

# Poradnik dla audytorów energetycznych

## mgr inż. Andrzej Jurkiewicz z zespołem

### Wstęp

Celem, który postawiliśmy sobie jako autorzy tego poradnika–skryptu, jest nie tylko przedstawienie metodyki wykonywania audytów energetycznych, czy świadectw charakterystyk energetycznych, lecz także wprowadzenie, zwłaszcza początkującego audytora energetycznego, w dziedzinę najważniejszych pojęć i zjawisk, które spotykamy w szeroko pojętej wiedzy związanej z energią.

Zawód „audytora energetycznego” nie doczekał się jeszcze oficjalnej swojej nazwy i „umocowania prawnego” w Polsce (czekamy, Panie Ministrze, czekamy!). Uważamy, jednak, że niezależnie od tego, czy taki zawód powstanie formalnie, czy też nie, już w niedalekiej przyszłości, stanie się on jednym z ważniejszych zawodów w świecie (w większości krajów UE zawód ten już istnieje i to często od wielu lat).

Kim wobec tego jest (powinien być) audytor energetyczny? Niewątpliwie zawód ten jest zawodem z dziedziny interdyscyplinarnych, gdyż audytor energetyczny powinien być, „po trosze”:

- 1) budowląncem, gdyż musi poznać fizykę budowli i większość technologii budowlanych
- 2) ekonomistą i bankowcem, gdyż musi umieć wykonać analizy opłacalności przedsięwzięć termomodernizacyjnych i inwestycji energetycznych, a także znać i zaproponować źródła sfinansowania takich przedsięwzięć
- 3) fizykiem, gdyż musi poznać zasady termodynamiki, elektromagnetyzmu, fizykę materii i procesów fizycznych
- 4) chemikiem, gdyż musi znać podstawowe właściwości pierwiastków chemicznych, zasady tworzenia się związków chemicznych oraz ich właściwości, przebieg reakcji chemicznych i ich skutków, procesy towarzyszące gazom, cieczom i ciałom stałym
- 5) ciepłownikiem i gazownikiem, gdyż powinien dokładnie znać techniki i metody ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosowanych w obiektach budowlanych
- 6) elektroenergetykiem, gdyż energia elektryczna to najważniejszy rodzaj energii w dzisiejszym świecie,

7) prawie specjalistą w dziedzinie ochrony środowiska, gdyż często koniecznym będzie znajomość i obliczenie wielkości i kosztów emisji zanieczyszczeń, a także podanie metody walki z tymi zanieczyszczeniami,

8) prawnikiem, gdyż musi znać większość aktów prawnych związanych z szeroko pojętą energetyką, ochroną środowiska i prawem budowlanym,

9) prawie projektantem, gdyż audyt energetyczny jest często wstępem do projektu budowlanego, a tzw. charakterystyka energetyczna budynku jest wręcz częścią takiego projektu...,

a także powinien „orientować” się w szeregu innych specjalnościach, których znajomość pomaga w wykonywaniu tego zawodu np. rolnictwo (np. uprawy energetyczne), BHP i ppoż., technologie przemysłowe, nowe technologie i trendy w dziedzinie wytwarzania i użytkowania energii.

Często bywa tak, że audyt energetyczny jest wstępem do opracowania innych dokumentów (studium wykonalności projektu, wnioski kredytowe, projekt techniczny budowlany, aplikacja po środki UE, wytyczne do doboru linii przemysłowych, ekspertyza techniczna, akty kupna–sprzedaży obiektów itp.), dlatego odpowiedzialność audytora za przyjęte rozwiązania i wyliczone wielkości zużycia energii (lub jej oszczędności) jest bardzo duża i często rzutuje na „jakość” tych „innych dokumentów”.

Spróbujemy w tym skrypcie przedstawić podstawowy zakres wiedzy, które spotkamy przy uprawianiu tego zawodu. Większość tematów i zagadnień poparta będzie przykładami rozwiązań praktycznych.

Przyjęta forma podręcznika to cykl wykładów, które prezentujemy w trakcie organizowanych kursów lub studiów podyplomowych z dziedziny audytu energetycznego. Każdy z wykładów kończy się krótkim „zestawem pytań” dotyczącym przedstawionego materiału. Niektóre pytania wykraczają jednak poza zakres przedstawiony w wykładzie; jest to próba wskazania problemów, które wymagają samodzielnej pracy, albo mają sprowokować dyskusję ze Słuchaczami wykładu (w tym wypadku Czytelnika).

Przy okazji omawiania poszczególnych tematów zapoznamy Czytelnika z metodyką wykonywania zarówno audytów energetycznych, jak i świadectw energetycznych.

Nie planujemy, aby ten podręcznik–skrypt był rozprowadzany w formie pisemnej, gdyż mamy zamiar rozpowszechniać go z użyciem internetu. Ewentualne przedruki i korzystanie z informacji zawartych w tym podręczniku nie stanowią naruszenia praw autorskich – uważamy, bowiem, że sam fakt propagowania wiedzy o oszczędzaniu energii jest bezcenny, więc nie widzimy potrzeby, aby tę wiedzę wyceniać.

Będziemy wdzięczni Szanownym Czytelnikom za wszelkie uwagi i wskazówki, co do zawartości i formy tego skryptu. Przepraszamy jednocześnie za błędy, których często nie można uniknąć, biorąc pod uwagę zakres, różnorodność poruszanych

tematów, a także naszą niepełną wiedzę w niektórych dziedzinach.

## **Wykład 1: Najczystsza formę energii ma energia niezużywana.**

Prowadzący: Andrzej Jurkiewicz

Teza: Oszczędność energii to potrzeba i konieczność współczesnego świata.

Prawdę z tezy tego wykładu zauważono już wiele lat temu. Kolejne kryzysy gospodarcze, czy energetyczne podkreślały aktualność tego stwierdzenia. Obecnie współczesna gospodarka ponownie przeżywa kryzys finansowy, którego konsekwencją jest kryzys gospodarczy i energetyczny. Takie kryzysy, oprócz niewątpliwych strat, wyzwalają także konieczność poszukiwania niekonwencjonalnych i często nieznanych metod na walkę z ich skutkami.

W przypadku energii dochodzi nam jeszcze mało przewidywalne wahanie cen paliw, z których ją produkujemy, zanieczyszczenie środowiska powodowane przy produkcji tej energii (i niemałe koszty tego zanieczyszczenia), a wreszcie stale rosnący poziom konsumpcji i wzrost oczekiwań odbiorców energii, co do jakości i ceny tej energii. Wymaga to od nas stosowania oszczędnych energetycznie technik i technologii, a także metodyczne i świadome oszczędzanie tej energii na każdym etapie naszego funkcjonowania, jako mieszkańców tego globu.

Minimalizacja zużycia energii jest często ważniejsza od ceny tej energii. Dla przykładu: tradycyjny budynek w Polsce zużywa 0,7 GJ energii cieplnej na 1m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej na rok, a budynek pasywny nie więcej niż 0,1 GJ/m<sup>2</sup>/rok... siedmiokrotnie mniej!!! Czy w wypadku budynku pasywnego będzie nasz tak bardzo interesowała cena 1 GJ energii?

Raczej nie... bardziej będziemy zainteresowani, jaki będzie koszt inwestycyjny uzyskania takiego małego zapotrzebowania na ciepło. a jeżeli się okazuje, że można wybudować budynek pasywny w cenie praktycznie takiej samej, jak budynek tradycyjny?...

Jak to zrobić? i czy jest to możliwe?... Wyjaśnię w wykładzie na temat budownictwa pasywnego.

Oszczędzanie energii często nie wymaga poważniejszych nakładów finansowych, a w skrajnym przypadku, inwestycje w oszczędzanie są „bezinwestycyjne”; sama wiedza o metodach oszczędzania często wystarcza, aby uzyskać wymierny efekt w postaci zmniejszenia zużycia energii.

Przykład: wietrzenie mieszkania czy pokoju biurowego.

Celem wietrzenia jest wymiana powietrza zużytego na świeże. Można to osiągnąć wieloma sposobami, ale zastanówmy się, który z proponowanych sposobów wietrzenia będzie najbardziej oszczędny z punktu widzenia zużytej energii cieplnej.

W sezonie grzewczym, gdy na dworze jest niska temperatura, proponuję, aby „metryka” wietrzenia pomieszczeń była

następująca:

- 1) Na 15–20 minut przed wietrzeniem zakręcamy zawory termostatyczne (zakładamy, że są) w pomieszczeniu
- 2) Otwieramy na oścież okno lub balkon i zamykamy za sobą drzwi do pokoju (będzie zimno, więc lepiej wyjść z pomieszczenia)
- 3) Wracamy po 4–5 minutach i zamykamy okno (balkon).
- 4) Po 15–20 minutach odkręcamy zawory grzejnikowe.

Czym różni się takie wietrzenie od np. zostawienia lufcika, lub lekko uchylonego okna, na dłuższy czas?

Różnica jest zasadnicza. W pokoju, gdzie utrzymujemy temperaturę powietrza na poziomie  $19 \div 22^{\circ}\text{C}$ , przy zamkniętych oknach, przegrody budowlane (ściany, podłoga, strop) oraz meble i urządzenia, mają także temperaturę zbliżoną do tej temperatury.

Jeżeli przyjmiemy, że celem wietrzenia jest wymiana powietrza na świeże, to w efekcie krótkotrwałego, ale intensywnego wietrzenia, całe zużyte powietrze zostanie szybko zastąpione przez świeże. Tak krótkotrwałe otwarcie okien nie spowoduje jednak zbytniego wyziębienia przegród oraz mebli i urządzeń w pokoju. Po zamknięciu okien te „rozgrzane” przegrody i wyposażenie zaczną bardzo szybko ogrzewać świeże powietrze w pomieszczeniu. Długotrwałe otwarcie lufcika lub lekkie uchylenie okna, spowoduje natomiast, że wymiana powietrza będzie bardzo powolna, a przegrody zostaną skutecznie „wystudzone” przez chłodne powietrze wolno napływające do pomieszczenia; nie dość, że źle przewietrzymy pomieszczenie, to jeszcze wychłodziemy przegrody i wyposażenie w tym pokoju. Po zamknięciu okna będziemy musieli nagrzać nie tylko powietrze, ale także wszystkie wychłodzone przegrody i wyposażenie w pokoju.

Po co jednak zakręciliśmy dodatkowo zawory grzejnikowe przed wietrzeniem? Pozostawienie odkręconych zaworów w czasie wietrzenia spowoduje pełne otwarcie się zaworu termostatycznego i intensywne pobieranie ciepła przez grzejnik, omywanego zimnym powietrzem. Ciepło to jednak będzie bezpowrotnie stracone, gdyż „ucieknie” nam wraz z powietrzem wymienianym.

A dlaczego mamy odkręcić zawór termostatyczny dopiero po 15÷20 minutach od momentu zamknięcia okien w przewietrzonym pokoju?... Dlatego, że wstępnie chcemy wykorzystać głównie ciepło zakumulowane w przegrodach i wyposażeniu, a dopiero potem zaczniemy ogrzewać pomieszczenie grzejnikiem.

Jaką uzyskamy oszczędność przy tym sposobie wietrzenia pomieszczeń? Trudno to dokładnie wyliczyć, ale myślę, że ok.  $2 \div 3\%$  energii zaoszczędzimy, w porównaniu z wietrzeniem metodą „uchylonego lufcika”.

Jak widać, tak prosta czynność, jakim jest „wietrzenie pokoju”, stwarza sporo możliwości i ciekawych problemów do omówienia. Podobne informacje i stosowane rozwiązania przedstawimy Państwu w trakcie prowadzenia tych wykładów, a z autopsji wiem, że wiele pomysłów rodzi się nawet w trakcie omawiania jakiegoś problemu. Dzieje się tak wtedy, kiedy

postanowimy podzielić się naszą wiedzą i doświadczeniem z innymi i... nauczymy się słuchać tego, co inni mają do powiedzenia.

Czy zaoszczędzone 2÷3% energii, w czasie wietrzenia pokoi, to dużo?... Może niewiele, ale ma jedną przewagę nad innymi metodami: po prostu nic nie kosztuje... poza wiedzą.

Dodam tylko, że jeżeli popatrzymy na te nasze zaoszczędzone 2% od strony np. zaoszczędzonego paliwa w ciepłowni miejskiej, to się okaże, że to już nie będzie 2%, ale często dwa razy więcej; dochodzą nam, bowiem, sprawności związane z dostarczaniem energii do naszego grzejnika, czyli: sprawność źródła, starta sieci przesyłowych, starta instalacji wewnętrznej oraz starta regulacyjna. W jednym z następnych wykładów wyliczymy sprawność całkowitą tradycyjnego systemu miejskiego w Polsce (opartego o węgiel) i udowodnimy, że często sprawność ta spada poniżej 50% energii chemicznej zużytego paliwa... tak, więc z naszych 2%, robi się 4%!!!

Jeżeli zaproponowałbym dostawcom ciepła, że zdradzę im metodę na bezinwestycyjne zaoszczędzenie w ich źródłach 4% paliwa, to chyba bym zasłużył na nagrodę Nobla...

Pytanie tylko, czy taki dostawca byłby zachwycony moją metodą? Widzicie gdzie tkwi problem?... w konflikcie interesów!!! Te 4% zaoszczędzonej energii w paliwie to jednocześnie, co najmniej 2% mniejsza sprzedaż dla dostawcy... Siedzimy po różnych stronach barykady: odbiorca chce oszczędzać energię, a dostawca chce jej sprzedawać jak najwięcej i jak najdrożej.

Czy można zażegnać ten konflikt? Czy można stanąć po tej samej stronie barykady? Otóż można (a nawet trzeba); po prostu dostawca musi być także zainteresowany (także finansowo!!!) w tym, aby odbiorca energii zużywał jej jak najmniej. Niemożliwe? Okazuje się, że jest to możliwe i bardzo opłacalne dla obu stron, ale o tym opowiem przy okazji omawiania kontraktów ESCO i tzw. „białych certyfikatów”.

Unia Europejska, w marcu 2007 roku, wyznaczyła krajom członkowskim cele związane z ochroną klimatu, nazwane Pakietem 3x20. Pakiet ten związany jest ze zmniejszeniem obciążenia środowiska (walka z globalnym ociepleniem... zresztą kontrowersyjny temat i proponowane metody walki) i z oszczędzaniem energii. Łatwo zapamiętać, czego dotyczy ten pakiet, bo składa się on z samych „dwudziestek”: do 2020 roku kraje UE mają obniżyć emisję CO<sub>2</sub> o 20%, zwiększyć udział odnawialnych źródeł energii o 20% i spowodować oszczędność zużywanej energii o 20%.

Nas najbardziej będzie interesowała ta ostatnia „dwudziestka”, ale nie zapomnimy także o pozostałych dwóch (zresztą wszystkie trzy „dwudziestki” są mocno z sobą powiązane). Pakiet, w przypadku Polski, budzi dużo kontrowersji wśród polityków, gdyż jest on trudny do spełnienia.

Czy możemy pomóc Polsce w wypełnieniu tego zobowiązania?

Każdy z nas może pomóc... i to często bezinwestycyjnie; sparafrazuję klasyka: „Nie pytaj, co Polska i Świat może zrobić dla Ciebie, zapytaj, co Ty możesz zrobić dla Polski i Świata” (nawiasem mówiąc ten klasyk to przywódca największego gospodarczo kraju, który nie podpisał żadnego protokołu dotyczącego ograniczenia emisji zanieczyszczeń na świecie...)

Pytania do wykładu.

1. Co to jest Pakiet 3x20 i jakie cele stawia przed członkami UE?
2. Wymień główne cele Dyrektywy o charakterystyce energetycznej
3. Dlaczego zawód audytora jest zawodem interdyscyplinarnym?
4. Czy wiesz, co to jest „biały certyfikat”?

## **Wykład 2: Program termomodernizacji budynku wspólnoty mieszkaniowej**

Prowadzący: Andrzej Jurkiewicz

Teza: Nie zawsze pieniądze są najważniejsze, czasem wystarczy pomysł.

Przypatrzmy się naszej polskiej Ustawie o wspieraniu termomodernizacji i remontów (Ustawa z 11 listopada 2008 roku). Ustawa ta weszła w życie 19 marca 2009 roku i zastąpiła Ustawę o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych z 1998 roku.

Jak skorzystać z dobrodziejstw tej Ustawy i jednocześnie pomóc Polsce w spełnieniu wymagań Pakietu 3x20?

Spróbujmy wykonać program termomodernizacyjny, z wykorzystaniem możliwości otrzymania kredytu bankowego na jego sfinansowanie zgodnie z wymogami tej ustawy. Jednym z głównych argumentów do realizacji programu jest możliwość otrzymania tzw. premii termomodernizacyjnej w wysokości do 20% wartości zaciągniętego kredytu; premię tą wypłaci nam Bank Gospodarstwa Krajowego po zakończeniu termomodernizacji.

Wyobraźmy sobie, że mieszkamy w środkowej części Polski, w niewielkim mieście, w budynku Wspólnoty Mieszkaniowej „Zaniedbany Dom”. Budynek czterokondygnacyjny, dwu klatkowy, podpiwniczony bez poddasza użytkowego (tzw. stropodach); ma 40 mieszkań po 50m<sup>2</sup> każde (2000m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej mieszkań). Budynek zasłużył na swoją nazwę, gdyż przeżył już trochę lat i wybudowany został w latach 60–tych ubiegłego wieku. Wcześniej był to budynek komunalny, ale od 2002 roku, po sprzedaży części mieszkań przez Gminę, właścicielem budynku stała się Wspólnota Mieszkaniowa. Budynek jest bardzo zaniedbany: odpadający tynk, ciekący dach, kiepskie okna i drzwi na klatkach schodowych. Mieszkania w budynku, piwnica i klatki schodowe ogrzewane są z miejskiej ciepłowni węglowej eksploatowanej przez Gminną Spółkę Ciepłowniczą. Nasz budynek zasilany jest z przestarzałego węzła cieplnego zamontowanego w piwnicy. Energia ciepła rozliczana jest poprzez wskazania licznika ciepła zamontowanego w tym węźle. Instalacja centralnego ogrzewania jest przestarzała; nie działają zawory grzejnikowe, jest bardzo zanieczyszczona i często się zapowietrza. Część mieszkań jest niedogranych, stwierdzono nawet przemarzanie ścian, a w niektórych mieszkaniach pojawiły się grzyb i pleśń.

Koszty ponoszone na ogrzewanie budynku są stosunkowo wysokie i wynoszą średniomiesięcznie 3,50 zł/m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej. Od 2004 roku Wspólnota gromadzi środki na funduszu remontowym. Stawka uchwalona przez Wspólnotę na ten fundusz wynosi 1,00 zł/m<sup>2</sup>/miesiąc. Z funduszu tego Wspólnota finansowała jedynie bieżące niewielkie remonty budynku, więc na koniec 2007 roku stan tego funduszu remontowego był stosunkowo wysoki i przekraczał 50.000 zł.

Takie lub podobne budynki stanowią swoisty „standard” w naszym kraju. Z punktu widzenia zużycia energii, a w zasadzie norm, które określały tzw. współczynniki przenikania przegród budowlanych, budynki wybudowane w latach powojennych do 1984 praktycznie niewiele się różniły; współczynnik ten zmieniał się od 1,4 do 1,1 W/m<sup>2</sup>·K i był często ponad cztery razy większy niż obecnie wymagany (0,3 W/m<sup>2</sup>·K).

Poziom zużycia energii w takich budynkach mocno zależy od jakości izolacji przegród budowlanych, a ta z kolei uzależniona była od norm i wymogów prawnych, które obowiązywały w czasie, gdy taki budynek powstawał (przykładowo nasz budynek ma mury z cegły o grubości 36 cm i jego U wynosi ok. 1,4 W/m<sup>2</sup>·K).

Drugim elementem, który wpływa na koszty ogrzewania jest instalacja grzewcza. Brak możliwości regulacji ilością dostarczanego ciepła nie tylko do budynku, ale także do poszczególnych mieszkań i pokoi, powoduje, że gdy jedno pokoje są przegrzewane, to z kolei w innych, występuje częste niedogrzanie. Zawory grzejnikowe są przestarzałe, a próba ich przestawienia, albo jest w ogóle niemożliwa, albo kończy się przeciekiem z dławika zaworu. Dodatkowo instalacja wyposażona jest w centralne odpowietrzenie i zabezpieczona jest tzw. „otwartym naczyniem wzbiorczym”, co jest kolejną przyczyną małej sprawności całej instalacji (szacujemy, że sprawność ta nie przekracza 75%).

Dodatkowo sporo ciepła tracimy na ogrzewanych klatkach schodowych i w piwnicach, z uwagi na zły stan stolarki okiennej, oraz drzwi wejściowych.

Zarząd Wspólnoty postanowił poprawić standard budynku i obniżyć koszty jego ogrzewania i zaproponował, aby nasza Wspólnota „Zaniedbany Dom”, przystąpiła do remontu budynku, ale z wykorzystaniem wspomnianej ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów. Taki program termomodernizacyjny, do którego może przystąpić Wspólnota ma kilka zalet, ale i wymagań.

Zacznijmy od zalet:

- 1) ustawa „termomodernizacyjna” umożliwia otrzymanie do 20% premii termomodernizacyjnej od wartości wykorzystanego kredytu, który Wspólnota zaciągnie w wybranym przez siebie banku
- 2) spłata kredytu nastąpić powinna z uzyskanych oszczędności na zużyciu energii cieplnej oraz istniejącego funduszu remontowego, czyli nie przewidujemy wzrostów kosztów utrzymania mieszkań (przed i po remoncie koszt ten powinien być taki sam, lub nawet niższy)

3) budynek Wspólnoty zostanie poddany kompleksowemu remontowi obejmującemu:

- docieplenię wszystkich ścian budynku wraz z wykonaniem nowej kolorowej elewacji
- wykonanie remontu pokrycia dachu wraz z dociepleniem stropodachu (metodą wdmuchiwanego granulatu z wełny mineralnej lub „Ekofiberem”, czyli odpowiednio preparowanego granulatu z makulatury)
- wymianę stolarki okiennej wraz ze zmniejszeniem powierzchni przeszklenia w klatkach schodowych
- wymianę okien w piwnicach
- wymianę drzwi wejściowych
- płukanie chemiczne instalacji centralnego ogrzewania, montaż zaworów termostatycznych, montaż zaworów regulacyjnych podpionowych, likwidacja centralnego odpowietrzania i montaż indywidualnych odpowietrzników na pionach zasilających, likwidacja części grzejników w klatkach i piwnicach
- wykonanie nowego węzła cieplnego dla wprowadzenia indywidualnego programu ogrzewania budynku, wraz z likwidacją otwartego zbiornika wyrównawczego (wprowadzamy zamknięte zabezpieczenie instalacji z wykorzystaniem tzw. ciśnieniowego zbiornika przeponowego popularnie zwanego Refleksem)
- wymianę rynien i wszystkich obróbek blacharskich, wraz z remontem kominów na dachu budynku
- montaż nowych podokienników (parapetów zewnętrznych)
- montaż nawiewników higrosterowalnych w mieszkaniach, w których zostały wymienione okna (na koszt właściciela mieszkania)
- montaż nowej instalacji odgromowej
- montaż instalacji zbiorczej RTV i sieci komputerowej
- malowanie klatek schodowych

4) Kredyt powinien być zabezpieczony jedynie w formie prawa do dysponowania środkami gromadzonymi na funduszu remontowych (nie przewiduje się żadnych poręczeń, ubezpieczeń kredytu, zastawów hipotecznych, czy weksli Zarządu lub Członków Wspólnoty)

5) 70% wpłat na fundusz remontowy powinno wystarczyć na pokrycie rat i odsetek, czyli pełną obsługę kredytu (pozostałe 30%



pozostanie w dyspozycji Wspólnoty i będzie formą dodatkowego zabezpieczenia dla banku)

6) Przewidujemy, że spadnie nam koszt utrzymania mieszkań; obecne koszty te wynoszą 4,5 zł/m<sup>2</sup>/miesiąc (3,5 zł na ogrzewanie + 1 zł na fundusz remontowy), a zakładamy, że po wykonaniu programu spadną nam koszty ogrzewania przy jednoczesnym wzroście wpłat na fundusz remontowy, z którego spłacać będziemy kredyt. Przewidujemy, że po wykonaniu kompleksowej termomodernizacji, koszt ogrzewania spadnie do poziomu 2,0 zł/m<sup>2</sup>/miesiąc, a jednocześnie stawka funduszu remontowego, wzrośnie do poziomu 2,3 zł/m<sup>2</sup>/miesiąc. W ten sposób koszty utrzymania naszych mieszkań spadną o 20 gr/m<sup>2</sup>/miesiąc.

Teraz wymagania, które musi spełnić Wspólnota, jako kredytobiorca:

1. Musimy podjąć uchwałę o przystąpieniu do programu (projekt takiej uchwały przedstawiam w Załączniku nr 1 [www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-01-uchwala-wspolnoty.doc](http://www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-01-uchwala-wspolnoty.doc)) zgodnie z wymogami Ustawy o własności lokali oraz wytycznymi banku (każdy bank ma swój projekt takiej uchwały, dlatego „bezpieczniej” jest ustalić jej treść z przedstawicielem wybranego banku).
2. Musimy zlecić wykonanie audytu energetycznego i ustalić z audytorem zakres termomodernizacji. Audyt staje się załącznikiem do naszej umowy zawartej z bankiem i podlega tzw. weryfikacji przez BGK (po pozytywnej weryfikacji otrzymujemy z BGK informację o wysokości przyznanej premii w formie tzw. promesy premii termomodernizacyjnej)
3. Koszty audytu i projektu budowlanego pokryjemy ze środków własnych (koszt tej dokumentacji to kwota ok. 12.000 zł) i będzie to nasz wkład własny do tej inwestycji. Pozostałe 38.000 zł zatrzymamy sobie jako środki na wydatki inne, niezwiązane z termomodernizacją (np. malowanie klatek, instalacja RTV) i jako środki rezerwowe.
4. Czas trwania umowy kredytowej nie powinien przekraczać 15–tu lat (w zasadzie nie ma limitu czasowego trwania tej umowy i zależy to od woli Wspólnoty i banku)
5. Musimy zakończyć program termomodernizacyjny w terminie ustalonym w umowie z bankiem, przy czym przewidujemy, że prace termomodernizacyjnej będą prowadzone od kwietnia do października 2011 roku (w umowie z Bankiem lepiej podać dłuższy termin zakończenia prac, np. koniec roku, gdyż często coś nam niespodziewanego może wypaść i możemy stracić prawo do premii).

Poniżej podaję koszty jednostkowe wykonania prac dla działań termomodernizacyjnych które przyjmujemy przy realizacji typowych programów termomodernizacyjnych (poziom cen z roku 2009, do których dodaliśmy 7% VAT-u):

1. Koszt ocieplenia 1m<sup>2</sup> (14 cm styropianu), wraz z nowymi rynnami, podokiennikami, obróbkami: 160–200 zł/m<sup>2</sup>
2. Koszt utylizacji azbestu (wchodzi w program!!!): 40–60 zł/m<sup>2</sup>

3. Koszt wymiany okien na klatkach: 450–550 zł/m<sup>2</sup>
4. Częściowe zamurowanie okien w klatce (ścianka z Ytongu): 250–300 zł/m<sup>2</sup>
5. Koszt wymiany okien w piwnicy i na strychu (małe okna): 900–1000 zł/m<sup>2</sup>
6. Koszt wymiany drzwi wejściowych: 1000–1400 zł/m<sup>2</sup>
7. Koszt ocieplenia stropodachu (granulat): 40–50 zł/m<sup>2</sup> + koszt remontu dachu (2 x papa termozgrzewalna): 80–100 zł/m<sup>2</sup>
8. Ocieplenie dachu styropapą wraz z remontem dachu: 120–160 zł/m<sup>2</sup>
9. Koszt montażu zaworów termostatycznych (wraz z płukaniem instalacji): 150–200 zł/grzejnik
10. Koszt montażu zaworów podpionowych: 500–600 zł/punkt (pion zasilający i powrotny liczymy jako jeden punkt)
11. Koszt wymiany instalacji centralnego ogrzewania (piony, poziomy, grzejniki): 1200–1500 zł/grzejnik
12. Koszt modernizacji węzła o mocy 250 kW: 40.000 zł
13. Koszt audytu: 3000 zł
14. Koszt projektu budowlanego: 4000 zł
15. Koszt projektu instalacyjnego (węzeł + dobór zaworów termostatycznych i podpionowych): 5000 zł

Pamiętajmy, że ceny robót budowlanych i instalacyjnych podane zostały z 7% podatkiem VAT, lecz w przypadku innych obiektów niż budynki mieszkalne, VAT wyniesie 22% i wtedy ceny należy podnieść o ok. 15% (dla szkół, urzędów, obiektów kultu, szpitali itp.)

W/w ceny są cenami przyjmowanymi w audytach energetycznych. Rzeczywiste koszty termomodernizacji określone zostaną po wykonaniu projektów budowlanych i ogłoszeniu przetargów na wyłonienie wykonawców robot. W kosztach powinniśmy też uwzględnić nadzór inwestorski ok. 2% oraz prowizje bankowe od 0,5 do 1,5% wartości inwestycji (razem 10.000–15.000 zł)

Wszystkie w/w prace (łącznie z kosztami dokumentacji i nadzoru) możemy uwzględnić w audycie energetycznym.

Łączny koszt programu (bez poz. 2, 8, 11) oszacowaliśmy wstępnie na 400.000 zł i na taką kwotę przygotowaliśmy uchwałę wspólnoty, oraz wystąpiliśmy o kredyt w banku.

Tutaj uwaga praktyczna: lepiej przyjąć w wycenach prac wyższe ceny, aby nie zabrakło nam środków na realizację programu; jeżeli po przetargach kwota będzie niższa, to po prostu weźmiemy mniejszy kredyt.

Nie jest też przestępstwem brać kredyt w pełnej możliwej wysokości, w celu uzyskania większej premii, a wolnymi środkami własnymi spłacić od razu część kredytu po zakończeniu prac i otrzymaniu premii.

Jaką premię otrzymamy?

Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów, mówi tutaj o konieczności wyznaczenia najmniejszej kwoty z trzech wyliczanych w audytach w następujący sposób:

- 1) 16% wartości inwestycji; czyli w naszym przypadku = 64.000 zł
- 2) 20% wartości kredytu, czyli  $0,2 \cdot 385.000$  (15.000 to wkład własny) = 77.000 zł
- 3) dwuletnia oszczędność na energii:  
 $50\%$  oszczędności  $\cdot 3,5$  zł/m<sup>2</sup>/m-c  $\cdot 2000$  m<sup>2</sup>  $\cdot 12$  m-cy  $\cdot 2$  lata = 84.000 zł

Premia wyniesie, więc prawdopodobnie ok. 64.000 zł... dokładną jej kwotę ustali audyt energetyczny.

W Załączniku 2 przedstawiam pełny harmonogram realizacji programu z rozpisaniem na poszczególne jego etapy [www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-02-programy-termo-krok-po-kroku.xls](http://www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-02-programy-termo-krok-po-kroku.xls).

W Załączniku 3 przedstawiam projekt umowy na tzw. pełne zastępstwo inwestycyjne [www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-03-umowa-na-nadzor-termo.doc](http://www.audyt-energetyczny.net/pae/zalacznik-nr-03-umowa-na-nadzor-termo.doc).

Po realizacji programu, Wspólnota nasza powinna podjąć uchwałę o zmianie nazwy Wspólnoty z „Zaniedbany Dom” na „Zadbany Dom”

Czy pomogliśmy Polsce w spełnieniu zobowiązań wynikających z zapisów Pakietu 3x20? Policzmy. Z naszego doświadczenia wiemy, że taki program powoduje zmniejszenie zużycia energii na poziomie 40–60%; przyjmijmy 50%. Zużycie ciepła przed termomodernizacją wynosiło 1,0 GJ/m<sup>2</sup>/rok... po termomodernizacji wyniesie 0,5 GJ/m<sup>2</sup>/rok.  $2000 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ GJ} = 1000 \text{ GJ}$  zaoszczędzonej energii w roku. Chcąc uwzględnić jeszcze sprawność kotłowni miejskiej i sieci ciepłowniczej możemy wymnożyć ilość GJ przez wskaźnik 1,3 (wskaźnik ten, podawany jest w rozporządzeniu o metodyce wykonywania charakterystyk energetycznych). W ciągu roku zaoszczędzimy, więc ok. 1300 GJ energii chemicznej w paliwie spalonym w kotle w miejskiej ciepłowni. Przyjmując, że ciepłownia miejska opalana jest miałem energetycznym o wartości opałowej wynoszącej 22 GJ/tonę, okazuje się, że zaoszczędzimy ok. 60 ton węgla w roku... 60 ton niespalonego węgla, dzięki samospłacającej się inwestycji, na jednym, i to wcale nie największym, budynku!!! Niezły wynik. Na jedno mieszkanie wychodzi oszczędność na poziomie 1,5 t węgla.

Jak wyglądać będą koszty naszego ogrzewania?

Roczne koszty ogrzewania budynku przed termomodernizacją wynosiły:  $2000\text{m}^2 \cdot 3,5\text{zł}/\text{m}^2/\text{m-c} \cdot 12\text{m-cy} = 84.000\text{ zł}$   
Po termomodernizacji spadną do poziomu:  $2000\text{ m}^2 \cdot 2\text{ zł}/\text{m}^2/\text{m-c} \cdot 12\text{ m-cy} = 48.000\text{ zł}$

Zapytacie pewnie, czemu biorę do wyliczeń  $2\text{ zł}/\text{m}^2$  skoro  $50\%$  z  $3,5\text{ zł}/\text{m}^2$  daje  $1,75\text{ zł}/\text{m}^2$ ?  
Z dwóch, co najmniej, powodów:

1) nigdy nie wiemy dokładnie ile tak naprawdę zaoszczędzimy energii, gdyż w audytach energetycznych przyjmujemy jakieś założenia (np. średnia wieloletnia temperatura zewnętrzna, stała temperatura w pomieszczeniach wynosząca  $+20$  stopni Celsjusza), więc lepiej, dla bezpieczeństwa, przyjąć wyższą stawkę

2) opłata za dostawę energii cieplnej, czyli taryfa dla ciepła, składa się z dwóch członów:

– opłaty stałej, która w zasadzie nie powinna przekraczać  $30\%$  kosztów dostawy, którą płacimy w formie tzw. mocy zamówionej (o niej opowiem w jednym z kolejnych wykładów)

– opłaty zmiennej, którą płacimy za zużyte GJ energii (wg licznika)

Ta opłata stała nie zawsze może być zmniejszona o przewidywaną wielkość oszczędności. Ale najważniejszym argumentem jest... ostrożność i doświadczenie, gdyż jak się nam trafi ostra zima, to nie będziemy musieli dopłacać, a przy „normalnej” zimie, dostaniemy zwroty za oszczędność... i o to chodzi!!! Zobaczcie, że większość z nas narzeka wtedy, jak musi do czegoś dopłacać, a bardzo jest zadowolona, jak otrzymuje zwroty. Nasze wpłaty na ogrzewanie mają charakter zaliczek miesięcznych i zgodnie z prawem, po roku (w przypadku wspólnot w I kwartale roku następnego) Zarząd wspólnoty (zarządca) musi przedstawić nam roczne rozliczenie, z którego wynikać będzie czy musimy dopłacić, czy też otrzymamy zwroty... rzecz jasna lepiej, jak jest to zwrot, niż dopłata.

Możemy też policzyć efekty ekologiczne wynikające z tych  $70\text{ t}$  niespalonego miału energetycznego... ale, to zostawimy sobie na jeden z kolejnych wykładów.

Oceniamy, że ok.  $50\%$  budynków w Polsce jest w takim złym stanie technicznym..., więc jest co robić przez kolejną dekadę.

Dodam, że w latach  $2003\text{--}2006$  z niewielkim zespołem audytorów ( $6$  osób) wykonaliśmy takie programy na ponad  $100$  budynkach i dzięki temu zaoszczędziliśmy ok.  $100.000\text{ GJ}$  energii, czyli tyle ile zużywa średnio kilkunastotysięczne miasteczko w sezonie grzewczym.

Pytania do wykładu

1. Jaka powinna być minimalna procentowa oszczędność energii w programach termomodernizacyjnych wykonywanych zgodnie z wymogami ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów?

2. Ile wynosi VAT dla prac związanych z termomodernizacją?
3. Wymień, jakie przedsięwzięcia, zgodnie z wymogami ustawy, mogą otrzymać wsparcie w formie premii termomodernizacyjnej.
4. Jakiej jest zasada ustalania wysokości premii termomodernizacyjnej?
5. Czy kredyt termomodernizacyjny można otrzymać na realizację programu dla budynków więzienia?
6. Jaki jest maksymalny czas spłaty kredytu termomodernizacyjnego?
7. Jakie warunki musi spełnić kredytobiorca, aby otrzymać premię termomodernizacyjną?
8. Jaki jest aktualny limit emisji CO<sub>2</sub> dla Polski ustalony przez Komisję UE?

### **Wykład 3: Pitagorasy w ciepłownictwie.**

Prowadzący: Andrzej Jurkiewicz

Teza: Nasze życie zależy od energii i to głównie Słońca.

Aby opisać zjawiska związane z wymianą ciepła musimy zdefiniować trzy rodzaje tej wymiany: przez promieniowanie, przez konwekcję i przez przewodzenie.

Pierwsza związana jest z energią prehistoryczną... promieniowaniem słonecznym. Od tego promieniowania wszystko się zaczęło i to dobrych kilka miliardów lat temu.

Nie ulega natomiast wątpliwości, że Słońce świeci (wysyła promienie w formie fal elektromagnetycznych) w zasadzie tylko dla nas: ok. 47% promieniowania to promieniowanie podczerwone, dzięki któremu nasza Ziemia jest ogrzewana, kolejne 46% to promieniowanie widzialne, dzięki któremu możemy tę naszą piękną Ziemię oglądać, czyli promieniowanie w zakresie długości fal widzialnych, a pozostałe 7% to ultrafiolet (potrzebny wtedy jak Ziemia się kształtowała). Niezależnie od energii Słońca, każde ciało o temperaturze powyżej zera absolutnego jest źródłem promieniowania elektromagnetycznego. Wysyłane fale elektromagnetyczne, o długości fal podczerwonych, mogą zamienić się w ciepło, jeżeli trafią na odpowiednią przegrodę (ciało stałe lub płyn); piszemy, że odpowiednią, bo niektóre substancje są „przezroczyste” dla tego promieniowania np. czyste powietrze. Jednak największym i pierwotnym źródłem energii cieplnej jest nasze Słońce. To jest energia pierwotna, bo wykorzystana została przy „produkcji” większości paliw na ziemi, takich jak węgiel, gaz czy ropa. Są to paliwa pochodzenia roślinnego – kiedyś (miliony lat temu) były to „zwykłe” rośliny, które pobierały energię słoneczną, potem obumarły i utworzyły dzisiejsze pokłady węgla, ropy czy gazu.

Każde ciało o temperaturze wyższej wysyła taki rodzaj energii do ciała o temperaturze niższej. Często nie widzimy tego promieniowania, ale go czujemy; np., jeżeli stoimy odpowiednio blisko zimnej (lub gorącej) przegrody to czujemy doskonale, że ta przegroda jest zimniejsza (lub cieplejsza) od naszego ciała. Przykładem wykorzystania tego zjawiska, jako znakomitego źródła ciepła, jest promiennik gazowy w hali produkcyjnej. Promienie podczerwone emitowane z takiego promiennika nie ogrzewają powietrza, a jedynie przedmioty (przegrody), do których docierają; powietrze ogrzewane jest w sposób wtórny (od rozgrzanych przedmiotów). Co ciekawe, efektywność takiego ogrzewania na stanowiskach roboczych w hali jest bardzo wysoka, mimo, że często promienniki wiszą kilka lub nawet kilkanaście metrów nad posadzką. Dodatkowo, stosując ogrzewanie promiennikowe, nie musimy utrzymywać stale wysokiej temperatury powietrza w hali, gdyż odczucie komfortu cieplnego przez pracowników jest znacznie lepsze niż przy ogrzewaniu tradycyjnym (grzejniki typu „fawir” lub nagrzewnice powietrzne); a w hali można utrzymywać temperaturę o kilka stopni niższą od temperatur normowych. Dlaczego?... gdyż, promiennik działa jak nasze „prywatne słońce”; on ogrzewa nasze ciało, posadzkę, czy maszynę, więc mimo, że powietrze w hali nie jest zbyt ciepłe, nam to nie przeszkadza. Kolejną zaletą jest możliwość stosowania tzw. ogrzewania stanowiskowego (problem szczególnie ważny w dużych halach gdzie, na danej zmianie, pracuje niewielka ilość stanowisk); pracownik uruchamia promiennik nad swoim stanowiskiem w momencie podjęcia pracy i praktycznie w ciągu kilku minut stanowisko (i sam pracownik) jest ogrzewane.

Jest tylko problem z warunkami BHP w hali, gdyż normy BHP najczęściej odnoszą się do temperatury powietrza, a nie naszego „odczucia”..., ale można ten przepis pokonać, opracowując (wspólnie z behapowcem) odpowiednią ekspertyzę, lub wyliczając tzw. temperaturę odczuwalną (chyba kiedyś spróbujemy wspólnie policzyć taką temperaturę). Także ilość energii pierwotnej zużywanej w tym rodzaju ogrzewania, jest znacznie niższa od energii zużywanej przy ogrzewaniu tradycyjnym (zużyjemy ok. 20–30% energii mniej dla osiągnięcia podobnego odczucia komfortu cieplnego przez pracownika). Warto zapamiętać, bowiem, że obniżenie temperatury w pomieszczeniu o 1 stopień to oszczędność rzędu 5–6% energii, a promienniki pozwalają nam obniżyć temperatury w pomieszczeniu o kilka stopni (2–5°C) bez pogorszenia komfortu pracy pracowników.

Same korzyści z takiego ogrzewania.

Jak działa takie promieniowanie i dlaczego coś, co jest falą elektromagnetyczną (kwantem/fotonem) i porusza się z prędkością równej prędkości światła, ma właściwość taką, że jak wpadnie na przeszkodę, to może ją ogrzać? Nie do końca potrafimy wytłumaczyć to zjawisko; widzimy, a w zasadzie czujemy, że tak się dzieje, ale tak do końca nie potrafimy go wyjaśnić.

Spróbujmy opisać ten rodzaj energii.

Wymiana ciepła przez promieniowanie może nastąpić wtedy, gdy ciała są rozdzielone przez ośrodek przezroczysty lub półprzezroczysty (próżnia, powietrze). Aby oszacować wielkość tej wymiany musimy znać właściwości ciała, które wysyła to promieniowanie (emitor) i ciała, które pochłania tą energię (odbiornik). Musimy także znać ich wzajemne położenie i temperaturę. Ważne jest też czy w pobliżu naszego emitora i odbiornika znajdują się inne ciała (też biorą udział w tej wymianie).

Każde ciało może część takiego promieniowania zaabsorbować (wtedy wzrośnie jego temperatura), część przepuścić, a resztę odbić. Wprowadziliśmy sobie dla wygody pojęcie ciała doskonale czarnego, czyli takiego, które pochłonie całe padające na nie promieniowanie i to niezależnie od długości fali, kierunku czy polaryzacji takiego promieniowania, a jednocześnie w danej temperaturze, przy każdej długości fali, wysyła (emituje) ono maksymalną ilość energii cieplnej. Ciało doskonale czarnego w rzeczywistości nie ma, ale łatwo jest go opisać i służy głównie jako odniesienie do obliczania emisji (absorpcji) promieniowania przez inne ciała istniejących w przyrodzie.

Strumień energii wypromieniowanej przez ciało o temperaturze  $T$  i powierzchni  $A$  wynosi:

$$\Phi = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{W}] \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma$  – stała promieniowania (Stefana–Boltzmann) wynosząca  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$T$  – temperatura bezwzględna w K

$\varepsilon$  – współczynnik emisji; dla ciała doskonale czarnego  $\varepsilon=1$

Co ciekawe, dla ciała pochłaniającego energię zmieni się jedynie współczynnik emisji  $\varepsilon$  na współczynnik absorpcji  $a$  ( $a=1$  dla ciała absolutnie czarnego).

Ciała rzeczywiste (tzw. szare) mają współczynniki emisji i absorpcji mniejsze od jedności. Oczywiście ciało emitujące energię będzie obniżało swoją temperaturę, a temperatura ciała przyjmującego tę energię będzie rosła. Przy jednakowej różnicy temperatury między emitorem, a odbiornikiem nastąpi stała wymiana ciepła (koniecznym jest wtedy stałe dostarczanie energii do emitera). Dzieje się tak np. dla energii przekazywanej Ziemi przez Słońce lub promiennik w hali włączony na określoną moc... no może nie do końca te układy są takie niezmiennie w czasie, gdyż np. w przypadku hali zmienia się temperatura odbiorników (posadzki, maszyn, pracownika), który z czasem się ogrzeje, a w przypadku Ziemi zmienia się jej położenie względem Słońca (noc/dzień, pory dnia i roku, odległość od Słońca). Jak ważne są te zmiany moglibyśmy odczuć, gdyby udało nam się zatrzymać Ziemię; wtedy na jednej półkuli mielibyśmy cały czas dzień, a na drugiej cały czas noc... a co z temperaturą powierzchni? Z jednej strony Ziemia nagrzalaby się do bardzo wysokiej temperatury (nie wiem jakiej, ale chyba nawet ponad  $100^\circ\text{C}$ ), a z drugiej musielibyśmy żyć na wiecznej Syberii... W takich warunkach nie żylibyśmy zbyt długo.

Przy tej wymianie ciepła ważnym jest także ośrodek, w którym to zjawisko występuje; najlepiej, bo bez strat, przejdzie ta energia w próżni lub czystym powietrzu... Duży wpływ na to, jak promieniowanie przejdzie przez przegrodę, nawet przezroczystą, mają właściwości tej przegrody oraz długości fal... np. szkło znakomicie przepuści promieniowanie fal krótkich (widzialnych), a nie przepuści większości fal podczerwonych.

Z kolei w kolektorze słonecznym zależy nam na dużym współczynniku absorpcji powierzchni aktywnej kolektora (w granicach

0,9), a małych współczynnikach emisyjnych (poniżej 0,1). To zadanie spełniają tzw. absorbery z odpowiednimi powłokami selektywnymi, których rozwój możemy zaobserwować w technice solarnej (szerzej o tym, w wykładzie poświęconym kolektorom słonecznym).

Ciekawy ten rodzaj przekazywania energii, ale musimy go już zostawić... wrócimy kiedyś do niego przy omawianiu kolektorów słonecznych.

Drugim rodzajem energii jest konwekcja, czyli unoszenie ciepła.

Tutaj nośnikiem energii jest nagrzana cząsteczka, która zmieni swoje położenie. Ten nagrzany strumień cząsteczek to np. woda grzewcza w naszych instalacjach centralnego ogrzewania „popychana” przez pompę obiegową, lub powietrze nagrzane w nagrzewnicy i rozprowadzane przez wentylator (np. w agregatach grzewczo-wentylacyjnych). Często działają tutaj naturalne siły przyrody; powietrze w pokoju podgrzewa się nad grzejnikiem i na skutek tego staje się lżejsze (zmiana gęstości powietrza wraz z zmianą temperatury), co powoduje, że unosi się do góry, gdzie napotykając na zimny sufit lub ściany, ochładza się i zaczyna opadać w dół. Naturalna konwekcja była kiedyś wykorzystywana także w wodnych instalacjach grzewczych. Podgrzana woda w kotle i schłodzona woda w kaloryferach wymuszały naturalny obieg grawitacyjny w takiej instalacji. Nie jest to zbyt wygodna instalacja (duże średnice przewodów i mała ilość grzejników, otwarte naczynie wzbiorcze), ale nie wymaga ona dodatkowej energii elektrycznej do napędu pomp obiegowych. Spotykamy czasem ten rodzaj instalacji w starych domach lub w ogrzewaniach etażowych.

Strumień energii w instalacji grzewczej przenoszony drogą konwekcji, możemy opisać wzorem (tzw. pierwszy „pitagoras”):

$$\Phi = m \cdot c \cdot (\Theta_z - \Theta_p) \quad [\text{J}] \quad (4)$$

gdzie:

$m$  – masa czynnika grzewczego [kg]

$c$  – ciepło właściwe czynnika grzewczego [J/(kg·K)]

$\Theta_z$  – temperatura zasilania czynnika grzewczego

$\Theta_p$  – temperatura powrotu czynnika grzewczego

Zadanie: W kotle centralnego ogrzewania przepływ wody wynosi 1500 l/h. W ciągu doby temperatura średnia na zasilaniu instalacji wynosiła 42°C, a na powrocie 35°C. Jaką ilość energii dostarczył nam kocioł? Z jaką średnią mocą pracował ten kocioł?

Rozwiązanie:



Najpierw moc:

$$P = 1500/3600 \text{ [kg/s]} \cdot 4190 \text{ [J/kg}\cdot\text{K]} \cdot 7 \text{ [K]} = 12220,83 \text{ J/s} = 12,22 \text{ kW}$$

A teraz energia:

$$\Phi = 1500/3600 \text{ [kg/s]} \cdot 4190 \text{ [J/kg}\cdot\text{K]} \cdot 7 \text{ [K]} \cdot 24 \cdot 3600 \text{ [s]} = 1\,055\,880\,000 \text{ J} = 1,056 \text{ GJ}$$

Jak widać aby wyliczyć ilość energii musimy znać moc źródła, czas jego pracy i różnicę temperatury lub ilość podgrzanej wody (ilość czynnika ogrzewanego przez dany okres czasu) i różnicę temperatury.

Podobny wzór zastosujemy przy liczeniu ilości energii przenoszonej przez powietrze. Przepływy powietrza określamy w m<sup>3</sup>/h lub m<sup>3</sup>/s, albo poprzez określanie tzw. ilości wymian powietrza na godzinę w danej przestrzeni. Np., jeżeli w pomieszczeniach biurowych zalecana jest jedna wymiana na godzinę, to znaczy, że np. w pokoju o wymiarach 3·4·3 = 36 m<sup>3</sup> musimy dostarczyć 36 m<sup>3</sup> powietrza na godzinę.

Można, więc przekształcić wzór (4) na związany z przepływem i ogrzewaniem powietrza:

$$\Phi = m \cdot c \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$$

Przyjmując, że w temperaturze 20°C (i ciśnieniu atmosferycznym) powietrze ma gęstość 1,20 kg/m<sup>3</sup>, a ciepło właściwe powietrza wynosi 1000 J/kg·K oraz podając przepływ w m<sup>3</sup>/h, otrzymamy:

$$\Phi = 1200/3600 \cdot V_h \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \cdot t = 0,33 \cdot V_h \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \cdot t \quad (6)$$

gdzie

$\Theta_i$  – temperatura wewnętrzna powietrza w pomieszczeniu

$\Theta_e$  – temperatura zewnętrzna powietrza nawiewanego

$V_h$  – ilość powietrza w m<sup>3</sup>/h

$t$  – czas w godzinach (np. w sezonie grzewczym 5040 godzin)

Policzmy wobec tego ile energii w sezonie grzewczym musimy dostarczyć do ogrzania powietrza wentylacyjnego naszego pokoju biurowego przyjmując, że ma on kubaturę 36 m<sup>3</sup>, że dostarczamy powietrze w ilości jednej wymiany na godzinę, że temperatura wewnętrzna wynosi 20°C, że średnia temperatura zewnętrzna w sezonie grzewczym wynosi + 4°C, a długość sezonu wynosi:

210 dni·24godzin = 5040 godzin

$\Phi = 0,33 \cdot 34 \cdot (20-4) \cdot 5040 \text{ Wh} = 904781 \text{ Wh} = 904 \text{ kWh} = 0,904 \text{ MWh} = 3,26 \text{ GJ}$

Pytanie tylko, czy na pewno potrzebujemy, aż tyle świeżego powietrza?

Jeżeli jest to biuro pracujące 8 godzin w dni robocze, to, po co cały czas dostarczać jedną wymianę na godzinę?

A jeśli mamy możliwość kontrolowania ilości powietrza nawiewanego?

Np. wymieniliśmy okna na szczelne i zastosowaliśmy nawiewnik higrosterowalny (urządzenie, które powoduje napływ świeżego powietrza w zależności od wilgotności panującej w pomieszczeniu)?

W takim przypadku ilość powietrza nawiewanego będzie się nam zmieniała w zależności od wilgotności powietrza:

– do 40% wilgoci w powietrzu nawiewnik otwarty jest na minimum (ok. 1/3 swej maksymalnej wydajności)

– powyżej 40% wilgoci nawiewnik zaczyna się uchylać

– pełne otwarcie uzyska, gdy wilgotność w pomieszczeniu przekroczy 70%.

Przy pełnym otwarciu, typowy nawiewnik higrosterowalny dostarczy nam ok. 35 m<sup>3</sup>/h powietrza. Napływ powietrza w nawiewniku jest, więc regulowany od ok. 10 do 35 m<sup>3</sup>/h.

W naszych obliczeniach przyjęliśmy, że podgrzewamy cały strumień powietrza przez cały czas. Policzmy ten strumień:

34 m<sup>3</sup>/h·5040 godzin = 171,360 m<sup>3</sup> powietrza na sezon !!!

A spróbujmy policzyć, ile powietrza ogrzejemy, jeżeli wprowadzimy nawiewnik higrosterowalny, przy założeniu, że pracujemy pięć dni w tygodniu 8 godzin dziennie i nawiewnik, w czasie naszej pracy, średnio otwarty będzie na 70% swej pełnej wydajności. Przez pozostałe godziny nawiewnik „przepuści” jedynie 10 m<sup>3</sup>/h powietrza

$V_1 = 210 \text{ dni} \cdot 5/7 \cdot 8 \text{ h} \cdot 0,7 \cdot 35 \text{ m}^3/\text{h} = 29,400 \text{ m}^3/\text{sezon}$

$V_2 = (5040 \text{ h} - 210 \cdot 5/7 \cdot 8) \cdot 10 \text{ m}^3/\text{h} = 38,400 \text{ m}^3/\text{sezon}$

Razem: 67,800 m<sup>3</sup>/sezon... zamiast 171,360 m<sup>3</sup>/sezon

Nasze obliczenia powinniśmy, więc skorygować:  $3,26 \text{ GJ} \cdot 67,800 / 171,360 = 1,29 \text{ GJ}$

Przyjmując, więc „bezkrytycznie”, że mamy jedną wymianę na godzinę, zawyżyliśmy zużycie energii o ok. 60%

Taki „błąd” jest często popełniany przez początkujących audytorów. Słowo „błąd” celowo umieściłem w cudzysłowie, bo czy to rzeczywiście jest błąd?

Przykładowo norma „wentylacyjna” (PN–PN–83/B–03430/Az3:2000) wyraźnie mówi o 20 m<sup>3</sup>/h na osobę w takich pomieszczeniach... więc, jak w naszym pomieszczeniu pracują dwie osoby, to nawet jedna wymiana to za mało... jak pracują!... a jak do biura przyjdzie petent albo nawet dwóch? A co wtedy jak pomieszczenie jest puste? (w nocy i weekendy). Nie rozwiążemy tego problemu... musimy coś założyć, więc przyjmujemy 1 wymiana (lub dwie osoby) jak biuro pracuje, a w pozostałym czasie należy przyjąć „niezbędne minimum”.

Ale, co to znaczy niezbędne minimum?

Przyjmujemy 0,3 wymiany (wielkość minimalna zalecana praktycznie do wszystkich pomieszczeń), czyli 12 m<sup>3</sup>/h (w wyliczeniach przyjąłem nawet mniej, bo 10 m<sup>3</sup>/h). Oczywiście podaliśmy jedynie jeden strumień powietrza; przez nawiewnik. Dodatkowym strumieniem będzie powietrze z infiltracji przez nieuszczelną stolarkę. Założyliśmy wprawdzie, że nasze okna są szczelne, ale to wcale nie znaczy, że całkowicie szczelne! Tzw. współczynnik infiltracji dla naszych okien nie może być większy od (dziwna jednostka!):

$0,3 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{mb} \cdot \text{daPa}^{2/3})$ ,

który oznacza że przy różnicy ciśnienia 1 daPa (1 dekapaskal=10Pa) w ciągu jednej godziny, uszczelka naszego okna przepuści 0,3 m<sup>3</sup> powietrza.

Policzmy ile tego powietrza nam dojdzie w naszym pokoju z tytułu infiltracji dla dwóch okien o wymiarach 1,5 m·1,5 m, czyli obwód okien wynosi:

6 mb·2 okna = 12 mb uszczelki.

Liczmy:

$V_{\text{inf}} = 12 \cdot 0,3 = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ... ok. 10% kubatury – nie jest to zbyt dużo, ale nie powinniśmy o tej wielkości zapominać. Zresztą w metodyce dla świadectw energetycznych dodajemy do strumienia „normowego” nawet 20% kubatury wentylowanej tytułem tej właśnie infiltracji..., ale czy słusznie?

Wrócimy jeszcze do wentylacji przy okazji omawiania tej metodyki (i nie tylko).

Jak widzicie, w audytach największym problemem jest więc określenie w miarę realnego strumienia świeżego powietrza. Błąd, który tutaj popełnimy może być bardzo duży... zwłaszcza jak budynek ma już dobrze ocieplone przegrody i wymienione okna,

gdyż wtedy często ponad 70% energii na ogrzewanie, to energia dla potrzeb powietrza wentylacyjnego!!!

Osobiście jestem zwolennikiem w miarę dokładnego szacowania wielkości strumienia powietrza świeżego, jednak niezależnie od dokładności naszych szacunków zawsze musimy liczyć się z możliwością popełnienia błędu.

Trzeci rodzaj wymiany ciepła (przewodzenie) opiszemy w następnym wykładzie.

Pytania do wykładu

1. Wymień trzy rodzaje wymiany ciepła.
2. Co to jest ciało doskonale czarne?
3. Jakie współczynniki, z punktu widzenia energii promieniowania, charakteryzują materiały?
4. W węźle cieplnym ustalono przepływ wody grzewczej na  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . Temperatura wody wynosi: zasilanie  $55^\circ\text{C}$  powrót:  $45^\circ\text{C}$ . Jaki jest wzór na obliczenie strumienia energii cieplnej i ile on wynosi dla tych parametrów.
5. Dla zadania z punktu 4 policz ilość energii dostarczonej z węzła przez okres jedenej doby.
6. Podaj wymagania normy PN-83/B-03430/Az3:2000 dla budynków mieszkalnych
7. Co to jest nawiewnik higrosterowalny i jak działa?
8. Jaką ilość energii dostarczymy w sezonie grzewczym (5040 godzin) do budynku szkoły o kubaturze  $6.000 \text{ m}^3$  przyjmując 1 wyminę powietrza na godzinę (temperatura zewnętrzna średnia sezonu  $+ 4^\circ\text{C}$ , temperatura średnia w szkole  $+ 20^\circ\text{C}$ )?
9. Do szkoły z zadania 7 chodzi 200 uczniów i nauczycieli. Jaki proponujesz algorytm wyliczenia ilości energii dla ogrzania powietrza wentylacyjnego, przy tych samych założeniach co do długości sezonu i temperatur?

#### **Wykład 4: Podstawy ciepłownictwa – przewodzenie.**

Prowadzący: Andrzej Jurkiewicz

Teza: Czasem, aby zasłużyć na kubek ciepłej herbaty trzeba się nieźle napracować.

Ostatnią wymianą ciepła, którą teraz omówię to wymiana ciepła przez przewodzenie. W tym wypadku cząsteczki, które uczestniczą w tej wymianie są nieruchome, ale „przekazują” sobie nawzajem energię cieplną. Najlepszym przykładem, aby wyjaśnić tą wymianę jest doświadczenie z drutem miedzianym: należy wziąć w palce koniec drutu miedzianego, a na drugim

podgrzać go zapalniczką... Dopiero po pewnym czasie, zacznie nas „parzyć” w palce... to jest właśnie „przewodzenie”. Z tą wymianą mamy do czynienia np. przy przepływie ciepła przez ścianę budynku.

Przedstawię Wam wzór na liczenie rocznych strat ciepła przez przegrodę budowlaną, jako jedną z kilku metod liczenia tych strat, podaną w metodologii wykonywania audytów (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego):

$$Q = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot S_d / R \quad [\text{GJ}] \quad (7)$$

Wzór ten określa ilość energii w GJ, którą stracimy przez przegrodę budowlaną o oporze cieplnym  $R$  ( $\text{K} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ ) i powierzchni  $A$  ( $\text{m}^2$ ), przy średnich wieloletnich temperaturach miesięcznych sezonu grzewczego, przyjętych dla danej stacji meteorologicznej na terenie Polski, przy założeniu normatywnej temperatury w pomieszczeniu ogrzewanym. Strata tej energii wyliczona jest metodą stopniodni, przy założonej długości trwania sezonu grzewczego przyjętym zgodnie z Tabelą 1 w/w Rozporządzenia.

Definicja ta jest na tyle skomplikowana, że czytając ją trudno ją zrozumieć. Spróbujmy wobec tego, krok po kroku, wyjaśnić ten wzór.

Zaczynamy, więc od początku, czyli od zdania, które napisałem w tezie tego wykładu: a więc ile razy należy podnieść 1 kg cukru na wysokość 1 m, aby zasłużyć na kubek ciepłej herbaty?

Wbrew pozorom, nie jest zadanie typu filozoficznego, gdyż w pierwszym przypadku (podnosząc cukier) i w drugim przypadku (podgrzewając wodę na herbatę), mamy do czynienia z energią. Podnosząc cukier będzie to energia mechaniczna (siła naszych mięśni), a podgrzewając herbatę, będzie to energia cieplna dostarczona do wody (np. z płomienia kuchenki gazowej) w celu jej zagotowania.

Najpierw energia „cukru”:

$$\text{Praca} = \text{siła} \cdot \text{droga} \quad (Q = F \cdot s)$$

$$\text{Siła} = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie} \quad (F = m \cdot a)$$

W naszym przypadku musimy pokonać przyspieszenie ziemskie, więc:

$$F = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (dawniej ta wielkość zwana była kilogramsiła i oznaczona była przez kG)} \quad \Phi = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 9,81 \text{ J} \text{ (Joule – wym. Dżul – jednostka energii)}$$

Przyjmijmy dla równego rachunku, że aby podnieść 1 kg cukru na wysokość 1m, musimy wykonać pracę o wartości 10 J.

Jeżeli przyjmujemy, że wykonamy tę czynność w ciągu 1 sekundy, to musimy użyć mocy 10 W, gdyż  $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$  (watosekunda)

Teraz przejdziemy do herbaty. Tu sprawa jest nieco trudniejsza, gdyż musimy wprowadzić pojęcie ciepła właściwego. Definicja: ciepło właściwe, to ilość energii cieplnej, jaką musimy dostarczyć do 1kg danej substancji (u nas wody), aby zwiększyć jej temperaturę o 1 stopień Celsjusza lub Kalwina. Obie jednostki ( $^{\circ}\text{C}$ , K), różnią się tylko "zerem startowym": raz jest to zero dla zamarzania wody ( $0^{\circ}\text{C}$ ), a raz zero bezwzględne (K) równe  $-273^{\circ}\text{C}$ . W praktyce (przynajmniej w większości krajów Europy) posługujemy się Celsjuszem, ale w technice każą nam się posługiwać stopniami Kalwina.

Przy okazji jednostek, wyjaśnijmy jeszcze, czym jest kaloria lub kilokaloria, jako dawna jednostka energii: otóż 1 kaloria jest to ilość energii, jaką należy dostarczyć do 1 g wody, aby go podgrzać od  $14,5$  do  $15,5^{\circ}\text{C}$  (przy ciśnieniu 1 atmosfery).

Przelicznik cal na Dżule wynosi:  $1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$ .

Wyjaśniam tę jednostkę, dlatego, że w starszej literaturze często ją spotkamy, a także stosowana jest powszechnie w dietetyce... niestety zwyczajowo błędnie, gdyż wartość energetyczna produktów podawana jest potocznie w kaloriach (np. dieta „1000 kalorii”, albo pół litra piwa ma 350 kalorii), a powinna i jest w ...kilokaloriach

Jak łatwo się domyślić, ciepło właściwe zależy od rodzaju substancji, dla przykładu:

Substancja	Ciepło właściwe J/(kg·K)
Aluminium/stal	900/460
Polipropylen/PCV	2000/980
Woda/lód/para	4190/2050/1900
Powietrze	1005

Ciepło właściwe wody wynosi więc  $4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , a powietrza  $1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ . Zapamiętajmy te wielkości, gdyż często z nich korzystamy.

Wzór na strumień ciepła już znamy:

$$Q = m \cdot c \cdot (\Theta_k - \Theta_p) \text{ [J]}$$

gdzie:

m – masa substancji w kg

$c$  – ciepło właściwe w  $J/(kg \cdot K)$

$\Theta_k$  – temperatura końcowa (np. w  $^{\circ}C$ )

$\Theta_p$  – temperatura początkowa

Czyli, chcąc wyliczyć ilość energii cieplnej dostarczonej do danej substancji musimy znać masę i ciepło właściwe tej substancji i wiedzieć, o jaką różnicę temperatury chcę ją podgrzać. Oczywiście zakładamy, że w trakcie procesu podgrzewania, nasza substancja nie zmieni swego stanu skupienia (np. woda będzie wodą i nie zamieni się w parę wodną).

Dla przygotowania kubka naszej herbaty zagotujmy 0,5 litra wody. Przyjmijmy, że temperatura wody zimnej w kranie wynosi  $10^{\circ}C$  (taką wartość przyjmujemy zawsze w audytach). Przyjmijmy także, że gęstość wody wynosi  $1000 \text{ kg/m}^3$ , czyli ze 1 litr wody ma masę 1 kg. Pamiętajmy jednak, że gęstość wody maleje wraz z temperaturą (choć w granicach od  $0^{\circ}C$  do  $4^{\circ}C$  gęstość ta rośnie, a dopiero powyżej  $4^{\circ}C$  zaczyna spadać... ciekawe dlaczego?).

Dla przykładu w temperaturze  $4^{\circ}C$  ma największą gęstość wynoszącą  $999,97 \text{ kg/m}^3$ , a dla  $100^{\circ}C$  najmniejszą  $958,35 \text{ kg/m}^3$  (oczywiście przy ciśnieniu  $1013 \text{ hPa}$ ). Nawiasem mówiąc, ta zmiana gęstości, przekłada się w praktyce na zmianę objętości wody wraz ze zmianą temperatury i jest przyczyną konieczności stosowania tzw. naczyń wzbiorczych wyrównawczych w instalacjach grzewczych... czasem są to naczynia otwarte (kiepskie rozwiązania), a w nowych instalacjach stosujemy naczynia zamknięte, które nie generują tak dużych strat cieplnych jak te otwarte.

Wróćmy jednak do zadania: ilość energii, którą musimy dostarczyć do naszej wody, aby ją zagotować wyniesie:

$$Q = 0,5 \text{ kg} \cdot 4190 \text{ J/(kg} \cdot ^{\circ}C) \cdot (100^{\circ}C - 10^{\circ}C) = 188\ 550 \text{ J}$$

A dla podniesienia 1 kg cukru?  $Q = 10 \text{ J}$

Wynik jest niesamowity:... ok. 19 tysięcy razy musimy podnieść kilogram cukru, aby zasłużyć na jeden kubek herbaty!!!... Ten wynik ma nam uświadomić jak duże są wielkości, które związane są z ciepłem... zresztą popatrzcie na jednostki energii cieplnej: Kilowatogodziny, Megawaty, Gigadzule... to tysiące, miliony lub nawet miliardy razy więcej niż te jednostki, z którymi mamy do czynienia na co dzień, czyli Waty i Dzule mechaniczne.

Jest i jeszcze jedna korzyść z wyniku tego zadania: może dzięki temu przykładowi, zamiast gotować pół litra wody każdy z nas zagotuje 0,3 litra?... zawsze, to kilka tysięcy kilogramów cukru do przetrucenia mniej ☺ i kilka tysięcy Dzuli energii zaoszczędzonej na każdym kubku herbaty.

Teraz omówię jeszcze jednostkę mocy, czyli Wat.

Aby zrozumieć, czym jest moc układu, zrobmy inne zadanie: podgrzeźmy  $1 \text{ m}^3$  wody ( $1000$  litrów) od temperatury  $10^{\circ}C$  do

temperatury 55°C, ale zróbmy to raz w ciągu 1 minuty, a drugi raz w ciągu 1 godziny.

Czemu tak dużo tej wody podgrzewamy?... gdyż 1 m<sup>3</sup> wody, to jednostka rozliczeniowa w naszych mieszkaniach... rozliczamy się w m<sup>3</sup> zużytej wody w ciągu miesiąca, a temperatura 55°C, to temperatura wymagana cwu (cieplej wody użytkowej) w naszych kranach.

Policzmy:

$$\Phi_{\text{cwu}} = 1000 \text{ kg} \cdot 4190 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})\cdot(55-10)\text{K} = 188\,500\,000 \text{ J} = 0,1885 \text{ GJ}$$

0,1885 GJ to ilość energii, którą musimy dostarczyć do 1m<sup>3</sup> wody, aby ją podgrzać z 10 do 55°C.

Pamiętamy, że: 1 J = 1 W·s (watosekunda)

Teraz podgrzejmy tę wodę w ciągu 1 minuty, aby wyznaczyć moc układu:

$$P = \Phi_{\text{cwu}}/t = 188\,500\,000 \text{ W}\cdot\text{s}/60\text{s} = 3\,142\,500 \text{ W} = 3,1425 \text{ MW}$$

Moc „grzałki”, którą musimy tu zastosować wynosi ponad 3 MW!!! (z taką średnią mocą pracuje ciepłownia niewielkiego miasta w zimie)... a przykładowo, moc grzałki w naszych bojlerach wynosi ok. 2 kW (1 500 razy mniej)... no tak, ale tu podgrzewamy 5 wanien zimnej wody w ciągu jednej minuty ☺

Podgrzejmy tą samą wodę w czasie jednej godziny:

$$P = 188\,500\,000 \text{ J}/3600\text{s} = 52\,375 \text{ W} = 52,375 \text{ kW}$$

To z kolei średnia moc wymiennika do podgrzewu cwu w niewielkim budynku.

Jak widać energię od mocy oddziela (a w zasadzie dzieli) czas. Dla treningu, proszę policzyć ile czasu potrzebuje typowy bojler, którego grzałka ma moc 2 kW, aby podgrzać te 1000 litrów wody?

I jeszcze przelicznik: 1MWh = 3,6 GJ (też warto zapamiętać)

Przejdę teraz do straty ciepła przez przegrodę budowlaną.

Najpierw definicja przewodności cieplnej (nieco podobna zresztą do definicji ciepła właściwego). Dla lepszego wytłumaczenia, posługiwac się będą definicją stosowaną w budownictwie.

Przewodność cieplna przegrody jest to strumień energii cieplnej przechodzący przez powierzchnię 1m<sup>2</sup> przegrody, o grubości 1m, przy różnicy temperatur między jedną stroną przegrody a drugą, wynoszącą 1K... dodam od siebie: w czasie 1 sekundy.



Ta pogrubiona czcionka przy czasie, ma nam uświadomić, że przepływ energii (strumień cieplny) odbywa się cały czas, jeżeli tylko wystąpi dowolna różnica temperatury (w ciepłownictwie, z uwagi na stosunkowo wolne procesy zmian, zwyczajowo najmniejszą jednostką czasu jest godzina).

Przewodność cieplna zależy głównie od gęstości materiału i jego wilgotności. Przykładowe przewodności cieplne niektórych materiałów przedstawiam w tabeli poniżej.

Substancja	$\lambda$ [W/m·K]
Miedź/stal	380/50
Szkło/tynk/cegła	1/0,51/0,77
Woda	0,6
Wełna mineralna/styropian	0,035/(0,028÷0,040)
Powietrze (20°C)	0,025

Wielkość przewodności cieplnej danego materiału determinuje ewentualny cel i sposób jego stosowania w budownictwie, ciepłownictwie lub innych dziedzinach techniki. Np. chcemy, aby ścianki kotłów grzewczych wykonane były z materiału o dużej przewodności cieplnej, gdyż zależy nam na szybkiej wymianie ciepła między spalinami przepływającymi przez wymiennik kotła, a wodą grzewczą płynącą po drugiej stronie wymiennika (najczęściej jest to stal lub żeliwo). Z kolei ściany naszych domów ocieplamy styropianem, który ma małą przewodność, gdyż zależy nam na maksymalnym zmniejszeniu strumienia ciepła (ograniczenie strat ciepła przez przegrodę).

Ale okazuje się, że najlepszym izolatorem, powszechnie dostępnym jest... zwykłe powietrze! A cóż to jest styropian?... To po prostu, uwięzione pęcherzyki powietrza w polipropylenie... i to polipropylen ma gorsze właściwości izolacyjne od powietrza!!!

Podobnie jest z oknami, gdzie rama okienna ma często znacznie gorsze właściwości izolacyjne niż podwójna szyba zespolona, w której dwie tafle szkła oddziela niewielka warstwa (ok. 2 cm) powietrza (dlatego, od producentów okien żądać należy podawania współczynnika przenikania dla całego okna, wraz z ramą, a nie tylko dla szyb).

Kolejną jednostką jest opór cieplny.

Jest to iloraz grubości materiału przez jego przewodność:

$$R = d/\lambda \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (8)$$

$\lambda$  – przewodność materiału

d – grubość materiału

Wprowadziliśmy też jeszcze jedną jednostkę: współczynnik przewodności cieplnej, oznaczany literą U, która jest często, po prostu, odwrotnością oporu. Większość norm, przepisów o warunkach technicznych oraz opisów właściwości cieplnych przegród budowlanych podajemy w tej właśnie jednostce.

W praktyce prawie zawsze liczyć będziemy opór przegrody, a następnie wyznaczali jego odwrotność, w celu porównania jej z ustalonymi przepisami wartościami granicznymi współczynnika U.

$$U=1/R \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (9)$$

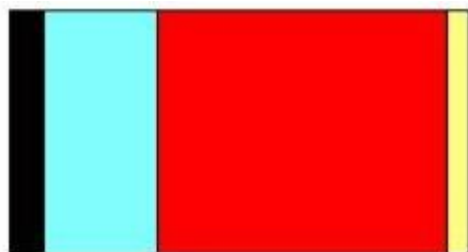
Przykładowe dopuszczalne wartości współczynnika przewodności cieplnej U podaje poniższa tabela (wyciąg z „Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” zwanego dalej Rozporządzeniem WT 2009)

Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła U(max) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
1	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym, niezależnie od rodzaju ściany): a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i \leq 16^\circ\text{C}$	0,30 0,80
2	Ściany wewnętrzne pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi a nieogrzewanymi, klatkami schodowymi lub korytarzami	1,00
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} < t_i \leq 16^\circ\text{C}$	0,25 0,50
6	Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi, podłogi na gruncie	0,45
7	Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi	bez wymagań
8	Ściany wewnętrzne oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00

$t_i$  – Temperatura obliczeniowa w pomieszczeniu zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.

Spróbujmy teraz wyliczyć stratę ciepła przez jakąś przegrodę budowlaną. Dla przykładu weźmiemy ścianę z cegły o grubości 36 cm, ocieploną 10 cm styropianu, dwustronnie otynkowaną (wewnętrznie tynk gipsowy, na zewnątrz akrylowy). Przyjmijmy, że jest to ściana szczytowa, bez okien, o powierzchni  $10\text{m} \cdot 20\text{m} = 200\text{ m}^2$



$\lambda_1$  (tynk akrylowy) =  $0,8\text{ W/m}\cdot\text{K}$   $d_1 = 3\text{ cm}$

$\lambda_2$  (styropian)  $0,04 = \text{W/m}\cdot\text{K}$   $d_2 = 10\text{ cm}$

$\lambda_3$  (cegła)  $0,7 = \text{W/m}\cdot\text{K}$   $d_3 = 36\text{ cm}$

$\lambda_4$  (tynk gipsowy)  $0,4 = \text{W/m}\cdot\text{K}$   $d_4 = 2\text{ cm}$

Teraz policzymy opór przegrody:

$$R = R_{se} + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + R_{si}$$

Pojawiły się dwa nowe opory, oprócz oporów wynikających z grubości i właściwości materiałów. Są to opory przejmowania ciepła przez przegrodę, które występują na styku zmiany ośrodka wymiany ciepła np. powietrze–ściana... ten opór ściany przed przyjmowaniem ciepła od powietrza i oddawaniu ciepła przez ścianę do powietrza, zależy od bardzo wielu czynników np. temperatury, wiatru (przeciągów), emisyjności farby lub tynku, chropowatości przegrody, warunków mikroklimatu wewnętrznego i zewnętrznego, kierunku przepływu ciepła i wielu innych. Jest to wynik „oporu” przed wymianą ciepła (konwekcji i promieniowania) na styku powietrze–ściana i ściana–powietrze.

Opory te (lub współczynniki przejmowania ciepła) wyznaczane są dość skomplikowanymi zależnościami, dlatego przyjmujemy ich średnie wielkości wg poniższej tabeli:

Opór przejmowania ciepła	Kierunek strumienia cieplnego w górę	Kierunek strumienia cieplnego poziomo	Kierunek strumienia cieplnego w dół
$R_{si}$ – opór wewnętrzny [ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ]	0,10	0,13	0,17

R <sub>se</sub> – opór zewnętrzny [W/m <sup>2</sup> ·K]	0,04	0,04	0,04
--	------	------	------

Zwracam uwagę, na to, że opory w pomieszczeniu zależą od kierunku przepływu ciepła (wiemy, że ciepło „łatwiej” płynie do góry, więc opór przejmowania ciepła przez sufit jest najmniejszy). W przypadku oporu przejmowania na zewnątrz przegrody, opór jest jednakowy i wynosi 0,04 m<sup>2</sup>·K/W. Czemu?... Gdyż na zewnątrz bardzo duży wpływ na ten opór mają warunki atmosferyczne (wiatr, deszcz, temperatura) i w sumie nie zależy on prawie, od kierunku przepływu ciepła.

Policzmy opór naszej przegrody:

$$R = 0,040 + 0,030/0,800 + 0,100/0,040 + 0,360/0,700 + 0,020/0,400 + 0,130 = 3,272 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$$

Uwaga: opór zawsze podajemy do trzeciego miejsca po przecinku

Natomiast współczynnik przenikania wynosi:  $U = 1/R = 0,306 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , ale uwaga: takiej ściany zewnętrznej nie moglibyśmy wybudować w dzisiejszych budynkach (patrz tabela powyżej)... znaczy możemy, ale nie spełni ona warunku minimalnego  $U$ , który zgodnie z WT 2009, wynosi 0,3 W/(m<sup>2</sup>·K)

Obliczyliśmy opór ściany, a jak wyliczyć strumień energii cieplnej, którą przez taką ścianę w zimie przepływa? Co musimy znać dodatkowo, aby ten strumień policzyć?

Musimy wiedzieć, jaka jest różnica temperatury między pomieszczeniami ogrzewanymi a powietrzem zewnętrznym i musimy znać powierzchnię wymiany ciepła. Wzór wobec tego będzie wyglądał tak (drugi „pitagoras”):

$$q = A \cdot (\Theta_{si} - \Theta_{se}) / R \quad [\text{W}] \quad (10)$$

$A = 200 \text{ m}^2$  – powierzchnia ściany

$R = 3,272 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$  – opór ściany

$\Theta_{se} = 4^\circ\text{C}$  – temperatura zewnętrzna

$\Theta_{si} = 20^\circ\text{C}$  – temperatura w pomieszczeniu

$$q = 200 \cdot 16 / 3,272 = 978 \text{ W}$$

W jakim czasie ten strumień płynie?... w zasadzie strumień ten płynie ciągle; w każdej sekundzie. Taki strumień ciepły odpowiada, więc obrazowo 10 żarówkom 100-watowym, które cały czas świecą (w przypadku żarówek żarowych, to nawet

możemy powiedzieć, że „cały czas grzeją” ...i w ok. 85% będziemy mieli rację).

Cały czas ten strumień płynie... Jak długo? Np. jeden miesiąc (w metodyce wykonywania charakterystyk energetycznych) lub tyle ile trwa sezon grzewczy (w metodyce wykonywania audytów)

Dla przykładu: czas trwania sezonu grzewczego średnio w Polsce wynosi 5000 godzin, i przyjąłem 4°C, jako temperaturę zewnętrzną, gdyż taka jest średnia temperatura sezonu grzewczego dla większości obszaru Polski (III strefa)

Policzmy wobec tego ile energii stracimy przez naszą ścianę, ale czas podamy w sekundach, aby wynik otrzymać w Dżulach.

$$\Phi = q \cdot t \quad [\text{J}] \quad (11)$$

$\Phi = 978 [\text{W}] \cdot 5000 [\text{h}] \cdot 3600 [\text{s/h}] = 17\,598\,533\,456 \text{ J} \dots$  strasznie duża cyfra, dlatego nasze liczniki ciepła wyskalowane są w GJ, a starta ciepła dla naszej ściany wyniesie: 17,6 GJ/rok

Dużo to, czy mało? A ile kosztuje 1 GJ, zapytam przewrotnie?...

jak z węgla i piec kaflowy jako źródło, to 30 zł/GJ, czyli strata roczna wyniesie ok. 500 zł

jak ogrzewanie gazowe, to 50 zł/GJ, czyli strata ok. 900 zł

jak elektryczne, to 150 zł/GJ, czyli strata ok. 2700 zł

Jak widzimy, ilość energii, którą zużyjemy, w sumie zależy od różnicy temperatur. Pozostałe wielkości (A i R i czas) są stałe.

Ta pierwsza temperatura przyjmowana jest przez nas na podstawie warunków normatywnych np. w naszym przykładzie, jest to +20°C, czyli temperatura wymagana w pomieszczeniach mieszkalnych, czy biurowych. W Rozporządzeniu WT 2009 podane są normatywne temperatury w pomieszczeniach, które powinniśmy przyjmować, przy liczeniu np. zapotrzebowania na ciepło w budynku. Wartości tych temperatur podaję w tabeli poniżej.

Temperatury obliczeniowe*)	Przeznaczenie lub sposób wykorzystywania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
1	2	3
+5°C	– nieprzeznaczone na pobyt ludzi, – przemysłowe – podczas działania ogrzewania dyżurnego (jeżeli pozwalają na to względy technologiczne)	magazyny bez stałej obsługi, garaże indywidualne, hale postojowe (bez remontów), akumulatornie, maszynownie i szyby dźwigów osobowych
+8°C	– w których nie występują zyski ciepła, a jednorazowy pobyt osób znajdujących się w ruchu i w okryciach	klatki schodowe w budynkach mieszkalnych,

	<p>zewnątrznych nie przekracza 1 h,</p> <p>– w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., przekraczające 25 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</p>	<p>hale sprężarek, pompownie, kuźnie, hartownie, wydziały obróbki cieplnej</p>
+12°C	<p>– w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone do stałego pobytu ludzi, znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym powyżej 300 W,</p> <p>– w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., wynoszące od 10 do 25 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</p>	<p>magazyny i składy wymagające stałej obsługi, hole wejściowe, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni,</p> <p>hale pracy fizycznej o wydatku energetycznym powyżej 300 W, hale formiarni, maszynownie chłodni, ładownie akumulatorów, hale targowe, sklepy rybne i mięsne</p>
+16°C	<p>– w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone na pobyt ludzi:</p> <p>– w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej i stojącej,</p> <p>– bez okryć zewnętrznych, znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300 W,</p> <p>– w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., nieprzekraczające 10 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</p>	<p>sale widowiskowe bez szatni, ustępy publiczne, szatnie okryć zewnętrznych, hale produkcyjne, sale gimnastyczne,</p> <p>kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe</p>
+20°C	<p>– przeznaczone na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej</p>	<p>pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska gazowe lub elektryczne, pokoje biurowe, sale posiedzeń</p>
+24°C	<p>– przeznaczone do rozbierania,</p> <p>– przeznaczone na pobyt ludzi bez odzieży</p>	<p>łazienki, rozbieralnie–szatnie, umywalnie, natryskownie, hale pływalni, gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów, sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach, sale operacyjne</p>

\*) Dopuszcza się przyjmowanie innych temperatur obliczeniowych dla ogrzewanych pomieszczeń niż jest to określone w tabeli, jeżeli wynika to z wymagań technologicznych.

Drugą temperaturę, którą musimy określić, jest to temperatura zewnętrzna, ale liczona, jako średnia w sezonie. Na terenie Polski rozmieszczone są stacje meteorologiczne, w których co godzina rejestrowana jest temperatura. Obecnie dysponujemy danymi z 30 ostatnich lat z ponad 60 stacji. Dane te są dostępne na stronie Ministerstwa Infrastruktury na podstronie „świadectwa energetyczne” ([www.mi.gov.pl](http://www.mi.gov.pl)). Temperatury wieloletnie są bardzo wygodne, gdyż wyliczenia, które wykonujemy z ich wykorzystaniem, są w pewnym sensie statystyczne i niezależne od warunków pogodowych danego konkretnego roku. Przykładowe temperatury miesięczne w wybranych miejscowościach podaję w tabeli poniżej.

Miesiące	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stacja meteo	Średnie temperatury miesięczne											
Łeba	-0,4	-0,3	3,3	5,9	10,8	14,7	17,0	17,3	13,2	10,0	2,6	0,1
Toruń	-0,7	-0,9	3,3	6,8	13,6	17,2	17	16,3	13,6	7,7	2,4	1,2
Opole	-0,6	-0,2	4,3	8,9	12,9	17,7	16,9	18,4	13,9	9,4	4,7	0,3
Zakopane	-2,8	-2,3	1,1	5,0	9,8	12,7	14,3	13,1	11,2	4,6	1,5	-3,0

Przyjmując średnią temperaturę w sezonie grzewczym należy znać długość tego sezonu. Tu też pomaga nam statystyka i w Rozporządzeniu o metodyce wykonywania audytów energetycznych znajdziemy długości sezonu grzewczego dla każdej ze stacji. W tabeli powyżej podajemy pod miesiącami ilość dni sezonu grzewczego w każdym z miesięcy.

Miesiące	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stacja meteo	Ilość dni sezonu grzewczego											
Łeba	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
Toruń	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
Opole	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
Zakopane	31	28	31	30	20	0	0	0	20	31	30	31

Te średnie temperatury w miesiącu w połączeniu z ilością dni grzewczych możemy wykorzystać przy liczeniu zapotrzebowania

na energię cieplną (lub strat) metodą tzw. Stopniodni, wg poniższego wzoru:

$$S_d = \Sigma(\Theta_i - \Theta_e) \cdot L_m \quad [\text{K} \cdot \text{doba}] \quad (12)$$

Tworząc różnicę temperatury wewnętrznej (najczęściej stała w ciągu sezonu) i średniej temperatury miesięcznej, a następnie wymnażając tę różnicę przez liczbę dni grzewczych w danym miesiącu, otrzymam stopniodni miesiąca. Suma wszystkich miesięcznych stopniodni daje nam roczną wielkość ...i tą operujemy porównując np. różne obszary Polski pod względem „ostrości zimy”

W tabeli poniżej przedstawiam ilość stopniodni dla w/w miejscowości wyliczanych dla temperatury wewnętrznej +20°C

Miesiące	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1÷12
Stacja meteo	Stopniodni miesięczne												Stopniodni roczne
Łeba	632,4	568,4	517,7	423,0	184,0	0,0	0,0	0,0	68,0	310,0	522,0	616,9	3842,4
Toruń	641,7	585,2	517,7	396,0	32,0	0,0	0,0	0,0	32,0	381,3	528,0	582,8	3696,7
Opole	621,9	565,6	486,7	333,0	35,5	0,0	0,0	0,0	30,5	328,6	459,0	610,7	3471,5
Zakopane	706,8	624,4	585,9	450,0	204,0	0,0	0,0	0,0	176,0	477,4	555,0	713,0	4492,5
Temperatura wewnętrzna +20°C													

W metodyce uproszczonej, dla wyliczenia charakterystyki energetycznej budynku (Rozporządzenie o metodologii charakterystyki energetycznej) wprowadzamy także pojęcie stopniogodzin. Wspomniane stacje meteo robią pomiary, co godzinę i takie dane wykorzystamy przy liczeniu stopniogodzin. Można więc wyliczyć ilość stopniogodzin dla przyjętej temperatury wewnętrznej przy znanej temperaturze w każdej godzinie roku.

$$S_g = \Sigma(\Theta_i - \Theta_e) \cdot 1 \text{ h} \quad [\text{K} \cdot \text{h}] \quad (13)$$

Stopniogodziny znakomicie sprawdzają się przy wyliczaniu np. zapotrzebowania na ciepło do wentylacji czy klimatyzacji (w chłodnictwie), zwłaszcza w przypadkach, gdy urządzenia te działają czasowo np. w salach kinowych, restauracjach, czy salach konferencyjnych... ale też w biurach, domach, zakładach pracy... czyli wszędzie tam gdzie urządzenia wentylacyjne lub klimatyzacyjne pracują okresowo w ciągu doby. Jedynym mankamentem tej metody jest ilość działań do wykonania; skrajnie w roku mamy 8760 godzin, więc chcąc wyliczyć stopniogodziny danego roku musimy wykonać dokładnie tyle operacji matematycznych... całe szczęście, w dobie komputerowej, nie stanowi to większego problemu. Stopniogodziny, to połączenie przyjętego czasu pracy urządzeń z temperaturą zewnętrzną i wewnętrzną. Bardzo ciekawa i wygodna wielkość w ciepłownictwie



i klimatyzacji.

Wróćmy, jednak do naszego [wzoru nr 7](#), który podałem na początku tego wykładu:

$$Q = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot S_d / R$$

A – powierzchnia przegrody w m<sup>2</sup>

S<sub>d</sub> –ilość stopniodni dla danej miejscowości w K·doby

R – opór cieplny przegrody w K·m<sup>2</sup>/W

Stała: 8,64·10<sup>-5</sup> jest po prostu ilością sekund w dobie (3600s·24h = 86.400 sekund) gdyż musimy przeliczyć „dni grzewcze” na „sekundy grzewcze”

Policzmy, jaka będzie ilość energii dla naszej ściany z przykładu powyżej, wyliczanej metodą stopniodni dla mojego miasta Opola:

$$Q = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot 200 \cdot 3471,5 / 3,272 = 18,33 \text{ GJ}$$

Jak widzimy wynik jest zupełnie podobny do tego, który podałem w przykładzie (17,6 GJ), przyjmując, że średnia temperatura sezonu grzewczego to 4°C, a czas jego trwania to 5 000 godzin... ale przecież metodyka stopniodni też liczy średnią temperaturę w sezonie i też uwzględnia czas trwania tego sezonu, więc wyniki powinny być zbliżone.

Mam nadzieję, że definicja podana na początku wykładu, [pod wzorem \(7\)](#), już nie jest tak straszna.

I na koniec zadanie: Jak porównać z sobą konkretne sezony grzewcze? czyli praktyczne zastosowanie stopniodni.

Powiedzmy, że w roku 2007 ilość zużytej energii przez budynek w Opolu wynosiła 800 GJ, a średnią temperaturę w każdym z miesięcy tego roku podaję w poniższej tabeli.

Skąd znam średnie miesięczne w konkretnym roku?... Internet to potęga; zajrzyjmy na stronę: [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl) do mapki Polski z zaznaczonymi izotermami dla konkretnego miesiąca lat ubiegłych i zrobmy interpolację temperatury w pobliżu naszej miejscowości

Miesiące	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Stopniodni roczne
śr. temp. mies.	4,0	2,2	6,1	10,2	15,0	19,0	19,3	19,0	12,9	8,0	2,0	0,3	
Stopniodni	496,0	498,4	430,9	294,0	25,0	0,0	0,0	0,0	35,5	372,0	540,0	610,7	3302,5

Liczmy stopniodni i porównujemy ze stopniodniami w standardowym sezonem grzewczym dla najbliższej stacji metrologicznej (w tym wypadku też Opola). Stosunek obu  $S_d$  wynosi:  $3471,5/3302,5 = 1,051...$  więc statystycznie nasz budynek zużywa:  $800 \text{ GJ} \cdot 1,051 = 841 \text{ GJ}$  i to będzie podstawą do szacowania ewentualnych oszczędności przy np. realizacji programów termomodernizacyjnych.

Tą metodą możemy porównywać różne sezony grzewcze i sprowadzać zużycia energii w danym sezonie do tzw. standardowego sezonu grzewczego (wielkość wymagana w audycie energetycznym).

Pytania do wykładu

1. Jaki jest wzór na strumień energii cieplnej?
2. Podaj definicję przewodności cieplnej.
3. Podaj jeden z wzorów na wyliczenie strat przez jednorodną przegrodę budowlaną.
4. Co to jest opór cieplny?
5. Policz ile energii potrzebujemy na podgrzanie wody  $10 \text{ dm}^3$  od  $10$  do  $20^\circ\text{C}$  ( $c_p=4,19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ )
6. Podaj definicję stopniodni.
7. Od czego zależą opory przejmwania ciepła przez przegrodę budowlaną?
8. Jaka jest wartość  $U$  dla ścian wg WT 2009 i czy zawsze jest taka sama?
9. Wylicz ilość stopniodni dla swojego miasta w standardowym sezonie grzewczym i w roku 2009

# Poradnik dla audytorów energetycznych

## mgr inż. Andrzej Jurkiewicz z zespołem

Wykład 5: Paliwo

Teza:

Zrobił wilk elektrownię, lecz by prąd uzyskać  
Spalał w niej cały węgiel z kopalni od liska  
Kopalnia z elektrowni cały prąd zżerała  
Stąd brak światła i węgla, ale SYSTEM DZIAŁA!

To fraszka Andrzeja Waligórskiego, która stanie się mottem dzisiejszego wykładu o paliwach.

Być może nie wiemy o tym, albo nie chcemy wiedzieć, ale często w produkcji prądu lub ciepła, spotykamy się z tak żenująco niską sprawnością lub tak energochłonnym procesem, że znacznie korzystniej byłoby go zaniechać.

Jako przykład bezsensowności spalania paliwa, w imię ochrony naszego środowiska i walki z globalnym ociepleniem (!!!) [polecam załączony artykuł, w którym opisuję współspalanie biopaliwa w elektrowniach zawodowych w kotłach pyłowych \(„Współspalanie biomasy w elektrowniach. Zysk czy strata?”\)](#). Okazuje się, że sprawność wykorzystania energii ze spalanej biomasy w większości naszych elektrowni jest bliska zera i nikomu to nie przeszkadza..., bo „System działa!”; setki tysięcy ton (chyba już nawet miliony!!!) spalanej biomasy w elektrowniach jest bezpowrotnie marnowana... w imię głupiego prawa i braku poszanowania dla nas ludzi i naszego środowiska ([odsyłam do artykułu](#)).

Po tak mocnym wstępie przyjrzyjmy się niektórym rodzajom paliwa spalanego w naszych źródłach ciepła.

Zacznę od najbardziej popularnego „polskiego złota”, czyli:

Węgiel

Mamy różne gatunki węgla (miał energetyczny, groszek, eko-groszek, orzech, „flot”). Ostatnio bardzo popularnym paliwem stał się eko-groszek, który może być spalany w „bezobsługowych” kotłach węglowych retortowych. Kotły te nie wymagają prawie obsługi, gdyż należy tylko napełnić zbiornik paliwa (raz na kilka dni) i od czasu do czasu usunąć popiół z popielnika. Paliwo do takiego kotła (do retorty) podawane jest małymi porcjami przy pomocy ślimaków.

Oczywiście jednostki większe (powyżej 100 kW) wymagają codziennej obsługi, ale i tak, w porównaniu z tradycyjnymi kotłami, czas pracy palacza ogranicza się do dwóch-trzech godzin na dobę.

Parametry węgla mogą być bardzo różne. Określamy je zamawiając węgiel u dostawcy. Często parametry te podawane są na fakturach za węgiel.

Np.

Orzech 26/08/06

Pierwszy człon (26) oznacza, że z naszego węgla możemy otrzymać 26 GJ energii z każdej tony. Ilość GJ w tonie opału, zwana wartością opałową, jest najważniejszym parametrem węgla i od tego parametru zależy w zasadzie cena tego węgla.

W polskich węglach wartość opałowa jest bardzo różna i wynosi od 21 GJ (kiepski miał energetyczny) do 29 GJ (antracyt).

Drugi parametr naszego węgla (08), to zawartość popiołu w %, czyli w naszym przypadku zawartość popiołu wyniesie 8%. W naszych węglach ta zawartość popiołu też jest zmienna i wynosi od kilku do kilkunastu %.

Ostatni człon (06) oznacza zawartość siarki w węglu..., ale uwaga, wartość ta podawana jest w dziesiętnych procenta, więc nasz węgiel ma 0,6% siarki. Zawartość siarki też będzie zmienna i wynosi od 0,4 do 1,2%.

Aby utrwalić sobie tą metodykę czytania faktur za węgiel spróbujmy ocenić, jakie będą średnie parametry spalnego opału dla kotłowni węglowej, która zużyła:

80 ton węgla o parametrach 24/10/06 i 60 ton węgla o parametrach 26/07/10.

Musimy tutaj wyznaczyć średnioważone po ilości spalnego opału.

Gatunek	Ilość Mg	GJ	%popiołu	%siarki	Cena zł/Mg	Cena 1 GJ
węgiel 1	80,00	24,00	10,00	0,60	600,00	25,00
węgiel 2	60,00	26,00	7,00	1,00	750,00	28,85
średnioważona	140,00	24,86	8,71	0,77	664,29	26,72

Cenę 1 GJ wyznaczamy dzieląc koszt 1 tony przez wartość opałową 1 tony węgla

Węgiel nie jest zbyt „ekologicznym” paliwem.

Średnio przy spaleniu 1 tony węgla emisja zanieczyszczeń wynosi:

300 kg popiołu

20 kg pyłu  
35 kg SO<sub>2</sub>  
6 kg NO<sub>x</sub>  
2 tony CO<sub>2</sub>

Można zapytać, skąd 30% popiołu skoro zawartość popiołu w naszych węglach wynosi 5÷15%? Jest to wynik tzw. „niepełnego spalania...” po prostu, w normalnych warunkach eksploatacyjnych nie spalimy tak dokładnie węgla i ta pozostałość po „niepełnym spalaniu” pozostanie nam w popiele i żużlu.

Przy określaniu ceny węgla nie zapomnijcie o kosztach transportu i ewentualnych kosztów usunięcia popiołu lub opłat środowiskowych (jeżeli są).

### Olej opałowy

Mamy różne oleje opałowe, które różnią się głównie gęstością. Najczęściej, w większości kotłowni, stosujemy olej opałowy lekki klasy L-1.

Podstawowe parametry takiego oleju:

- gęstość: 860 kg/m<sup>3</sup>
- wartość opałowa: 42,6 MJ/kg
- zawartość siarki: 0,2%

Cena oleju jest zmienna i niestety, w ostatnich latach, bardzo wzrosła. Obecnie wynosi ok. 2,70 zł/litr. Przy obliczaniu ceny za 1 GJ musimy, więc pamiętać, że wartość opałową oleju podajemy najczęściej w odniesieniu do jednego kilograma, natomiast cenę podajemy za 1 liter. Jeżeli o tym zapomnimy, to źle policzymy koszty energii... należy więc wartość opałową wynoszącą 42,6 MJ/kg pomnożyć przez gęstość 0,86 kg/m<sup>3</sup> i dopiero wtedy możemy wyliczać ile kosztuje GJ:

1 GJ kosztuje:  $2,70 \text{ zł} / (0,0426 * 0,86) = 73,70 \text{ zł}$

Nie jest to tanie paliwo...

W dużych kotłowniach olejowych czasem stosujemy olej ciężki, z uwagi na niższą cenę. Wymaga on jednak specjalnych palników do spalania.

### Gaz ziemny

Gaz ten jest lżejszy od powietrza.

Gęstość gazu GZ-50 wynosi: 0,78 kg/m<sup>3</sup> (powietrze ok. 1,2 kg/m<sup>3</sup>)

Wartość opałowa > 31 MJ/m<sup>3</sup>

Ciepło spalania > 34 MJ/m<sup>3</sup>

W praktyce przyjmujemy, że wartość opałowa gazu ziemnego GZ-50 wynosi 35,5 MJ/m<sup>3</sup>. Przy dużych odbiorach gazu, czasami wartość ta podawana jest w fakturach, gdyż tak naprawdę płacić powinniśmy nie za m<sup>3</sup> dostarczonego gazu, ale za ilość energii, którą ten 1 m<sup>3</sup> gazu zawiera. Głównym składnikiem gazu jest metan CH<sub>4</sub>, który stanowi 90% składu.

Podałem dwie wielkości kaloryczności gazu: ciepło spalania i wartość opałowa.

Aby zrozumieć, jaka jest różnica podam definicję tych pojęć:

Wartość opałowa to ilość ciepła uzyskana przy całkowitym i zupełnym spalaniu jednostki masy paliwa oraz ochłodzeniu produktów spalania do temperatury początkowej bez uwzględniania ciepła skraplania pary wodnej zawartej w paliwie.

Ciepło spalania natomiast dodatkowo uwzględnia jeszcze ciepło zawarte w parze wodnej, która powstanie w trakcie spalania paliwa.

W technice przyzwyczailiśmy się do operowania wartością opałową, więc zakładamy, że nie wykorzystujemy ciepła zawartego w parze wodnej..., ale nie zawsze tak jest. Przykładem najlepszym to kotły kondensacyjne (gazowe lub olejowe), których sprawność przekracza 100%... dlaczego? Właśnie z powodu przyjętej metodyki określania sprawności źródeł ciepła odnoszącej się do wartości opałowej paliwa, a nie do jego ciepła spalania.

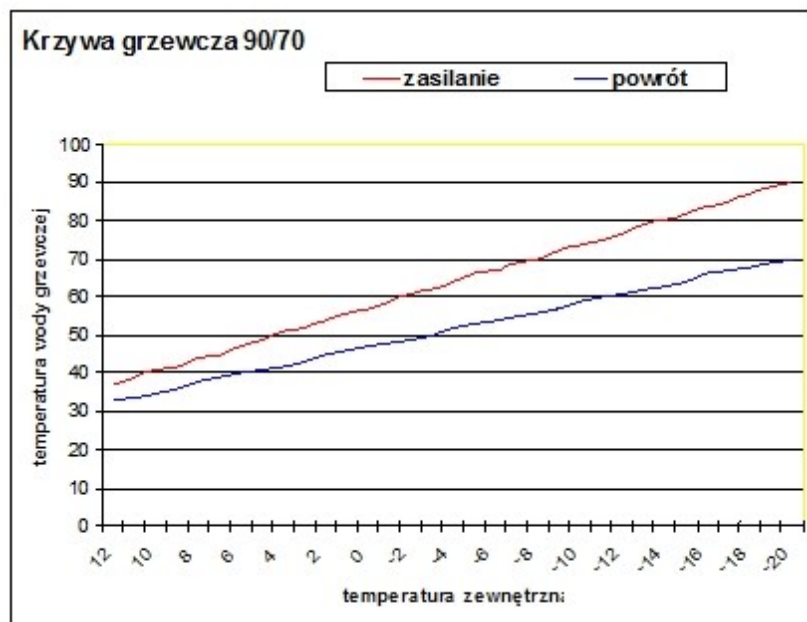
Kotły kondensacyjne, jak sama nazwa wskazuje, posiadają wymiennik kondensacyjny, w których spaliny schładzane są poniżej tzw. punktu rosy i, w którym następuje odbiór ciepła z pary zawartej w spalinach... para kondensuje do postaci cieczy i przy tej przemianie (tzw. przemiana fazowa..., czyli zamiana pary w wodę) wydzielane są bardzo duże ilości energii. Energia ta pochodzi z pary zawartej w paliwie i pary zawartej w powietrzu, które jest niezbędne w procesie spalania (w procesie spalania gazu teoretycznie na każdy 1 m<sup>3</sup> spalonego gazu potrzebujemy, co najmniej 11 m<sup>3</sup> powietrza, a w praktyce nawet więcej) Teoretycznie sprawność w odniesieniu do wartości opałowej paliwa, może być większa nawet o 11% (sprawności maksymalne niektórych kotłów kondensacyjnych gazowych wynoszą 104÷109%).

Nie dajcie się jednak zwieść tą z pozoru darmową energią... pomijając już nawet cenę takiego kotła, który wyposażony w wymiennik kondensacyjny (stal nierdzewna!!!) musi być droższy od zwykłego kotła, to dodatkowo musimy zapewnić schłodzenie naszych spalin poniżej punktu rosy... a to czasami jest trudne. Punkt rosy dla oleju opałowego wynosi 48°C, a dla gazu 58°C. Oznacza to, że spaliny w kotle kondensacyjnym olejowym musimy schłodzić poniżej 48, a w kotle gazowym poniżej 58°C, czyli czynnik, który schładza te spaliny (woda grzewcza) także musi mieć temperaturę niższą od tych punktów rosy. Z tego powodu, kotły kondensacyjne znakomicie sprawdzają się przy niskich temperaturach czynnika grzewczego... np. w ogrzewaniach podłogowych lub przy krzywych grzewczych niskotemperaturowych (np. 60/40°C lub niższych).

W Polsce nasze stare instalacje grzewcze pracują na krzywych grzewczych bardzo wysokich; najbardziej popularną jest krzywa grzewcza 90/70°C... no tak, ale nie wyjaśniłem przecież, co to jest krzywa grzewcza.

Temperatura wody grzewczej w naszych instalacjach zmienia się w zależności od temperatury zewnętrznej. Jest to tzw. „regulacja pogodowa”. Im niższa jest temperatura na zewnątrz (atmosferyczna), tym wyższa jest temperatura wody grzewczej. W kotłach lub węzłach cieplnych ważne są dwie temperatury tej wody: temperatura zasilania  $\Theta_z$  i temperaturę powrotu  $\Theta_p$ .

Obie te temperatury zmieniają się wraz ze zmianą temperatury zewnętrznej. Przedstawię to na wykresie.



Przedstawiona krzywa oznaczona parametrem 90/70°C, oznacza, że przy temperaturze projektowej obliczeniowej (minus 20°C) na wyjściu (zasilaniu) z naszego kotła (węzła) woda grzewcza ma temperaturę 90°C, a na powrocie 70°C. Oczywiście wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej zmniejszać się będzie także temperatury zasilania i powrotu wody grzewczej... np. dla średniej sezonu wynoszącej 4°C, parametry wody grzewczej wyniosą ok. 50°C (zasilanie) i 42°C powrót. Krzywe grzewcze mogą być bardzo różne, od bardzo wysokich (np. w kotłach wysokoparametrowych zasilających miasta występuje najczęściej krzywa grzewcza 150/70°C), wysokich (90/70°C), poprzez średnie (70/55°C), do niskich (50/35°C). W niektórych ogrzewaniach temperatury wody grzewczej są bardzo niskie, np. w ogrzewaniach podłogowych możemy spotkać krzywe grzewcze 30/26°C.

Dla kotłów kondensacyjnych, im niższa jest krzywa grzewcza, tym lepiej, gdyż wtedy większa jest sprawność wymiennika kondensującego. Kotły te najlepiej sprawdzają się jako kotły podgrzewające ciepłą wodę użytkową (cwu), gdyż temperatura wody zimnej średnio wynosi 10°C, i tam kondensacja zachodzi bez przerwy.

Wróćmy jednak do naszych paliw..., opiszę kolejny gaz tzw. płynny.

Gaz płynny

Gaz „płynny” (LPG)... nazwa potoczna gazu dostarczanego w stanie skroplonym, przechowywanego lub transportowanego w butlach. Jest to najczęściej ciekły propan lub propan-butan (ten ostatni to raczej tylko w kuchenkach gazowych).

Gaz ten, w przeciwieństwie do gazu ziemnego, jest cięższy od powietrza (jego gęstość przekracza  $1,6 \text{ kg/m}^3$ ) i dlatego nie wolno umieszczać zbiorników w przestrzeniach zamkniętych (gaz ziemny jest lżejszy od powietrza i można go łatwo usunąć przez typowe kanały wentylacyjne, a z LPG już nie jest to tak proste); najczęściej zbiorniki te umieszczane są na zewnątrz pomieszczeń.

Wartość opałowa gazu propanu wynosi  $45,6 \text{ MJ/kg}$ , a gęstość w stanie ciekłym ok.  $0,495 \text{ kg/litr}$ . Porównując więc ceny paliw, musimy pamiętać o tym, za co płacimy: czy za kg, czy za litr... przeważnie za litr, więc znów (jak dla oleju) należy wartość opałową pomnożyć przez  $0,495$ , aby otrzymać wartość opałową jednego litra gazu płynnego i dopiero teraz możemy go przeliczać na koszt  $1 \text{ GJ}$ .

### Biopaliwo

W tym wypadku, możemy mówić o bardzo różnych paliwach i różnej wartości opałowej (od  $8$  do  $18 \text{ GJ/Mg}$ ).

Wymienię najbardziej popularne biopaliwa:

- Pelet (zmielone trociny, poddane obróbce termicznej przy pomocy pary, tworzą małe walce – taki pocięty na kawałki ołowek)
- wierzba energetyczna
- słonecznik, malwa, trawa, słoma
- trociny, zrębki, ścinki drzew i odpady roślinne, drewno opałowe
- zboże (niestety! czasem nadprodukcja zboża powoduje, że opłaca się go spalić... kontrowersyjna to metoda wykorzystania)
- odpady organiczne przemysłowe
- odchody zwierząt
- i wiele innych

Popularne stają się także wszelkiego rodzaju biogazownie, które wykorzystują rośliny zielone, lub odpady (ścieki) bytowe przy produkcji biogazu. Taki „darmowy” biogaz może być produkowany np. w oczyszczalniach ścieków i wykorzystywany do produkcji prądu i ciepła, które to media wykorzystuje się w urządzeniach zainstalowanych w tych oczyszczalniach. Biogaz można także odzyskiwać ze składowisk odpadów (odwierty odgazowujące składowiska).



## Energia odnawialna

Wspomnę tylko, o najważniejszych rodzajach energii, gdyż temu tematowi poświęcimy oddzielne wykłady.

- energia wiatru
- pompy ciepła
- wymienniki gruntowe
- energia geotermalna
- energia słoneczna
- energia wodna

Bardzo popularny temat na dziś i chętnie finansowany przez różnego rodzaju programy, oraz wspierany przez różne instytucje finansowe oraz przez odpowiednie rozwiązania prawne.

Proponuję jednak, abyśmy do tych wszystkich „nowinek” podchodzili w sposób ostrożny... czasem, bowiem okazuje się, że takie wspieranie na siłę pewnych rozwiązań i technologii, przynosi bardzo mierne wyniki... a w niektórych przypadkach staje się nawet nieracjonalne.

Przykład? Pompa ciepła o współczynniku COP=3 (COP=3 oznacza, że z 1 kWh energii elektrycznej otrzymamy 3 kWh energii cieplnej).

Policzmy koszty produkcji takiej energii:

1 MWh prądu kosztuje 480 zł... z tej Megawatogodziny wyprodukujemy 3 MWh energii cieplnej..., czyli nasza MWh termiczna kosztuje 160 zł. W przeliczeniu na GJ daje to koszt

$$160/3,6 = 44 \text{ zł/GJ}$$

Przy produkcji ciepła z gazu, koszt 1 GJ wyniesie ok. 49 zł (cena gazu 1,70 zł/m<sup>3</sup>, wartość opałowa 0,0355 GJ/m<sup>3</sup> i sprawność kotła 98%... potraficie dojść do 48 zł/GJ?)..., mamy więc zysk 5 zł/GJ... To bardzo niewiele biorąc pod uwagę różnicę w kosztach inwestycyjnych, gdyż pompa ciepła to wydatek rzędu 40 ÷ 50 tys. zł, a kocioł gazowy ok. 10 razy mniej.

Liczmy zwrot nakładów:

Dla ogrzania domku jednorodzinnego o powierzchni 150 m<sup>2</sup> potrzebujemy ok. 0,4 GJ/m<sup>2</sup>/rok. Daje to wynik 60 GJ/rok. Jeżeli zaoszczędzimy 5 zł/GJ, to oznacza, że w ciągu roku nasz zysk wyniesie 300 zł..., czyli czas zwrotu inwestycji to ok. 150 lat.

Ale to nie koniec naszych rozważań... do produkcji naszej energii cieplnej z pompy ciepła potrzebujemy prąd, który w Polsce jest produkowany głównie z węgla. Jeżeli porównamy współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (Rozporządzenie o metodyce wykonywania charakterystyk energetycznych podaje te współczynniki w tabeli nr 1) to okazuje się, że taką energię musimy pomnożyć przez 3!

Reasumując: wprawdzie 60 GJ energii cieplnej wyprodukujemy przy pomocy 20 GJ energii elektrycznej, ale dla energii pierwotnej efekt będzie żaden... znów mamy 60 GJ (bo tyle energii w paliwie zużyje elektrownia na wyprodukowanie naszych 20 GJ w „gniazdku”).

Czy to oznacza, że mamy rezygnować z pomp ciepła?... , raczej nie, ale trzeba dostać dobre dofinansowanie (myślę, że minimum 50%) i stosować pompy o wyższym współczynniku COP (co najmniej 4).

Pamiętajmy więc, aby przy podejmowaniu decyzji o wyborze naszego nośnika energii, kierować się nie tylko modą, czy „zachętami” prawno-finansowymi, ale także rachunkiem ekonomiczno-ekologicznym.

Mamy, więc różne paliwa, w różnej cenie i o różnych wartościach opałowych. Mamy też źródła ciepła w różnych cenach i o różnej sprawności... jak to wszystko porównać?

Do tego służą taryfy dla ciepła..., o których opowiem w następnym wykładzie.

Tu będą jeszcze pytania do wykładu

Wykład 6: Umowy ESCO

Kontrakty ESCO i zasady ich sporządzania opisałem dość szczegółowo w artykule pod tytułem: [„Umowa ESCO w ciepłownictwie”](#) i odsyłam wszystkich zainteresowanych do tego artykułu.

Tutaj dodam, że najbardziej fascynuje mnie w umowach ESCO zmiana filozofii działania Dostawcy i Odbiorcy energii... W typowych kontraktach na dostawę energii (cieplnej lub elektrycznej), Odbiorca i Dostawca stoją po przeciwnych stronach barykady: Odbiorca chce tej energii zużyć jak najmniej (bo za nią płaci), a Dostawca chce jej sprzedać jak najwięcej (bo na tym zarabia). W kontraktach ESCO jest zupełnie inaczej; tam zarówno Odbiorca, jak i Dostawca chcą zużyć jak najmniej energii, bo obie strony zarabiają wtedy jak energię zaoszczędzą. To przejście z „konfliktu interesów” do „współdziałania w interesie” jest naprawdę niewiarygodne... A efekt?

Podam przykład dużego szpitala, który zużywał ponad 110.000 GJ/rok energii cieplnej w momencie podpisywania kontraktu ESCO... Po 5 latach od podpisania kontraktu, zużywał już 65.000 GJ/rok energii... prawie połowę mniej... i wszyscy na tym zarobili!!!, a najbardziej środowisko.

Dla wszystkich chętnych, którzy pragną się więcej dowiedzieć o szczegółach tych kontraktów, zasadach ich zawierania,

rozwiązaniach prawnych i rozliczeniach między stronami, proszę o kontakt indywidualny przez pocztę elektroniczną na adres: [Andrzej.Jurkiewicz@egie.pl](mailto:Andrzej.Jurkiewicz@egie.pl). Osobom tym udostępnię komplet materiałów dotyczących tych kontraktów, a także (w miarę swych możliwości) pomogę przy układaniu i redagowaniu umów, dokumentacji przetargowej oraz przedstawię metodykę wykonywania analiz finansowych tych kontraktów.

Zadanie, jako pytanie do tego wykładu:

Budynek zużywa 1000 GJ energii produkowanej w kotłowni węglowej o sprawności wytwarzania 70%. Koszt opału (24 GJ/Mg) wynosi 600 zł/Mg. W wyniku prac modernizacyjnych możemy podnieść sprawność kotłowni o 10%, wymieniając kocioł o mocy 200 kW, na nowszy.

Planowany koszt zakupu i montażu kotła to 50.000 zł.

Alternatywą jest jednak wykonanie modernizacji instalacji wewnętrznej w budynku, polegającą na wymianie zaworów grzejnikowych na termostatyczne. W tym wypadku przewidujemy wymianę 300 zaworów oraz wprowadzenie regulacji hydraulicznej w budynku. Nakłady na modernizację instalacji grzewczej w budynku są porównywalne z kosztami kotła, a planowana oszczędność energii w budynku wyniesie 12%.

Zakładamy jednak, że budynek należy do Odbiorcy, a kotłownia do Dostawcy i rozliczamy się wg licznika ciepła zamontowanego w budynku.

Pytania

1. Jaki jest koszt zmienny 1 GJ energii sprzedawanej (dolicz 5% zysku Dostawcy).
2. Który z tych wariantów jest bardziej opłacalny?
3. Ile zyska Odbiorca w przypadku modernizacji źródła ciepła?
4. Ile zyska Dostawca w przypadku modernizacji instalacji w budynku?
5. Jak najprawdopodobniej wpłynie modernizacja instalacji budynku na sprawność kotłowni Dostawcy?
6. Czy obie inwestycje mogą być realizowane bez naruszenia interesu drugiej strony, biorąc pod uwagę, że Dostawca nie może obniżyć kosztów stałych (zatrudnienie i amortyzacja)?
7. Czy można połączyć obie inwestycje, tak by zarówno Odbiorca jak i Dostawca na nich zarobili? W jaki sposób to zrealizować?

Wykład 7: Taryfa dla ciepła

Popatrzmy na tabelkę poniżej. Przedstawiam w niej ceny energii przeliczone na 1GJ różnych paliw. Metodyka jest tu prosta; musimy znać cenę danej jednostki paliwa (tona, kg, litr, m<sup>3</sup>) i wartość opałową tej jednostki. Przy omawianiu paliw, zwracałem uwagę na to, aby pamiętać, za co płacimy i w jakich jednostkach podajemy wartości opałowe paliwa, gdyż częstym błędem jest

mylenie tych jednostek i błędne wyliczanie wielkości opłat w taryfach.

	gaz ziemny	węgiel kamienny	eko-groszek	olej opałowy	LPG	energia elektryczna	drewno
jednostka	m <sup>3</sup>	Mg	Mg	dcm <sup>3</sup>	dcm <sup>3</sup>	MWh	Mg
cena jednostkowa	1,6	600	700	2,7	2,5	500	300
ilość GJ/jednostkę	0,0355	24	26	0,0364	0,023	3,6	12
koszt 1 GJ	45,07	23,08	26,92	74,23	108,7	138,89	25

Jest to cena GJ przeliczona na jednostkę paliwa.

Bezkrytycznie podchodząc do tej tabeli, możemy stwierdzić, że węgiel jest najtańszym paliwem..., ale nie jest to do końca prawdą.

Porównajmy, przykładowo ogrzewanie piecem kaflowym z ogrzewaniem podłogowym, gdzie wykorzystany jest kocioł kondensacyjny; dla pieca kaflowego sprawność wytwarzania (źródła) średnio wyniesie ok. 50%, a dla kotła kondensacyjnego ponad 100% (104%).

Jak to wpłynie na cenę 1GJ? ...Łatwo przewidzieć. Porównanie, więc ceny paliw nie wystarczy; musimy jeszcze uwzględnić sprawności źródeł.

W Rozporządzeniu o metodyce określania charakterystyki energetycznej podane są przykładowe sprawności różnych źródeł ciepła i, przy braku innych danych, można te sprawności przyjmować do audytów czy świadectw energetycznych.

Popatrzmy jak zmieni się cena energii, jeżeli uwzględnimy sprawność źródła.

	gaz ziemny	węgiel kamienny	eko-groszek	olej opałowy	LPG	energia elektryczna	piec kaflowy
jednostka	m <sup>3</sup>	Mg	Mg	dcm <sup>3</sup>	dcm <sup>3</sup>	MWh	Mg
cena jednostkowa	1,6	600	700	2,7	2,5	500	600
ilość GJ/jednostkę	0,0355	24	26	0,0364	0,023	3,6	24
sprawność	104%	70%	78%	94%	96%	99%	50%

koszt 1 GJ	43,34	35,71	34,52	78,97	113,22	140,29	50
------------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	----

Dalej wprowadzie węgiel wygrywa, ale tylko w kotłach o nie najgorszej sprawności... dla pieca kaflowego cena 1GJ jest już wyższa niż z gazu.

W rzeczywistości sprawności źródeł ciepła mogą się znacznie różnić od normatywnych ... pamiętajmy też, że wytwórcy źródeł ciepła podają swoje sprawności dla warunków optymalnej eksploatacji, a w praktyce np. mokry węgiel obniży nam sprawność wytwarzania o ok. o 10%; brudny wymiennik (sadza lub kamień kotłowy) - to kolejne starty na sprawności wytwarzania; kocioł o małym obciążeniu (poniżej 30%) traci kolejne „procenty”...

Uważam, że zawsze musimy uwzględniać sprawność źródła w wyliczaniu kosztu 1GJ, gdyż tylko w ten sposób można być w miarę obiektywnym oceniając koszty energii i porównując do siebie różne źródła wytwarzania tej energii.

Czy to wszystkie koszty związane z energią? Niestety nie. Musimy jeszcze policzyć tzw. koszty stałe. Do kosztów stałych zaliczymy wszystkie inne koszty, które poniesiemy niezależnie od ilości zużytego paliwa.

Do kosztów stałych zaliczyć, więc możemy:

- 1) koszt obsługi (palaczy) i konserwacji
- 2) koszt remontów
- 3) wartość amortyzacji (odtworzenia) źródła ciepła
- 4) koszt opłat stałych związanych z paliwem (np. opłata stała za zamówioną moc gazu)
- 5) koszt energii elektrycznej do napędów elektrycznych (pompy, wentylatory itp.)

Jak policzyć takie koszty przedstawiam w tabeli poniżej. Opłaty stałe przeliczamy na miesięczny koszt dla źródła o mocy 1MW. Robimy tak, dlatego, że ciepłownie zawodowe operują takim wskaźnikiem (opłata stała w taryfach podawana jest w zł/MW/m-c), a także, dlatego, że metodologia wykonywania audytów energetycznych wykorzystuje ten rodzaj opłat. Przeliczony koszt na 1MW pozwala także na porównanie źródeł o różnej mocy.

Rodzaj wydatku	jednostka	gaz ziemny	węgiel kamienny	eko-groszek	olej opałowy	LPG	energia elektryczna	piec kaflowy
opłata stała (abonament/dzierżawa)	zł/rok	288	0	0	0	366	96	0

koszt źródła ciepła (inwestycja)	zł	5 000	2 000	6 000	6 000	5 000	2 000	5 000
lata eksploatacji	lata	16	8	10	16	16	20	50
odpis roczny (amortyzacja)	zł/rok	312,5	250	600	375	312,5	100	100
moc urządzeń elektrycznych	W	70	70	120	80	70	0	0
czas pracy urządzeń elektrycznych	h	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	0	0
koszt energii elektrycznej	zł/rok	252	252	432	288	252	0	0
obsługa, kominiarz	zł/rok	200	100	100	200	200	0	25
Razem w roku	zł	1 052,50	602,00	1 132,00	863,00	1 130,50	196,00	125,00
moc źródła ciepła	kW	15	25	20	15	15	12	30
opłata stała za MW	zł/MW/m-c	5 847,22	2 006,67	4 716,67	4 794,44	6 280,56	1 361,11	347,22

W załączeniu przedstawiam dwa pliki Excela pozwalające na samodzielne sporządzanie taryf. Pierwszy, pod nazwą Taryfa dla ciepła dla budynku jednorodzinnego [www.audyt-energetyczny.net/pae/tdbj.xls](http://www.audyt-energetyczny.net/pae/tdbj.xls), pozwala nam wykonać taryfę i ocenić koszty ogrzewania w budynkach małych i mieszkaniach, a kolejny plik Metodyka liczenia taryfy w kotłowni osiedlowej [www.audyt-energetyczny.net/pae/tdko.xls](http://www.audyt-energetyczny.net/pae/tdko.xls), pozwala policzyć taryfę dla ciepła dla większych źródeł ciepła.

Na końcu tych tabel przedstawiłem także metodykę liczenia ceny 1GJ w tzw. taryfie jednocłonowej, tzn. takiej, w której cena 1GJ zawiera zarówno opłaty zmienne, jak i stałe... i tak naprawdę dopiero ta cena pozwala nam ocenić różne rodzaje paliw i źródeł wytwarzania pod kątem kosztów energii.

Proszę zwrócić uwagę na pompę ciepła i koszt 1GJ w taryfie jednocłonowej... wynik niestety nie jest najciekawszy.

Kolejnymi sprawnościami, które mają wpływ na ilość zużytego paliwa, to sprawność dystrybucji (transportu), sprawność regulacji i wykorzystania oraz sprawność akumulacji. Sprawności tych nie uwzględniamy jednak w cenie wytwarzanej energii, lecz przy ocenie całego systemu ogrzewania stosowanego w budynku.

Przez sprawność całkowitą rozumiemy, więc iloczyn sprawności cząstkowych:

sprawność całkowita = sprawność wytwarzania·sprawność dystrybucji·sprawność regulacji·sprawność akumulacji

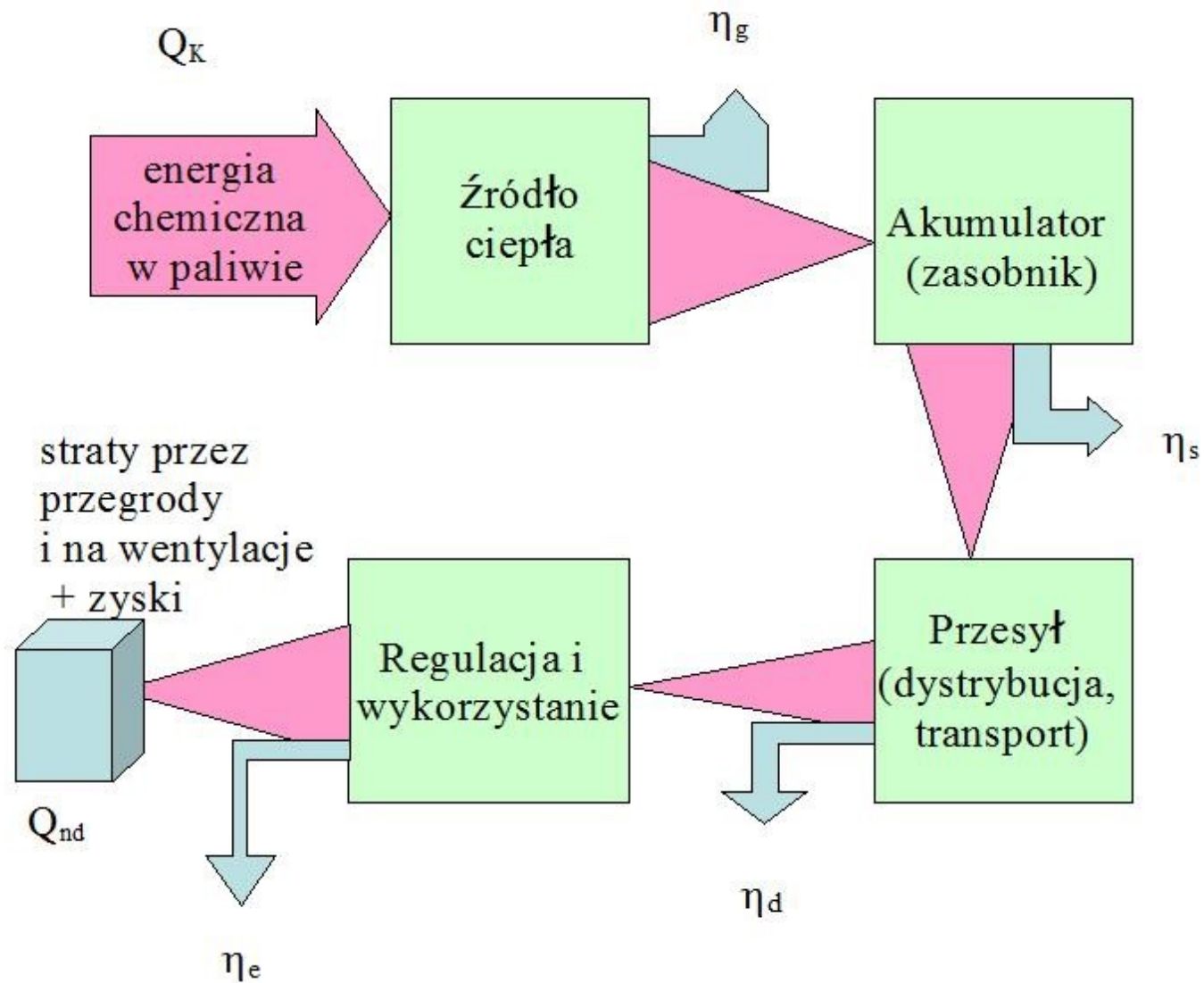
Aby przybliżyć Wam różnice między poszczególnymi rodzajami energii i sprawnościami, zrobimy taki mały rysunek blokowy, na którym niebieskie strzałki obrazują straty (najczęściej procentowe), jakie ponosimy na każdym etapie przekazywania energii.

$$QK = Q_{nd} / \eta_{tot}$$

$$\text{Energia końcowa} = \text{Energia użytkowa} / \text{spr. całkowita}$$

$$\eta_{tot} = \eta_g \cdot \eta_s \cdot \eta_d \cdot \eta_e$$

$$\text{Spr. całkowita} = \text{spr. wytworzenia} \cdot \text{spr. akumulacji} \cdot \text{spr. przesyłu} \cdot \text{spr. regulacji}$$



Rozporządzenie o metodologii charakterystyk energetycznych proponuje, aby te sprawności cząstkowe określić w oparciu o:

a) obowiązujące przepisy,



- b) dokumentację techniczną budynku i instalacji oraz urządzeń,
- c) wiedzę techniczną oraz wizję lokalną obiektu,
- d) dostępne dane katalogowe urządzeń, elementów instalacji grzewczej i wentylacyjnej

Ale jest lepsza metoda!

Możemy, bowiem policzyć tę sprawność, jeżeli znamy ilość paliwa zużytego na ogrzanie budynku w danym roku i znamy średnie miesięczne temperatury zewnętrzne.

Jak to działa w praktyce?

Przykład.

Budynek w Opolu ogrzewany jest gazem. W 2007 roku zużyliśmy tego gazu 25.700 m<sup>3</sup>. Jeżeli przyjmiemy, że wartość opałowa gazu wynosi 0,0355 GJ/m<sup>3</sup>, to łatwo określimy ilość energii końcowej zużytej przez nasz budynek:

$$25.700\text{m}^3 \cdot 0,0355 \text{ GJ/m}^3 = 912,35 \text{ GJ/rok.}$$

Z wykładu poprzedniego (nr 4) wiemy, że dla Opoli ilość stopniodni w roku standardowym wynosi 3471,5... z tego samego wykładu dla roku 2007 liczba stopniodni dla Opoli wyniosła 3302,5.

$$\text{Stosunek: } S_{\text{dstd}}/S_{\text{d2007}} = 1,051$$

W standardowym sezonie nasz budynek zużyje, więc:  $912,35 \text{ GJ} \cdot 1,051 = 959,04 \text{ GJ}$

Wykonując teraz OZC (obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło) wykorzystując dostępne programy specjalistyczne (można „na piechotę”, ale jest to bardziej pracochłonne) ustalamy, jakie jest zapotrzebowanie na energię użytkową, tzn. taką, jaką potrzebuje nasz budynek, aby utrzymać w nim normową temperaturę (u nas 20°C), ale bez uwzględniania sprawności.

W OZC liczymy straty przez przegrody budowlane, ilości ciepła na ogrzanie powietrza wentylacyjnego i uwzględniamy zyski słoneczne i bytowe. W wyniku tych obliczeń otrzymamy zapotrzebowanie budynku na Energię użytkową.

Powiedzmy, że z wyliczeń wyszło nam, że budynek potrzebuje 850 GJ (OZC wykonujemy zawsze dla warunków standardowych).

Jeżeli znamy GJ w paliwie (przeliczone na standardowy sezon grzewczy), czyli Energię końcową, i policzyliśmy OZC (Energię użytkową), to chcąc wyznaczyć sprawność całkowitą wystarczy wykonać następujące działanie:

$$\eta_{\text{tot}} = Q_{\text{nd}}/Q_{\text{K}}$$

w naszym przypadku:

$$\eta_{\text{tot}} = 850 \text{ GJ}/959,04 \text{ GJ} = 0,886$$

W razie potrzeby możemy spróbować podzielić tę sprawność na sprawności cząstkowe, ale nie jest to konieczne.

Zapamiętajmy!

Jeżeli wiemy ile paliwa (gazu, oleju opałowego, węgla, ciepła sieciowego, drewna, energii elektrycznej itd.) zużył budynek i dokonaliśmy wyliczenia OZC, to sprawność ZAWSZE powinniśmy wyznaczać na podstawie ilości tego paliwa.

Taka metoda jest najbardziej realna i bezpieczna, gdyż szacowanie sprawności cząstkowych bywa często trudne i nie rzadko, mało precyzyjne.

Oczywiście dla budynków nowo projektowanych lub nowo budowanych posługujemy się tabelami lub danymi projektowymi (katalogowymi), ale jeżeli mamy oceniać system ogrzewania budynków istniejących to zawsze korzystajmy z danych rzeczywistych, a nie teoretycznych.

Oczywiście jest tutaj jeden ważny element... na ile dokładnie policzyliśmy OZC, czyli energię użytkową..., ale to już temat na inny wykład.

Pytania do wykładu:

- 1) Proszę policzyć koszt 1 GJ dla kotła olejowego o sprawności 89%, wartości opałowej oleju 42,6 MJ/kg i cenie 2,9 zł/dcm<sup>3</sup>.
- 2) Jakie mogą być składniki opłaty stałej?
- 3) Do jakiego rodzaju kosztów (stałych, czy zmiennych) zaliczysz transport węgla do kotłowni?
- 4) Kotłownia szkolna w Prudniku w 2007 roku zużyła 200 ton koksu (wartość opałowa koksu: 28 GJ/Mg). Z obliczeń OZC zapotrzebowanie na energię użytkową wynosi 850.000 kWh/rok. Wyznacz sprawność całkowitą systemu ogrzewania budynku.
- 5) Oblicz opłacalność zamiany kotłowni węglowej o mocy 400 kW z roku 1980, na kotłownię gazową. Przyjmij sprawności źródeł wg danych rozporządzenia o charakterystyce energetycznej. Kotłownię węglową obsługiwało czterech palaczy.
- 6) Roczne opłaty stałe w kotłowni osiedlowej o mocy 240 kW wyniosły 20.000 zł. Wyznacz cenę 1MW/m-c.

## Wykład 8: Ciepła woda użytkowa

Zużycie ciepłej wody zależy od tego, w jakim celu jej używamy. Przykładowo, dla indywidualnych osób zużycie cwu waha się od 30 do 80 litrów/dobę/osobę; średnio przyjmujemy, że jest to 35 dcm<sup>3</sup>/dobę dla budynków indywidualnych, a 48 dcm<sup>3</sup>/dobę dla budynków wielorodzinnych (20% mniej, jeżeli stosujemy w budynku wodomierze indywidualne do rozliczenia zużycia cwu).

W starszych normach zalecany był wskaźnik 110 dcm<sup>3</sup>/osobę/dobę. Jest to prawie 3 razy więcej niż rzeczywiste obecne zużycie ciepłej wody. Zużycie 110 dcm<sup>3</sup> cwu jest dzisiaj praktycznie niespotykane, ale urządzenia w starszych węzłach ciepłych (kotłowniach), które służyły do podgrzewu ciepłej wody, były dobierane na takie parametry. Wielkość ta pośrednio wpływa także na moc zamówioną na potrzeby podgrzewu cwu i często moc ta jest znacznie zawyżona (wrócimy do metodyki liczenia tej mocy w dalszej części wykładu).

W tabeli poniżej podajemy zużycie wody na osobę (zimnej i ciepłej) dla typowych czynności w obecnym, w miarę nowoczesnym (tzn. wyposażonym w zmywarkę, pralkę automatyczną, wodomierze, perlatory, pojemnościowe podgrzewacze wody) gospodarstwie domowym.

Cel	dm <sup>3</sup> /osoba/doba	Woda zimna 10°C	Cwu 55-60°C
Picie, gotowanie	4	4	0
Mycie naczyń	12	6	6
Mycie ciała	12	6	6
Kąpiel (pry/wan)	33	16,5	16,5
Spluczka	38	38	0
Pranie	18	18	0
Sprzątanie i in.	8	4	4
Razem	125	92,5	32,5
%	100	74	26

Jak widzimy obecnie całkowite zużycie wody w gospodarstwie wynosi 110-140 dcm<sup>3</sup>/osobę na dobę, a kiedyś przyjmowaliśmy zużycie na tym poziomie tylko dla ciepłej wody. Dla naszych dalszych rozważań przyjmijmy, że zużycie cwu wynosi 40

dm<sup>3</sup>/dobę/osobę. Temperatura ciepłej wody powinna wynosić 55°C w punkcie czerpalnym, czyli kranie (wylewce). Średnia temperatura wody zimnej wynosi 10°C. Policzmy teraz, jaką ilość energii potrzebujemy dla podgrzania 1m<sup>3</sup> wody od 10°C do 55°C. Przyjmijmy, że 1 dm<sup>3</sup> wody ma masę 1 kg (gęstość 1000 kg/m<sup>3</sup>), czyli 1m<sup>3</sup> ma masę 1000 kg. Jednostka 1m<sup>3</sup> wody nie jest przypadkowa, gdyż zużycie miesięczne ciepłej wody mierzone jest przez wodomierze najczęściej właśnie w m<sup>3</sup>.

Korzystamy ze znanego wzoru:

$$\Phi = m \cdot c \cdot (\Theta_z - \Theta_p)$$

$$\Phi = 1000 \text{kg} \cdot 4,19 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot (55 - 10) \text{K} = 188.550 \text{kJ} = 0,189 \text{GJ}$$

Policzmy, ile energii w ciągu roku dla potrzeb ciepłej wody zużyje 4-ro osobowa rodzina? Najpierw policzmy ilość zużywanej wody:

$$m = 40 \text{ dm}^3 \cdot 4 \text{ osoby} \cdot 365 \text{ dni} = 58.400 \text{ dm}^3 = 58,4 \text{ m}^3$$

W metodyce dla wykonywania charakterystyk energetycznych proponuje się, aby uwzględniać okresy urlopowe i przyjmować się wskaźnik do czasu użytkowania równy 0,9 (10% czasu spędzamy na wakacjach). Można uwzględnić ten wskaźnik dla przypadku, gdy nie znamy rzeczywistego zużycia ciepłej wody w budynku, lub dla założeń projektowych.

W naszym przypadku ilość energii zużytej dla potrzeb cwu wyniesie:

$$\Phi = 58,4 \cdot 0,189 \text{ GJ} = 11,01 \text{ GJ/rok}$$

Jest to jednak tylko energia użytkowa. Pamiętajmy, że tak naprawdę ważna jest energia końcowa, którą zużyjemy do podgrzewu cwu. Energia ta, oprócz energii użytkowej, uwzględnia także sprawność źródła (wytwarzania) oraz energię dla pokrycia strat związanych z magazynowaniem (strata akumulacji) oraz przesyłem ciepłej wody od źródła ciepła do punktów czerpalnych (strata dystrybucyjna). Aby wyznaczyć energię końcową musimy znać (przyjąć) sprawności poszczególnych elementów systemu podgrzewania cwu. Sprawność końcowa zależy, bowiem od sprawności źródła, strat przesyłu (dystrybucji), oraz strat anulacji (zbiornika akumulacyjnego).

Zależność między energią końcową a energią użytkową opisujemy wzorem:

$$Q_{W,K} = Q_{W,nd} / \eta_{w,tot}$$

$$\eta_{w,tot} = \eta_{w,g} \cdot \eta_{w,d} \cdot \eta_{w,s}$$

Gdzie:

$Q_{W,K}$  - energia końcowa

$Q_{W,nd}$  – energia użytkowa

$\eta_{w,tot}$  – sprawność całkowita

$\eta_{W,g}$ ;  $\eta_{W,d}$ ;  $\eta_{W,s}$  – sprawności cząstkowe odpowiednio: wytwarzania, dystrybucji i akumulacji

Przykładowe sprawności znajdziemy w Rozporządzeniu o metodologii wykonywania charakterystyki energetycznej.

W [Załączniku CWU](#) przedstawiam przykładowy arkusz kalkulacyjny dla liczenia sprawności oraz ilości zużywanej energii dla potrzeb cwu z wykorzystaniem danych z w/w Rozporządzenia.

Czy jednak jest to jedyna metoda na wyznaczenie zużycia energii dla potrzeb cwu? A co będzie, gdy w rzeczywistych warunkach sprawności cząstkowe (wytwarzania, dystrybucji i akumulacji) będą się znacznie różniły od tych „średnich” czy „katalogowych”?

W jaki sposób wyznaczyć sprawność końcową dla warunków rzeczywistych?

Jeżeli dysponujemy rzeczywistymi danymi zużycia cwu w danym okresie (w m<sup>3</sup>) oraz ilością energii (licznik ciepła), lub ilością paliwa (energii chemicznej paliwa), które zużyliśmy do jej podgrzewu, to bez większego trudu wyznaczymy sprawność całkowitą systemu. Nie interesują nas wtedy nawet sprawności cząstkowe, choć przy niskiej sprawności całkowitej warto zastanowić się, która z tych sprawności jest najniższa i dlaczego. Metodykę liczenia sprawności końcowej dla cwu dla różnych paliw podaję w [Załączniku CWU – sprawność rzeczywista](#). W załączniku tym wyliczono także koszt roczny podgrzania cwu oraz wyznaczono cenę jednostkową podgrzewu cwu (w zł/m<sup>3</sup>) dla różnych źródeł ciepła.

Źródła ciepła dla cwu

Źródła ciepła, które podgrzewają ciepłą wodę można podzielić np. biorąc pod uwagę rodzaj paliwa, które stosujemy, np. gazowe, olejowe, węglowe, elektryczne, węzeł cieplny, pompa ciepła, wykorzystujące biomasę, energię słoneczną, gaz LPG, parę grzewczą i układy kombinowane (np. kolektor słoneczny z grzałką elektryczną).

Oczywiście w ramach każdego z tych źródeł możemy dokonać kolejnych podziałów, np. źródła gazowe możemy podzielić na przepływowe (np. junkersy), kotły tradycyjne, kotły kondensacyjne, kotły z zasobnikiem cwu itd.

Od rodzaju zastosowanego źródła ciepła zależy sprawność wytwarzania energii cieplnej. Najniższą mają podgrzewacze gazowe starego typu (tzw. junkersy) – średnio ok. 40-50%. Tak niska sprawność wynika głównie ze sposobu użytkowania takich „piecyków”; najczęściej, bowiem odkręcamy kran z ciepłą wodą, gaz w palnikach się „zapali”, lecz nie zdąży podgrzać wody, gdyż już za chwilę zakręcamy kran z wodą. Ciepła woda zostaje w wymienniku, który w ciągu kilku minut wystygnie (ciąg kominowy powoduje wychłodzenie wymiennika). Przy takim sposobie „podgrzewu” wody praktycznie nie korzystaliśmy z ciepłej wody, ale straciliśmy prawie całą energię, którą zużyliśmy do podgrzania wody w wymienniku. Te chwilowe pobory są przyczyną tak niskich sprawności podgrzewaczy gazowych przepływowych. Przykładowe sprawności różnych źródeł ciepła podano w [Załączniku CWU – sprawność rzeczywista](#).

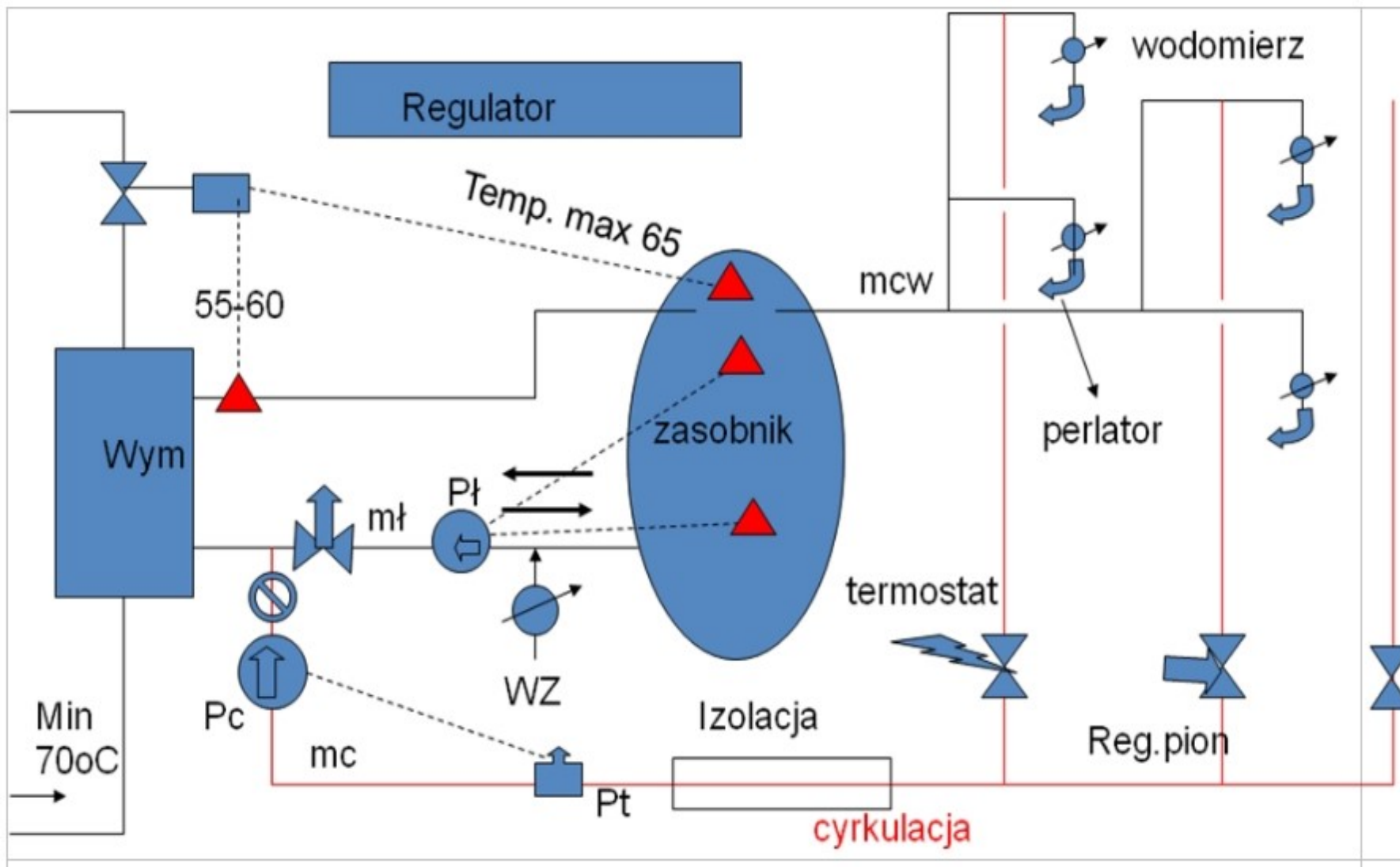
Z uwagi na niską temperaturę wody zimnej, bardzo dobrze, jako podgrzewacze cwu, sprawdzają się kolektory słoneczne; o szczegółach napiszemy przy okazji omawiania źródeł odnawialnych.

### Metody oszczędzania energii i ilości cwu

Zacznijmy od tego, że proporcje energii zużywanej na cele ogrzewania budynku i dla podgrzewana cwu mogą być bardzo różne. W budynkach bez termomodernizacji ok. 70-80% energii zużywanej jest w celu ogrzania budynku, a 20-30% dla potrzeb cwu. Po wykonaniu termomodernizacji budynku (montaż zaworów termostatycznych, wprowadzenie regulacji pogodowej, ocieplenie ścian, stropu, wymiana okien) lub w budynkach nowych, proporcje będą zupełnie inne; okazuje się, że nierzadko większe są koszty podgrzania ciepłej wody niż ogrzania budynku. W tym wypadku warto wprowadzić kolejny etap modernizacji związany z obniżeniem ilości energii i wody zużywanej przez budynek związanej właśnie z ciepłą wodą użytkową.

Już samo wprowadzenie indywidualnego rozliczania cwu powoduje obniżenie zużycia cwu (oraz energii cieplnej) o ok. 20%. Jest to najprostszy i najtańszy sposób obniżania kosztów (jest to także zalecenie prawne w WT2009)

Na schemacie poniżej przedstawiamy system podgrzewu i dystrybucji cwu w budynku wielorodzinnym z centralnym systemem cwu, gdzie pokazujemy niektóre metody oszczędzania energii i wody.



Przykładowe metody obniżania zużycia energii (ilości wody) w systemach przygotowania cwu, oraz szacowane oszczędności wraz z kosztami jednostkowymi przedstawiam w tabeli poniżej:

L.p.	Opis przedsięwzięcia	% oszczędności	Koszt jednostk.

1	Montaż wodomierzy indywidualnych	20%	70 zł/szt
2	Wprowadzenie perlatorów na wylewkach	20%	10 zł/szt
3	Wprowadzenie baterii jednouchwytowych	20%	200 zł/szt.
3a	Wprowadzenie baterii bezdotykowych (czujnik ruchu)	30%	400 zł/szt.
4	Wprowadzenie baterii termostatycznych	50%	500 zł/szt
5	Ograniczenie czasu pracy pomp cyrkulacyjnych (wyłączanie pomp w nocy)	5%	1000 zł/pompę
6	Obniżenie temperatury ciepłej wody o 1°C	0,5%	0 zł
7	Kontrola (obniżenie) temperatury wody w przewodach cyrkulacyjnych przez zawory podpionowe termostatyczne	15%	500 zł/pion
8	Sterownie pracą pompy cyrkulacyjnej w zależności od temperatury wody w cyrkulacji (kontrola temperatury w dwóch punktach)	12%	2000 zł/układ
9	Regulacja hydrauliczna (kryzowanie) podpionowa w przewodach cyrkulacyjnych	5%	200 zł/pion
10	Izolowanie przewodów ciepłej wody i cyrkulacji	10%	10 zł/mb
11	Wprowadzenie regulatorów ciśnienia wody (zimnej i ciepłej)	15%	2000 zł/kpl

Pragnę zwrócić uwagę na bardzo duże straty związane z pracującą cyrkulacją (vide [Załącznik CWU](#)); w dużych systemach starty te często sięgają 50%. Dla ograniczenia tej straty, można zastosować podpionowe zawory termostatyczne, które montowane są na pionach cyrkulacyjnych i działają w ten sposób, że po osiągnięciu temperatury nastawionej na zaworze (np. 40°C) zawór się zamyka. W ten sposób w kranach zawsze jest woda o temperaturze, co najmniej 40°C, ale ograniczony jest przepływ ciepłej wody przez cyrkulację. Jest to skuteczna, ale droga metoda oszczędzania, gdyż koszt jednego zaworu z montażem wynosi ok. 500-600 zł, a musimy je zamontować na każdym pionie cyrkulacyjnym. Dużo tańszą metodą jest sterownie pracą pompy cyrkulacyjnej, w ten sposób, że pompa jest wyłączana, jeżeli temperatura w najdalszym pionie cyrkulacyjnym (patrząc od źródła ciepła) osiągnie nastawione minimum (np. 40°C), a załączenie pompy nastąpi, gdy temperatura wody cyrkulacyjnej w pobliżu pompy, spadnie poniżej minimalnej (np. 38°C). W przypadku tego układu nie tylko zmniejszamy straty cyrkulacji, ale także zmniejszamy zużycie energii elektrycznej (pompa cyrkulacyjna pracuje okresowo). Niekiedy stosuje się proste zegary dobowe sterujące pracą pompy w ten sposób, że w okresie nocnym (np. od 23.00 do 5.00) pompa cyrkulacyjna jest wyłączana.

I jeszcze jedna ważna, bezinwestycyjna, metoda na oszczędzanie energii dla cwu: obniżenie temperatury cwu o kilka stopni



(nawet do 40-42°C). Na każdy obniżony stopień cwu zyskamy ok. 0,5% energii. Przepisy wymagają wprawdzie, aby w punkcie czerpalnym (kranie) temperatura wody wynosiła 55°C (dopuszcza się obniżenie do 50°C). Nie do końca się z tym zgadzam. Po co podgrzewać wodę w źródle do 60°C, skoro i tak musimy ją mieszać z wodą zimną? Przecież, ciepła woda do mycia i kąpieli powinna mieć temperaturę nie wyższą niż 40°C (wyższa temperatura grozi poparzeniem). Niektórzy tłumaczą, że tak wysoka temperatura jest wymagana ze względu na „walkę” z bakterią Legionelli, ale bakteria ta ginie dopiero w temperaturze powyżej 70°C. Bakterie te rozmnażają się głównie w zbiornikach, gdzie występują tzw. strefy „martwe”, gdyż, aby się rozmnożyć wymagają wody „stojącej”. Przy stałym korzystaniu z cwu i pracujących układach cyrkulacyjnych, w przewodach ciepłej wody i cyrkulacji, nie występują praktycznie strefy martwe, więc bakterie te nie ma zbyt dużych szans, aby przekroczyć ilości dopuszczalne normą (w niewielkich ilościach bakteria ta jest nieszkodliwa dla zdrowia). Najlepszą metodą na walkę z tą bakterią jest okresowe podgrzewanie wody w zasobnikach; zaleca się, aby raz na dwa tygodnie, przez okres ok. 1-2 godzin podgrzewać wodę w zasobnikach do temperatury 70-75°C. Nawet wymóg taki znalazł się w przepisach WT2009, ale jest on rzadko stosowany w praktyce.

Drugim powodem, dla którego nie godzimy się na obniżanie temperatury cwu jest błędnie rozumiany system rozliczeń. Obniżenie temperatury cwu powoduje, że zaczynamy zużywać tej wody więcej, a rozliczamy się na podstawie wskazań wodomierzy w mieszkaniu. Uważamy, więc, że będziemy płacić za tę ciepłą wodę więcej. Problem w tym, że nie bierzemy pod uwagę faktu, że zmniejsza nam się jednocześnie zużycie wody zimnej, która służyła do obniżania temperatury wody ciepłej... ilość wody zimnej i ciepłej będzie taka sama, niezależnie od tego czy w kranie mamy ciepłą wodę o temperaturze 45°C, czy 55°C... woda użytkowa (po zmieszaniu z wodą zimną) zawsze będzie miała temperaturę w granicach 35-40°C. Tak naprawdę przy rozliczaniu końcowym kosztu podgrzewu ciepłej wody, płacimy za paliwo (lub energię), a tego na pewno użyjemy mniej, jak obniżymy temperaturę cwu. Zyskujemy głównie na mniejszych stratach w samym źródle ciepła (źródło rzadziej się włącza i mniejsze są straty przez obudowę i straty postojowe), jak i na mniejszych stratach na przesyle cwu (niższa temperatura wody generuje mniejsze straty w przewodach) oraz w samym zasobniku cwu.

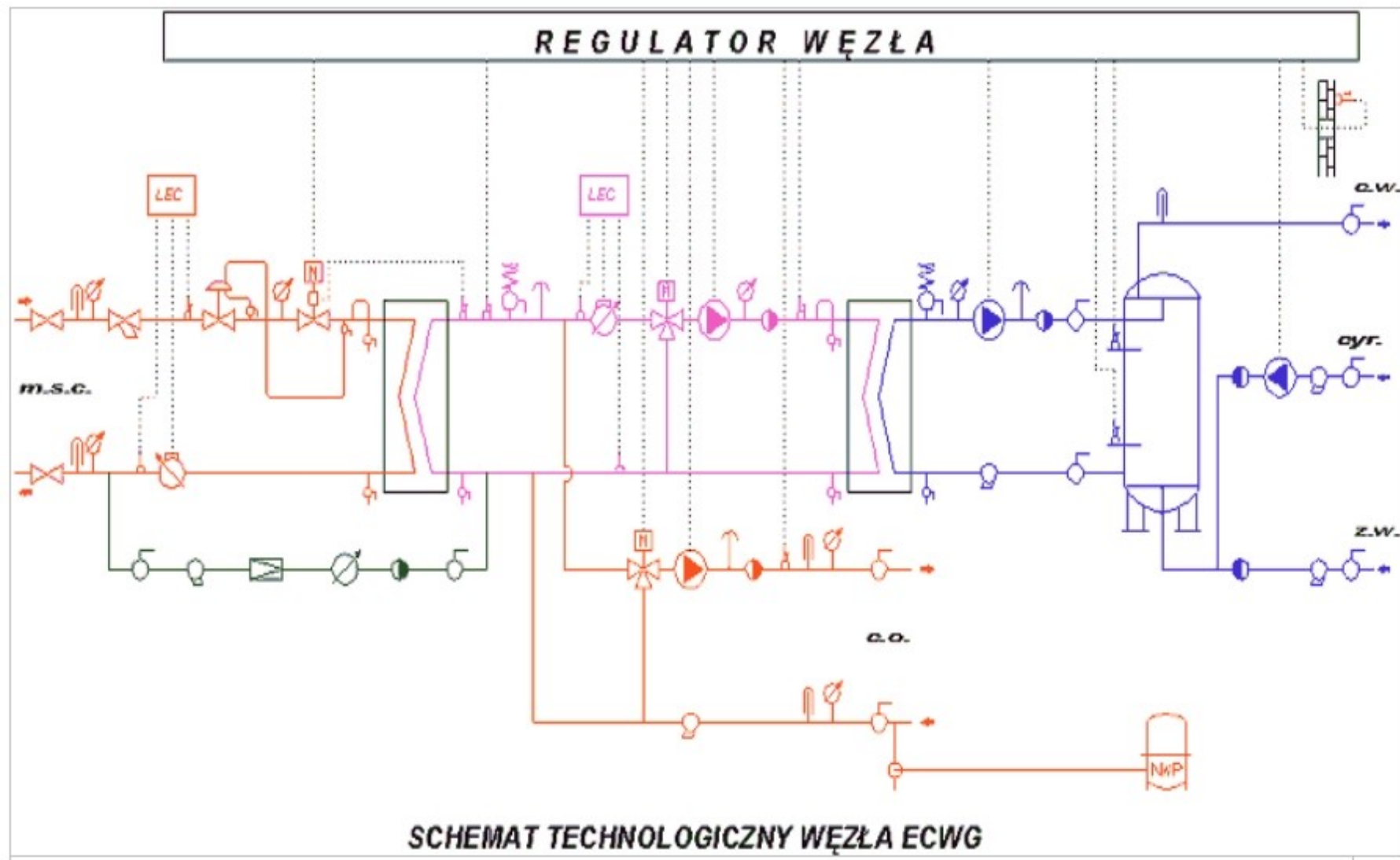
### Wyznaczanie mocy źródła

Dla podgrzewaczy przypiływowych bez zasobników moc źródła musi zapewnić bieżące podgrzanie strumienia wody przepływającej przez podgrzewacz. Często, w domach jednorodzinnych, wyposażonych w dwufunkcyjne kotły gazowe pracujące bez zasobnika cwu, moc kotła dobierana jest nie pod potrzeby centralnego ogrzewania, ale pod potrzeby cwu. Przykładowo, przyjmując, że mamy zapewnić ciepłą wodę w dwóch kranach jednocześnie moc kotła pracującego dla potrzeb cwu wyniesie 25-30 kW, a ogrzewanie budynku wykonanego w nowej technologii ( $U$  ścian poniżej 0,2 W/m<sup>2</sup>\*K i okna o współczynniku 1,1 W/m<sup>2</sup>\*K) o powierzchni 200 m<sup>2</sup> potrzebuje moc grzewczą dla warunków obliczeniowych (dla Opola jest to – 20°C) ok. 10 kW. Zawsze takie kotły pracują z tzw. priorytetem ciepłej wody. Oznacza to, że w przypadku, gdy podgrzewana jest ciepła woda, cała moc kotła przekazywana jest dla tego celu, a centralne ogrzewanie jest w tym momencie pozbawione energii. System „priorytetu ciepłej wody” można także wykorzystywać w dużych instalacjach wyposażonych w odpowiednie zasobniki ciepłej wody. Jest to bardzo ciekawy układ z punktu widzenia kosztów związanych z mocą zamówioną w systemach miejskich... W tym wypadku moc zamówiona na cele podgrzewu cwu wyniesie... 0 kW, gdyż moc zamówiona dla c.o. w zupełności wystarcza na

pokrycie wszystkich potrzeb cieplnych budynku (w dużych budynkach moc zamówiona na c.o jest, co najmniej, dwa-trzy razy większa niż dla cwu). Układ z priorytetem cwu powoduje, że w przypadku poborów szczytowych cwu (godziny ranne 6-8 i wieczorne 19-21), cała moc węzła cieplnego (w formie przepływu wody grzewczej) może być wykorzystana dla celów podgrzania cwu, kosztem przerwy w dostawie ciepła dla potrzeb ogrzewania budynku. Zauważmy, bowiem, że nawet jak przerwa w ogrzewaniu dużego budynku wyniesie 1-2 godziny, to nie zdąży on „odczuwalnie” utracić swej energii zgromadzonej w instalacji oraz w przegrodach i wyposażeniu (jest to wykorzystanie tzw. pojemności cieplnej instalacji i budynku); takiej przerwy w braku ogrzewania (przy pracującej pompie obiegowej c.o.), w zasadzie, nie odczujemy. Po zakończonym szczycie poboru cwu, budynek zostanie szybko dogrzany do wymaganej temperatury.

Na schemacie poniżej pokazujemy przykładowy węzeł cieplny dwufunkcyjny z priorytetem cwu. Przy poborach szczytowych cwu, dostarczanie energii przez zawór trójdrogowy c.o. zostaje ograniczone lub wręcz wstrzymane; pompa obiegowa pracuje w sposób ciągły.

W układach takich ważna jest pojemność zasobników, które muszą zapewnić odpowiednią ilość cwu na szczytowe pobory. Najlepiej jak pojemność tych zbiorników jest równa dwugodzinnemu średniemu przepływowi cwu w ciągu doby.



Moc źródła cwu

Metodykę wyznaczania mocy źródła (lub mocy zamówionej) opisano w [Załączniku Moc cwu](#). W załączniku tym przedstawiono także przykładowe propozycje zmian, które spowodują obniżenie kosztów dostawy cwu o ok. 50%.

Zawyżanie mocy zamówionej na cele cwu przez dostawców ciepła jest powszechne i dotyczy ok. 90% węzłów cieplnych. Wynika

to z faktu stosowania znacznie zawyżonej „starej” normy zużycia dobowego cwu (110 dcm<sup>3</sup>/dobę/osobę). Zastosowanie przedstawionego algorytmu wyznaczania mocy zamówionej może być podstawą do wystąpienia do dostawcy ciepła o obniżenie tej mocy... uwaga: zgodnie z prawem, wielkość mocy zamówionej na cele ogrzewania i cwu wyznacza ODBIORCA energii, a nie jej DOSTAWCA - korzystajmy z tego prawa!

Wzór na moc jednogodzinową (liczoną dla przepływu ciepłej wody w ciągu jednej godziny):

$$\Phi_{cw} = V_{h\acute{s}r} * c_w * (\Phi_{cw} - \Phi_z) * N_h * 0,278 \text{ (kW)}$$

Gdzie:

$V_{h\acute{s}r}$  – średni strumień cwu w m<sup>3</sup>/h w ciągu czasu użytkowania cwu w dobie (np. dla „mieszkaniówki” czas użytkowania wynosi 18 godzin, dla biur może być 8h, dla szkoły 12h) wyliczany, jako iloraz zużycia dobowego cwu (w m<sup>3</sup>) i czasu użytkowania cwu.

$c_w$  – ciepło właściwe wody przyjmowane, jako 4,19 kJ/(kg\*K)

$\Phi_{cw}$  – temperatura cwu w °C (w zasadzie powinno być w Kelwinach)

$\Phi_z$  - temperatura wody zimnej w °C przyjmowana, jako 10°C

0,278 jest jednostką przeliczeniową, gdyż moc chcemy policzyć w kW

$N_h$  – współczynnik nierównomierności rozbioru wyliczany wzoru:

$$N_h = 9,32 * U^{(-0,244)}$$

gdzie U jest liczbą mieszkańców

Współczynnik  $N_h$  uwzględnia ilość osób korzystających z ciepłej wody (z danego źródła); im większa liczba osób, tym współczynnik ten będzie mniejszy; chodzi o to, że im więcej osób mieszka w danym budynku tym mniejsze jest prawdopodobieństwo, że wszyscy na raz będą korzystali z ciepłej wody (oczywiście chodzi o scentralizowane układy dostawy ciepłej wody).

Przykładowe wartości tego współczynnika przedstawia poniższa tabela:

Liczba osób	1	2	4	8	20	50	100	200	500	1000
$N_h$	9,32	7,87	6,65	5,61	4,49	3,59	3,03	2,56	2,05	1,73

Modernizacja układu ciepłej wody jest kolejnym krokiem w ramach termomodernizacji budynku. Nierzadko koszty modernizacji zwracają się w bardzo krótkim okresie czasu. Warto zwrócić uwagę na „bezinwestycyjne” możliwości oszczędzania energii na cwu związanych np. z obniżeniem temperatury cwu z 55°C do 50°C (w domach jednorodzinnych

można nawet do 45°C).

Pytania:

1. Dlaczego kotły kondensacyjne mogą osiągać sprawność powyżej 100%?
2. Rodzina zużyła 50m<sup>3</sup> cwu na rok, korzystając z miejskiego systemu ciepłowniczego. Policz ilość energii, którą zużyje ta rodzina przy założeniu sprawności końcowej wynoszącej 70%. Jaka będzie oszczędność energii przy założeniu wprowadzenia jednej baterii termostatycznej w prysznicu (w mieszkaniu nie ma wanny) oraz baterii jednouchwytowych w dwóch kranach? Dla ceny 50 zł/GJ policz prosty czas zwrotu inwestycji. Przyjmij, że temperatura cwu wynosi 55°C.
3. Policz ile gazu zużyje podgrzewacz przepływowy o sprawności 45% przy zużyciu 50m<sup>3</sup> wody. Jaki będzie roczny koszt dostawy cwu, jeżeli cena gazu wynosi 2zł. Policz roczny koszt dostawy cwu, jeżeli wymienimy „stary junkers” na podgrzewacz gazowy z zapalnikiem elektrycznym. Sprawność nowego podgrzewacza przyjmij, jako średnią na podstawie danych Rozporządzenia o metodyce wykonywania charakterystyk energetycznych.
4. Co to jest perlator i jak działa?