jest jednak możliwe dopiero gdy zastosujemy automatyczną regulację oświetlenia w programie do zarządzania energią, gdyż żadna próba regulacji ręcznej nie okaże się tak skuteczna, przy zmiennym poziomie nasłonecznienia.

Podsumowanie

Zastosowanie programu do zarządzania energią pozwoli na najlepsze zarządzanie energią do ogrzewania. Zaproponowane przez autora rozwiązanie polegające na sterowaniu ogrzewaniem nie tylko w oparciu o metodę prognozową i odczyt regulatorów w pomieszczeniach, ale zastawaniu informacji z urządzeń produkcyjnych do obliczania z wyprzedzeniem zysków wewnętrznych, przyniesie dodatkowe oszczędności energii w stosunku do najlepszych obecnie stosowanych systemów.

Realne automatyczne sterowanie ogrzewaniem, oświetleniem, niektórymi procesami przemysłowymi jest gwarancją zwrotu inwestycji w program do zarządzania energią. Procesy te również dają znaczące oszczędności energii.

Dalsza, pogłębiona analiza zużycia energii na podstawie danych z programu do zarządzania energią może być źródłem kolejnych, znaczących oszczędności.

Wykorzystane źródła informacji:

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej
2. Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. "w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej"
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej
4. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. „w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii”
5. https://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,energooszczedne_oswietlenie_wnetrz_obiektow_uzytecznosci_publicznej,11008,5

6. <http://www.elektryczneinstalacje.eu/eletter-dla-czytelnikow/wskazniki-zuzycia-energii-elektrycznej-na-oswietlenie-1344007.html> autor: mgr inż. Janusz Strzyżewski
7. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
8. <http://solatube.com.pl/>
9. Dane z systemu zarządzania energią udostępnione przez LAMELA Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Spółka komandytowa ul. Poznańska 4, 99-400 Łowicz.
10. Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 102/2019w sprawie ogłoszenia wyników Aukcji Zwyczajnej Nr AZ/9/2019
<https://www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/aktualnosci/8304,Srednia-cena-sprzedazy-energii-elektrycznej-na-ryнку-konkurencyjnym-w-I-kwartale.html>