Gdzie kryją się oszczędności energii?

Monitorowanie zużycia energii

Minimalizacja zużycia energii

KAPE
Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

Podręcznik do samooceny zużycia energii

dla małych i średnich przedsiębiorstw

DR INŻ. JACEK SZYMCZYK
KRAJOWA AGENCJA POSZANOWANIA ENERGII SA

Projekt finansowany przez Unię Europejską

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Autor:
dr inż. Jacek Szymczyk

Skład graficzny:
Agata Skrzypek
Anna Wierzchołowska-Dziedzic

Fotografia na stronie tytułowej:
Designed by Freepik

ISBN: 978-83-932908-1-9

Niniejszy podręcznik został opracowany przy finansowym wsparciu Unii Europejskiej w ramach realizacji projektu pn. Wsparcie techniczne dla promowania audytu energetycznego oraz inwestycji w efektywność energetyczną w małych i średnich przedsiębiorstwach. Opinie wyrażone w dokumencie nie mogą być traktowane, jako odzwierciedlenie oficjalnych opinii Unii Europejskiej.

Projekt został sfinansowany przez Unię Europejską w ramach Programu Wspierania Reform Strukturalnych i realizowany przez Krajową Agencję Poszanowania Energii SA we współpracy z Komisją Europejską na rzecz Ministerstwa Klimatu i Środowiska.

Spis treści

Słowem wstępu 4
Gdzie kryją się oszczędności energii? 5
Oceń się! 7
1. Inwentaryzacja 10
2. Monitorowanie zużycia energii 11
3. Minimalizacja zużycia energii w przesyle mediów 12
3.1. Silniki elektryczne i przemienniki częstotliwości 13
3.2. Pompy 16
3.3. Wentylatory i dmuchawy 20
3.4. Układy sprężonego powietrza 22
4. Klimatyzacja 25
5. Wytwarzanie ciepła 29
6. Oświetlenie 34
7. Urządzenia biurowe 36
8. Budynek 38
9. Organizacja pracy 40
10. Określanie efektu modernizacji 42
Spis wybranych ważniejszych rozporządzeń i norm 49
Spis fotografii ich autorów i źródeł 50

Słowem wstępu

Dla kogo przeznaczony jest ten podręcznik?

Niniejszy podręcznik przeznaczony jest dla przedstawicieli małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) wszelkich gałęzi przemysłu – od zakładów przemysłu spożywczego (mleczarnie, zakłady mięsne, piekarnie, małe browary, itp.), poprzez przemysł włókienniczy, zakłady usługowe (pralnie, warsztaty, zakłady fryzjerskie, itp.), do firm posiadających jedynie części biurowe.

W podręczniku znaleźć można odpowiedź na pytanie, dlaczego warto zwiększać efektywność energetyczną w przedsiębiorstwie oraz jakimi metodami się posłużyć. Wśród wybranych metod rozróżniono działania techniczne oraz pozatechniczne. Opisane w podręczniku zagadnienia i działania mają być podpowiedzią, gdzie szukać oszczędności. Ma on także zachęcić do przyjrzenia się przedsiębiorstwu, wprowadzeniu ulepszeń i co za tym idzie uzyskania wymiernych korzyści finansowych. Niektóre z tych działań można wykonać samodzielnie i są one niskonakładowe albo nawet bezkosztowe. Część z nich wymaga jednak przeprowadzenia **audytu energetycznego**, który wykaże i uzasadni możliwe oszczędności a także zarekomenduje działania i wskaże ich okresy zwrotu.

Przeprowadzenie **audytu energetycznego** jest konieczne przy ubieganiu się o środki finansowe z dedykowanych programów proefektywnościowych. Dodatkowo podręcznik ten ma pomóc przedsiębiorcy w określeniu pozycji swojego przedsiębiorstwa w kontekście pojęcia **Przemysłu 4.0.**

Główna idea służąca poprawie efektywności energetycznej w przedsiębiorstwie lub każdej innej modernizacji opiera się na sprawdzonym schemacie bazującym na 5-ciu podstawowych czynnościach jak to pokazano na rysunku 1.

W podręczniku można znaleźć informacje potrzebne do przejścia każdego z przedstawionych etapów.

Rysunek 1 Schemat ideowy procesu modernizacyjnego

Podręcznik opisuje zagadnienia związane z wykorzystaniem energii elektrycznej oraz ciepła. Użytkownik znajdzie w nim szereg propozycji technicznych oraz propozycji z obszaru zarządzania, którym przypisany jest określony wymierny efekt. W kilku miejscach efekty te wyrażone są w procentach i oznaczają możliwe do osiągnięcia obniżenie zużycia energii. Jednakże w rozważaniu podjęcia kilku takich modernizacji, efekt nie będzie jednocześnie prostą sumą wymienionych wartości procentowych. Każde takie miejsce jest w podręczniku wyraźnie opisane.

Gdzie kryją się oszczędności energii?

W każdym obszarze, w którym zużywa się energię elektryczną i ciepło (tabela 1), można zredukować zużycie energii i względnie obniżyć koszty jej zużycia.

Wszystkie obszary działalności przedsiębiorstw można podzielić na 3 podstawowe grupy:

1. zasilanie zakładu w media (energię elektryczną, ciepło, gaz ziemny, wodę),
2. bezpośrednie wytwarzanie dóbr materialnych lub usług,
3. użytkowanie urządzeń pomocniczych oraz biurowych.

Tabela 1 Możliwości obniżenia zużycia energii elektrycznej i ciepła dla poszczególnych obszarów działalności przedsiębiorstw

Obszar	Maszyny i urządzenia	Możliwe działania proefektywnościowe
PRODUKCJA	wszystkie napędy, silniki prądu przemiennego i stałego (przenośniki, taśmociągi, prasy, itp.)	wymiana starych (kilkunastoletnich i starszych) na nowe o wyższych sprawnościach lub na energooszczędne; unikanie pracy przy małym obciążeniu, stosowanie obniżonego napięcia zasilania przy małym obciążeniu w obrabiarkach z silnikami prądu przemiennego (ograniczenie strat biegu jałowego).
	pompy wirowe obiegowe, cyrkulacyjne, procesowe, inne	rozważenie zmiany sposobu regulacji (najczęściej na regulację zmiennoobrotową), poprawny dobór do układu, remont uszczelnień i/lub łożysk lub wymiana na nowsze, optymalizacja liczby pomp i sposobu ich połączenia, poprawienie warunków zasilania po stronie ssawnej
	wentylatory nadmuchu, wyciągowe, transportu pneumatycznego	rozważenie zmiany sposobu regulacji (najczęściej na regulację zmiennoobrotową), optymalny dobór, zapobieganie pompażowi, optymalizacja liczby pracujących wentylatorów
	instalacje sprężonego powietrza	rozważenie zmiany sposobu regulacji na pracę z przemiennikiem częstotliwości, likwidacja wycieków, obniżenie ciśnienia roboczego, właściwy dobór liczby sprężarek, zastosowanie sterowania nadrzędnego, wykorzystanie generowanego ciepła odpadowego
	grzałki technologiczne	wymiana, racjonalne obniżenie mocy, zmiana czasu wykorzystania
	piece elektryczne	zmiana czasu wykorzystania, praca w okresach o niższej cenie energii, poprawa izolacji cieplnej
	obrabiarki	wymiana silników na sprawniejsze
	para, gorąca woda	poprawienie lub uzupełnienie izolacji na rurociągach, poprawienie izolacji pomieszczeń, odzysk ciepła z kondensatu, odzysk ciepła z procesów produkcyjnych, regularne przeglądy odwadniaczy, monitorowanie i optymalizacja współczynnika nadmiaru powietrza w kotłach

Obszar	Maszyny i urządzenia	Możliwe działania proefektywnościowe
ZASILANIE	dostawca energii	wybór innego dostawcy z lepszą ofertą, rozważenie zainstalowania instalacji fotowoltaicznej
	moc zamówiona	racjonalne obniżenie mocy zamówionej w przypadku, kiedy występuje w miarę stabilny pobór energii nawet przy incydentalnych ewentualnych przekroczeniach
	transformatory	ograniczenie strat energii poprzez wymianę transformatorów na nowe, dostosowanie transformatorów do obciążenia
	moc bierna	racjonalne poprawienie współczynnika mocy poprzez kompensację
	liczniki energii	możliwość śledzenia energochłonności poszczególnych obszarów lub pojedynczych maszyn dzięki zainstalowaniu podliczników w wydzielonych obszarach
	ciepło/chłód	poprawienie izolacji budynku, wykorzystanie ciepła/chłodu systemowego, zastosowanie kogeneracji/trigeneracji
URZĄDZENIA POMOCNICZE, BIUROWE LUB AGD	wentylacja pomieszczeń	optymalizacja temperatury w szczególności na większych obszarach, wykorzystanie wentylacji naturalnej, odzysk ciepła dzięki wykorzystaniu rekuperatorów
	klimatyzacja pomieszczeń	optymalizacja temperatury z zachowaniem komfortu cieplnego, wyeliminowanie jednoczesnego grzania i chłodzenia, wykorzystanie metody „free cooling", wydzielanie mniejszych obszarów z oddzielną regulacją, stosowanie osłon zapobiegających nagrzewaniu się okien od słońca
	ogrzewanie	wyeliminowanie jednoczesnego grzania i chłodzenia, zmiana źródeł ciepła szczególnie przy jego ciągłym wykorzystywaniu, poprawienie izolacji cieplnej
	oświetlenie hal, biur, magazynów, parkingów, ciągów komunikacyjnych	wymiana źródeł na energooszczędne z zapewnieniem tego samego natężenia i barwy światła, wyłączanie niepotrzebnych źródeł, stosowanie czujników ruchu, wykorzystania oświetlenia naturalnego w sposób optymalny, stosowania jasnych farb, umycie ścian i sufitów, mycie opraw oświetleniowych.
	chłodnie i mroźnie	poprawa izolacji termicznej, dbanie o szczelność przegród, stosowanie wydajniejszych agregatów, dbałość o czystość wymienników ciepła, unikanie zbędnego otwierania urządzeń chłodniczych
	transport poziomy i pionowy	optymalne wykorzystanie, eliminowanie pustych przewozów, wymiana napędów na sprawniejsze, poprawienie warunków magazynowania towarów o innej temperaturze niż temperatura otoczenia
	urządzenia biurowe – faksy, kuchenki mikrofalowe, czajniki, zmywarki do naczyń, komputery, ładowarki, kserokopiarki, itp.	racjonalne eliminowanie przestojów na czuwaniu, optymalizacja wykorzystania, wybór urządzeń o optymalnej w stosunku do potrzeb klasie efektywności energetycznej (kierowanie się etykietą energetyczną)
	stan murów, stolarki okiennej, stropów i fundamentów	wymiana bądź naprawa nieszczelnych, poprawa izolacji cieplnej i likwidacja mostków cieplnych
	inne	monitorowanie zużycia energii, zmiana nawyków załogi, regularne przeglądy instalacji, zmiana organizacji pracy, wyłączanie niepracujących urządzeń i maszyn, przeniesienie wybranych procesów na porę nocną

Oceń się!

W poniższej tabeli przedstawiono zbiór pytań pomocnych przy wykonywaniu samooceny, które mogą być wstępem do audytu przedsiębiorstwa. Jednak, aby odpowiedzieć na te pytania, należy wykonać inwentaryzację wiedzy oraz sposobów zarządzania energią w firmie. Niektóre pytania są punktowane (wyróżnione tłustym drukiem), na które odpowiedź twierdząca otrzymuje 1 punkt. Punkty te po zsumowaniu pokażą sytuację przedsiębiorstwa na tle przedsiębiorstwa referencyjnego, dla którego odpowiedzi na wszystkie punktowane pytania są pozytywne (suma referencyjna 20 pkt).

Lp.	Pytanie	
1	**Ile w Pani/Pana przedsiębiorstwie wynosi roczne zużycie energii elektrycznej i jaki był jej koszt w ostatnich dwóch latach?**	
2	**Ile w Pani/Pana przedsiębiorstwie wynosi roczne zużycie ciepła i jaki był jego koszt w ostatnich dwóch latach?**	

Lp.	Pytanie	Tak	Nie	Nie wiem
3	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie zużycie energii jest monitorowane?**			
4	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie analizuje się taryfy energii elektrycznej pod kątem zmiany dostawcy?**			
	Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie analizuje się taryfy energii elektrycznej pod którymkolwiek z kryteriów - dostosowania do aktualnych potrzeb, zapotrzebowania i/lub mocy maksymalnej?			
5	Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie obserwuje się przekroczenia poboru mocy zamówionej?			
6	Czy jeśli w Pani/Pana przedsiębiorstwie obserwuje się przekroczenia poboru mocy zamówionej, to czy analizowane były przyczyny tych przekroczeń?			
7	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie wykonywano w ostatnim okresie analizy dotyczące ograniczania poboru mocy biernej?**			
8	**Czy wie Pani/Pan co oznacza pojęcie Przemysł 4.0?**			
9	Czy Pani/Pana przedsiębiorstwo osiągnęło już, w Pani/Pana opinii, status przedsiębiorstwa w kontekście Przemysłu 4.0?			
10	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie wykonano dotąd audyt energetyczny, wdrożono normę PN-EN ISO 9001 lub PN-EN ISO 50001?**			

Lp.	Pytanie	Tak	Nie	Nie wiem
11	Jeśli Pani/Pana przedsiębiorstwo wdrożyło normę PN-EN ISO 9001, to czy widzi Pani/Pan korzyści płynące z jej wdrożenia?			
12	Jeśli Pani/Pana przedsiębiorstwo wdrożyło normę PN-EN ISO 50001, to czy widzi Pani/Pan korzyści płynące z jej wdrożenia?			
13	Czy Pani/Pana przedsiębiorstwo wdrożyło inne normy bądź posiada inne certyfikaty niż w/w?			
14	**Czy kupując lub użytkując urządzenia biurowe i AGD zawsze zwraca Pani/Pan uwagę na ich etykiety energetyczne?**			
15	Czy ma Pani/Pan świadomość, że w przedsiębiorstwie jest możliwość zastosowania w szczególnie wrażliwych obszarach, dodatkowych podliczników?			
16	Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie istnieją obszary (urządzenia, instalacje), które ulegają częstym awariom?			
17	**Czy jeżeli w Pani/Pana przedsiębiorstwie istnieją szczególnie wrażliwe obszary, które wymagałyby dodatkowych podliczników, to czy obszary te są podlicznikowane?**			
18	Czy Pani/Pana przedsiębiorstwo pracuje w systemie dłuższym niż jednozmianowy?			
19	Czy w Państwa przedsiębiorstwie istnieją procesy dłuższe w czasie i energochłonne (np. wygrzewanie pras, pieców czy innych urządzeń, wychładzanie komór, itp.), które mogą być przesunięte ze zmiany pierwszej na zmianę nocną i jeżeli tak, to czy rozważali Państwo taką zmianę?			
20	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie dokumentacja (faktury za energię, dokumentacja budowlana, plany budynków, schematy wszystkich instalacji, charakterystyki podstawowych maszyn) jest pełna?**			
21	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie istnieje pełna dokumentacja w formie cyfrowej?**			
22	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie stosuje się czujniki ruchu w sterowaniu oświetleniem?**			
23	**Czy w Pani/Pana przedsiębiorstwie stosuje się oświetlenie energooszczędne?**			
24	**Czy jest ono regularnie przeglądane pod kątem stanu czystości i kompletności?**			
25	**Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie wybór sposobu podgrzewu ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) poprzedzony był analizą ekonomiczną?**			
26	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie podgrzew ciepłej wody użytkowej realizowany jest przez odzysk ciepła z procesów produkcyjnych?			
27	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie podgrzew ciepłej wody użytkowej realizowany jest poprzez podgrzewacze elektryczne przepływowe bądź zasobnikowe?			
28	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie podgrzew ciepłej wody użytkowej realizowany jest poprzez podgrzewacze elektryczne zasobnikowe?			
29	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się kotły na paliwo stałe, płynne lub gaz?			

Lp.	Pytanie	Tak	Nie	Nie wiem
30	**Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się kotły na paliwo stałe, płynne lub gaz, to czy przeprowadzana była analiza procesu spalania oraz mierzona była sprawność kotłów?**			
31	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie przeprowadzana była analiza procesu spalania oraz mierzona była sprawność kotłów, to kiedy ostatnio?			
32	**Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie monitoruje się stan izolacji cieplnej rur z parą lub gorącą wodą?**			
33	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się sprężone powietrze, to czy sprężarka ma swobodny dostęp do chłodnego powietrza?			
34	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się sprężone powietrze, to czy ciepło generowane przez sprężarkę jest gdzieś wykorzystywane?			
35	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się sprężone powietrze, to czy instalacja sprężonego powietrza sprawdzana jest regularnie i wycieki powietrza są na bieżąco usuwane?			
36	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie pracują pompy lub wentylatory, które hałasują?			
37	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie pracują pompy lub wentylatory, które hałasują, to czy badana była przyczyna tych hałasów?			
38	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie zużywa się większe ilości wody, to czy stosuje się odzysk wody, np. tzw. wody szarej lub wody po procesach produkcyjnych?			
39	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie wykorzystuje się klimatyzację?			
40	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie wykorzystuje się klimatyzację, to czy jest ona niezbędna?			
41	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie wykorzystuje się klimatyzację, to czy jej zainstalowanie poprzedzone było analizą ekonomiczną?			
42	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie wykorzystuje się klimatyzację, to czy zapewnia ona komfort cieplny?			
43	**Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie na oknach zainstalowane są żaluzje lub okleiny/warstwy redukujące nagrzewanie się szyb od słońca?**			
44	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się „free cooling”?			
45	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się rekuperację ciepła?			
46	Czy w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się jakiekolwiek elementy energetyki odnawialnej, np. panele PV, kolektory słoneczne, turbiny wiatrowe, pompy ciepła?			
47	**Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się jakiekolwiek elementy energetyki odnawialnej, to czy były one sprawdzane pod kątem ich efektywności i ekonomiczności stosowania?**			
48	Czy jeśli w Pani/Pana Przedsiębiorstwie stosuje się jakiekolwiek elementy energetyki odnawialnej, to czy ich rodzaj był dobierany optymalnie w stosunku do możliwości wykorzystania?			

1. Inwentaryzacja

Inwentaryzacja przedsiębiorstwa pod kątem dokumentacji oraz rozliczeń z dostawcami mediów jest pierwszym etapem działań prowadzących do zmniejszenia kosztów jego funkcjonowania. Kompletna dokumentacja techniczna (schematy instalacji, specyfikacje urządzeń, rzetelne notowanie wszystkich modyfikacji, itp.) jest niezbędna do wykonania prawidłowych analiz. Jeśli przedsiębiorstwo chce przystąpić do audytu, musi najpierw zadbać o skompletowanie aktualnej dokumentacji.

Aby przystąpić do działań proefektywnościowych, niezbędne jest przeprowadzenie inwentaryzacji przedsiębiorstwa od strony technicznej, ale i od strony dostępnej dokumentacji, ponieważ modernizacja zadanego obszaru bez pełnej wiedzy na jego temat jest bardzo utrudniona lub wręcz niemożliwa. Bardzo często zdarza się, że dokumentacja niektórych instalacji, urządzeń czy maszyn jest niepełna, nieaktualna lub jej nie ma (brak schematów instalacji, niepełne dane urządzeń). Dopiero po uzupełnieniu braków można przystąpić do wdrażania działań proefektywnościowych. Najczęstszymi trudnościami, na jakie audytor napotyka na samym początku audytu, są: brak schematu instalacji sprężonego powietrza, brak wiedzy na temat przeglądów poszczególnych urządzeń (zwłaszcza jeśli chodzi o parę wodną) oraz utrudniony dostęp do niektórych części zakładu lub do węzłów.

W przypadku faktur i dokumentacji dotyczącej rozliczania się z dostawcami mediów, najczęściej nie ma tu braków i obszar ten jest w pełni dopilnowany. Jednak faktury są często opłacane i archiwizowane bez żadnej analizy. Dodatkową trudnością jest brak informacji o zużyciu energii w minionych miesiącach i latach. Warto zadbać o dostępność tych danych zanim przystąpi się do jakichkolwiek działań technicznych.

Rzetelna inwentaryzacja instalacji, urządzeń oraz dokumentacji może znacznie ułatwić planowanie modernizacji czy stworzenie strategii systematycznego obniżania zużycia energii w następnych miesiącach lub latach.

2. Monitorowanie zużycia energii

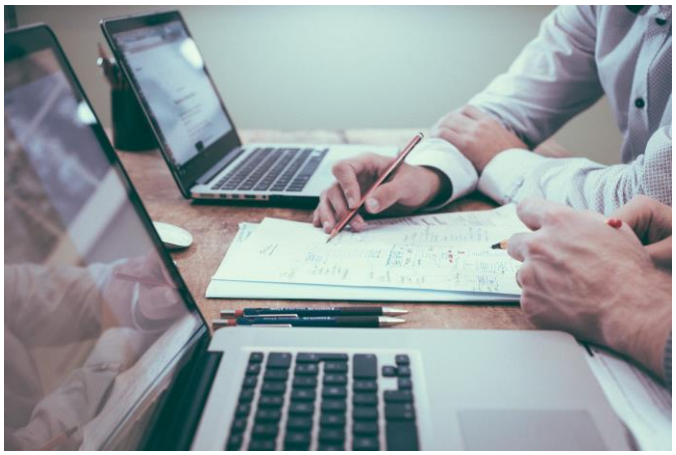
Aby efektywnie obniżyć koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa, niezbędne jest monitorowanie zużycia energii oraz mediów. Od tego należy zacząć wprowadzanie usprawnień.

W zdecydowanej większości firm, a w szczególności małych, instaluje się tylko pojedyncze liczniki energii elektrycznej i poszczególnych mediów (gazu, wody). Służą one jedynie do rozliczania się z dostawcami. Z uwagi na niewielką liczbę pracowników, zużycie mediów w mniejszych przedsiębiorstwach przeważnie nie jest monitorowane, przez co nie zauważa się potencjalnych oszczędności energii. Monitorowanie zużycia poszczególnych mediów pozwala na ograniczenie zużycia energii poprzez minimalizację strat, które mogą się pojawiać na skutek przede wszystkim:

- nieszczelności w instalacjach wynikłych z uszkodzenia instalacji (korozja rur, pęknięcia zmęczeniowe rur),
- zwiększenia upływności w instalacji elektrycznej spowodowanej np. przegrzewaniem się przewodów i degradacją izolacji,
- zwiększenia oporów hydraulicznych na skutek zanieczyszczenia się instalacji lub narastania kamienia kotłowego w instalacjach wodnych lub parowych.

Wykrywanie nieprawidłowości w funkcjonowaniu poszczególnych instalacji można przeprowadzić na trzy sposoby, z których każdy daje inne informacje i jest równie ważny:

- wykonywanie profilu rocznego zużycia energii elektrycznej lub innych mediów i porównywanie zużycia pomiędzy poszczególnymi miesiącami,
- porównywanie zużycia pomiędzy tymi samymi okresami w poszczególnych latach,
- porównywanie (benchmarking) swojego właściwego zużycia energii lub mediów,

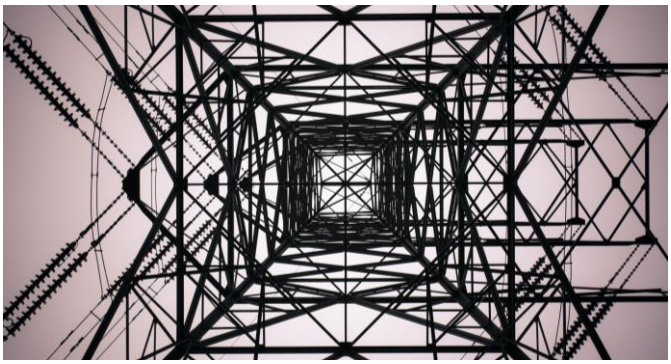


czyli zużycia w odniesieniu do jednostki produktu, ze zużyciem innych zakładów tej samej branży.

Dwa pierwsze sposoby są proste i beznakładowe. Wymagają jedynie czasu, gdyż opierają się na krytycznej analizie faktur. Sposób trzeci natomiast wymaga dostępu do podobnych danych prezentowanych przez inne zakłady z tej samej branży lub do pewnej średniej reprezentatywnej dla poszczególnych branż. Informacje na ten temat dostępne są w niektórych izbach branżowych skupiających wytwórców podobnych dóbr lub w postaci wyników realizacji programów Unii Europejskiej nakierowanych na zwiększanie efektywności energetycznej. Pomocną funkcję we wspieraniu efektywności energetycznej i gromadzeniu pomocnych danych mogłoby być porozumienie stowarzyszeń przemysłowych i gospodarczych podobne do powstałego w Szwajcarii pod koniec lat 80 XX wieku o nazwie Energy Efficiency Network (EEN), która to koncepcja rozwinęła się do obecnych czasów i jest znana w formule Learning Energy Efficiecny Network (LEEN) i jest pomocna w optymalizacji zużycia energii w przedsiębiorstwie poprzez wdrażanie środków poprawy efektywności energetycznej, a powstanie LEEN zależne jest przede wszystkim od przedsiębiorców. Z sukcesem stowarzyszenia przedsiębiorców LEEN działają w Niemczech, Francji i Austrii a także w Meksyku.

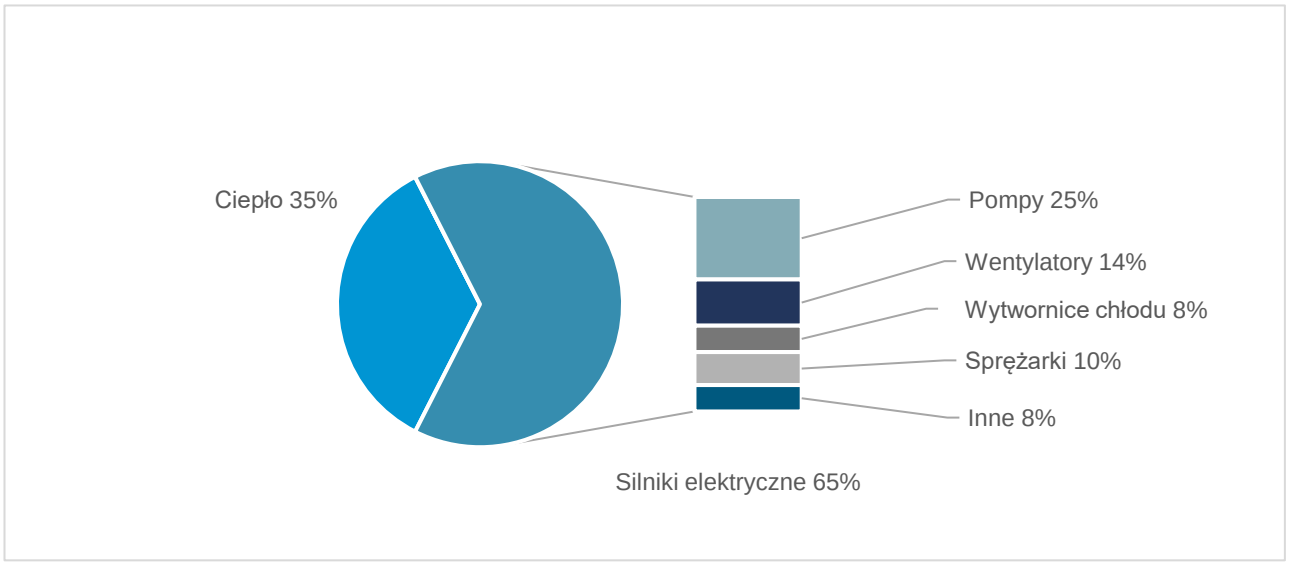
3. Minimalizacja zużycia energii w przesyle mediów

Maszyny wirujące stanowią najliczniejszą i zużywającą największą ilość energii grupę urządzeń. Istnieją różne sposoby na obniżenie zużycia energii przez silniki elektryczne, pompy, sprężarki i wentylatory, w sumie nawet do około 35%.



Urządzenia zużywają energię elektryczną zależnie od ich przeznaczenia – do grzania, do napędu, do oświetlania i do chłodzenia. Jednak spośród wszystkich tych urządzeń największą część w przedsiębiorstwach małych i średnich konsumują maszyny wirujące – silniki elektryczne, które z kolei służą do napędu pomp, wentylatorów, sprężarek, przenośników taśmowych, podnośników.

Według przybliżonych danych struktura zużycia energii elektrycznej przedstawia się jak pokazano na rysunku Rysunek 2. Biorąc pod uwagę wszystkie źródła energii w Polsce, około 65% energii pierwotnej wykorzystuje się w urządzeniach elektrycznych, zaś około 35% w postaci ciepła. Wśród urządzeń elektrycznych wyróżniono podstawowe grupy, z których statystycznie najwięcej energii zużywają pompy, następnie wentylatory, sprężarki i wytwornice chłodu.



Rysunek 2 Struktura wykorzystania energii elektrycznej według odbiorów

3.1. Silniki elektryczne i przemienniki częstotliwości

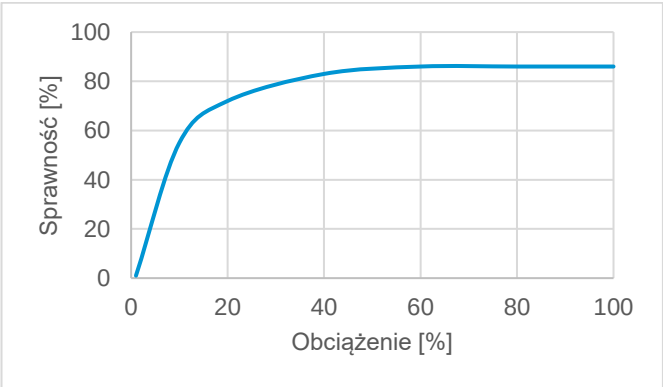
Wykorzystanie silników energooszczędnych w miejsce silników standardowych może podnieść sprawność napędu o kilka procent. Modernizacja taka jest zasadna dla napędów o pracy ciągłej, tj. do najwyżej dwóch rozruchów na godzinę. Znamionowe sprawności silników energooszczędnych osiągają wartość 95,5%, zaś przemienników częstotliwości nawet do 96%. Silniki trójfazowe mają wyższe sprawności niż silniki jednofazowe o tej samej mocy. Przystępując do audytu w pierwszej kolejności należy wyszczególnić, a potem zbadać, największe i najbardziej energochłonne napędy.

We wszystkich gałęziach przemysłu około 90% silników elektrycznych stanowią silniki prądu przemiennego jedno- i trójfazowe. Podstawową normą dotyczącą silników elektrycznych jest w Polsce norma PN-EN 60034-30-1 Maszyny elektryczne wirujące. Norma ta, z bardzo małymi wyjątkami, dotyczy prawie wszystkich silników, określa **klasy sprawności** silników prądu przemiennego bezpośrednio zasilanych z sieci i dotyczy silników o mocy znamionowej od 0,12 kW do 1 MW, napięciu znamionowym od 50 V do 1 kV. Klasy sprawności są następujące: IE1 (Standard Efficiency), IE2 (High Efficiency), IE3 (Premium Efficiency), IE4 (Super Premium Efficiency). Typowe wartości sprawności silnika indukcyjnego przedstawiono na rysunku 3 – dla obciążenia nominalnego sprawność silnika jest maksymalna, jednak przy zmniejszaniu obciążenia poniżej ok. 40% sprawność obniża się już o ok. 10 punktów procentowych.

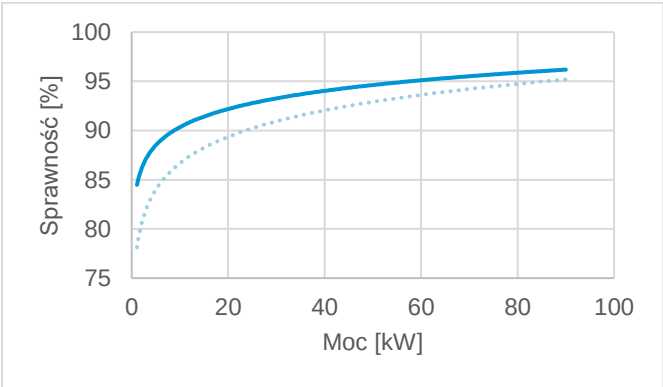
Sprawności nominalne silników zależą od ich mocy. Im silnik ma większą moc, tym ma też większą sprawność. Zależność tę pokazano na rysunku 4, zaś porównanie sprawności silników standardowych i odpowiadających im silników energooszczędnych pokazano w tabeli dla przykładu 1. Sprawność silnika elektrycznego wyraża się wzorem:

$$\eta_s = \frac{P_M}{P_{EL}} = \frac{M \cdot \omega}{P_{EL}}$$

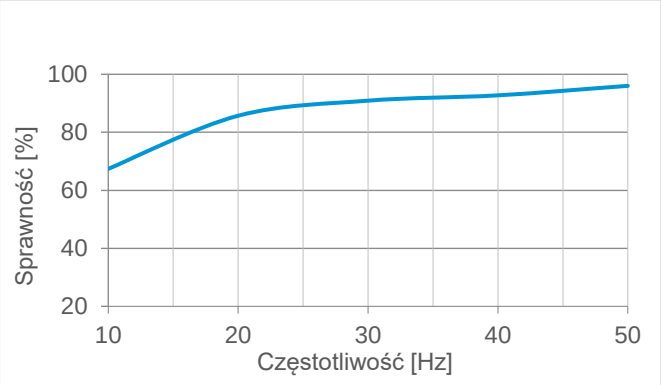
P_M – moc na wale pompy (moc nominalna podawana na tabliczce znamionowej silnika),
P_{EL} – moc elektryczna dostarczana do silnika.



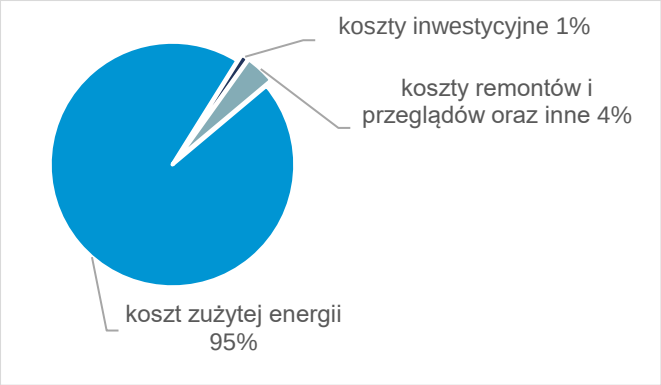
Rysunek 3 Typowy przebieg sprawności silnika indukcyjnego



Rysunek 4 Klasy silników indukcyjnych



Rysunek 5 Typowy przebieg sprawności przemiennika częstotliwości



Rysunek 6 Koszty silnika w typowym cyklu życia

Przy zastosowaniu prawie wyłącznie silników prądu przemiennego, jedyną możliwością (nie licząc już prawie niewystępujących sprzęgieł hydrokinetycznych) płynnej zmiany ich prędkości obrotowej jest zastosowanie przemienników częstotliwości. Niezależnie jednak od producenta, ich sprawność w funkcji częstotliwości na wyjściu obniża się tak, że przy mocnym obniżeniu prędkości obrotowej może spaść nawet do 65% (rysunek 5).

Jak pokazano na rysunku 6, dominującą część kosztów w cyklu życia stanowią koszty energii, zatem rachunek ekonomiczny kosztów remontów oraz sprawności starszych silników pokazuje, że dla silników o mocach do ok. 25 kW **nie jest w ogóle opłacalny ich remont**, ponieważ jego koszt jest podobny do kosztu silnika nowego. Biorąc ponadto pod uwagę fakt, że silnik w wykonaniu energooszczędnym jest ok. 20% droższy niż standardowy oraz, że koszty pracy silnika w jego cyklu życia to przede wszystkim koszty energii (ok. 95%), to zakładając pracę ciągłą, rozwiązaniem najtańszym w dłuższym okresie jest zakup silnika energooszczędnego zamiast standardowego.

Przykład 1

Określ atrakcyjność zamiany silnika standardowego na silnik o podwyższonej sprawności dla pięciu silników o mocach znamionowych P_N równych 0,75 kW, 7,5 kW, 18,5 kW, 30 kW i 90 kW pracujących t = 6000 godzin rocznie przyjmując cenę energii energetycznej c_{EL} = 0,45 zł/kWh.

Aby określić atrakcyjność zamiany, określić należy sprawności η silników, koszt energii oraz ceny rynkowe nowych silników energooszczędnych c_{EE}. Zestawienie w tabeli poniżej.

P_N [kW]	η [%]	
	standardowy η_{ST}	energooszczędny η_{EE}
0,75	73	83,2
7,5	87,8	90,7
18,5	90,9	92,6
30	92,5	93,5
45	94	94,4
90	94,3	95,1

Znając sprawności można w każdym przypadku określić w kolejności moc elektryczną P_{EL}, różnicę energii elektrycznej pobranej przez silnik standardowy E_{ST} oraz silnik energooszczędny E_{EE} w ciągu roku ΔE, oraz okres zwrotu *SPBT* wykorzystując zależności:

$$P_{EL} = \frac{P_N}{\eta}$$

$$\Delta E = \left(\frac{P_N}{\eta_{ST}} - \frac{P_N}{\eta_{EE}}\right) \cdot t$$

$$SPBT = \frac{c_{EE}}{\Delta E \cdot c_{EL}}$$

P_N [kW]	c_{EE} [zł]	ΔE [kWh/rok]	$\Delta E \cdot c_{EL}$ [zł/rok]	SPBT [lata]
0,75	270	755,7	340,0	0,79
7,5	760	1638,7	737,4	1,03
18,5	2334	2241,8	1008,8	2,31
30	5500	2081,2	936,5	5,57
45	7500	1217,1	547,7	13,69
90	13000	4817,2	2167,7	6,00

Jak widać w tabeli, przybliżony okres zwrotu po zakupie i wymianie silnika standardowego na energooszczędny dla silników o mocach do 10 kW jest bardzo krótki i wynosi około 1 roku, dla silników do ok. 20 kW nie przekracza 3 lat. Zatem działanie takie jest atrakcyjne finansowo.

3.2. Pompy

Gdyby wdrożyć wszystkie działania zwiększające efektywność energetyczną pomp, to można byłoby uzyskać obniżenie zużycia energii nawet o 40%. Największe straty przynosi nieoptymalna regulacja. Dlatego też, w trakcie audytu należy w szczególności zbadać te pompy, które pracują ze zmiennym przepływem. Możliwe do obniżenia lub zlikwidowania straty może wykazać audyt energetyczny.

Na rysunku 2 widać, że spośród wszystkich urządzeń wirujących, pompy stanowią około połowę urządzeń elektrycznych. Dlatego też, poprawa efektywności energetycznej w tej grupie może przynieść znaczący efekt. Na niekorzyść jednak wszelkich działań modernizacyjnych przemawia fakt, że pompy w instalacjach są najczęściej rozproszone w różnych miejscach i jest ich relatywnie więcej niż innych urządzeń. Zatem ewentualne modernizacje są z tego powodu dość kłopotliwe. Wnioskując na podstawie danych stowarzyszenia Europump, jeśliby w obecnym czasie wdrożyć wszystkie metody zwiększające efektywność energetyczną pomp, to możliwe byłyby oszczędności na poziomie **40%** całej energii elektrycznej, która wykorzystywana jest do ich napędu. Jak widać zatem, potencjał oszczędności jest bardzo duży, istnieją jednak bariery natury technicznej (przerwa w produkcji, problemy z uruchomieniem nowej linii) i socjologicznej (zmiana nawyków, procedury pracy) powodujące to, że nie jest on wykorzystywany. Struktura możliwych do uniknięcia strat, czyli potencjalnych oszczędności, przedstawia się obecnie następująco:

- straty wynikające z nieoptymalnego sposobu regulacji i sterowania parametrami pomp – 20%,
- straty ponoszone na skutek nieoptymalnego zaprojektowania instalacji – 10%,
- straty wynikające ze złego doboru pomp do instalacji – 4%,
- straty wynikłe na skutek zbyt niskiej sprawności zainstalowanych pomp – 3%
- straty energii wynikłe na skutek niewystarczająco dobrej obsługi instalacji – 3%.

Jak widać z powyższego zestawienia, największy wpływ na straty ma nieoptymalny sposób regulacji pomp. W trakcie audytu pomp przede wszystkim warto zbadać następujące urządzenia:

a) pompy stare,
b) pompy napędzane silnikami większej mocy (ponad 10 kW),
c) pompy, których czas eksploatacji jest długi (np. zaopatrzenie w wodę, klimatyzacja, etc.),
d) pompy, których przepływ lub ciśnienie często w dużym stopniu się zmienia.

Najskuteczniejsze sposoby oszczędzania pokazano w tabeli 2. Przystępując do audytu warto sprawdzić pompy pod kątem spełnienia wszystkich kryteriów.

Tabela 2 Najskuteczniejsze sposoby obniżenia zużycia energii elektrycznej przez pompy

Dotyczące samej pompy	Poprawienie sprawności pomp
	Wybór odpowiedniej pompy
	Wymiana wirnika i zmniejszenie średnicy wirnika
Dotyczące eksploatacji	Dobór optymalnej metody regulacji
	Kontrola liczby pracujących pomp
	Optymalny dobór pomp do instalacji
Dotyczące projektu	Projekt wykonany według właściwych specyfikacji
	Właściwy projekt instalacji i urządzeń z nią związanych

Sprawność pompy wyraża się zależnością:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P_M}$$

ρ – gęstość przetłaczanej cieczy (gęstość wody dla temperatury 20°C wynosi ρ = 998 kg/m^3),

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
Q – natężenie przepływu cieczy [m^3/s],
H – wysokość podnoszenia pompy [m],
P_M – moc mechaniczna na wale pompy [W].

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie trzech z najpopularniejszych metod regulacji dla pomp o niskich wyróżnikach szybkobieżności – pomp odśrodkowych.

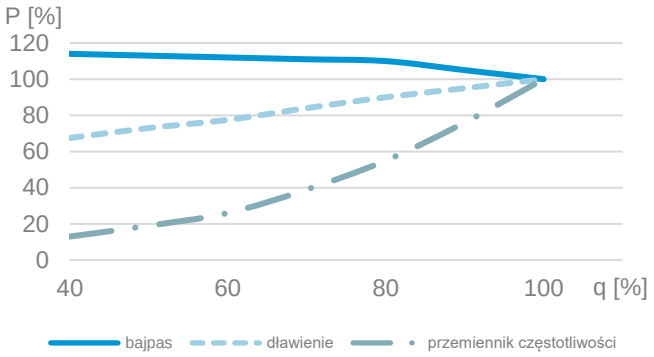
Charakterystyka sprawności pompy posiada swoje maksimum, zatem pompa powinna być tak dobrana do instalacji, aby pracowała w swoim punkcie optymalnym, tzn. z maksymalną sprawnością. Najwięcej jednak można zyskać zmieniając sposób regulacji pompy. Na rysunku 7 pokazano porównanie trzech najczęściej stosowanych sposobów regulacji dla pomp o niskich wyróżnikach szybkobieżności (odśrodkowych i helikoidalnych).

Z wykresu tego wynika, że jeżeli zachodzi konieczność regulacji (zmniejszenia) przepływu pompy, to regulacja obejściowa spowoduje wręcz zwiększenie poboru mocy, regulacja dławieniowa zmniejszy pobór w sposób zbliżony do liniowego, zaś regulacja za pomocą prędkości obrotowej spowoduje znacznie mocniejszy spadek poboru mocy. Różnica poboru mocy ΔP jest miarą korzyści, jakie można uzyskać z przejścia z najpopularniejszej regulacji dławieniowej na zmiennoobrotową za pomocą przemiennika częstotliwości.

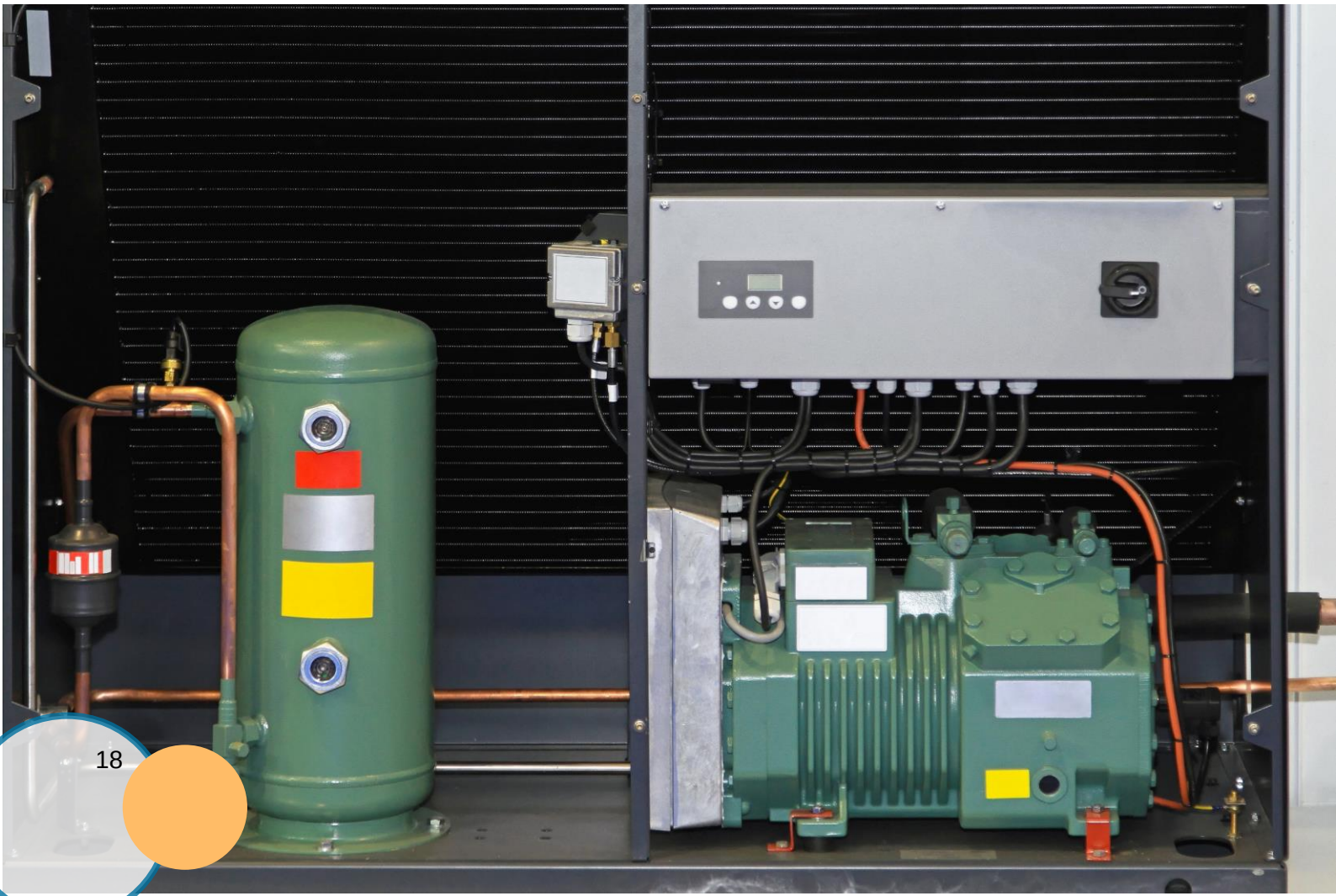
Zmiany sposobu regulacji należy dokonać po analizie co najmniej jednorocznego okresu pracy, ale można z bardzo dużą pewnością stwierdzić, że jeżeli regulacja przepływu jest głębsza niż ok. 8-10% od punktu optymalnego, to zamiana na regulację zmiennoobrotową przyniesie duże korzyści, a okres zwrotu będzie bardzo atrakcyjny - od 0,5 do 1,5 roku. Dokonując tylko zmiany sposobu regulacji z dławieniowej na zmiennoobrotową, przy dużej zmienności natężenia przepływu można obniżyć zużycie energii (na jednym obiekcie) nawet o połowę.

W trakcie pracy układu pompowego warto monitorować nie tylko bieżące parametry pracy pompy, ale również podstawowe wskaźniki. Należy do nich jeden ze wskaźników efektywności energetycznej pomp - energia właściwa e_P [kWh/m^3], czyli ilość energii ΣE potrzebnej do przetłoczenia jednostki objętości cieczy ΣQ.

$$e_P = \frac{\sum E}{\sum Q}$$

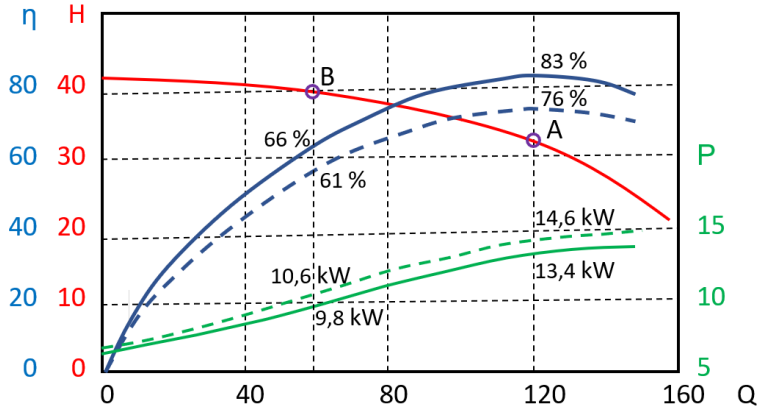


Rysunek 7 Zależność pobieranej mocy przez zespół silnik-pompa od sposobu regulacji pompy



Przykład 2

Oblicz korzyści z wymiany pompy starszej (gorszej – linia kreskowa) na nową (lepszą – linia ciągła) w dwóch punktach pracy pomp. Sprawność pompy bazowej i zamiennika w p. A wynoszą odpowiednio 76% i 83 % oraz w p. B 61% i 66%. Czas pracy rocznie wynosi 6000 godzin, a cena energii elektrycznej wynosi 0,45 PLN/kWh. Sprawność silnika η_s = 93%.



Moc na wale pompy P_M, moc elektryczna P_{EL} (na charakterystyce kolor zielony), sprawność η_p (kolor niebieski) oraz parametry hydrauliczne Q i H (kolor czerwony) powiązane są zależnością:

$$\eta_p = \frac{\rho g Q H}{P_M}$$

$$P_{EL} = \frac{P_M}{\eta_s}$$

Na podstawie charakterystyk wyznaczono podstawowe parametry pracy pomp.

Punkt pracy A (Q = 120 m^3/h; H = 34 m) (optymalny punkt pracy)

	η [%]	P_M [kW]	P_{EL} [kW]	Energia na rok [MWh/rok]	Koszt [PLN/rok]
Pompa bazowa	76	14,6	15,7	94,20	42 390
Pompa lepsza	83	13,4	14,4	86,45	38 902
			Różnica (zysk)	7,74	3 488

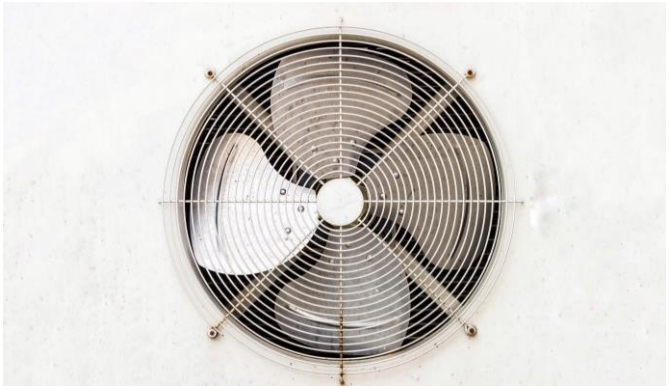
Punkt pracy B (Q = 60m^3/h; H = 39,5m)

	η [%]	P_M [kW]	P_s [kW]	Energia na rok [MWh/rok]	Koszt [PLN/rok]
Pompa bazowa	61	10,5	11,3	67,74	30 483
Pompa lepsza	66	9,8	10,5	63,22	28 449
			Różnica (zysk)	4,52	2 034

Wymiana pompy starszej, zużytej, o niedużej mocy, na pompę nową – o niewiele większej sprawności, potrafi przynieść oszczędności w skali roku w kwocie przewyższającej zakup nowej pompy i oszczędzić blisko **8 MWh** energii elektrycznej rocznie.

3.3. Wentylatory i dmuchawy

Przewymiarowane wentylatory generują straty. Podstawą audytu energetycznego jest określenie ich sprawności oraz współczynnika SFP. Ponadto w trakcie przeprowadzania audytu można określić szereg czynności związanych z pracą wentylatora oraz obsługą, których wykonanie może przynieść nawet do 40% oszczędności energii.



Część działań proefektywnościowych właściwych dla wentylatorów jej taka sama jak te właściwe dla pomp wirowych. Wentylatory są szeroko stosowane przede wszystkim w wentylacji budynków, transporcie mediów, odciąganiu spalin, chłodzeniu i nadmuchu powietrza do spalania. Istnieje kilkanaście głównych rodzajów wentylatorów i dmuchaw, które są przeznaczone do różnych celów. Najczęściej nie są one zblokowane a, podobnie jak pompy, zainstalowane w różnych miejscach. Jak każde urządzenie wirujące, współpracujące z odpowiednią instalacją, także to musi być poprawnie dobrane do owej instalacji i przeznaczenia, tzn. wentylator musi pracować w punkcie optymalnym, czyli z maksymalną sprawnością. Sprawność wentylatora można określić z prostej zależności:

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot Q}{P_M}$$

gdzie: Δp – przyrost ciśnienia całkowitego (statycznego i dynamicznego) wentylatora [Pa],

Q – natężenie przepływu powietrza [m^3/s],

P_M – moc mechaniczna na wale lub moc elektryczna silnika [W].

Drugim bardzo istotnym wskaźnikiem jest moc właściwa wentylatora SFP (Specific Fan Power)

SFP określona zależnością:

$$SFP = \frac{P_{EL}}{Q} = \frac{\Delta p}{\eta}$$

W zależności od tego wskaźnika wentylatory można podzielić na trzy grupy:

- SFP < 1,5 kW/(m^3/s), wtedy system jest efektywny energetycznie,
- SFP = 1.5…4 kW/(m^3/s), wtedy system jest średnioefektywny energetycznie,
- SFP > 4 kW/(m^3/s), wtedy system jest małoefektywny energetycznie.

W tabeli 3 zestawiono główne straty w instalacjach wentylatorowych, których uniknięcie może przynieść wymierne korzyści. Należy jednak pamiętać, że poszczególne liczby odnoszą się tylko do wymienionej jednej modernizacji i nie podlegają bezpośredniemu sumowaniu, stąd w określaniu potencjału sumarycznego kilku usprawnień jednocześnie poszczególne usprawnienia mają udziały mniejsze i nie dające sumarycznie liczby większej od 100%.

Tabela 3 Potencjał oszczędności wynikający z usunięcia poszczególnych usterek i wad

L.p.	Strata	Potencjał
1	Straty wywołane przez nieoptymalny sposób regulacji	30%
2	Brak dostosowania do procesu, jeśli ten uległ zmianie w czasie (przewymiarowanie)	50%
3	Dobór wentylatora niewłaściwego typu i o niewłaściwej charakterystyce	30%
4	Niewłaściwy projekt kanałów – unikanie strat niepotrzebnych	30%
5	Pozostawienie wentylatora włączonego bez potrzeby	50%
6	Straty spowodowane przewymiarowaniem silnika	10%
7	Straty spowodowane zawirowaniami powietrza wlotowego	15%
8	Straty wywołane zbędnymi oporami na wlocie	15%
9	Straty wywołane niepotrzebnymi zwężeniami przepływu	15%
10	Straty wywołane przez zużyte łożyska	7%
11	Błędne podłączenie faz silnika	15%
12	Straty spowodowane utratą jednej fazy	15%
13	Strata spowodowana słabym naciągiem pasa na kołach przekładni	3%

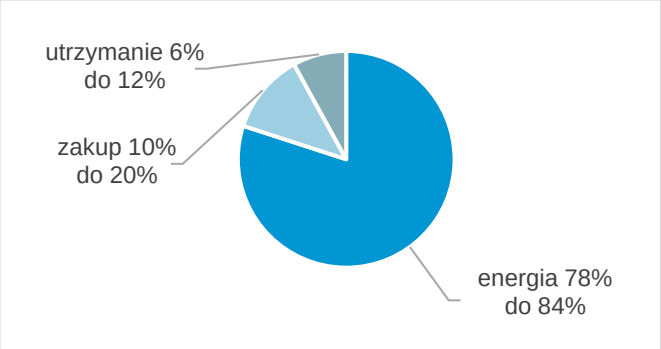
Ponadto warto zadbać o to, aby rozruch wentylatora był łagodny, ponieważ, choć nie zmniejsza to sprawności urządzenia, to wpływa jego na trwałość i trwałość urządzeń pomocniczych, co przekłada się na dyspozycyjność urządzenia i instalacji. Warto zatem zbadać czy zastosowano jedną z poniższych metod i zaadoptować w instalacji:

- rozruch poprzez zastosowanie przemiennika częstotliwości,
- rozruch poprzez zastosowanie układów miękkiego rozruchu ograniczających udar prądowy (dużego natężenia prądu w krótkim czasie, inaczej softstartu),
- rozruch poprzez zastosowanie przełącznika Y/Δ,
- rozruch przy pomocy kierownicy wstępnej regulacji wentylatora.

3.4. Układy sprężonego powietrza

Sprężone powietrze, choć często niezastąpione, jest medium kosztownym, ponieważ sprężarki są energochłonne i mają niską ogólną sprawność. Istnieją jednak metody techniczne, dzięki którym można obniżyć zużycie energii przez sprężarki nawet o 30%. W wykazaniu wszystkich możliwych oszczędności może być bardzo pomocny audyt energetyczny.

Specyfiką instalacji sprężonego powietrza jest to, że są one najczęściej zwarte a nie rozproszone, tzn. sprężarki i układ przygotowania powietrza znajdują się najczęściej w jednym miejscu (w sprężarkowni), skąd powietrze rozprowadzane jest do wszystkich odbiorów.



Rysunek 8 Udziały poszczególnych kosztów w LCC dla instalacji sprężonego powietrza

Warto inwestować w działania prowadzące do ograniczenia zużycia energii przez instalacje sprężonego powietrza, ponieważ okres zwrotu takich inwestycji jest atrakcyjny i często potrafi

zamknąć się w granicach od 0,5 roku do 1 roku. Wynika to w dużej mierze z kosztów energii, które ponosi się w trakcie cyklu życia sprężarki, a które przedstawiono na rysunku 8. W tabeli 4 przedstawiono natomiast działania proefektywnościowe i ich potencjał obniżenia zużycia energii. Należy jednak pamiętać, że poszczególne liczby potencjału przedstawione w tabeli 4 odnoszą się jedynie do wymienionej jednej modernizacji i nie podlegają bezpośredniemu sumowaniu, stąd w określaniu potencjału sumarycznego kilku usprawnień jednocześnie poszczególne usprawnienia mają udziały mniejsze nie dające sumarycznie liczby większej od 100%.

Tabela 4 Potencjał zastosowania środków poprawy efektywności w układach sprężonego powietrza

Czynności i miejsca zużycia energii	Liczność występowania	Potencjał oszczędności
Redukcja wycieków powietrza	**80%**	**40%**
Prawidłowe projekty całych instalacji	50%	10%
Redukcja strat ciśnienia wynikających z tarcia	50%	5%
Częstsze wymiany wkładów filtrów	40%	5%
Unowocześnianie sprężarek	30%	5%
Silniki elektryczne wysokiej jakości	25%	3%
Napędy zmiennoobrotowe	25%	25%
Stosowanie zaawansowanych systemów sterowania	20%	20%
Odzysk ciepła odpadowego	20%	40% *)
Racjonalne obniżenie ciśnienia	15%	10%
Poprawa systemów chłodzenia, osuszania, filtracji	10%	5%
Dopasowania właściwych urządzeń końcowych	5%	10%

*) – układ odzysku ciepła nie wpływa na poprawę energochłonności układu sprężonego powietrza, może jednak obniżyć nakłady przedsiębiorstwa na produkcję ciepła

Spadki ciśnienia w instalacji oraz na szeregu urządzeń (zbiornik wyrównawczy mokry, filtr, osuszacz, kolana, zawory) w instalacji są mocno zależne od prędkości przepływu powietrza, czyli od wydatku sprężarki. Zależność ta jest w przybliżeniu kwadratowa. Może się zdarzyć, że dla odcinków instalacji o zbyt małej średnicy przy określonej sprężarce, prędkość przepływu, a zatem spadek ciśnienia, będą zbyt duże.

Przykład 3

W celu określenia minimalnej dopuszczalnej średnicy prostej instalacji o długości L = 100 m określ koszt pracy instalacji o dwóch średnicach modelowej sprężarkowni i oszacuj okres zwrotu. Poszczególne sprężarki mają wydajności i moce: V = 100 Nm^3/h i 12 kW oraz V = 400 Nm^3/h i 44 kW, cena energii c_E = 0,45 zł/kWh. Czas pracy w roku wynosi 8760 godzin.

Na początku określono spadki ciśnienia na poszczególnych elementach instalacji oraz dla zadanego ciśnienia na odbiorze p_{ODB} określono prędkość przepływu oraz ciśnienia na sprężarce p_{SPR} oraz na wyjściu ze sprężarkowni p_{WYJ}. Kolor czerwony - wartości przekraczające wartości dopuszczalne. Przyjęto, że obniżenie ciśnienia generacji o 0,29 bar obniży pobór mocy przez sprężarkę o 2%. Czasy zwrotu obliczane były w odniesieniu do nakładów, jakie trzeba ponieść, aby powiększyć średnicę.

przepływ	**100 Nm^3/h**	**100 Nm^3/h**	**400 Nm^3/h**	**400 Nm^3/h**	**400 Nm^3/h**
prędkość	7 m/s	3 m/s	29 m/s	11 m/s	**7 m/s**
	d = 25 mm	d = 40 mm	d = 25 mm	d = 40 mm	**d = 50 mm**
Δ*p* sprężarkownia	0,33 bar	0,29 bar	0,87 bar	0,35 bar	**0,31 bar**
Δ*p* instalacja	0,28 bar	0,03 bar	3,65 bar	0,35 bar	**0,11 bar**
Δ*p* suma	**0,61 bar**	**0,32 bar**	4,52 bar	**0,7 bar**	**0,42 bar**
p_{SPR}	7,11 bar	6,82 bar	**11,02 bar**	7,2 bar	**6,92 bar**
p_{WYJ}	6,78 bar	6,53 bar	10,15 bar	6,85 bar	**6,61 bar**
p_{ODB}	**6,5 bar**	**6,5 bar**	**6,5 bar**	**6,5 bar**	**6,5 bar**
koszt rocznie	47 304 zł/rok	46 358 zł/rok	-	173 448 zł/rok	**169 979 zł/rok**
koszt instalacji z Al	-	7 810 zł	-	-	**10 240 zł**
SPBT	-	8,3 roku	-	-	**3 lata**
koszt instalacji zgrzewanej	-	3 215 zł	-	-	**5 010 zł**
SPBT	**-**	**3,4 lat**	**-**	**-**	**1,5 roku**

Jak widać w tabeli, przy przepływie 100 Nm^3/h obie średnice są akceptowalne, ponieważ prędkość w instalacji nie przekracza granicy kilkunastu m/s, jednakże przy przepływie czterokrotnie większym tylko dwie największe średnice spełniają kryterium prędkości, zaś na średnicy 25 mm wystąpiłby efekt dławienia uniemożliwiający prawidłową i efektywną pracę sprężarki.

4. Klimatyzacja

W przypadku zakupu nowych klimatyzatorów i instalacji klimatyzacyjnych jedynym możliwym działaniem proefektywnościowym jest wybór urządzeń o jak najwyższej klasie efektywności energetycznej (kierowanie się etykietą energetyczną) i jak najwyższym współczynniku efektywności chłodniczej. W przypadku instalacji starszych, istnieje szereg działań, które można wdrożyć, aby obniżyć energochłonność klimatyzacji. Wprowadzenie wszystkich prostych środków może zmniejszyć zapotrzebowanie mocy instalacji nawet o około 20%.

Obszar klimatyzacji jest dość specyficznym obszarem i różni się nieco od innych systemów, ponieważ rozwija się na tyle szybko, że wskaźniki energochłonności szybko ulegają poprawie. Choć klimatyzatory są wyznacznikiem wyższego komfortu, to ich użycie bywa koniecznością (np. przemysł spożywczy, serwerownie). Wyboru należy dokonywać kierując się etykietą energetyczną (patrz rozdział 7), która powinna wskazywać najwyższą klasę. Są jeszcze inne czynniki, które podwyższają energochłonność tych instalacji.

Zanim przystąpi się do audytu klimatyzacji/klimatyzatora warto na początku wykonać ocenę urządzenia (tabeli 5).

Tabela 5 Pytania przedaudytowe układu klimatyzacji

Lp.	Pytanie	tak	nie
1	Czy klimatyzacja w budynku/pomieszczeniu jest potrzebna?		
2	Jaka jest klasa energetyczna klimatyzatora?		
3	Czy klimatyzator pracuje w trybie on/off?		
4	Czy klimatyzator jest inwerterowy?		
5	Czy klimatyzator jest prawidłowo dobrany do powierzchni?		
6	Czy klimatyzator jest okresowo przeglądany i czyszczony?		
7	Czy są widoczne jakiekolwiek wycieki z instalacji?		
8	Czy zaobserwowano zbyt wysoką temperaturę powietrza ogrzanego lub zbyt niską temperaturę powietrza schłodzonego?		
9	Czy po zainstalowaniu klimatyzacji nastąpiła zmiana charakteru wykorzystywanych pomieszczeń?		
10	Czy w trakcie eksploatacji następują szybkie i częste zmiany nastaw?		
11	Czy czerpnia i wyrzutnia powietrza są odpowiednio daleko od siebie?		
12	Czy po pewnym czasie zaobserwowano trwałą zmianę parametrów pracy klimatyzatora?		

Lp.	Pytanie	tak	nie
13	Czy praca klimatyzatora (pobór mocy i temperatura) jest monitorowana?		
14	Czy jest w pomieszczeniu możliwość jednoczesnego używania klimatyzatora oraz innego urządzenia w przeciwnym trybie pracy?		
15	Czy zdarza się otwieranie okien przy działającej klimatyzacji?		
16	Czy stanowiska pracy da się rozsądnie skupić tak, aby klimatyzowana była mniejsza powierzchnia?		
17	Czy dostawca mediów oferuje także dostawę chłodu?		
18	Czy w układach wodnych eliminowane są zanieczyszczenia mikrobiologiczne w instalacji (w przypadku nawilżaczy, systemów wody lodowej, chłodzenia wodą skraplaczy, „free-coolingu" itp.)?		
19	Czy w kanałach klimatyzacyjnych i instalacji izolacja cieplna i parochronna jest ciągła?		
20	Czy okres gwarancji na instalację jest znany?		
21	Czy montażu instalacji dokonał specjalista?		

Koszt pracy klimatyzatora przy ustalonej cenie energii elektrycznej jest wprost proporcjonalny do poboru mocy oraz czasu pracy. Pobór mocy nie jest stały i zależy od temperatury zewnętrznej i nastawu temperatury wewnętrznej. Na rynku jest wiele rozwiązań, z których najkorzystniej jest wybrać to, które ma najwyższy współczynnik wydajności chłodniczej, czyli stosunek mocy chłodniczej do mocy elektrycznej.

Wartości te dla różnych wielkości klimatyzatorów pokazano w tabeli 6. Efektywność klimatyzatorów w klasie B jest o ok. 10% niższa niż klimatyzatorów o takiej samej mocy chłodniczej z klasy A, energochłonność klasy A++ jest o ok. 10% niższa niż klasy A, zaś efektywność klasy A+++ jest o ok. 20% wyższa niż klasy A++.

Tabela 6 Typowe wartości mocy klimatyzatorów, P_{EL} – moc elektryczna, $P_{CHŁ}$ – moc chłodnicza, P_{GRZ} – moc grzewcza

Moc	**Wartości**						
P_{EL} [kW]	0,095	0,545	0,6	0,87	1,205	1,3	1,5
$P_{CHŁ}$ [kW]	0,39	2,5	2,6	2,6	4,2	3,5	4
$P_{CHŁ}/P_{EL}$	**4,1**	**4,6**	**4,3**	**3,0**	**3,5**	**2,7**	**2,7**
P_{EL} [kW]	0,1	0,7	0,8	0,9	1,6	1,2	1,6
P_{GRZ} [kW]	0,6	3,2	3,0	3,0	5,4	3,8	4,8
P_{GRZ}/P_{EL}	**5,6**	**4,6**	**3,8**	**3,3**	**3,5**	**3,2**	**2,9**

Drugim, nie mniej ważnym, aspektem jest właściwy dobór klimatyzatora. Przyjmuje się prosty przelicznik. Aby klimatyzacja była skuteczna, to na 1 m^2 powierzchni potrzeba ok. 100 W mocy chłodniczej. Klimatyzatory w wykonaniu inwerterowym (z płynną regulacją mocy chłodzenia) dzięki unikaniu strat spowodowanych stanami nieustalonymi charakteryzują się efektywnością wyższą nawet o 30% w porównaniu do tych z techniką on/off.

Standardem w obecnych czasach jest pięcioletnia gwarancja na urządzenie. Trzeba pamiętać, że instalowanie urządzenia przez specjalistę zapewnia, że gwarancja będzie ważna. W trakcie eksploatacji warto obserwować czy parametry pracy klimatyzatora (pobór mocy z sieci, moc chłodnicza i cieplna) nie ulegają pogorszeniu.

W przypadku zwiększenia poboru mocy, większego hałasu, mocniejszego nagrzewania się sprężarki, pogorszenia chłodzenia warto zwrócić uwagę czy prowadzona jest właściwa eksploatacja, tj. czy nie nastąpił wyciek płynu chłodniczego z instalacji, czy filtry, skraplacze i parowniki są czyste, czy sprężarka lub wentylator nie uległy awarii. Zanieczyszczone wymienniki ciepła potrafią obniżyć efektywność pracy o 5%. Czyszczenie filtrów można wykonać we własnym zakresie, jednak w przypadku wycieku płynu chłodniczego niezbędna jest szybka interwencja serwisu, ponieważ nie tylko pogarsza to efektywność energetyczną, ale jest bardzo szkodliwe dla środowiska.

Przykład 4

Oblicz miesięczny koszt pracy klimatyzatora o mocy chłodniczej $P_{CHŁ}$ = 2,5 kW i współczynniku wydajności chłodniczej EER = 4,6. Współczynnik obciążenia klimatyzacji LF = 25%, cena energii elektrycznej C_{EL} = 0,45 zł/kWh. Sprawdź, czy klimatyzator będzie działał efektywnie dla pomieszczenia o powierzchni 45 m^2.

Współczynnik efektywności EER jest informacją, ile energii chłodniczej jest przeniesione z wykorzystaniem jednostki energii elektrycznej. Moc elektryczna obliczona jest zatem z zależności:

$P_{EL} = P_{CHŁ}$/EER = 2,5/4,6 = 0,54 kW

Współczynnik obciążenia *LF* jest to procent czasu wykorzystania urządzenia w jednym okresie. W związku z tym średni miesięczny koszt energii wynosi:

$K_{EL} = P_{EL} \cdot c_{EL} \cdot LF \cdot 8760/12$
$K_{EL} = 0,54 \cdot 0,45 \cdot 0,25 \cdot 8760/12$
$K_{EL} = 44,34$ zł

Na każdy 1 m^2 potrzeba 100 W mocy chłodniczej, zatem klimatyzator o mocy chłodniczej $P_{CHŁ}$ = 2,5 kW będzie działał efektywnie na powierzchni

A = 2500/100 = 25 m^2.

Oznacza to, że analizowany klimatyzator nie będzie w stanie efektywnie schłodzić całej powierzchni biura. Potrzebna będzie instalacja drugiego klimatyzatora, zagęszczenie stanowisk pracy bądź wydzielenie trwałymi przegrodami strefy klimatyzowanej.
.

5. Wytwarzanie ciepła

Niewielcy odbiorcy ciepła, używający jedynie grzejników naściennych, powinni przede wszystkim stosować termostaty, które pozwalają na regulowanie temperatury w omieszczeniu. Może to zmniejszyć koszty ogrzewania nawet o 15-20%. Dodatkowo, wyeliminowanie jednoczesnego ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń przez otwarte okna bądź niezamknięte bramy, obniży koszty o dodatkowe ok. 5%. Jeśli wykorzystuje się ciepło na większą skalę, można zastosować kilka metod dających gwarancję pracy urządzeń z najwyższą możliwą sprawnością.

Dla niedużych użytkowników ciepła systemowego możliwości ograniczania jego wykorzystania sprowadzają się do oszczędnego gospodarowania ciepłem z grzejników, nieprzegrzewania pomieszczeń, nieużywania jednocześnie klimatyzacji i ogrzewania, zainstalowania termostatów na grzejnikach w celu umożliwienia płynnej regulacji ciepła oraz dbałości o stan węzła, rurociągów i ich izolacji. Ponadto koszty ogrzewania zależą w dużej mierze od stanu izolacyjności dachu, ścian i okien budynków oraz ich fundamentów. Przy słabej izolacyjności sprawność grzania maleje, a straty ciepła rosną. Ocenia się, że w najbardziej niekorzystnych warunkach (ściany słabo zaizolowane, okna jednowarstwowe, brak regulacji grzejników, brak szczelności rur, ubytki w izolacji cieplnej) koszty ogrzewania mogą wzrosnąć nawet o 30-35%.

Obszar wytwarzania, przesyłu oraz użytkowania ciepła dla przedsiębiorstw o większym zużyciu ciepła jest zagadnieniem obszernym, jednakże warto przedstawić kilka najważniejszych aspektów związanych z efektywnością energetyczną.

Jak wspomniano we wstępie, niezbędna na etapie zerowym jest inwentaryzacja sposobu dostarczania i wykorzystania ciepła. Jeśli w przedsiębiorstwie całe ciepło pochodzi z ciepła sieciowego, to aktywność w tym zakresie ogranicza się do śledzenia zużycia ciepła w poszczególnych miesiącach i latach (rozdział 2), minimalizowania strat ciepła wynikających z przenikania ciepła przez ściany, okna, drzwi oraz stolarkę okienną i drzwiową budynku (rozdział 8), strat wynikających z wentylacji/klimatyzacji oraz nieracjonalnego użytkowania ciepła (rozdział 4).

Jeżeli nie jest to podane przez producenta źródła ciepła lub źródło nie jest wystarczająco opomiarowane, to aby móc określić efektywność dostarczania ciepła w pierwszej kolejności należy określić referencyjną sprawność źródła wytwarzania ciepła. Można ją szacunkowo określić na podstawie zestawienia jak w tabeli 7.

Tabela 7 Porównanie sprawności wybranych źródeł ciepła wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia z dnia 27 lutego 2015

Lp.	Rodzaj źródła	Średnia sprawność
1	**Kotły węglowe**	
a	Wyprodukowane przed 1980r.	0,60
b	Wyprodukowane w latach 1980-2000	0,65
c	Wyprodukowane po 2000r.	0,82
2	**Kotły na biomasę**	
a	Obsługiwane ręcznie opalane słomą o mocy < 100 kW	0,63
b	Obsługiwane ręcznie opalane słomą o mocy > 100 kW	0,70
	Z obsługą automatyczną opalane słomą o mocy do 100 kW	0,70
c	Z obsługą automatyczną opalane słomą o mocy 100-600 kW	0,75
d	Obsługiwane ręcznie, opalane drewnem o mocy < 100 kW	0,70
e	Z obsługą automatyczną opalane drewnem o mocy 100-600 kW	0,85
	Kominki z zamkniętą komorą spalania	0,70
3	**Grzejniki elektryczne**	0,99
a	Podgrzewacze przepływowe	0,94
	Podgrzewacze elektrotermiczne	1,00
b	Grzejniki konwektorowe, płaszczyznowe, promiennikowe podłogowe	0,99
	Piece olejowe lub gazowe pomieszczeniowe	0,84
4	**Piece kaflowe**	0,80
5	**Kotły gazowe**	
a	Na paliwo gazowe lub ciekłe z otwartą komorą spalania, dwustanowe	0,86
b	Niskotemperaturowe z zamkniętą komorą spalania o mocy do 50 kW	0,87
c	Z zamkniętą komorą spalania o mocy 50-120 kW	0,91
d	Z zamkniętą komorą spalania o mocy 120-1200 kW	0,94
e	Kondensacyjne o mocy do 50 kW wysokotemperaturowe (70/55°C)	0,91
f	Kondensacyjne o mocy 50-120 kW wysokotemperaturowe (70/55°C)	0,92
g	Kondensacyjne o mocy 120-1200 kW wysokotemperaturowe (70/55°C)	0,95
h	Kondensacyjne o mocy do 50 kW niskotemperaturowe (55/45°C)	0,94
i	Kondensacyjne o mocy 50-120 kW niskotemperaturowe (55/45°C)	0,95
j	Kondensacyjne o mocy 120-1200 kW niskotemperaturowe (55/45°C)	0,98
6	**Węzły cieplne**	
a	Kompaktowy z obudową o mocy < 100 kW	0,98
b	Kompaktowy z obudową o mocy > 100 kW	0,99
c	Kompaktowy bez obudowy o mocy < 100 kW	0,91
d	Kompaktowy bez obudowy o mocy 100-300 kW	0,93
e	Kompaktowy bez obudowy o mocy > 100 kW	0,95

Lp.	Rodzaj źródła	Średnia sprawność
7	**Pompy ciepła**	***)**
a	Typu woda/woda, sprężarkowe, elektrycznie (55/45°C)	3,50
b	Typu woda/woda, sprężarkowe, elektrycznie (35/28°C)	4,00
c	Typu glikol/woda, sprężarkowe, elektrycznie (55/45°C)	3,50
d	Typu glikol/woda, sprężarkowe, elektrycznie (55/45°C)	4,00
e	Typu bezpośredniego odparowania w gruncie, sprężarkowe, elektryczne	4,00
f	Typu powietrze/woda, sprężarkowe, elektrycznie (55/45°C)	2,60
g	Typu powietrze/woda, sprężarkowe, elektrycznie (35/28°C)	3,00
h	Typu powietrze/woda, sprężarkowe, napędzane gazem (55/45°C)	1,30
i	Typu powietrze/woda, sprężarkowe, napędzane gazem (35/28°C)	1,40
j	Typu powietrze/woda, absorpcyjne, napędzane gazem (55/45°C)	1,30
k	Typu powietrze/woda, absorpcyjne, napędzane gazem (35/28°C)	1,40
l	Typu glikol/woda, sprężarkowe, napędzane gazem (55/45°C)	1,40
m	Typu glikol/woda, sprężarkowe, napędzane gazem (35/28°C)	1,60
n	Typu glikol/woda, absorpcyjne, napędzane gazem (55/45°C)	1,40
o	Typu glikol/woda, absorpcyjne, napędzane gazem (35/28°C)	1,60
p	Typu powietrze/powietrze, sprężarkowe, napędzane gazem	1,30
r	Typu powietrze/powietrze, absorpcyjne, napędzane gazem	1,30

*) Wartości te nie są sprawnościami w klasycznym znaczeniu a jedynie współczynnikami wydajności pompy ciepła mówiącymi o stosunku przeniesionej mocy cieplnej oraz mocy elektrycznej zasilającej pompę ciepła, zatem nie przeczą podstawowym zasadom w przyrodzie i nie dowodzą istnienia perpetuum mobile

Należy pamiętać, że właściwa eksploatacja instalacji, dbałość o czystość wody kotłowej i jej właściwe przygotowanie (odgazowanie i demineralizacja) jest bardzo ważna nie tylko ze względu na sprawność przekazywania ciepła, ale i na trwałość instalacji, ponieważ tworząca się rdza oraz odkładający się kamień kotłowy potrafią znacznie obniżyć zdolność przekazywania ciepła, co pokazano w tabeli 8.

Tabela 8 Porównanie wybranych przewodności cieplnych

Materiał	Przewodność cieplna [W/(m²K)]
miedź	350
stal kotłowa	116
kamień kotłowy węglanowy	2,3
kamień kotłowy krzemianowy	0,3
rdza Fe_2O_3	1,1

W przypadku kotłów gazowych, na paliwo ciekłe i stałe, w trakcie audytu niezbędne jest przeprowadzenie analizy procesu spalania. Podstawowym wskaźnikiem jest tu współczynnik nadmiaru powietrza do spalania λ oraz temperatura spalin. Mierzy się go w kanale spalinowym w niedalekiej odległości od kotła na podstawie zawartości tlenu w spalinach $[O_2]$, a pomiaru tego powinien dokonać specjalista. Wyrażony jest on zależnością:

$$\lambda = \frac{21}{21 - [O_2]}$$

gdzie wielkość $[O_2]$ jest procentową zawartością tlenu w spalinach.

Wartość ta jest stosunkiem rzeczywistej ilości powietrza wykorzystanej do spalania do wartości teoretycznej wynikającej z reakcji chemicznej dla tej samej ilości powietrza (stechiometryczna), i z uwagi

na nieidealne mieszanie paliwa z powietrzem należy zawsze zagwarantować pewną większą ilość powietrza do spalania niż ilość stechiometryczna.

Wartość ta jest ściśle określona dla każdego typu kotła i powinna zawierać się w granicach pokazanych w tabeli 9. Optymalna wartość tego współczynnika oznacza, że proces spalania jest prawidłowy a kocioł ma optymalną sprawność. Przykładowo dla gazu ziemnego po zwiększeniu współczynnika z wartości 1,1 do 1,3 sprawność kotła obniża się o ok. 2-3 punkty procentowe, co przekłada się na wyższe koszty pracy.

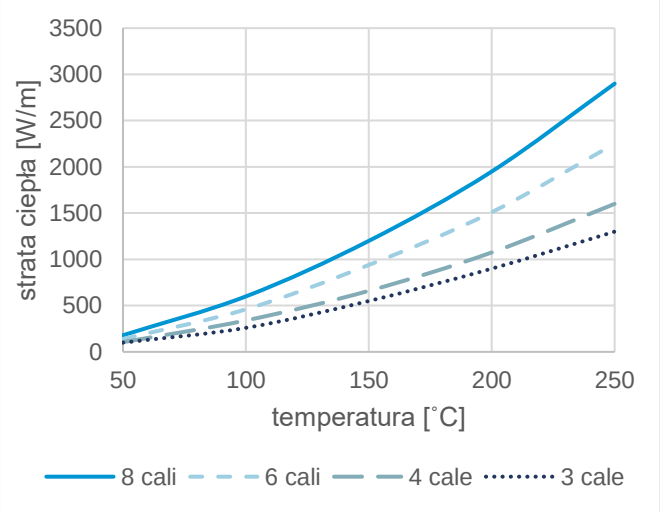
Tabela 9 Wartość współczynnika λ dla różnych paliw

Rodzaj paliwa i paleniska	λ
Węgiel kamienny i brunatny	1,2 –1,4*)
Olej opałowy	1,10
Gaz ziemny	1,05 –1,15

*) - w zależności od rodzaju paleniska

Kolejnym bardzo istotnym elementem zwiększania efektywności energetycznej instalacji cieplnych jest analiza strat ciepła wynikających ze stanu izolacji na rurach z gorącą wodą względnie z parą. Każda utrata izolacji i każda zdegradowana izolacja cieplna przekładają się wprost na straty ciepła. Podobnie, do dobrych praktyk należy izolowanie zaworów. W trakcie audytu należy zinwentaryzować całą instalację pary i/lub gorącej wody i ujawnić wszystkie brakujące lub wadliwe fragmenty izolacji. Następnie, na podstawie opracowanych przeliczników, oszacować straty ciepła. Na rysunku 9 pokazano wykres umożliwiający określenie strat ciepła. Należy podkreślić, że z wyjątkiem rur preizolowanych, braki w izolacji rurociągów występują często, co z jednej strony przekłada się na bezzasadne zwiększenie temperatury w miejscach przechodzenia takiej instalacji, a z drugiej strony na zwiększenie kosztów pracy kotłów nawet o **15%**. W podobny sposób możliwe jest przeliczenie strat ciepła przez niezaizolowane zawory i inną gorącą armaturę. Najlepszą zaś metodą określenia temperatury rurociągu jest metoda termowizyjna.

Analiza źródeł ciepła i sposobu jego dystrybucji w przedsiębiorstwie oraz wdrożenie metod sugerowanych we wnioskach poaudytowych mogą przynieść korzyści na poziomie **10-15%** w całkowitym bilansie energetycznym przedsiębiorstwa.



Rysunek 9 Zależność strat ciepła od temperatury dla niezaizolowanych rurociągów

Przykład 5

Określ oszczędność energii, jaką można uzyskać dzięki uzupełnieniu izolacji cieplnej rurociągów. Moc kotła wynosi Q_K = 1,52 MW.

Pierwszym etapem jest przegląd wszystkich rurociągów pary i gorącej wody pod kątem ich stanu. W tym celu wykonano wizję lokalną z wykorzystaniem termowizji, a spostrzeżenia zanotowano w tabeli. Fragment takiego wykazu zamieszczono poniżej. Dla każdego z przypadków obliczono straty mocy z wykorzystaniem wykresu jak na rysunku 9.

Miejsce	Temperatura [°C]	Średnica d [cal]	Długość odcinka l [m]	Strata [kW]
1	140	0,75	2	0,43
2	170	0,75	2	0,59
3	175	0,75	5	1,40
4	175	0,75	1,5	0,42
5	160	3,2	25	15,23
6	170	3,2	25	16,90
7	80	3,2	25	4,73
8	100	3,2	2	0,55
9	140	0,75	2	0,43
10	165	1	50	15,05
…	…	…	…	…
			Suma	**285**

Jak widać w powyższej tabeli, sumaryczna strata mocy w okresie pracy zakładu z tytułu braku izolacji w badanym przypadku wyniosła P_{STR} = 285 kW. Strata ta następnie odniesiona do całkowitej mocy cieplnej daje pogląd na procentowy udział tych strat w bilansie.
Procentowa oszczędność ciepła wynosi:

$o_C = P_{STR}/Q_K = 285/1520$

o_C = 18,7%

6. Oświetlenie

Energia potrzebna na oświetlenie stanowi najczęściej 6-9% ogólnego zużycia energii w przedsiębiorstwie. Jeśli przedsiębiorstwo nie modernizowało w ostatnich latach oświetlenia, to modernizacja taka przynieść może obniżenie zużycia energii często nawet o 50-60% (w niektórych przypadkach nawet i do 90%), a typowy okres zwrotu wynosi 1-8 lat.

Istnieje szereg metod podnoszących efektywność energetyczną oświetlenia. Podczas audytu warto w pierwszej kolejności wykonać inwentaryzację istniejącego oświetlenia oraz przeanalizować je pod kątem metod wymienionych w tabeli 10. Jeśli na którekolwiek z pytań odpowiedź jest przecząca, to istnieje możliwość, że w obszarze oświetlenia są prawdopodobnie obszary, które wymagają poprawy.

Tabela 10 Metody podnoszące efektywność energetyczną oświetlenia

Pytanie	TAK	NIE
Czy zastosowano reduktory napięcia do obwodów oświetleniowych? **)		
Czy oświetlenie w miejscu pracy jest dostosowane do wymogów stanowisk pracy?		
Czy w budynkach i/lub magazynach zainstalowane są i wykorzystywane detektory ruchu?		
Czy w budynkach wykorzystano w maksymalny sposób światło słoneczne?		
Czy w budynkach stosuje się oprawy energooszczędne/LED?		
Czy istniejące oświetlenie ma odpowiednią barwę i oddaje prawidłowy kolor produktów?		
Czy oświetlenie generuje prawidłowe natężenie światła?		
Czy w budynkach stosuje się rozdzielenie włączników opraw załączające tylko niewielkie sekcje zamiast załączania całych pięter/dużych pomieszczeń?		
Czy istnieje w przedsiębiorstwie system podnoszący świadomość ekologiczną wśród załogi?		

**) Przy niektórych typach źródeł światła, gdzie technicznie dopuszczalne jest obniżenie napięcia zasilania i tam, gdzie nie potrzebna jest w danej chwili pełna moc oświetlenia, możliwe jest uzyskanie oszczędności nie tyle przez całkowite wyłączenie tych źródeł a poprzez okresowe zmniejszenie ich mocy.

Wymiana źródeł światła na energooszczędne musi przebiegać pod pewnymi warunkami: musi zagwarantować strumień świetlny taki, jaki wynika z odpowiednich norm dla danego miejsca oraz oddawać barwy w sposób prawdziwy. Może się zdarzyć, że modernizacja oświetlenia, które ma niewielki udział procentowy w całkowitym zużyciu energii, spowoduje nie tylko obniżenie zużycia energii przez oświetlenie, ale znaczne obniżenie kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa dzięki poprawie jakości produkcji. Lepsze doświetlenie stanowisk pracy i lepsza barwa światła mogą znacznie obniżyć ilość wytwarzanych wadliwych towarów, a także ograniczyć liczbę wypadków przy pracy. Modernizacja oświetlenia w budynkach wymaga szczegółowej inwentaryzacji stanu faktycznego z równie szczegółową oceną rodzaju wykorzystywanego oświetlenia i sposobu jego użytkowania i załączania. Rzetelnie wykonany audyt może zatem znacznie przyczynić się do obniżenia zużycia energii elektrycznej w przedsiębiorstwie.

7. Urządzenia biurowe

W trakcie wykonywania audytu należy także przeanalizować obszar urządzeń biurowych i AGD, gdyż w zauważalny sposób wpływają one na koszty oraz zużycie energii. Najważniejszym elementem jest sprawdzenie klasy efektywności energetycznej urządzeń (pomocna będzie etykieta energetyczna) oraz przestrzeganie okresowych przeglądów.

Analizując możliwości redukcji zużycia energii w przedsiębiorstwie, nie można pominąć urządzeń biurowych. Udział takich urządzeń w całkowitym zużyciu energii jest w małych przedsiębiorstwach procentowo większy niż w dużych. Wydawałoby się, że potencjał efektywności energetycznej biura jest nieznaczny, że nie warto brać go pod uwagę. Ma on jednak znaczenie w przedsiębiorstwach usługowych, zajmujących się głównie działaniami z zakresu pracy biurowej i intelektualnej. Jest kilka obszarów, o które warto się zatroszczyć.

Bardzo ważne jest stosowanie urządzeń, których etykieta energetyczna wskazuje na najwyższą klasę efektywności energetycznej. Czym jest etykieta energetyczna? Jest to deklaracja producenta potwierdzona badaniami energochłonności danego produktu. Zawiera przede wszystkim informację o klasie energetycznej urządzenia oraz o innych parametrach, np. o generowanym poziomie hałasu czy ilości zużywanej wody. Informacje te pozwalają nabywcy na łatwe porównanie produktów. Zgodnie z dyrektywą 2010/30/UE duża grupa urządzeń AGD, musi posiadać etykietę energetyczną. Od 1 marca 2021 r. etykiety dla niektórych urządzeń zmienią się i pojawi się nowa skala efektywności energetycznej. Według obecnie stosowanej skali najwyższe wartości efektywności określone są literą „A" z dodanymi kilkoma znakami "+". Według nowego wzoru, aby wrócić do spójnej skali od A do G, poszerzyć skalę dla najwyższych wartości i stworzyć klasy dla jeszcze efektywniejszych urządzeń, które to najprawdopodobniej wejdą na rynek w bliskim okresie, zmieniono oznaczenia tych klas likwidując dodatkowe plusy w oznaczeniach klas najwyższych i przesuwając poszczególne oznaczenia w kierunku kolejnych liter alfabetu. Klasy A oraz B pozostaną na razie puste, gdyż nie ma jeszcze na rynku tak sprawnych urządzeń, zaś przykładowo, pralka mająca dotychczas klasę A+++ otrzyma po 1 marca 2021 r. klasę C. Dyrektywa 2010/30/UE została zastąpiona Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/1369 z dnia 4 lipca 2017 r., które na poziomie unijnym reguluje ramowe obowiązki w zakresie etykietowania produktów wykorzystujących energię, zaś szczegółowe regulacje dla poszczególnych urządzeń zostaną opublikowane w poszczególnych aktach prawnych wydanych w okresie późniejszym (w momencie redagowania podręcznika nie zostały jeszcze opublikowane).

Etykiety energetyczne dotyczą takich urządzeń jak pokazano w tabeli 11.

Tabela 11 Wykaz urządzeń podlegających etykietowaniu

Urządzenia gospodarstwa domowego i elektronika	Piekarniki i okapy (sprzęt gospodarstwa domowego)
	Zmywarki (sprzęt gospodarstwa domowego)
	Pralki (sprzęt gospodarstwa domowego)
	Urządzenia chłodnicze (sprzęt gospodarstwa domowego
	Suszarki bębnowe
	Lampy
	Telewizory
Urządzenia instalacji mieszkalnych i budynkowych	Klimatyzatory
	Ogrzewacze (pomieszczeń i wody)
	Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń
	Kotły na paliwo stałe
	Systemy wentylacyjne (mieszkalnictwo)
Inne	Przemysłowe urządzenia chłodnicze – szafy chłodnicze
	Opony

Ponadto warto zadbać o następujące aspekty pracy mające wpływ na energochłonność pomieszczeń biurowych i innych pomieszczeń użytkowanych w budynkach – zgodnie z tabelą 12.

Tabela 12 Możliwe działania dodatkowe obniżające zużycie energii w pomieszczeniach w budynkach biurowych i innych

Stan faktyczny	Czynność
Wiele biur i powierzchni wspólnych, użytkowanych przez wiele osób może być jednocześnie ogrzewanych i chłodzonych.	Zbadaj, czy użytkuje się je racjonalnie i nie stosuje jednocześnie ogrzewania i klimatyzacji, a przy konieczności stworzenia innych warunków dla wydzielonego obszaru pomieszczenia, czy stosuje się trwałe przegrody.
Wiele zagadnień można rozwiązać bez użycia papieru.	Sprawdź, czy racjonalnie gospodaruje się papierem w biurze.
Wiele urządzeń nastawionych jest na stan ciągłego czuwania.	Sprawdź, czy urządzenia elektryczne są odłączane całkowicie od sieci/napięcia w sytuacji gdy przez dłuższy czas nie są one użytkowane.
Istnieją budynki mające przeszklenia w części dachowej.	Zbadaj, czy wykorzystuje się światło słoneczne zamiast sztucznego tam, gdzie tylko jest to możliwe i dba się o czystość okien, sufitów i ścian.
Okna są powodem niepotrzebnego wychładzania się pomieszczeń w dni zimne.	Zbadaj, czy stosuje się żaluzje okienne, które potrafią bardzo mocno ograniczyć wychładzanie się powietrza od szyb.
Okna są powodem nadmiernego nagrzewania się pomieszczeń w dni gorące.	Sprawdź, czy możliwe jest zastosowanie specjalnych folii ochronnych na szyby, ograniczających nagrzewanie się szyb od słońca.
Oświetlenie w pomieszczeniach biurowych jest często włączone nawet gdy jest ono zbędne.	Sprawdź, czy światło wyłączane jest tam, gdzie nie jest potrzebne i czy stosowane jest oświetlenie energooszczędne, np. LEDowe.

8. Budynek

Audyt budowlany może być wykonany jako oddzielne zadanie, ale jest wartościową częścią audytu energetycznego przedsiębiorstwa. Modernizacja budynków pod kątem energochłonności (termomodernizacja) nie jest na ogół inwestycją, która szybko się zwraca. Jednak może ona istotnie wpływać na inne aspekty użytkowania budynku – ogrzewanie, komfort cieplny, wentylację. Poza działaniami wysokonakładowymi, poprawiającymi efektywność energetyczną budynku, istnieją także szybkie do przeprowadzenia działania niskonakładowe.

Kolejnym z audytowanych obszarów, poza instalacjami oraz mediami, powinien być budynek. Należy wykonać ocenę przepuszczalności ciepła przez wszystkie możliwe przegrody – od fundamentów i podłóg, poprzez ściany zewnętrzne, stropodach, drzwi i bramy zewnętrzne, aż po okna dachowe i okna zewnętrzne. Rozkład procentowy strat przez poszczególne części budynku może być bardzo różny w zależności od grubości ścian zewnętrznych oraz stanu i grubości izolacji na nich, wieku, budowy i stanu okien zewnętrznych i dachowych, typu dachu i grubości izolacji w dachu. Jednakże dla budynków niskich, wolnostojących w bilansie wszystkich strat przez przegrody zewnętrzne procentowo największy udział stanowią straty przez stropodachy (25-30%), zaś drugie w kolejności są straty przez ściany zewnętrzne (12-18%). Najmniejszy natomiast udział mają drzwi oraz podłogi na gruncie (pojedyncze procenty). Straty te są dość duże, a oszczędności z ograniczenia tych strat poprzez termomodernizację są dobrze zauważalne w bilansie energetycznym przedsiębiorstwa. Jednakże, ze względu na koszty takich prac, okresy zwrotu są wysokie i często mało atrakcyjne – rzędu kilkunastu lat i więcej. Pomocne mogą być w tym przypadku różnego typu programy wspierające termomodernizację prowadzone przez rząd i inne instytucje państwowe.

W tabeli 13 wymieniono główne kryteria, według których można ocenić energochłonność budynku. Należy pamiętać, że zapotrzebowanie na energię przez budynek jest także związane z układem wentylacji oraz ze źródłami ciepła w tym budynku.

Tabela 13 Pytania wstępne do przedaudytowej oceny stanu budynku

Lp.	Pytanie	TAK	NIE
1	Czy znany jest Pani/Panu stan ocieplenia ścian, stropów, fundamentów, stropodachów, podłóg lub dachów?		
2	Czy stan ocieplenia ww. przegród jest w Pani/Pana opinii dobry?		
3	Czy stolarka okienna i drzwiowa wymaga modernizacji lub naprawy?		
4	Czy wymagana jest modernizacja instalacji ogrzewania lub przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.)?		
5	Czy występują liniowe lub punktowe mostki cieplne?		
6	Czy prowadzone były prace mające na celu zlikwidowanie mostków cieplnych?		
7	Czy w budynku stosowany jest BMS - Building Management System (System Zarządzania Budynkiem)?		
8	Czy włączanie i wyłączanie ogrzewania są w budynku wykonywane ręcznie?		
9	Czy w budynku stosowana jest regulacja pogodowa?		
10	Czy w instalacji centralnego ogrzewania (c.o.) stosowane są zawory termostatyczne?		
11	Czy w budynku stosowane są drzwi zamykające się automatycznie?		
12	Czy w budynku stosowane są wiatrołapy przy głównych wejściach?		

W przypadku oceny stanu przegród zewnętrznych trudno jest ocenić ich przenikalność cieplną. Trzeba wtedy oprzeć się na projekcie budowlanym, który może nie odzwierciedlać aktualnej sytuacji, ponieważ budynek mógł zostać poddany przebudowie i różnym naprawom a izolacja mogła ulec degradacji. Wszelkie braki lub „niedoróbki" podczas budowy mogą skutkować pojawieniem się mostków cieplnych, czyli miejsc, w których lokalnie dużo ciepła ucieka na zewnątrz. Warto wykonać wtedy ocenę stanu budynku za pomocą termowizji, która z dużą dokładnością potrafi wykazać istnienie strat miejscowych (najczęściej w okolicach okien, balkonów, drzwi, wyprowadzeń rurociągów przez ściany, ostrych krawędzi elewacji). Ocena przewodności cieplnej na podstawie wizji lokalnej, projektu oraz termowizji są podstawą do wykonania audytu budynku, który jest istotną częścią audytu energetycznego przedsiębiorstwa.

9. Organizacja pracy

Odpowiednia organizacja pracy jest nietechnicznym narzędziem poprawiania ekonomiki przedsiębiorstwa. Wdrożenie systemu jakości w przedsiębiorstwie pozwala wprowadzić na stałe dobre wzorce i pozytywnie wpływa na prestiż firmy. W trakcie audytu warto zbadać obszar organizacji produkcji od strony wykonywanych procesów technologicznych, ponieważ jeżeli procesy te są energochłonne, to odpowiednie zarządzanie nimi (np. przeniesienie ich na nocną zmianę o niższej taryfie ceny energii) pozwala obniżyć koszty. Warto także przeanalizować proces produkcji pod kątem eliminowania przestojów.

Analizując ekonomikę działalności przedsiębiorstwa należy także przeanalizować organizację pracy. Dobra organizacja zwiększa konkurencyjność i elastyczność firmy oraz wpływa na koszty jej funkcjonowania. Jeżeli taryfa dla energii elektrycznej, którą dysponuje przedsiębiorstwo, zgodnie z umową, przewiduje różne ceny energii w ciągu doby, to warto rozważyć przeniesienie procesów energochłonnych na pracę w taryfach o obniżonej stawce. Procesami takimi są np. wygrzewanie komór czy pras lub chłodzenie chłodni/mroźni. Warto także w trakcie produkcji **unikać gorących przestojów** maszyn i tak organizować produkcję, aby urządzenia, które muszą pracować będąc gorące nie czekały długo bezczynnie na kolejną partię półproduktu. Dobrym przykładem jest przemysł oponiarski, gdzie podczas procesu wulkanizacji, prasy formujące muszą pozostawać gorące i tracą ciepło, jeśli trzeba czekać dłużej na dostawę półproduktu.

Drugim elementem jest filozofia wprowadzania zmian do procesu organizacji pracy. W tym obszarze warto rozważyć wprowadzenie zrządzania na bazie filozofii **KAIZEN**, tzn. ciągłej poprawy i dążenia do ciągłego podnoszenia jakości produkcji poprzez wprowadzenie procesu myślowego na każdym etapie produkcji.

Obecnie trwa kolejna rewolucja przemysłowa i coraz więcej firm zaczyna spełniać wymogi nazwane **Przemysł 4.0**. Ten sposób produkcji polega na wdrażaniu najnowszych technologii do zarządzania, komunikacji i produkcji istotnie poprawiając tempo produkcji poprzez jej automatyzację i robotyzację, jej jakość, elastyczność i konkurencyjność poprzez obniżenie kosztów jednostkowych i jednostkowego zużycia energii. Duży postęp uzyskuje się dzięki szerokiemu wprowadzeniu cyfryzacji do procesu projektowania i produkcji. Warto zatem w trakcie audytu przeanalizować automatyzację i zintegrowanie procesu produkcji i możliwości jej poprawy. Pełna integracja procesów może zwiększyć tempo produkcji nawet trzykrotnie oraz obniżyć o kilkanaście procent jednostkowe zużycie energii. Okres zwrotu jest zależny od ceny nowej technologii, jednak zwykle nie powinien przekroczyć 7-10 lat. Aby ocenić się pod tym kątem warto sprawdzić czy spełnionych jest kilka kryteriów pokazanych w tabeli 14.

Tabela 14 Kryteria oceny przedsiębiorstwa wg idei Przemysłu 4.0

Lp.	Pytanie	TAK	NIE
1	Czy proces produkcji opiera się na maszynach programowalnych?		
2	Czy możliwe jest zdalne złożenie zamówienia?		
3	Czy możliwe jest automatyczne zamówienie materiału do magazynu?		
4	Czy możliwy jest automatyczny wybór materiału z magazynu?		
5	Czy możliwe jest automatyczne wykonywanie półproduktów lub podzespołów?		
6	Czy możliwa jest automatyczna obróbka elementów?		
7	Czy możliwe jest automatyczne złożenie komponentów do montażu?		
8	Czy możliwa jest zautomatyzowana dystrybucja?		

10. Określanie efektu modernizacji

Podstawowym efektem modernizacji jest obniżenie zużycia energii. Nie każda jednak czynność skutkująca obniżeniem zużycia energii jest atrakcyjna, ponieważ najważniejszym efektem, na podstawie którego podejmuje się decyzję o przeprowadzeniu modernizacji jest jej efekt finansowy.

W modernizacjach o spodziewanym szybkim efekcie (do najwyżej kilku lat) dobrą miarą jej atrakcyjności jest prosty okres zwrotu (SPBT – Simple Payback Time) mierzony w latach, względnie miesiącach, zaś przy spodziewanym dłuższym (kilka lat lub więcej) okresie zwrotu miarą bardziej dokładną jest zdyskontowany okres zwrotu (DPBT – Discounted Payback Time).

Prosty okres zwrotu określić można z zależności:

$$\sum_{i=1}^{t} K_{Ei} > K_{INW} \rightarrow SPBT = t$$

W sytuacji, kiedy można założyć stałe w latach oszczędności z tytułu modernizacji wyrażenie to upraszcza się do postaci:

$$SPBT = \frac{K_{INW}}{K_E}$$

Aby obliczyć zdyskontowany okres zwrotu, należy najpierw obliczyć przepływy finansowe, tzn. zdyskontowaną ilość pieniędzy (przychody) *zK* w każdym z lat i sprawdzić, w którym roku suma tych przepływów będzie większa od nakładów.

$$zK_i = \frac{K_{Ei}}{(1+r)^i}$$

$$\sum_{i=1}^{t} zK_i > K_{INW} \rightarrow DPBT = t$$

gdzie:
t – obliczony w symulacji rocznej przepływów pieniężnych pierwszy rok, na koniec którego nakłady zostaną zwrócone, przy czym rok inwestycji oznacza się jako rok zerowy,
K_{INW} – koszty poniesione z tytułu modernizacji na jej początku wyrażone w jednostce pieniądza [PLN],

K_{Ei} – przy określaniu SPBT jest to wartość oszczędności rocznych netto w roku *i* lub przy określaniu DPBT jest to przepływy pieniądza w roku *i*-tym,
K_E – wartość stałych rocznych oszczędności netto wynikłych z tytułu modernizacji [PLN/rok],
zK_i – zdyskontowany strumień ilości pieniędzy,
r – stopa dyskonta określana wg WIBOR (przyjmowana często na poziomie równym r = 0,04 – 0,1),
i – numer kolejnego roku.

Opcjonalnie do wartości SPBT lub DPBT można określić podobny do poprzednich wskaźnik wartości bieżącej netto inwestycji NPV, który jest różnicą pomiędzy zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi a kosztami początkowymi poniesionymi w celu przeprowadzenia inwestycji. Określa on finansowy efekt inwestycji w danym okresie. Obliczyć go można według zależności:

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_{Ei}}{(1+r)^i} - K_{INW} \qquad (1)$$

Dana inwestycja jest akceptowana, jeżeli jej NPV w danym czasie osiągnie wartość większą lub równą 0, zaś jest odrzucana, gdy NPV < 0.

Ogólnym kryterium doboru konkretnego rozwiązania jest minimalizacja całkowitego kosztu pracy w cyklu życia urządzenia, który można określić następującymi zależnościami:
$LCC = K_{MIN}$

oraz
$LCC = K_{INW} + K_{INS} + K_{EKS} = K_{INW} + K_{INS} + K_E + K_{OB} + K_{RP} + K_{AW}$

gdzie:

K_{INW} – koszty inwestycyjne,
K_{INS} – koszty związane z pracami instalacyjnymi,
K_{EKS} – koszty eksploatacji podczas założonego cyklu życia,
K_E – sumaryczne koszty energii (głównie elektrycznej, ale i np. paliwa do agregatów z silnikami spalinowymi) zużytej do napędu sprężarek i urządzeń dodatkowych w trakcie założonego okresu eksploatacji instalacji,
K_{OB} – koszty obsługi w założonym okresie,
K_{RP} – koszty bieżących remontów i przeglądów,
K_{AW} – koszty usunięcia skutków awarii oraz wynikające z awarii.

Wymienione proste mechanizmy określania atrakcyjności finansowej przedsięwzięcia są narzędziami przydatnymi, jednak może się okazać, że dane przedsięwzięcie ma bardzo atrakcyjny okres zwrotu i NPV szybko osiągnie wartość dodatnią. Jednak z uwagi na wysoki koszt inwestycyjny będzie niemożliwe do wykonania. Koszt inwestycyjny bowiem, obejmuje nieraz nie tylko samo urządzenie/maszynę, ale i szereg innych kosztów z włączeniem nieraz kosztownych prac towarzyszących.

Drugim z istotnych aspektów modernizacji jest jej efekt ekologiczny, czyli obniżenie emisji CO_2, które jest wynikiem zmniejszenia zużycia energii po modernizacji. Określenie tego efektu jest niezbędnym elementem audytu energetycznego. Do określenia ilości unikniętej emisji CO_2 wykorzystuje się dokument Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) właściwy dla danego roku, w którym określono szczegółowo współczynniki redukcji emisji CO_2 w zależności od paliwa bądź źródła energii, z którego dana instalacja lub urządzenie korzysta. I tak dla najpopularniejszych:

- energii elektrycznej pochodzącej z sieci elektroenergetycznej współczynnik ten wynosi **WE = 778 kg/MWh**,
- ciepła pochodzącego z gazu ziemnego współczynnik ten jest na poziomie **WE = 55,43 kg/GJ**.

Jednakowoż w każdym roku wartości te muszą być sprawdzone bezpośrednio w źródłach KOBiZE.

Dla typowych inwestycji efektywnościowych okresy zwrotu, liczone jako okresy proste czy zdyskontowane, mogą osiągać szeroki zakres wartości (tabela 15). Poszczególne wartości są mocno zależne od sposobu pracy poszczególnych urządzeń oraz od stanu urządzeń i instalacji w stanie wyjściowym.

Tabela 15 Możliwe do uzyskania orientacyjne okresy zwrotu wybranych inwestycji

Działanie	SPBT [lata]
Zmiana sposobów sterowania pomp lub wentylatorów	0,5-1,5
Zmiana sposobu sterowania sprężarek	0,8-2,5
Poprawa izolacji rurociągów parowych	2-5
Wymiana oświetlenia na energooszczędne	1-10
Wymiana urządzeń AGD i biurowych na nowe bardziej efektywne energetycznie	7-15
Mikroinstalacja paneli PV	9-14
Termomodernizacja budynków	6-15
Instalacja pompy ciepła	4,5-17

Dla niektórych modernizacji można uzyskać zwrot nakładów na bardzo atrakcyjnym poziomie wynoszącym poniżej jednego roku. Są to np. modernizacje uwzględniające zmianę sposobu regulacji pomp czy wentylatorów, włączając w to także ewentualnie jednoczesną wymianę silników. Również w przypadku zmian w instalacjach sprężonego powietrza, w których pracuje więcej niż jedna sprężarka, można uzyskać bardzo atrakcyjne okresy zwrotu.

Kolejnymi inwestycjami analizowanymi pod względem atrakcyjności są instalacje służące do przesyłu ciepła – pary i gorącej wody. Jeśli rurociągi wykonane są w nowoczesnej technologii wykorzystującej rury preizolowane, to poza przypadkami fizycznego zniszczenia takich rur na skutek np. różnego rodzaju prac budowlanych czy montażowych, nie wymagają one żadnych modernizacji. Jednak rurociągi wykonane w technologii rur izolowanych zewnętrzną izolacją cieplną często w trakcie pracy ulegają degradacji, skutkiem czego rosną straty ciepła. Modernizacja izolacji cieplnych i zmniejszanie strat daje wymierne korzyści, a typowe okresy zwrotu mieszczą się w granicach od 2 do 5 lat.

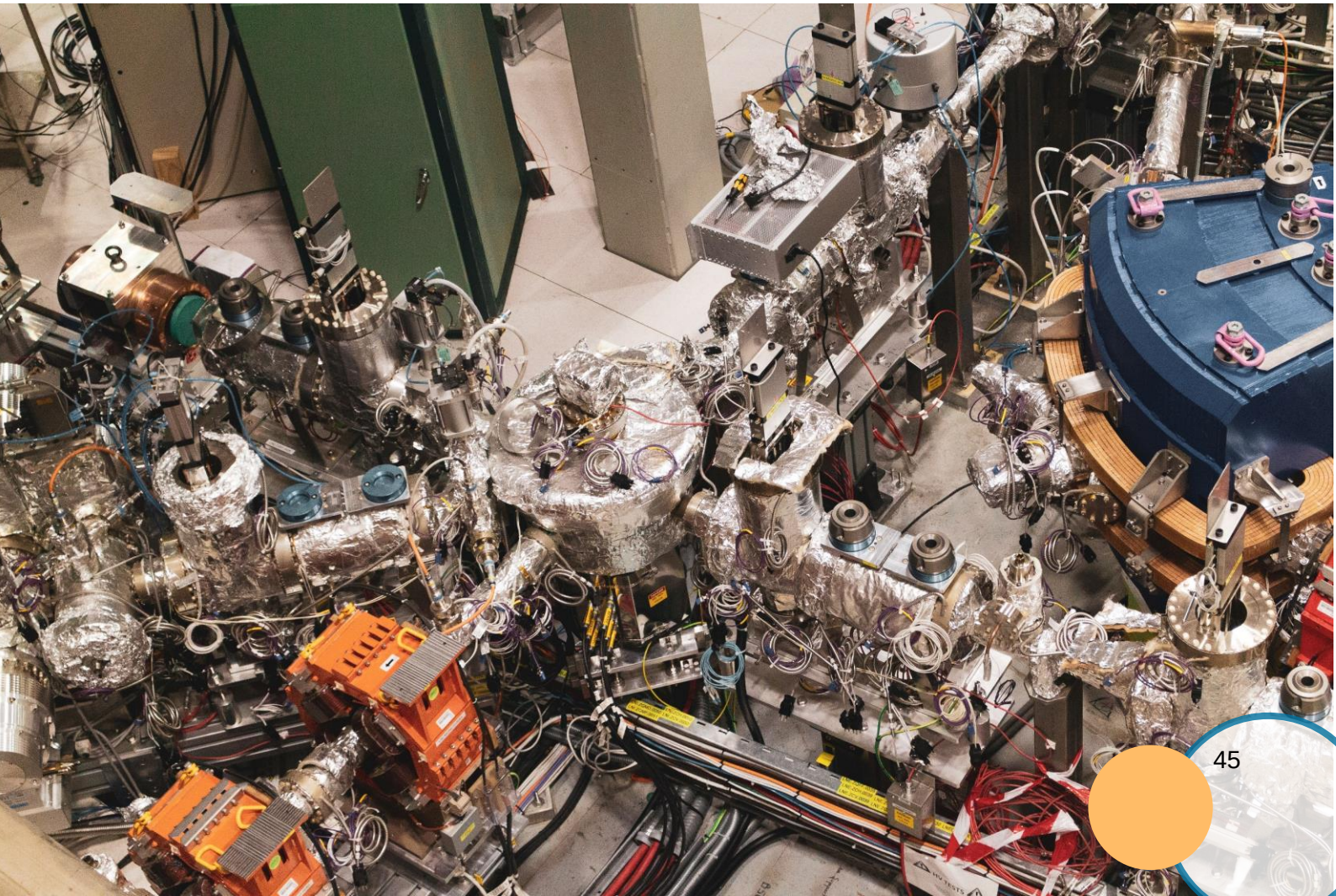
Analizując jedynie okres zwrotu widać, że trochę mniej atrakcyjnie wypada modernizacja źródeł światła. Wynosi on od kilku do kilkunastu lat. Inwestycja w wymianę źródeł światła jest jednak nieraz koniecznością, gdyż oświetlenie może nie spełniać odpowiednich norm dotyczących natężenia oświetlenia. Dlatego, podejmując decyzję o ich wymianie, nie można opierać się jedynie na samym okresie zwrotu.

Kolejną pod względem atrakcyjności finansowej jest modernizacja polegająca na wymianie urządzeń biurowych oraz urządzeń AGD na nowe bardziej efektywne energetycznie. Można przyjąć, że każdy dodatkowy stopień wyżej w klasie energetycznej na etykiecie energetycznej produktu oznacza redukcję zużycia energii o wartość z przedziału od 20% do 30%, jednak biorąc pod uwagę także wyższe ceny takich produktów można stwierdzić, że sumarycznie okresy zwrotu wahają się pomiędzy 7 a nawet 15 lat.

Instalacja własnych źródeł energii elektrycznej w obecnym stanie prawnym jest możliwa w każdym budynku, jednakże nie wszędzie jest to racjonalne rozwiązanie. Funkcjonujące obecnie programy wsparcia inwestycji w mikro instalacje fotowoltaiczne w postaci dopłat, czynią je coraz bardziej atrakcyjnymi. Podsumowując wszystkie koszty i zyski z instalacji i przyjmując, że umieszczona jest ona w najbardziej nasłonecznionym miejscu budynku, okres zwrotu mieścić się będzie w okresie od 9 do 14 lat.

Pod względem atrakcyjności finansowej termomodernizacja budynków wypada gorzej niż wszystkie wspomniane wyżej inwestycje. Jest ona oczywiście często niezbędna, jednakże dla budynków starszych niż kilkunastoletnie zwrot poniesionych nakładów z tytułu termomodernizacji, rozumianej jako poprawa izolacyjności stropów, ścian, okien i fundamentów, zwrot inwestycji nastąpi dopiero po około od 8 do 15 lat. Okres zwrotu będzie zależał oczywiście mocno od stanu budynku sprzed modernizacji oraz od jej zakresu, a także bardzo mocno od rynkowych cen materiałów budowlanych i kosztów prac, z których te przedostatnie potrafią mocno się zmieniać w różnych latach. Z powodu wahań cen na rynku materiałów budowlanych oraz najczęściej dłuższego procesu trwania samego przedsięwzięcia, termomodernizacja jest tą z inwestycji, która charakteryzuje się nieco większym ryzykiem niż pozostałe.

Ostatnią pozycją spośród wymienionych działań jest instalacja pomp ciepła. Tego typu prace modernizacyjne polegają najczęściej na zastąpieniu istniejących źródeł pompą ciepła i wymagają rozległych i kosztownych prac instalacyjnych, budowlanych i ziemnych. Dla obiektów o zapotrzebowaniu na moc grzewczą pomiędzy 40 a 80 W/m^2 okres zwrotu z inwestycji waha się w granicach od 4,5 do nawet 17 lat. Tak duża różnica wynika w dużej mierze z zastosowanych technologii oraz stanu izolacji budynku.



Przykład 6

Oblicz prosty okres zwrotu SPBT, wartość NPV oraz roczną oszczędność toe (liczbę ton oleju ekwiwalentnego), wynikających z modernizacji układu sprężonego powietrza polegającej na zlikwidowaniu wycieków sprężonego powietrza z instalacji oraz na dodaniu na jednej ze sprężarek przemiennika częstotliwości. Średnioważony koszt kapitału wynosi r = 0,043 (4,3%).

Usunięcie wycieków sprężonego powietrza jest działaniem proefektywnościowym i nisko kosztowym.

Roczne koszty napraw i regularnych przeglądów instalacji:

$$K_N = 3\ 800 \text{ zł.}$$

W trakcie audytu określono ilość wyciekającego powietrza i roczny koszt wycieków (do uniknięcia), który oszacowano na:

$$K_W = 7\ 200 \text{ zł/rok.}$$

Prosty okres zwrotu wynosi:

$$SPBT = K_N / K_W = 3\ 800/7\ 200$$

$$SPBT = 0{,}53 \text{ lat} = 7 \text{ miesięcy}$$

Wskaźnik NPV określono na podstawie zależności (1) obliczając w każdym roku oszczędności (uniknięte straty), skumulowany przepływ pieniędzy netto oraz ostatecznie zdyskontowany skumulowany przepływ netto NPV w każdym roku i po 10 latach.

Lata	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Przychody [zł]	**-3 800***)	7 200	7 200	7 200	7 200	7 200
Skumulowany przepływ netto [zł]		7 200	14 400	21 600	28 800	36 000
Zdyskontowany skumulowany przepływ netto NPV [zł]		3 103,16	9 721,73	16 067,43	22 151,51	27 984,76
***NPV* (10 lat) =**	53 736 zł					

*) – koszty te nie są formalnie przychodami a nakładami inwestycyjnymi, jednak w uproszczeniu można je przypisać jako ujemny przychód w roku 0.

Na podstawie obliczeń inżynierskich obliczono, że oszczędność roczna energii z tytułu uszczelnienia instalacji wyniesie 4,33 MWh/rok, stąd stosując przelicznik **1 toe = 11,63 MWh** obliczono oszczędność wynoszącą:

$$L_{toe} = 4{,}33/11{,}63$$

Przykład 6

L_{toe} = 0,37 toe/rok

Dodanie przemiennika częstotliwości jest działaniem średnio nakładowym i wymaga najczęściej zakupu specjalnie dobranego przemiennika.

Koszt przemiennika częstotliwości określony na podstawie ofert na rynku wynosi:

K_{PC} = 10 250 zł.

W trakcie audytu określono roczną oszczędność z zastosowania przemiennika częstotliwości, która wynika z unikania pracy sprężarki na biegu jałowym:

O_{PC} = 48 000 zł/rok.

Prosty okres zwrotu wynosi:

SPBT = K_{PC} / O_{PC} = 10 250/48 000

SPBT = 0,21 lat = 3 miesiące.

Wskaźnik NPV określono na podstawie zależności (1) obliczając w każdym roku przychody (uniknięte straty), skumulowany przepływ pieniędzy netto oraz ostatecznie zdyskontowany skumulowany przepływ netto NPV w każdym roku i po 10 latach.

Lata	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Przychody [zł]	**-10 250***)	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Skumulowany przepływ netto [zł]		48 000	96 000	144 000	192 000	240 000
Zdyskontowany skumulowany przepływ netto NPV [zł]		35 771,09	79 894,86	122 199,53	162 760,10	201 648,47
***NPV* (10 lat) =**	373 323 zł					

*) – koszty te nie są formalnie przychodami a nakładami inwestycyjnymi, jednak w uproszczeniu można je przypisać jako ujemny przychód w roku 0.

Na podstawie obliczeń inżynierskich obliczono, że oszczędność roczna energii z tytułu uniknięcia pracy na biegu jałowym wyniesie 59,78 MWh/rok, stąd stosując przelicznik **1 toe = 11,63 MWh** obliczono oszczędność wynoszącą

L_{toe} = 5,13/11,63

L_{toe} = 5,13 toe/rok

Przykład 7

Określ prosty okres zwrotu, ilość zaoszczędzonego toe oraz ilość niewyemitowanego CO_2 dla modernizacji polegającej na wymianie zdegradowanej izolacji (patrz Przykład 5). Degradacja izolacji następowała na skutek starzenia się, częstych prac modernizacyjnych oraz nasiąkania przez wodę na skutek awarii. Instalacja pracuje t = 6000 godzin w roku, cena ciepła z gazu c_G = 145 zł/MWh.

Strata mocy z tytułu braków w izolacji lub jej degradacji wynosi:
P_{IZ} = 285 kW

Strata energii z tytułu braków w izolacji lub jej degradacji wynosi:
$E_{IZ} = P_{IZ} \cdot t = 285 \cdot 6\,000$

E_{IZ} = 1 710 MWh/rok

E_{IZ} = 6 156 GJ/rok

Ilość ciepła wyprodukowanego przez kotły przed modernizacją wynosi:
E = 9 120 MWh/rok

Koszt naprawy rurociągów został określony według rzeczywistych stawek rynkowych:
K_N = 95 000 zł

Zatem koszt roczny (zysk) zaoszczędzonej energii wyniósł:
$K_E = c_G \cdot E_{IZ} = 145 \cdot 1\,710$

K_E = 248 000 zł/rok,
prosty okres zwrotu:
$SPBT = K_N/K_E = 95\,000/248\,000$

***SPBT* = 0,38 = 5 miesięcy**

Oszczędność w przeliczeniu na tonę oleju ekwiwalentnego
$L_{toe} = 1\,710/11{,}63$

L_{toe} = 147 toe/rok

Aby obliczyć ilość uniknięte go CO_2 należy przyjąć współczynnik emisji dla gazu, który wynosi 0,05582 $MgCO_2$/GJ. A zatem ilość ta wynosi:

$m_{CO2} = E_{IZ} \cdot 0{,}05582 = 6\,156 \cdot 0{,}05582$

m_{CO2} = 343,63 $MgCO_2$/rok.

Spis wybranych ważniejszych rozporządzeń i norm

- Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 245/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp fluorescencyjnych bez wbudowanego statecznika, dla lamp wyładowczych dużej intensywności, a także dla stateczników i opraw oświetleniowych służących do zasilania takich lamp, oraz uchylające dyrektywę 2000/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady
- Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 640/2009 z dnia 22 lipca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla silników elektrycznych
- Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 547/2012 z dnia 25 czerwca 2012 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla pomp do wody
- Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 327/2011 z dnia 30 marca 2011 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla wentylatorów napędzanych silnikiem elektrycznym o poborze mocy od 125 W do 500 kW
- Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 622/2012 z dnia 11 lipca 2012 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 641/2009 w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych wolnostojących i pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych zintegrowanych z produktami
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady 2019/944/UE z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej oraz zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego I Rady 2017/1369 z dnia 4 lipca 2017 r. ustanawiające ramy etykietowania energetycznego i uchylające dyrektywę 2010/30/UE
- Wniosek Rozporządzenie PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie etykietowania opon pod kątem efektywności paliwowej i innych zasadniczych parametrów oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1222/2009- COM/2018/296 final - 2018/0148 (COD).
- Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 548/2014 z dnia 21 maja 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych małej, średniej i dużej mocy
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii
- 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
- Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej
- Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów
- Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków
- Ustawa z dnia 14 września 2012 r. o etykietowaniu energetycznym produktów wykorzystujących energię
- Wykaz ważniejszych norm:
- PN-EN 16247 – Audyty energetyczne przedsiębiorstw i procedura
- PN-EN ISO 50001 – Systemy zarządzania energią
- PN-B-02025:2001 – Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- PN-EN 12464 – Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy
- PN-82/E-04040.03 – Pomiary fotometryczne i radiometryczne. Pomiar natężenia oświetlenia
- PN-EN 60034-30-1 – Maszyny elektryczne wirujące - klasy sprawności silników
- PN-EN 50160:2002 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
- PN-EN 61000-6-4:2008 – Kompatybilność elektromagnetyczna – normy emisji
- PN-EN 60076-1:2001/A1:2007 – Transformatory

Spis fotografii ich autorów i źródeł

- Strona tytułowa – Designed by Freepik
- Strona 4 – Designed by Freepik
- Strona 4 – Rysunek 1 – Opracowanie własne
- Strona 5 – Designed by Freepik
- Strona 7 – Designed by Freepik
- Strona 10, góra – Designed by Freepik
- Strona 10, góra – Designed by Freepik
- Strona 11 – Photo by Scott Graham on Unsplash
- Strona 12 – Photo by Shane Rounce on Unsplash
- Strona 12, Rysunek 2 – Opracowanie własne
- Strona 13 – Photo by Science in HD on Unsplash
- Strona 13, Rysunek 3 – Opracowanie własne
- Strona 13, Rysunek 4 – Opracowanie własne
- Strona 14, Rysunek 5 – Opracowanie własne
- Strona 14, Rysunek 6 – Opracowanie własne
- Strona 15 – Designed by Freepik
- Strona 16 – Designed by Freepik
- Strona 18, Rysunek 7 – Opracowanie własne
- Strona 18 - Shuterstock
- Strona 19 – Designed by Freepik
- Strona 20 – Designed by Freepik
- Strona 21 – Designed by Freepik
- Strona 22 – Designed by Freepik
- Strona 22, Rysunek 8 – Opracowanie własne
- Strona 23 – Designed by Freepik
- Strona 24 – Designed by Freepik
- Strona 25 – Designed by Freepik
- Strona 27 – Photo by Ashkan Forouzani on Unsplash
- Strona 28 – Designed by Freepik
- Strona 29 – Photo by Bernard Hermant on Unsplash
- Strona 32, Rysunek 9 – Opracowanie własne
- Strona 33 – Designed by Freepik
- Strona 34 – Pikrepo.com
- Strona 35 – Photo by Tomas Williams on Unsplash
- Strona 36 – Designed by Freepik
- Strona 38 – Photo by Victor Garcia on Unsplash
- Strona 40 – Designed by Freepik
- Strona 42 – Designed by Freepik
- Strona 45 – Photo by Devon Rogers on Unsplash
- Strona 46, 47, 48 – Designed by Freepik