EINSTEIN
thermal energy
industry audit

System Ekspercki dla Inteligentnych Rozwiązań z Zakresu Zaopatrzenia w Energię Cieplną Zakładów Przemysłowych

Przewodnik po Audycie Energetycznym EINSTEIN

Intelligent Energy Europe

Wspierany przez program Inteligentna Energia – Program dla Europy (EIE)
(Numer kontraktu: EIE/07/210/S12.466708)

Koordynator Projektu:	Prof. Dr Hans Schnitzer JOANNEUM RESEARCH - Institute for Sustainable Techniques and Systems, Austria
Partnerzy:	Joanneum Research (Austria); DMA – Sapienza - Uniwersytet Rzymski (Włochy); Wydział Chemii i Inżynierii Chemicznej - Uniwersytet w Maribor (Słowenia); Austrian Energy Agency (Austria); Enviros s.r.o. (Republika Czeska); Punto Energia (Włochy); Steng-National Cleaner Production Centre Ltd. (Słowenia); KAPE S.A. (Polska); energyXperts.BCN (Hiszpania); Cámara de Comercio de Madrid (Hiszpania); COGEN Europe (Belgia); Ajuntament de Sabadell (Hiszpania)
Strona www:	www.iee-einstein.org

Przewodnik po Audycie Energetycznym EINSTEIN

Wersja: draft v0.18 (ostateczny szkic do tłumaczenia)
Data ostatniego sprawdzenia: 18/09/2008

Koordynator:
Hans Schweiger, energyXperts.BCN, Barcelona, Hiszpania

Autorzy :

Autor(rzy)	Instytucja/Firma	Autor odpowiedzialny za rozdział(y)	E-Mail
Hans Schweiger Stoyan Danov	energyXperts.BCN, Spain	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6, 3.6.1-3.6.4, 3.7.3,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.4	hans.schweiger@energyxperts.net stoyan.danov@energyxperts.net
Claudia Vannoni Enrico Facci	Uniwersytet Rzymski, Włochy	1, 2.1-2.4, 3.5.1-3.5.3, 3.6.1-3.6.2, 3.7.3, 4.2, 4.4	claudia.vannoni@uniroma1.it
Bettina Slawitsch Christoph Brunner	Joanneum Research, Austria	2.5-2.6, 3.5.4, 3.7.1-3.7.2, 3.7.3.6, 3.9, 4.3	bettina.slawitsch@joanneum.at christoph.brunner@joanneum.at
Damjan Krajnc	Uniwersytet w Maribor, Słowenia	3.5.4, 3.6.5	dkrajnc@uni-mb.si
Konstantin Kulterer	Austrian Energy Agency, Austria	3.1	konstantin.kulterer@energyagency.at
Thomas Bouquet Stefan Craenen	COGEN Europe	3.7.3.3	thomas.bouquet@coneneurope.eu stefan.craenen@cogeneurope.eu

Pełen tytuł projektu: System Ekspercki dla Inteligentnych Rozwiązań z Zakresu Zaopatrzenia w Energię Cieplną Zakładów Przemysłowych
Akronim projektu: EINSTEIN
Numer kontraktu: EIE/07/210/S12.466708
Koordynator Projektu: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr techn. Hans Schnitzer
JOANNEUM RESEARCH - Institute for Sustainable Techniques and Systems
Elisabethstrasse 16, A-8010 Graz (Austria)
e-mail: hans.schnitzer@joanneum.at

Praca na licencji Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0 Unported License. Aby zobaczyć odpis licencji, wejdź na http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/

Możesz:

Rozpowszechniać — kopiować, dystrybuować i przekazywać tę pracę dalej

Przerabiać — dopasowywać tę pracę do swoich potrzeb

Pod warunkiem zachowania poniższych:

Powoływanie się. Musisz powoływać się na tę pracę w sposób określony przez autora bądź licencjodawcę (ale nie w sposób, który sugerowałby że popierają oni ciebie bądź twoje użycie tej pracy).

Nie możesz używać tej pracy w celach komercyjnych.

Rozpowszechniania. Jeśli zmienisz bądź rozbudujesz tę pracę, swoją wersję możesz rozpowszechniać wyłącznie na podstawie takiej samej bądź podobnej licencji.

Zastrzeżenie

Odpowiedzialność za treść niniejszej publikacji spoczywa na jej autorach. Nie przedstawia ona opinii Wspólnoty. Komisja Europejska nie jest odpowiedzialna za użycie informacji tu zawartych.

Podziękowania

Metodologia audytów EINSTEIN oraz służące jej narzędzia zostały opracowane w ramach europejskiego projektu „EINSTEIN (Expert-system for an Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry)" finansowanego przez Komisję Europejską.

Ponadto, część opracowania wspierana była przez *Generalitat de Catalunya* (Hiszpania), Wydział d'Educació i Universitats. Stypendium *Beatriu de Pinòs* Nr 2006 BP-B2 0033.

Spis treści

Wstęp 6

1 Metodologia audytu energetycznego EINSTEIN – podstawy 7

1.1 Energia cieplna w przemyśle 7
1.2 Pole zastosowania 8
1.3 Integralne podejście do wydajności energii 8
1.4 Zalety procedury audytu EINSTEIN 9
1.5 Narzędzia EINSTEIN 10
1.6 Przekrój przewodnika 11

2 $E = mc^2$. Założenia teoretyczne EINSTEIN 13

2.1 Energia, wydajność energii i jej odnawialność 13
2.2 Przepływy energii w przemyśle – definicje 16
2.3 Poziomy temperatury w instalacji ciepłowniczej 22
2.4 Modele procesów technologicznych i krzywe zapotrzebowania 23
2.5 Zintegrowana gospodarka cieplna oraz analiza pinch 27
2.6 Ocena kosztów łącznych - TCA 35

3 Jak wdrożyć audyt energetyczny EINSTEIN? 38

3.1 Wstępne kontakty: motywowanie 40
3.2 Gromadzenie danych przed audytem 43
3.3 Przygotowanie audytu: przetwarzanie informacji wstępnych 46
3.4 Preewaluacja quick-and-dirty 49
3.5 Wizyta na miejscu (lub jako alternatywa: ponowne zbieranie szczegółowych informacji na odległość) 51
3.6 Analiza status-quo 57
3.8 Kalkulacja sprawności systemu energetycznego i ocena wpływu na środowisko 87
3.9 Analiza ekonomiczna i finansowa 90
3.10 Raporty i prezentacja 93
3.11 Wspólna nauka 96
3.12 Kontynuacja 97

4 Przykłady 98

4.1 Ogólna procedura 98
4.2 Sprawdzenie spójności i estymacja danych 105
4.3 Odzyskiwanie ciepła: przykład mleczarni 112

Nomenkaltura 117

Załącznik: Kwestionariusz podstawowy programu EINSTEIN 118

„Nie jest wystarczającym zrozumienie zastosowań nauki w celu zwiększenia poprzez swoją pracę dobrodziejstw człowieka. Troska o samego człowieka i jego los musi zawsze stać w centrum zainteresowania wszystkich wysiłków technicznych, troska o te wielkie nierozwiązane problemy organizacji pracy i podziału dóbr – tak, aby dzieła naszych umysłów były błogosławieństwem a nie przekleństwem rodzaju ludzkiego. Nigdy nie zapominajcie o tym pośród swoich diagramów i równań."

Albert Einstein

Z mowy skierowanej do studentów Kalifornijskiego Instytutu Technicznego, 1931 r.

Wstęp

Popyt na energię cieplną (ciepło i zimno) w przemyśle stanowi 20% całkowitego ostatecznego zapotrzebowania na energię w Europie. Mimo tego, że wydajność energetyczna w przemyśle w Europie uległa poprawie w ciągu ostatnich dziesięcioleci, nadal istnieje olbrzymi niewykorzystany potencjał redukcji popytu na energię, która mógłaby zostać osiągnięta dzięki inteligentnemu połączeniu istniejących rozwiązań i technologii. Do optymalizacji zaopatrzenia w energię cieplną potrzebne jest całościowe, integralne podejście łączące możliwość redukcji popytu poprzez odzyskiwanie ciepła i integrację procesów oraz inteligentne połączenie istniejących i dostępnych technologii dostawy ciepła (i chłodu) przy konkretnych ograniczeniach finansowych.

Metodologia audytu termicznego EINSTEIN opisana w niniejszym dokumencie została opracowana w ramach europejskiego (Intelligent Energy Europe - IEE) projektu EINSTEIN. Projekt ten jest owocem wcześniejszej współpracy partnerów projektu *Joanneum Research (Austria)*, *Uniwersytetu Rzymskiego (Włochy)* i *energyXperts.BCN (Hiszpania)* w latach 2003-2007 w ramach programów IEA (International Energy Agency) Solar Heating and Cooling oraz SolarPACES, Task 33/IV - Solar Heat for Industrial Processes (www.iea-ship.org). Podstawowe elementy i założenia składające się na tą metodologię zostały wcześniej stworzone w ramach europejskiego (5^{th} Framework Programme) projektu POSHIP (The Potential of Solar Heat for Industrial Processes) i austriackiego projektu narodowego PROMISE (Produzieren mit Sonnenenergie).

Jednym z ciekawych aspektów grupy badawczej IEA - Task 33/IV była *interdyscyplinarna współpraca* ekspertów w dziedzinie *technologii odnawialnej energii* (słonecznej energii cieplnej) z jednej strony, z drugiej zaś *inżynierów procesu.* Podczas pracy nad kilkoma przypadkami w przemyśle w ramach Task 33/IV wyraźny stał się brak odpowiednich narzędzi audytu dostawy energii cieplnej w przemyśle:

- *złożoność* problemu optymalizacji dostawy energii cieplnej wymaga połączenia znajomości technologii procesu, integracji procesu i technik odzysku ciepła, oraz szerokiej wiedzy nt. innych wydajnych technologii dostawy ciepła i chłodu również dotyczących energii odnawialnej.

- często kontrastuje to zarówno z *brakiem dostępnego czasu* na szybkie audyty bądź pierwszymi ogólnymi powierzchownymi badaniami wykonalności i *brakiem wiedzy* zatrudnionych techników. W konkretnym przypadku projektów wykorzystania energii słonecznej badanych w ramach IEA - Task 33/IV, to brak wiedzy zatrudnionych specjalistów ds. energii słonecznej nt. technologii procesu, integracji ciepła i ogólnych aspektów dostawy ciepła dla przemysłu. Ale problem dotyczy raczej ogólnej natury: ciężko wymagać od jednej osoby, zwłaszcza młodszego technika często zatrudnionego przy audycie energetycznym, znajomości tak wielu teorii technologii, jaka potrzebna jest do zaprojektowania prawdziwie integralnych i zoptymalizowanych rozwiązań.

W związku z powyższym, w oparciu o doświadczenie praktyczne zaczerpnięte podczas wielu audytów energetycznych w różnych sektorach przemysłu, metodologie audytu używane przez różnych partnerów standaryzowały się doprowadzając do wypracowania tego, co tu przedstawiamy jako metodologię audytu EINSTEIN.

Co więcej, rozwinęliśmy kilka narzędzi, które umożliwią szybki dostęp do potrzebnych informacji oraz pół-automatykę wymaganych obliczeń i decyzji projektowych (system ekspercki), od prostych arkuszy kalkulacyjnych, po narzędzia programowe odnoszące się do konkretnych kwestii. Większość tych narzędzi została zintegrowana z oprogramowaniem EINSTEIN, na którym opiera się metodologia audytu EINSTEIN. Wprowadzenie tej metodologii w formie pełnego zestawu narzędzi do przeprowadzania audytu, w którego skład wchodzi specjalistyczny system narzędzi softwarowych sprawia, że jest on łatwy w użyciu, dystrybucji i pomaga oszczędzić czas (a przez to obniżyć koszty) a także przyczynić się do standaryzacji (a przez to jakości) audytów energetycznych.

Oprogramowanie EINSTEIN razem z uzupełniającymi je danymi baz jest opracowywane jako darmowy projekt oprogramowania typu open source dostępny we wszystkich językach projektu[1] na stronie internetowej projektu bądź u któregokolwiek członka konsorcjum. Ufamy, że taka forma dystrybucji doprowadzi do powszechnego użycia w środowisku przez audytorów energetycznych, inżynierów, konsultantów i badaczy zajmujących się dostawą energii termicznej dla przemysłu, i że obecna wersja będzie wciąż udoskonalana nowym doświadczeniem i wkładem ze strony środowiska.

[1] *angielski, kataloński, czeski, niemiecki, włoski, polski, słoweński, hiszpański*

Metodologia audytu energetycznego EINSTEIN – podstawy

Energia cieplna w przemyśle

Popyt na energię cieplną (ciepło i zimno) w przemyśle (dane z roku 2002: około 2 300 TWh/8400 PJ) przekłada się na około 28 % całkowitego zapotrzebowania na energię finalną (Tabela 1) i 21% emisji CO2 w Europie[2].

Tabela 1. Dystrybucja ostatecznego zapotrzebowania na energię w Unii Europejskiej w roku 2002. Źródło: EU Green Paper on energy efficiency.

2002	Buildings (residential and tertiary		Industry		Transport		All final demand sectors	
	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand
Solid fuels	12.2	1.1	38.7	3.6	0.0	0.0	50.9	4.7
Oil	96.8	8.9	46.9	4.3	331.5	30.6	475.2	43.9
Gas	155.6	14.4	105.4	9.7	0.4	0.0	261.5	24.2
Electricity (incl. 14 % from RES)	121.3	11.2	91.2	8.4	6.0	0.6	218.5	20.2
Derived heat	22.8	2.1	7.5	0.7	0.0	0.0	30.3	2.8
Renewables	29.0	2.7	16.2	1.5	1.0	0.1	46.2	4.3
Total	437.8	40.4	306.0	28.3	338.9	31.3	1082.6	100.0

Nawet pomimo tego, iż wydajność energetyczna w przemyśle w Europie uległa polepszeniu w ciągu ostatnich dekad, nadal istnieje niewykorzystany potencjał redukcji popytu na energię, która mógłaby zostać osiągnięta dzięki inteligentnemu połączeniu istniejących rozwiązań i technologii. W Unijnym Green Paper for Energy Efficiency potencjał oszczędnościowy w przemyśle (bez kogeneracji) został oszacowany na sięgający 350 TWh/1260 PJ [European Commission, Green Paper on Energy Efficiency 2005]. Plan działania Komisji Europejskiej dotyczący wydajności energii wskazuje, iż 40% unijnych celów Kyoto musi zostać osiągniętych przez podniesienie wydajności energii.
Poprawa wydajności energii prowadzi nie tylko do oczywistych korzyści dla środowiska naturalnego, ale także jest atrakcyjna dla przemysłu z finansowego punktu widzenia: w wielu przypadkach okres zwrotu wynosiłby od kilku miesięcy do paru lat. W typowym małym bądź średnim przedsiębiorstwie, energia stanowi od 3% do 12% kosztów prowadzonej działalności a potencjał oszczędzania energii wynosi od 15% do 30% [E-Check 2006]. Mimo to odpowiednie inwestycje nie są realizowane często z niektórych z poniższych przyczyn:

- Brak wiedzy ze strony przedsiębiorstw nt. dostępnych rozwiązań umożliwiających wydajną gospodarkę energetyczną.

- Koszty energii, mimo tego, iż są istotne, nie są przez firmy traktowane priorytetowo. Inwestycje związane z energią konkurują z inwestycjami mającymi na celu polepszenie produkcji i produktów, co prowadzi do sytuacji, w której nie inwestuje się w zachowanie energii: nawet pomimo faktu, iż przyniosłoby to oszczędności, dostępne środki finansowe wykorzystywane są na inne cele.

- Co więcej, większość przedsiębiorstw przemysłowych nie postrzega energii jako osobnej kwestii, ale jako składową szerszych zagadnień takich jak koszty produkcji, ochrona środowiska, bezpieczeństwo i produktywność. Wydajność energii konkuruje z innymi kwestiami w zakresie ograniczonych środków w przedsiębiorstwie. Środkiem najczęściej przywoływanym jest kapitał, jednak czas pracy może mieć równą bądź większą wagę. Redukcje korporacyjne doprowadziły do tego, iż brakuje osób, które zajęłyby się tymi problemami.

[2]Liczba zawiera energię elektryczną wygenerowaną w przemyśle. Źródło: http://ghg.unfccc.int. Całkowite spalanie paliwa przez przemysł fabryczny i budowlany w UE w roku 2002: 583.070 Mio t CO_2

- Mały (zerowy) budżet dostępny na audyt energetyczny.

- Nawet w przypadkach, gdy audyt energetyczny jest przeprowadzany, audytorzy często posiadają ograniczoną wiedzę nt. możliwości technologicznych i nie ważą się bądź nie posiadają możliwości, by zaproponować niekonwencjonalne, innowacyjne rozwiązania.

Metodologia audytu energetycznego EINSTEIN ma na celu pokonanie niektórych z wyżej wymienionych barier i przyczynienie się do szerokiego zastosowania integralnych, energetycznie wydajnych rozwiązań dostawy energii termicznej.

Pole zastosowania

Metodologia audytu energetycznego EINSTEIN skupia się na gałęziach przemysłu z wysokim zapotrzebowaniem na energię (ciepło i zimno) o niskiej i średniej temperaturze do 400 ºC, takich jak:

- przemysł spożywczy
- obróbka powierzchni metali
- branża drzewna
- wiele innych sektorów przemysłu (papierniczy, chemiczny, farmaceutyczny, tekstylny, itd.)

Korzyści płynące z EINSTEIN są szczególnie duże dla małych i średnich przedsiębiorstw, gdzie koszty tradycyjnych audytów o podobnej wnikliwości i jakości stanowią poważną barierę dla wprowadzenia technologii wydajnego zarządzania energią.

Nawet jeśli metodologia EINSTEIN skupia się na popycie na ciepło i zimno *w przemyśle*, znaczna część opracowanej metodologii może zostać zastosowana przez innych średnich i dużych konsumentów ciepła i chłodu, takich jak:

- regionalne sieci grzania i chłodzenia, łącznie z integracją zapotrzebowania w formie zcentralizowanej generacji mocy i ciepła dla zgrupowanego przemysłu bądź sieci zrzeszających przedsiębiorstwa przemysłowe z innymi sektorami

- budynki w trzeciorzędowym sektorze, takie jak duże biurowce, centra handlowe, hotele, szpitale, centra konferencyjne, szkoły, spa, itd.

- inne instalacje używające energii cieplnej takie jak odsalarki wody morskiej czy oczyszczalnie ścieków, i in.

Integralne podejście do wydajności energii

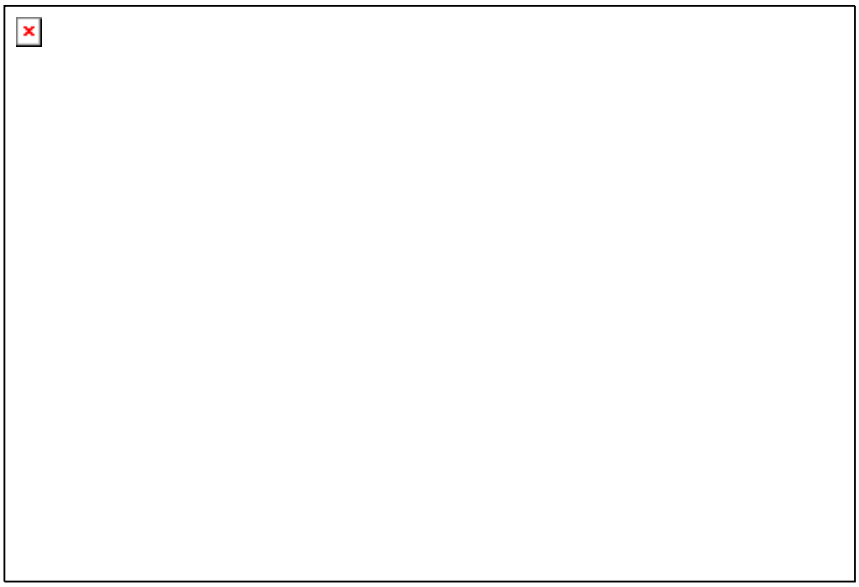
Aby zoptymalizować dostawę energii cieplnej potrzebne jest **całościowe, integralne podejście** (Wykres 1) obejmujące:

- Możliwość **redukcji popytu** poprzez optymalizację procesu i zastosowanie konkurencyjnych, zużywających mniej energii technologii.

- **Kroki podjęte ku wydajności energii** – odzysk ciepła i integracja procesu

- **Inteligentne połączenie dostępnych technologii dostawy ciepła i chłodu** (wydajne bojlery i piece, kogeneracja, pompy grzewcze), **łącznie z** zastosowaniem **energii odnawialnej** (szczególnie odpowiednie do zastosowania cieplnego są biomasa i energia słoneczna).

- Wzgląd na konkretne ograniczenia finansowe.



Wykres 1: Holistyczne podejście do audytów energii cieplnej („okiem EINSTEIN") łączące redukcję popytu, odzysk ciepła, integrację procesu i inteligentne połączenie technologii dostawczej.

Zalety procedury audytu EINSTEIN

W przeciwieństwie do wielu aspektów zużycia energii elektrycznej w przemyśle przez pompy, silniki, itp., gdzie często lista zaleceń i standardowych środków może dać dobre wyniki, zadanie zoptymalizowania dostawy energii *cieplnej* jest raczej złożone z technicznego punktu widzenia:

- W wielu przedsiębiorstwach, zwłaszcza małych i średnich, jedynie nieliczne i ogólne informacje nt. rzeczywistego zużycia energii są dostępne (rachunki za paliwo, techniczne dane nt. bojlerów, itp.). Zużycie przy poszczególnych procesach i podprocesach, więc albo musi być obliczane albo określone według pomiaru kosztów i czasochłonności.

- Wykorzystanie istniejącego potencjału odzysku ciepła często wymaga integracji wielu procesów o różnym poziomie temperatury i różnych harmonogramach działania (integracja wymiany ciepła i zachowanie ciepła)

- Różne dostępne technologie dostawy ciepła muszą zostać połączone w celu osiągnięcia optymalnych rozwiązań

Techniczna złożoność problemu, którym się zajmiemy, kontrastuje z zapotrzebowaniem na niskonakładową, a przez to szybką metodologię oceny. To jeden z głównych powodów, dla których potencjał oszczędności energii cieplnej jest nadal znacznie rzadziej poruszany niż kwestia potencjału oszczędności elektryczności.

W celu pokonania tych ograniczeń, zestaw narzędzi EINSTEIN używa założeń opisanych poniżej - pozwala przetwarzać dane i generować propozycje dla typowych małych i średnich przedsiębiorstw o średniej złożoności w przeciągu 4 – 8 godzin czasu pracy młodszego specjalisty. Głównymi zaletami zestawu narzędzi EINSTEIN prezentowanych przez Wykres 2 są poniższe:

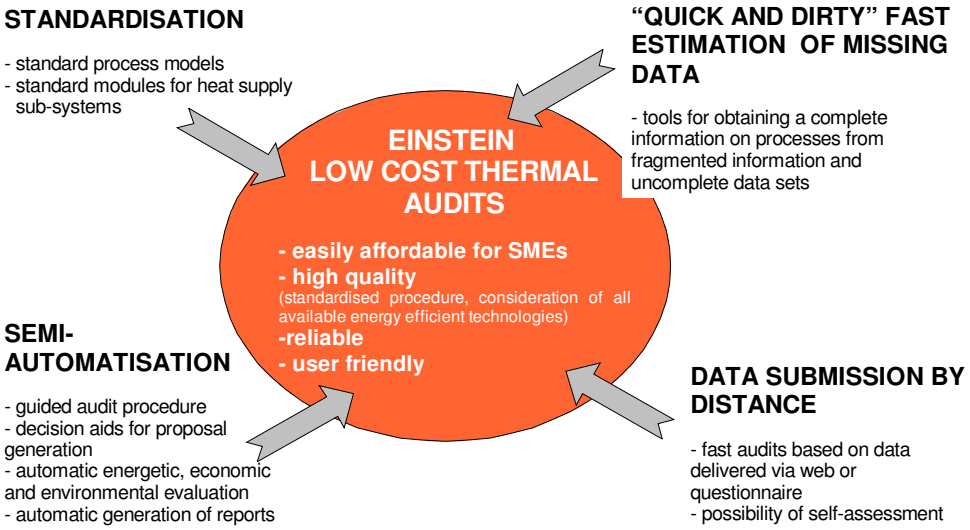
- **standaryzacja problemu i możliwych rozwiązań**: zarówno pozyskiwanie danych jak i generowanie propozycji przeprowadzane są z użyciem uśrednionych modeli pracy (procesów) jednostek odzwierciedlających typowe procesy przemysłowe mające zastosowanie w gałęziach przemysłu, do których odnosi się ten projekt; i uśrednione modele podsystemów dostawy ciepła i zimna.

- **szacunek „quick and dirty": pomoc w ocenie i obliczeniach niedostępnych, acz niezbędnych danych** nt. zapotrzebowania na ciepło. W wielu przypadkach, choćby przybliżone wartości zapotrzebowania na ciepło przez różne procesy mogą stać się dostępne dzięki połączeniu kilku różnych – często niekompletnych, fragmentarycznych a czasem jedynie jakościowych – informacji zebranych podczas wizyt i wywiadów z załogą techniczną przedsiębiorstw. Te często rozległe i

czasochłonne kalkulacje niezbędne do przetworzenia danych mogą zostać znacząco skrócone dzięki zastosowaniu ograniczonych danych jako założenia nt. standardowych procedur. Tym sposobem mniej niż godzina obliczeń może często zastąpić pomiar na miejscu, z wystarczającą dokładnością także dzięki wewnętrznemu systemowi powtórnego sprawdzania danych, chociażby na etapie przedprojektowym.

- **półautomatyzacja procedury audytu i generacja propozycji**: narzędzie programowe EINSTEIN składa się z baz danych, np. zawierających parametry techniczne standardowych komponentów, i wspiera proces decyzyjny, tak więc także technicy nie posiadający specjalnych umiejętności będą w stanie używać narzędzia do radzenia sobie z raczej złożonymi problemami. Punkty odniesienia pomogą użytkownikowi ocenić stan zarówno przed jak i po wprowadzeniu sugerowanych zmian. Zawarte są także listy weryfikacyjne i standardowe pomiary. Raporty z audytu generowane są automatycznie przez narzędzie, w formacie, w którym mogą one bezpośrednio zostać dostarczone przez audytora zewnętrznego do klienta albo przez sam dział techniczny do dyrektora zakładu.

- **przedstawianie danych za pomocą Internetu bądź krótkiego kwestionariusza**: Biorąc pod uwagę, iż w wielu przypadkach dla powierzchownej oceny wystarczy przetworzyć niewiele danych, *krótki* kwestionariusz został stworzony w oparciu o wzór zbierania danych już opracowany przez POSHIP i zaadaptowany przez JR w IEA - Task 33. Pozwala on na zebranie danych in situ i w tym przypadku może łatwo zostać uzupełniony telefonicznie. Kwestionariusz ten jest dostępny na stronie internetowej umożliwiając tym samym przekazanie danych na odległość; zostanie także stworzona uproszczona procedura dotycząca samooceny.



Wykres 2: Przekrój funkcji audytu energetycznego EINSTEIN dla szybkich i niskonakładowych, acz wysokiej jakości audytów energii cieplnej.

Narzędzia EINSTEIN

Zestaw narzędzi EINSTEIN opiera się na narzędziu programowym wspomagającym proces decyzyjny i dostarczającym wskazówek tworząc kompletny **system ekspercki[3] do audytowania energii cieplnej.** Ten łatwy w użyciu program komputerowy, wraz z przewodnikiem po audycie EINSTEIN tworzą **zestaw narzędzi dla audytu energetycznego**, który przeprowadzi doradcę przez całą procedurę od audytu (przygotowania wizyty i zebrania danych), poprzez przetworzenie danych, aż do opracowania, zaprojektowania i ilościowej (energetycznej i ekonomicznej) ewaluacji alternatywnych rozwiązań.

[3] **systemy eksperckie** to „*klasa programów komputerowych (...) składających się z zestawu reguł analizujących informacje (zwykle dostarczone przez użytkownika programu) (...), dostarczają analizę problemu(ów), i (...) sugerują użytkownikowi sposób działania (...).*" (wikipedia.org).

Podstawowy system ekspercki i podręcznik dostępne są nieodpłatnie w formie oprogramowania typu **open source** (www.sourceforge.net/projects/einstein). Tego typu oprogramowanie było jak do tej pory bardzo szeroko rozpowszechniane i wciąż udoskonalane, naprawiane i aktualizowane przez użytkowników [FLOSS 2002].

Zestaw narzędzi EINSTEIN pozwala wygenerować rozwiązania umożliwiające oszczędność energii cieplnej i środków finansowych za pomocą systemu eksperckiego o przyjaznym użytkownikowi i łatwym w obsłudze interfejsie.

Program systemu eksperckiego zawiera poniższe moduły:

a) Blok do pozyskiwania i przetwarzania danych

Pozyskiwanie danych opiera się głównie na krótkim kwestionariuszu. Dodatkowy moduł pomaga audytorowi oszacować niedostępne dane. Odnośnik do matrycy zawierającej informacje nt. najlepszych praktyk i wzorców pomoże ocenić aktualną sytuację w przedsiębiorstwie.

b) Blok do generowania nowych propozycji

Ten blok opiera się na module optymalizacji procesu i module odzysku ciepła, które pomagają projektować i optymalizować sieć właściwej wymiany ciepła dla odzysku ciepła i integracji procesu, oraz moduł zaopatrzenia w ciepło i zimno, co pomaga w wyborze i pomiarze najodpowiedniejszego sprzętu dostawczego i systemu dystrybucji ciepła i chłodu.

c) Blok do oceny nowej propozycji pod względem energetycznym, ekonomicznym i środowiskowym

Wydajność energetyczna systemu jest określana przez moduł z uproszczonym systemem. Oparta na ocenie wydajności energii, ocena ekonomiczna i środowiskowa jest generowana automatycznie przez moduł TCA – *analiza kosztów całkowitych*.

d) Blok generujący raporty prezentujące nowe propozycje dla przedsiębiorstw

Automatyczne raporty są generowane w formacie, który pozwala na bezpośrednie przedstawienie ich przedsiębiorstwu. Raport zawiera informacje nt. projektu technicznego nowych propozycji, ich kosztów i sposobów finansowych na ich wprowadzenie.

W tych momentach, w których należy powziąć decyzje, system ekspercki poprowadzi audytora przy pomocy help menu, sugestii dotyczących najlepszych wyborów, itd. Ta pomoc wraz z przewodnikiem po audycie energetycznym wraz z zaleceniami i najlepszymi praktykami sprawia, że narzędzia te dostępne są dla użytkowników niebędących specjalistami.

Przekrój przewodnika

Rozdział 2 niniejszego przewodnika po audycie stanowi wprowadzenie do założeń teoretycznych użytych w metodologii audytu EINSTEIN. Rozdział ten jest niezbędny dla zrozumienia szczegółów kolejnych kroków audytu i procedur kalkulacyjnych.

Rozdział 3 opisuje metodologię audytu EINSTEIN krok po kroku, w porządku chronologicznym od pierwszego kontaktu z przemysłem aż do dostarczenia raportu z audytu i uzupełnienia. Dla każdego z kroków audytu podkreślone zostały główne jego aspekty, na które powinno się zwrócić uwagę.

Rozdział 4 opisuje przykłady praktycznego zastosowania metodologii audytu EINSTEIN.

Metodologia audytu EINSTEIN opiera się na narzędziu programowym, które pozwoli Ci wykonać niezbędne obliczenia i poprowadzi Cię przez kolejne kroki audytu. W aneksie do tego przewodnika znajdziesz instrukcję użytkownika tego narzędzia.

Odnośniki Rozdział 1:

[1] European Commission (2005): “Doing more with Less: Green Paper for Energy Efficiency”, Brussels, p.31.

[2] E-Check in CRAFT-SME (2006): Energy Checks from Small and Medium Craft Enterprises. IEE project EIE/04/066/S07.38641.

[3] FLOSS (2002). Free/Libre and Open Source Software: Survey and Study. Final report. International Institute of Infonomics, University of Maastricht, The Netherlands, Berlecon Research GmbH, Berlin, Germany June 2002 European Project No. IST –29565 (5th FP)

$E = mc^2$. Założenia teoretyczne EINSTEIN

Energia, wydajność energii i jej odnawialność

Konsumpcja energii według typów energii i jej użycia

Energia w przemyśle zużywana jest głównie w formie elektryczności, paliwa (paliwa pochodzenia mineralnego, np. gaz naturalny, olej opałowy, ale także biomasa i biogaz), a w niektórych przypadkach w formie (generowanego na zewnątrz) ciepła bądź chłodu z ciepłowni i chłodziarki rejonowej.

Konsumpcja energii może być wyrażona w energii finalnej bądź pierwotnej.

- *Energia finalna:* ilość energii zawarta w różnych źródłach energii docierających do przedsiębiorstwa, niezależnie od ich postaci (zawartość paliw w EINSTEIN liczona jest w wartości opałowej netto.

- *Energia pierwotna:* całkowita ilość energii niezbędna do wygenerowania tej dostawy energii z uwzględnieniem strat przy poszczególnych stadiach obróbki, od wydobycia, poprzez przekształcenie i transport. Różnica między zawartością energii finalnej i pierwotnej jest szczególnie wysoka w przypadku elektryczności: przy obecnym stanie technologii dostawy elektryczności w Europie, od 2,5 do 3 jednostek energii pierwotnej jest potrzebnych, aby wygenerować jedną jednostkę elektryczności.

Energia może być w przemyśle używana *termicznie* i *nie-termicznie.* Metodologia audytu energetycznego EINSTEIN zajmuje się termicznym zastosowaniem energii. *Termiczne zastosowanie* według definicji EINSTEIN to:

- Grzanie i chłodzenie (łącznie z energią potrzebną do zajścia reakcji chemicznych indukowanych ciepłem)

- Grzanie i chłodzenie powierzchni hali produkcyjnych i biur

- Sanitarne zapotrzebowanie na gorącą wodę (np. prysznice, kuchnie...)

Nie-termiczne zastosowanie energii:

- Konsumpcja energii elektrycznej (i innej) przez oświetlenie, maszyny (np. silniki, sprężarki) i inne wyposażenie elektryczne, *poza* klimatyzacją, chłodzeniem i grzejnikami, które zostały ujęte w statystykach dotyczących popytu na energię termiczną.

Nieuwzględnione przez EINSTEIN, aczkolwiek istotne dla równowagi energetycznej świata, poniższe zastosowania:

- Nie-energetyczne wykorzystanie paliwa, np. jako surowy materiał do obróbki chemicznej

- Zużycie energii przez transport surowych materiałów i gotowych produktów oraz dowóz pracowników z/do pracy.

- Energia zawarta w surowych materiałach (pochodząca z poprzednich etapów obróbki).

Zużycie energii na cele termalne w przemyśle europejskim to prawie 70% całkowitego zużycia energii finalnej i ponad 50% zużycia energii pierwotnej.

Energia odnawialna

Najodpowiedniejsze źródła energii odnawialnej do bezpośredniego przetworzenia na ciepło i zimno w które zaopatrywany jest przemysł to:

- Energia słoneczna (łącznie ze słoneczną elektrociepłownią termiczną: elektryczność i ciepło)
- Biomasa i biogaz
- Energia geotermiczna

Wszystkie inne technologie związane z energią odnawialną mają pośredni związek, jako iż mogą zredukować wpływ zużycia energii elektrycznej w przemyśle tylko w skali globalnej (poza granicami samego przemysłu). Odnosi się to również do systemów PV (systemów fotowoltaicznych), nawet jeśli są zainstalowane na dachu fabryki, jako iż systemy te są zwykle dołączane do sieci i bezpośrednio nie przyczyniają się do zużycia energii elektrycznej przez przemysł.

Energia zużywana przez przemysł w formie energii odnawialnej nie wlicza się do pierwotnego zużycia energii. Mimo to trzeba wziąć pod uwagę różnicę między źródłami energii odnawialnej i wkładem różnych źródeł, które EINSTIN traktuje osobno:

- Energia słoneczna praktycznie jest nieskończona i nieskończenie odnawialna
- Biomasa i biogaz to odnawialne, ale ograniczone źródła energii. Zastosowanie takiego źródła energii na cele termiczne może konkurować z zastosowaniem tego samego materiału w innych systemach (np. w elektrowniach, przekształcaniu na biopaliwa) a także z wykorzystaniem ziemi pod uprawę rolną.

Wpływ zużycia energii w przemyśle na środowisko naturalne

Zużycie energii przez przemysł w Europie wynosi około 28% całkowitego zużycia energii finalnej (bez uwzględnienia zużycia energii przy transporcie związanym z produkcją przemysłową)[4].

Wpływ zużycia energii przez przemysł wywołany jest wieloma czynnikami różnorakiej natury takimi jak:

- *Emisja* różnych substancji spowodowana przekształcaniem energii (CO_2, emisja innych gazów przyczyniających się do powstawania efektu cieplarnianego, NO_x, CO, emisja radioaktywna, odpad nuklearny, itp.)
- *Zużycie* ograniczonych i nieodnawialnych źródeł (paliwo pochodzenia mineralnego, surowy materiał)
- *Ryzyko* związane z dostawą energii oraz systemem przekształcania (np. wypadki jądrowe, przewóz paliw,...)
- *Zużycie wody* (np. wieże chłodnicze)
- *Wykorzystanie terenu* (np. wykorzystanie terenu pod produkcję biopaliw i biomasy konkurujące z produkcją rolną)

Wyczerpująca ocena wpływu na środowisko naturalne biorąca pod uwagę wszystkie wyżej wymienione czynniki wykraczałaby poza zakres EINSTEIN. Poniższe parametry używane są jako główne wskaźniki oceny środowiska:

- *Zużycie energii pierwotnej* jako główny wskaźnik oceny środowiska
- Emisja CO_2
- *Produkcja wysoko radioaktywnego odpadu nuklearnego* (co związane jest z zużyciem energii elektrycznej)
- *Zużycie wody*

[4] *Dane EuroStat (2004).*

Strategie ograniczenia zużycia energii zorientowane na popyt i zaopatrzenie

Zużycie energii w przemyśle (i ogólnie) nie stanowi potrzeby samej w sobie, jest raczej *środkiem* osiągnięcia pewnych celów, jak:

- Utrzymanie pewnej powierzchni bądź sprzętu w czystości
- Separacja dwóch płynów w procesie destylacji

Te same cele, np. zachowanie czystości, mogą często zostać osiągnięte zupełnie innymi sposobami, które wiążą się z odmiennym zużyciem energii. Np. powierzchnia bądź sprzęt mogą być utrzymywane w czystości za pomocą:

- Podgrzania dużej ilości wody do temperatury 80-90 ºC w celu codziennego umycia
- Mycia w niższej temperaturze, ale z użyciem detergentów bądź pod ciśnieniem
- Unikania nadmiernej potrzeby sprzątania poprzez ulokowanie obróbki generującej dużą ilość kurzu w osobnym pomieszczeniu
- itp.

W ten sposób, co już zostało zaznaczone w podpunkcie 1.3, na samym początku audytu EINSTEIN trzeba zidentykifować możliwości *redukcji zapotrzebowania* u jego źródła. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to najefektywniejszy sposób, jednocześnie będący najbardziej przyjaznym środowisku środkiem oszczędzania energii.

Jedynie *pozostałe* zapotrzebowanie na ciepło i zimno musi zostać zaspokojone przez zoptymalizowany pod względem energetycznym i środowiskowym system zaopatrzenia w ciepło i zimno.

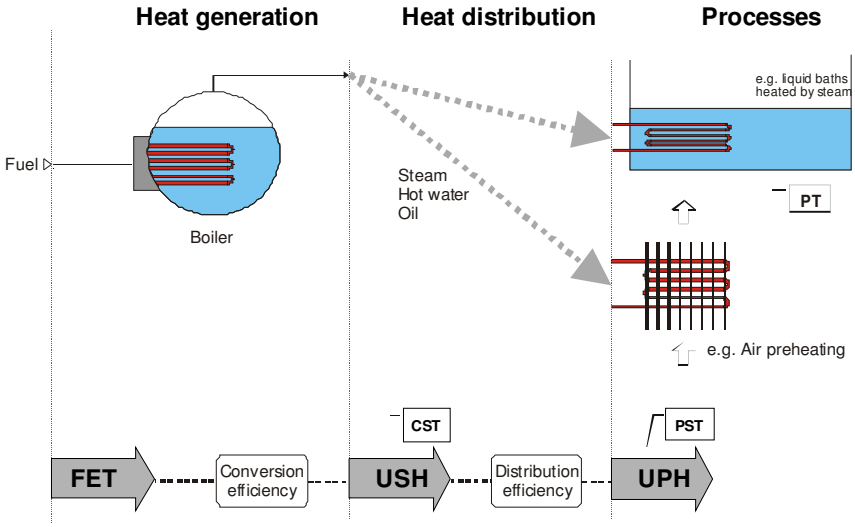
Przepływy energii w przemyśle – definicje

Podczas analizy zapotrzebowania na energię cieplną w zastosowaniach przemysłowych w ramach programu EINSTEIN stosowane są następujące podstawowe wielkości:

- *FEC*, *ostateczne zużycie energii* (ang. Final Energy Consumption) oraz *FET ostateczne zużycie energii dla celów cieplnych*: zużycie paliwa, energii cieplnej oraz elektryczności (dla celów cieplnych) w LCV.

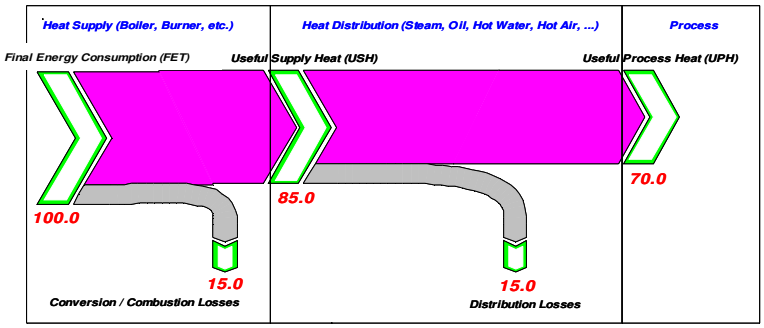
- *USH*, *użyteczne ciepło doprowadzone* (ang. Useful Supply Heat): ciepło wytworzone w systemie dostarczania energii cieplnej (np. kotły, palniki) i przenoszone do procesów przemysłowych np. w postaci pary, gorącego powietrza, gorącej wody itp.

- *UPH, użytkowe ciepło technologiczne* (ang. Useful Process Heat) – ciepło dostarczone do procesu technologicznego (mierzone na wejściu procesowego wymiennika ciepła).



Wykres 3: EINSTEIN: definicje przepływów energii w przemysłowym systemie zaopatrzenia w ciepło.

Wzajemny stosunek wskaźników USH/FET oraz UPH/USH określa efektywność konwersji i efektywność rozdzielczości systemu (Wykres 4).



Wykres 4: Diagram obrazujący przepływy energii wraz z typowymi współczynnikami efektywności konwersji i rozkładu.

Jeśli dodatkowo rozważamy układ, w którym uwzględnione jest ciepło odpadowe, schemat przepływów energii staje się nieco bardziej skomplikowany (Wykres 6). Na wykresie 5 pokazano przykład procesu przemysłowego z różnymi sposobami odzyskiwania ciepła odpadowego.

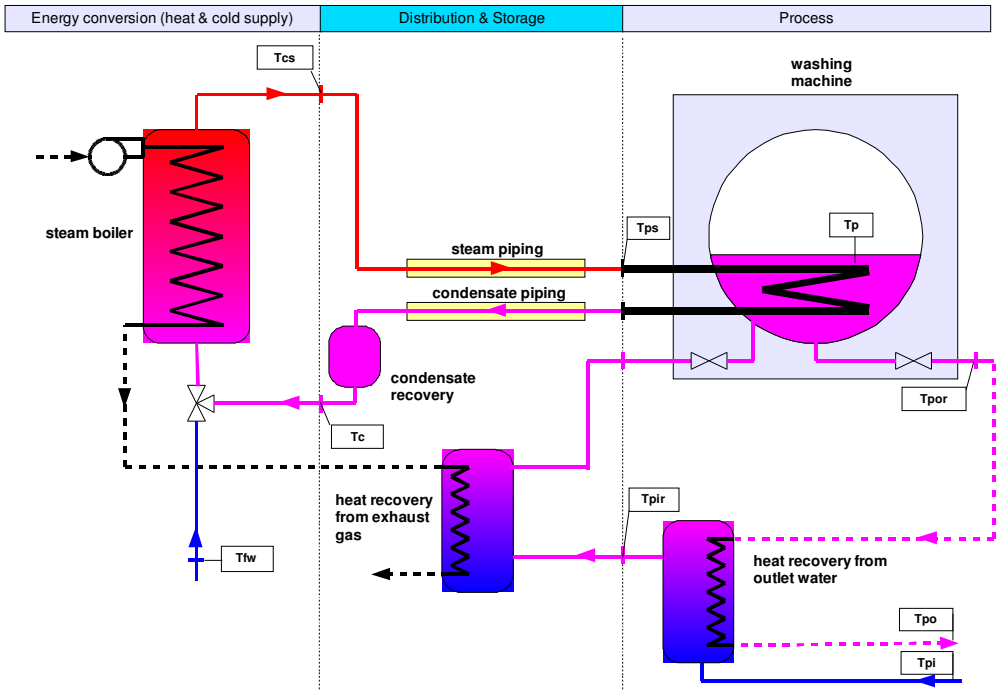
W programie EINSTEIN jako *dostępne ciepło odpadowe (QWH)* oznaczamy przepływ energii powstały w dowolnym podsystemie (zasilanie/dystrybucja/proces/inne), które nie jest podstawowym produktem tego procesu. Przykładami przepływów ciepła odpadowego mogą być:

- Ciepło zawarte w gazach wylotowych kotła;
- Kondensat odzyskany z instalacji parowej;
- Ciepło zgromadzone w ściekach po procesie mycia;

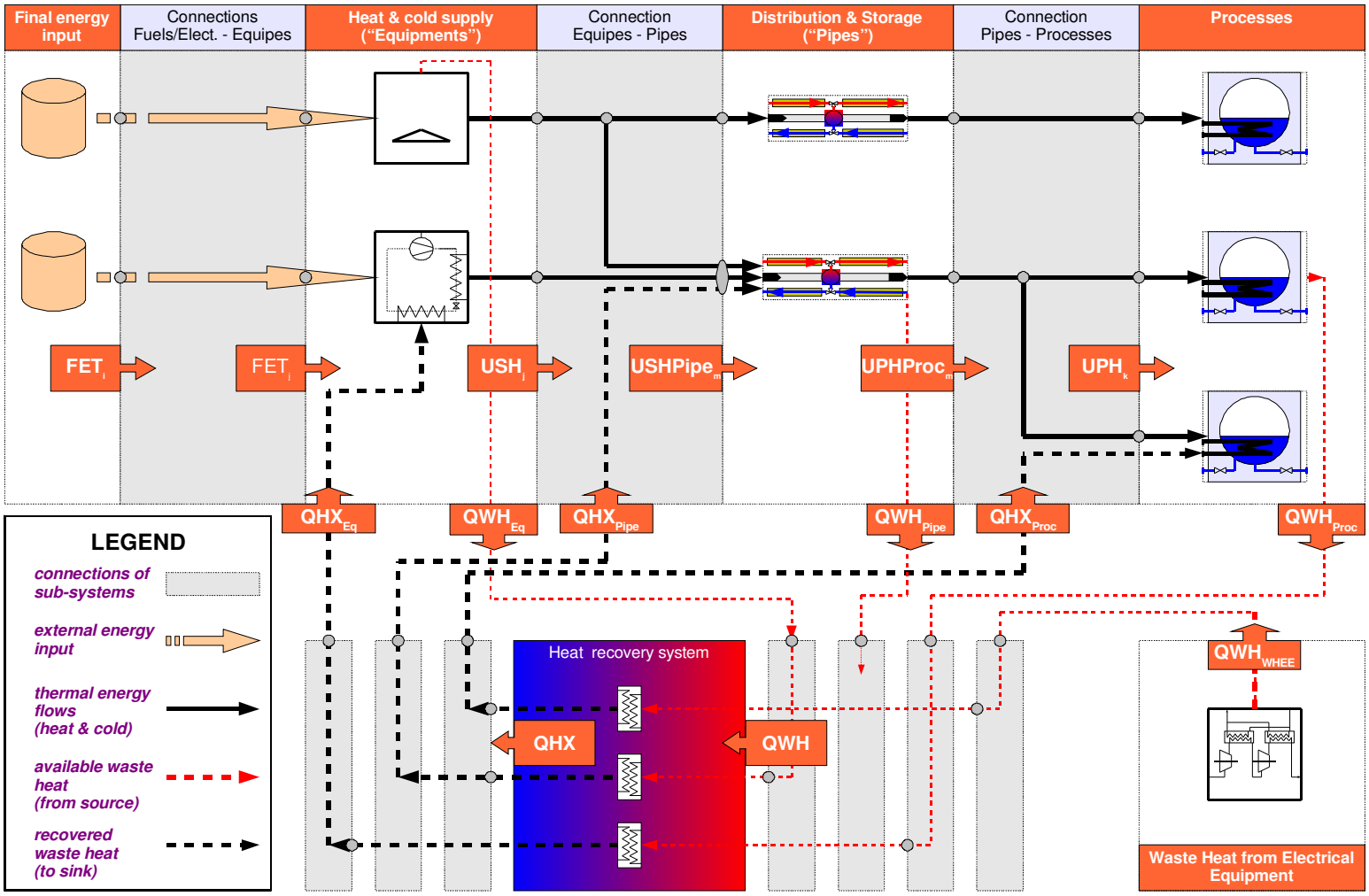
W programie EINSTEIN jako *odzyskane ciepło odpadowe (QHX*) oznaczamy energię wykorzystywaną do zasilania dowolnego podsystemu (zasilanie/dystrybucja/procesy), która została odzyskana przez system odzyskiwania ciepła odpadowego (włącznie z powietrzem i glebą otoczenia). Przykładami zastosowań przepływów z odzyskanego ciepła odpadowego mogą być:

- Wstępne ogrzewanie powietrza w komorze spalania lub wstępne podgrzewanie wody zasilającej kocioł;
- Wstępne podgrzewanie wody zasilającej proces mycia;
- Wstępne podgrzewanie wody w instalacji wodnej;

Poniżej przedstawiono wzory umożliwiające matematyczną definicję wielkości stosowanych w programie EINSTEIN.



Wykres 5: Przykład przemysłowego procesu mycia zaprezentowany zgodnie z modelem programu EINSTEIN, wraz z różnymi sposobami odzysku ciepła: odzysk ciepła z gazów wylotowych kotła dla wstępnego podgrzewania wody; odzysk ciepła ze ścieków dla wstępnego podgrzewania wody; odzysk kondensatu do wstępnego podgrzewania wody zasilającej kocioł.



Wykres 6: Definicje programu EINSTEIN w przemysłowym systemie ciepłowniczym z odzyskiem ciepła

Ostateczne zużycie energii i pierwotne zużycie energii

Ostateczne łączne zużycie energii (FEC) określa ostateczne zużycie energii uzyskiwanej z paliw (wyrażone w formie jego dolnej wartości opałowej - LCV), w formie energii elektrycznej oraz ciepła.

$$E_{FEC} = E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} E_{FEC,fuel(i)} + E_{FEC,heat} \qquad (2.1)$$

Wielkość pierwotnego zużycia energii (PEC) wyliczamy stosując właściwe współczynniki konwersji dla każdego rodzaju energii:

$$E_{PEC} = f_{PE,el} E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} f_{PE,i} E_{FEC,fuel(i)} + f_{PE,heat} E_{FEC,heat} \qquad (2.2)$$

gdzie, $f_{PE,el}$ (typowa wartość: 2,5 - 3) jest podstawowym współczynnikiem konwersji dla energii elektrycznej oraz $f_{PE,i}$ (typowa wartość: 1,1) jest podstawowym współczynnikiem konwersji w przypadku pozostałych typów paliwa.

Energia wykorzystywana jest do celów cieplnych (ogrzewania i chłodzenia) oraz nie dla celów cieplnych (oświetlenie, napęd silników itp.). Energia elektryczna wykorzystywana w agregatach wody lodowej dla

celów klimatyzacji czy schładzania oraz zużyta w urządzeniach elektrycznych wykorzystywanych do ogrzewania jest zaliczana do energii dla celów cieplnych.

Właściwe ilości energii definiowane są przez:

- PET/FET: pierwotna/ostateczna ilość energii dla celów cieplnych
- PEO/FEO: pierwotna/ostateczna ilość energii przeznaczona do innych zadań (nie dla celów cieplnych)

Równanie wygląda następująco (analogicznie dla energii pierwotnej):

$$E_{FEC} = E_{FET} + E_{FEO} \qquad (2.3)$$

Zatem ostateczne łączne zużycie energii dla celów cieplnych określone jest sumą energii zużytej przez urządzenia grzejące lub chłodzące w zakładzie przemysłowym:

$$E_{FET} = \sum_{j=1}^{N_{eq}} E_{FET,\,j} \qquad (2.4)$$

gdzie, N_{eq} wyraża ilość urządzeń pobierających energię cieplną w zakładzie przemysłowym (kotły, agregaty chłodzące, silniki CHP itp.)

Agregaty kogeneracyjne CHP:

Z punktu widzenia koncepcji wykorzystywanej w programie EINSTEIN, agregaty kogeneracyjne CHP są traktowane jako urządzenia generujące energię cieplną (więcej na ten temat w podpunkcie 3.7). Ostateczną wartość energii cieplnej zużywanej przez sprzęt CHP określa się jako zużycie paliw netto minus wartość energii tworzonej w postaci wytwarzanej jednocześnie energii elektrycznej:

$$E_{FET,\,j} = E_{FET,\,fuel(j)} - E_{FET,elgen,\,j} \qquad (2.5)$$

Uwaga: Jeśli sprawność sprzętu CHP jest wyższa od sprawności referencyjnej standardowej sieci elektrycznej wyrażonej w formie zużycia *energii pierwotnej*, zużycie energii może być ujemne!!!

Użytkowe ciepło i zimno doprowadzone (USH/C)

Użytkowe ciepło doprowadzane (USH) określa się jako ilość energii cieplnej dostarczonej przez sprzęt do konwersji ciepła (kotły, palniki itd.) mierzoną na ich wyjściu (np. w maszynowni). W celu obliczenia bilansu energetycznego korzystamy z poniższego wzoru:

$$\dot{Q}_{USH,j} = \dot{Q}_{USH,Eq,j} + \dot{Q}_{QHX,j} \qquad (2.6)$$

gdzie, $\dot{Q}_{QHX,j}$ jest wielkością wyrażającą ilość wykorzystanego ciepła odpadowego (np. poprzez wstępne ogrzewanie powietrza w komorze spalania bądź wody zasilającej), natomiast symbol $\dot{Q}_{USH,Eq,j}$ określa dodatkową energię cieplną wytworzoną w tych urządzeniach w formie konwersji.

Efektywność konwersji netto sprzętu obliczamy korzystając z poniższego wzoru:

$$\eta_{conv,j} = \frac{\dot{Q}_{USH,Eq,j}}{\dot{E}_{FET,j}} \qquad (2.7)$$

Łączną energię cieplną wprowadzaną do różnych linii dystrybucyjnych (rurociągów) określonych tutaj symbolem *USHPipe*, obliczamy ze wzoru:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = \dot{Q}_{USH,m} + \dot{Q}_{QHX,m} \qquad (2.8)$$

gdzie, $\dot{Q}_{USH,m}$ jest ciepłem użytkowym doprowadzanym ze sprzętu do konwersji do rur na wejściu *m* a symbol $\dot{Q}_{QHX,m}$ oznacza odzyskane ciepło odpadowe wpływające bezpośrednio do rury na wejściu *m* (np. podgrzewanie wstępne…)

Zawartość energii cieplnej w przypadku systemów otwartych (np. para bez odzysku kondensatu, bezpośrednie przygotowanie oraz dystrybucja ciepłej wody) definiowana jest poprzez, wcześniej zdefiniowaną, domyślną wartość temperatury (np. temperatury dopływu zimnej wody lub powietrza). Zatem:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_{m,o} h_o - q_{m,ret} h_{ret} - q_{m,i} h_i \qquad (2.9)$$

gdzie symbole w poszczególnych indeksach dolnych odnoszą się kolejno do: wylotu (o), powrotu (ret) oraz wlotu (i), przy czym ostatni z symboli w indeksie odnosi się do zdefiniowanej uprzednio wartości domyślnej. Dla systemów o obiegu zamkniętym (cyrkulacja) równanie (2.9) $q_m = q_{m,o} = q_{m,ret}$ upraszcza się do postaci:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_m (h_o - h_{ret}) \qquad (2.9a)$$

Identyczne równania stosuje się w przypadku użytkowego zimna doprowadzanego (USC)

Użytkowe ciepło technologiczne (UPH/C)

Zapotrzebowanie na użytkowe ciepło technologiczne (*UPH*) netto definiowane jest jako różnica pomiędzy łącznym zapotrzebowaniem na ciepło technologiczne (brutto) (*UPH*$_{gross}$, patrz rozdział 2.4 poniżej) i wewnętrznie[5] odzyskanym ciepłem odpadowym:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,gross} - Q_{HX,internal} \qquad (2.10)$$

Z drugiej jednak strony, użytkowe ciepło technologiczne (netto) może być także uzyskiwane jako suma energii cieplnej dostarczonej do danego procesu technologicznego, zarówno z zewnątrz np. przez system ciepłowniczy zakładu ($Q_{UPH,Proc}$), jak i w formie wewnętrznie odzyskanego ciepła odpadowego, które

5

zostało bezpośrednio wykorzystane do zasilania tego procesu technologicznego ($Q_{HX,Proc}$). W tej sytuacji wyliczenia prowadzimy posługując się wzorem:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,Proc} + Q_{HX,Proc} \quad (2.11)$$

Dostępne ciepło odpadowe (QWH) oraz odzyskane ciepło odpadowe (QHX)

Przy prowadzeniu obliczeń dotyczących możliwości odzyskania ciepła odpadowego, należy zrobić rozróżnienie pomiędzy całkowitą ilością ciepła odpadowego, a tymi strumieniami odpadowej energii cieplnej, które mogą być, z technicznego punktu widzenia, wykorzystane w praktyce. Dla tych ze strumieni, które będą wykorzystywane do zasilania innych procesów technologicznych, praktyczna ich przydatność jest dodatkowo ograniczona temperaturą, do jakiej mogą być schłodzone, determinując ich minimalną entalpię h_{min}. Dostępne ciepło odpadowe z danego procesu ($Q_{QWH,Proc}$) wyliczamy następująco:

$$Q_{QWH,Proc} = m_o\left(h_{po} - h_{min}\right) \quad (2.12a)$$

Ilość dostępnego ciepła odpadowego pochodzącego ze sprzętu ($Q_{QWH,Eq}$, np. gazy wylotowe) lub z orurowania ($Q_{QWH,pipe}$, np. w formie kondensatów) wyliczamy analogicznie, opierając się na zdefiniowanej uprzednio wartości domyślnej.

Poza *przepływami* ciepła odpadowego, ciepło można także gromadzić (magazynować) w masie urządzeń wykorzystywanych w danym procesie lub w innych nośnikach energii uczestniczących w danym procesie technologicznym. Łączną ilość ciepła odpadowego wyliczamy ze wzoru przedstawionego niżej, gdzie N_s odnosi się do ilości rozruchów danego procesu:

$$Q_{QWH,Proc} = m_o\left(h_{po} - h_{min}\right) + mc_p\left(T_p - T_{min}\right)N_s \quad (2.12b)$$

Ilość ciepła odpadowego odzyskana w rzeczywistości, a reprezentowana symbolem Q_{QHX} zależy od konfiguracji systemu odzyskiwania ciepła i zawsze jest niższa lub równa całości dostępnego ciepła odpadowego.

$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{QHX,h} \leq \sum_{source} Q_{QWH,source} \quad (2.12c)$$

Poziomy temperatury w instalacji ciepłowniczej

W programie EINSTEIN, rozważa się nie tylko *ilość* energii cieplnej w każdym z rozważanych podsystemów, ale zwraca się też szczególną uwagę na analizę poziomu temperatury (*jakość*) dostarczanej energii cieplnej (zapotrzebowanie i zaopatrzenie).

W efekcie analiza zapotrzebowania na energię staje się zdecydowanie bardziej złożona, lecz jest ona absolutnie konieczna do stworzenia energooszczędnego systemu. Zatem:

- Możliwość odzyskania energii cieplnej w dużej mierze zależy od poziomu temperatury wymaganej dla innych zadań (dostępne ciepło odpadowe)

- Wiele wydajnych energetycznie technologii konwersji energii takich jak agregaty kogeneracyjne CHP czy pompy ciepła oraz odnawialne źródła energii (cieplna energia słoneczna) są (w praktyce) ograniczone do niskich lub średnich zakresów temperatur. Stworzenie systemu, który w maksymalnym stopniu mógłby wykorzystać niskie temperatury możliwe do uzyskania z wyżej wymienionych źródeł jest zatem niezbędnym warunkiem możliwości ich zastosowania.

- Efektywność konwencjonalnych metod konwersji energii wzrasta, a straty ciepła w sieciach dystrybucji, podczas magazynowania oraz w samych urządzeniach spada wraz z obniżaniem poziomów temperatury.

Tabela 2. Klasyfikacja technik dostarczania energii cieplnej w zależności od dostępnej temperatury.

Interwał temperatury [ºC]	Poziom temperatury ciepła	Technologia dostarczająca ciepło
< 60	Niski	Pompy ciepła Kolektory słoneczne
< 90	Średnio-niski	Ciepło odpadowe z agregatów kogeneracyjnych CHP (woda chłodząca) Praktyczny limit zastosowania dla płytowych kolektorów słonecznych
< 150	Średni	Para, niskie ciśnienie
< 250	Średnio-wysoki	Limit dla zastosowania energii słonecznej
< 400	Wysoki	Praktyczny limit zastosowania dla ciepła odpadowego pozyskiwanego z turbin gazowych, biomasy itp.

Należy wyróżnić następujące definicje temperatury, z jakimi mamy do czynienia w procesach technologicznych oraz w samej instalacji ciepłowniczej:

- *Temperatura procesu technologicznego (PT)*: temperatura cieczy wykorzystywanej w danym procesie technologicznym.

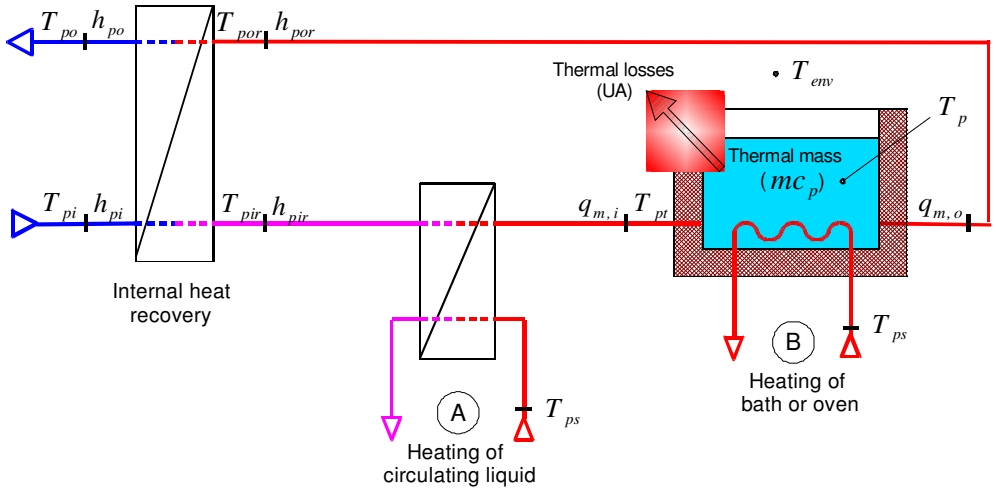
- *Temperatura zasilania procesu technologicznego (PST)*: temperatura nośnika energii wykorzystywanego do transportu ciepła koniecznego do pracy danego procesu technologicznego (np. temperatura pary na wymienniku ciepła używanym w danym procesie technologicznym).

Centralna temperatura doprowadzenia (CST): temperatura nośnika energii wykorzystywanego do transportu ciepła na wyjściu centralnej instalacji ciepłowniczej (kocioł). Różnica pomiędzy wartościami CST i PST wskazuje na straty ciepła w rurociągach.

Modele procesów technologicznych i krzywe zapotrzebowania

Modele procesów technologicznych

Procesy technologiczne w ramach przyjętych w programie EINSTEIN modelowane są na podstawie standardowego modelu procesu opisanego wstępnie w POSHIP[6] (Wykres 7). Większość procesów technologicznych wymaga stosowania zarówno ogrzanych nośników energii (np. strumień ciepłego powietrza, gorąca woda, obieg wody w wannach itp.), jak i też ogrzewania zbiorników (takich jak piece czy kadzie). Wymagania te można ogólnie sklasyfikować w dwóch kategoriach: wstępne podgrzanie przed rozpoczęciem działania danego procesu oraz utrzymywanie właściwej temperatury podczas jego trwania (w celu kompensacji strat energii cieplnej).



Wykres 7: Model standardowego procesu w metodologii programu EINSTEIN z jednym strumieniem na wejściu i jednym na wyjściu

Zatem łączne zapotrzebowanie na energię cieplną może być podzielone na trzy elementy opisane poniżej:

a) Ciepło cyrkulacji (UPH_c)

Energia związana z przepływem wprowadzanego nośnika energii (dopływ). Jest to energia konieczna do ogrzania danego nośnika energii cieplnej wykorzystywanego w procesie technologicznym do właściwej temperatury, niezależnie od miejsca, gdzie fizycznie odbywa się sam proces dostarczania ciepła (przed czy też w czasie trwania danego procesu technologicznego). Ciepło cyrkulacji można zdefiniować zarówno dla procesów ciągłych jak i cyklicznych. Definicja ta jest pojęciowo oderwana od czasu trwania cyrkulacji. Okres cyrkulacji może być różny od czasu pracy procesu.

Zawartość ciepła brutto związanego z cyrkulującą cieczą można obliczyć korzystając z wzoru podanego niżej:

$$Q_{UPH,c}^{gross} = m_c c_p \left(T_p - T_{pi}\right) \qquad (2.13)$$

gdzie, m_c jest masą całkowitą nośnika energii w rozważanym okresie (dzień lub rok). Łączną ilość energii cieplnej procesu technologicznego (netto) uzyskujemy poprzez odjęcie ilości energii odzyskiwanej wg wzoru:

---

6 *POSHIP: (ang. - The Potential of Solar Heat for Industrial Processes) Potencjał wykorzystania ciepła słonecznego w zastosowaniach przemysłowych. Projekt finansowany ze środków UE – DG d/s Energii i Transportu. Program ENERGIE (V ramowy program „Energia, środowisko i zrównoważony rozwój"), Projekt o numerze NNE5-1999-0308.*

$$Q_{UPH,c} = Q_{UPH,c}^{gross} - Q_{HX,internal} = m_c c_p \left(T_p - T_{pir}\right) \quad (2.14)$$

b) ogrzewanie wstępne podczas rozruchu procesu (UPH_s)

Ciepło konieczne do ogrzania *urządzeń wykorzystywanych w czasie działania danego procesu* (nie zawiera energii dostarczonej w celu ogrzania nośnika energii do temperatury roboczej zarówno w przypadku procesów ciągłych jak i cyklicznych) do temperatury pozwalającej na rozpoczęcie pracy po zakończeniu poprzedniego procesu (np. przerwa na weekend lub noc, przerwy pomiędzy kolejnymi procesami technologicznymi) wyliczana jest ze wzoru:

$$Q_{UPH,s} = N_s \left(mc_p\right)_e \left(T_p - T_s\right) \quad (2.15)$$

gdzie, $(mc_p)_e$ jest efektywną pojemnością cieplną urządzeń wykorzystywanych danym procesie(lub jej ekwiwalentem), w którą wlicza się nie tylko pojemność cieplną nośnika energii ale także, pojemność sprzętu wykorzystywanego w procesie. Symbol N_s oznacza ilość rozruchów procesów technologicznych w danym okresie.

c) ciepło konserwacji (UPH_m)

Ciepło konieczne do utrzymania stałej temperatury procesu. Odpowiada ilości energii oddanej do środowiska zewnętrznego podczas trwania procesu technologicznego wraz ze stratami wynikającymi z parowania (ciepło przejścia fazowego) lub stratami energii na skutek reakcji chemicznych. Wyliczamy je ze wzoru:

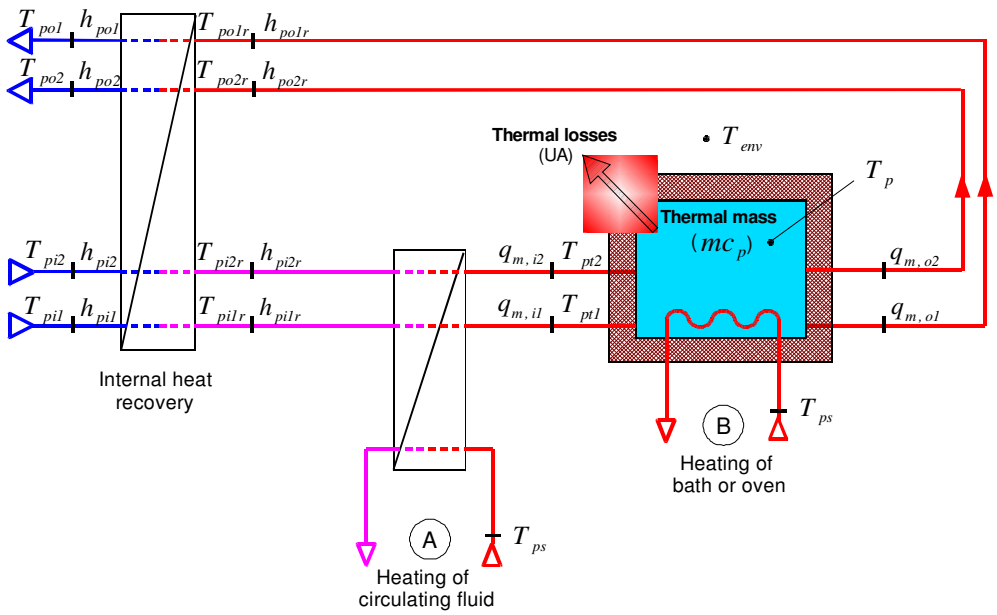
$$Q_{UPH,m} = \left[\left(UA\right)\left(T_p - T_{env}\right) + \dot{Q}_L\right] t_{op} \quad (2.16)$$

gdzie, (UA) jest współczynnikiem strat energii cieplnej urządzeń, T_{env} jest temperaturą środowiska zewnętrznego (zwykle oznacza to po prostu temperaturę powietrza w miejscu, gdzie trwa dany proces technologiczny), $\dot{Q}_L$ oznacza wymagany wkład energii konieczny do przejścia fazowego lub rozpoczęcia reakcji chemicznych, a t_{op} jest czasem trwania procesu.

Reasumując całkowita energia cieplna może zostać obliczona z tych trzech czynników:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,c} + Q_{UPH,m} + Q_{UPH,s} \quad (2.17)$$

Ten prosty model wykorzystywany w ramach programu EINSTEIN może zostać łatwo rozszerzony dla procesów o wielu przepływach (Wykres 8).



Wykres 8: Typowy model w ramach programu EINSTEIN z wieloma przepływami dolotowymi i wylotowymi.

Uproszczenia stosowane w szybkim audycie programu EINSTEIN

W celu przeprowadzenia szybkiego audytu i zmniejszenia ilości wymaganych danych początkowych, stosowane modele procesów technologicznych mogą zostać uproszczone. Przyjmuje się zatem następujące uproszczenia:

- Stałe poziomy temperatury i przepływów masowych;
- Wszystkie temperatury na wejściu, temperatury procesów technologicznych i ciepła odpadowego są uważane za stałe;
- Zależność od czasu jest daną tylko o wartości włączenia/wyłączenia;

Przyjęcie tych uproszczeń w większości przypadków okazuje się wystarczające dla większości typowych procesów technologicznych.

Standardowe profile zapotrzebowania

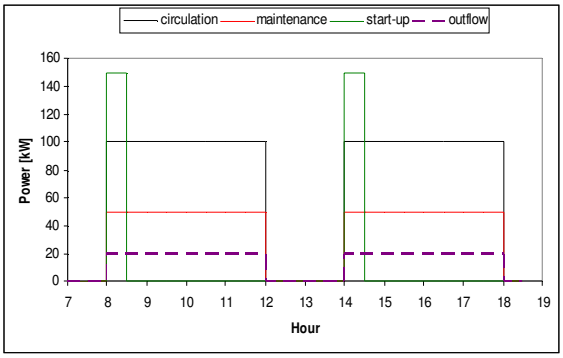
Określenie w czasie zarówno zapotrzebowania na ciepło jak i okresów dostępności ciepła odpadowego w standardowych modelach wykorzystywanych w programie EINSTEIN wygląda następująco:

- Harmonogram pracy procesu technologicznego: określa przedział czasu w jakim ustalona stała temperatura T_p musi być utrzymana
- Harmonogram podgrzewania wstępnego podczas rozruchu: określa czas, w jakim rozpoczyna się proces podgrzewania wstępnego przy rozruchu procesu
- Harmonogram przepływów dolotowych
- Harmonogram przepływów wylotowych

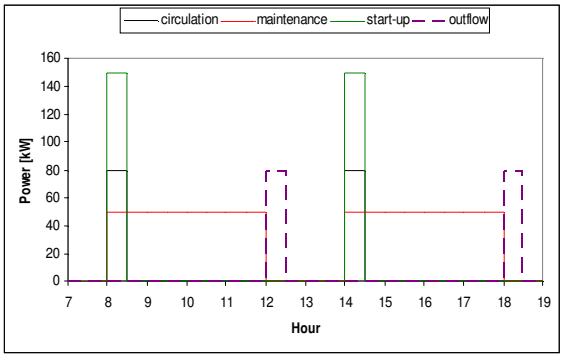
Jeśli nie podano szczegółów harmonogramu w podstawowym kwestionariuszu metodologii EINSTEIN (patrz Aneks), przyjmuje się standardowe harmonogramy w zależności od rodzaju procesu (ciągły lub cykliczny: patrz Tabela 3)

Tabela 3. Harmonogramy standardowe

	Proces ciągły	Proces cykliczny
Cyrkulacja (przepływ dolotowy)	Stały podczas czasu pracy t_{op}	Pierwsze 20 % łącznego czasu pracy t_{op}
Rozruch	Pierwsze 20 % łącznego czasu pracy t_{op}	Pierwsze 20 % łącznego czasu pracy t_{op}
Utrzymanie	Stały podczas czasu pracy t_{op}	Stały podczas czasu pracy t_{op}
Usuwanie płynów odpadowych (przepływ wylotowy)	Stały podczas czasu pracy t_{op}	Pierwsze 20 % łącznego czasu pracy po t_{op}



(a)



(b)

Wykres 9: Profil zapotrzebowania na (a) proces ciągły oraz (b) proces cykliczny. Przykład: proces z wartością t_{op} = 2 x 4h.

Zintegrowana gospodarka cieplna oraz analiza pinch

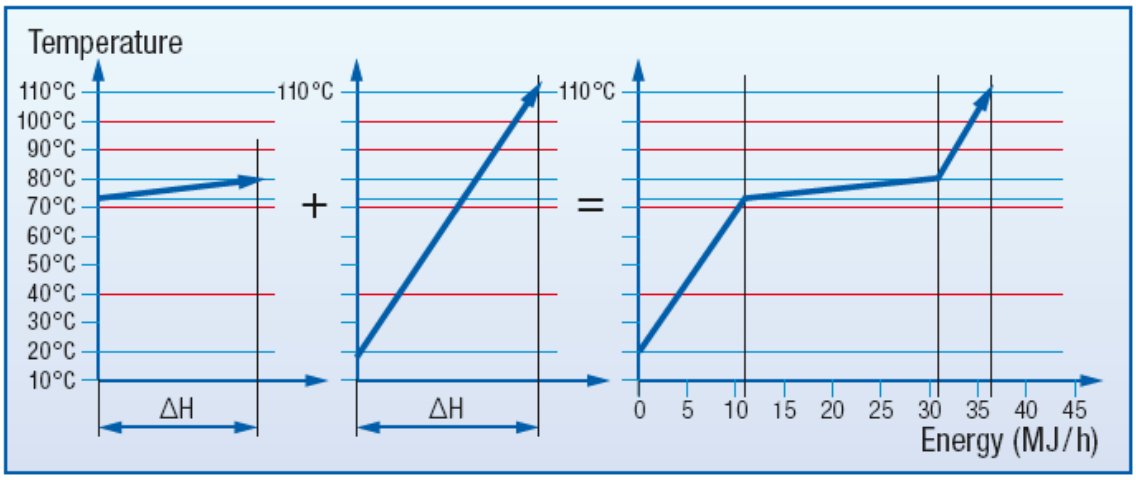
Poprawne zasady prowadzenia zintegrowanej gospodarki cieplnej (z udziałem ciepła odpadowego) w ramach danego procesu technologicznego opisane są w teorii pinczu temperaturowego opracowanej w Linhoff et.al w latach 70 ubiegłego wieku. W ramach analizy pinczu temperaturowego zapotrzebowanie na ciepło i zimno dla całości produkcji umieszczane jest na prostym diagramie pokazującym zapotrzebowanie na energię cieplną (ogrzewanie lub schładzanie) oraz ukazującym zakres temperatur, w jakich energia ta ma zostać dostarczona do danych procesów technologicznych. Pozwala to na wyciągnięcie wielu niezwykle istotnych wniosków, m.in. na:

- Określenie ilości energii teoretycznie możliwej do uzyskania w wyniku odzyskiwania ciepła odpadowego;
- Określenie wielkości zapotrzebowania danego procesu technologicznego na ciepło dostarczane z zewnątrz oraz na poziom temperatur konieczny dla funkcjonowania danego procesu;
- Określenie wielkości zapotrzebowanie danego procesu technologicznego na chłodzenie z zewnątrz oraz na określenie poziomu temperatur wymaganych dla danego procesu;

Analiza ta jest zatem pomocnym narzędziem przy wstępnej ocenie możliwości oszczędzania energii poprzez odzyskiwanie ciepła odpadowego (które następnie może być wprowadzone w praktyce np. z powodów praktycznych lub ekonomicznych). Dodatkowo stosując analizę pinczu temperaturowego uzyskujemy także informację o wymaganych zakresach temperatur, cenną podczas projektowania systemu zintegrowanej gospodarki cieplnej.

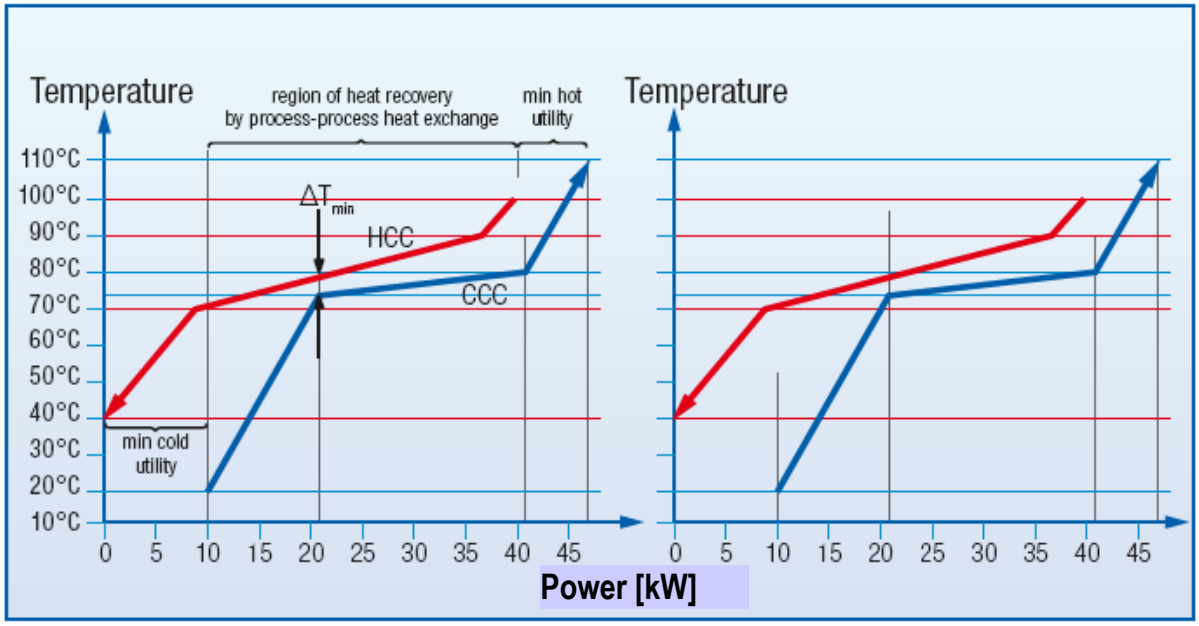
Proces technologiczny w ramach analizy pinczu temperaturowego

Teoria pinch rozdziela proces produkcji (proces technologiczny) na część zimną, gdzie istnieje nadmiar energii cieplnej (konieczność chłodzenia) i część gorącą wymagającą dostarczania energii cieplnej z zewnątrz. Scalając krzywe entalpii wszystkich strumieni wymagających ogrzania (krzywa schładzania) oraz wszystkich strumieni wymagających schłodzenia (krzywa nagrzewania) w jedną krzywą otrzymujemy tzw. diagram roboczy (patrz Wykres 10: scalanie „zimnych" strumieni). Tak postrzegane strumienie są wszelkimi przepływami masowymi danego procesu, które muszą być ogrzane (strumienie zimne) lub schłodzone (strumienie ciepłe). W diagramie można także uwzględnić strumienie, które nie są konieczne w samym procesie technologicznym (np. ścieki), ale mogą zostać wykorzystane jako nośniki energii do chłodzenia lub ogrzewania innych strumieni.



Wykres 10. Termodynamiczne zespolenie krzywych zimnych strumieni. Krzywa powstaje w wyniku dodania zmian entalpii poszczególnych strumieni w określonych zakresach temperatur.

W podobny sposób zestawia się strumienie gorące. Wówczas nanosi się obie krzywe na jednym wykresie w taki sposób, aby wszędzie na diagramie zimne strumienie znalazły się poniżej strumieni ciepłych przesuwając wzajemnie krzywe na osi mocy (oś X).



*Wykres 11. Diagram przedstawiający zintegrowane krzywe **strumieni zimnych i gorących**.*

Dzięki tym krzywym łatwo można określić podstawowe fakty dotyczące samego procesu technologicznego. Krzywe są separowane w punkcie, w którym występuje najniższa różnica temperatur ΔT_{min}, wybieranym przez użytkownika w miejscu gdzie wartość ΔT osiąga minimum. Wartość ΔT_{min} definiuje zatem poziom temperatury systemu, który stanowi termodynamiczne wąskie gardło (patrz Wykres 11) procesu, tak zwany „pincz".

Pincz temperaturowy dzieli układ na dwie części: obszar położony poniżej temperatury pinczu określa obszar, w którym istnieje nadmiar energii cieplnej, która musi zostać usunięta w procesie chłodzenia lub oddana środowisku zewnętrznemu. Powyżej pinczu występuje niedobór energii, która musi zostać

doprowadzona z zewnątrz. Z tych względów opracowano trzy podstawowe zasady zintegrowanej gospodarki cieplnej:

- Brak zewnętrznego ogrzewania poniżej temperatury pinczu (wystarczające zasoby ciepła odpadowego)
- Brak chłodzenia powyżej temperatury pinczu (chłodzenie można uzyskać poprzez ogrzewanie procesów mających niższe zapotrzebowanie na energię cieplną)
- Brak wymiany cieplnej w pinczu

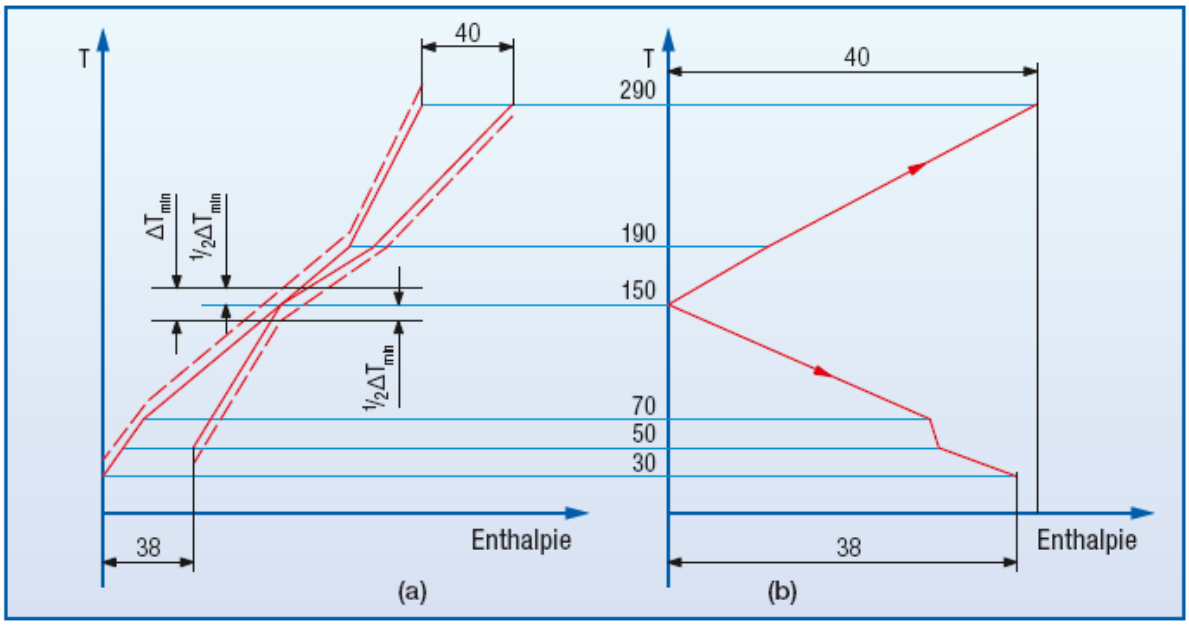
Pokrywające się krzywe na Wykresie 11 określają maksymalną wielkość odzyskiwanego ciepła z danego procesu technologicznego. Minimalne zapotrzebowanie na ciepło $Q_{H,min}$, oraz minimalne zapotrzebowanie na energię przeznaczoną do chłodzenia $Q_{C,min}$ także mogą zostać odczytane z wykresu. Minimalna różnica temperatury ΔT_{min} jest określana przede wszystkim względami ekonomicznymi, ponieważ niższa wartość ΔT_{min} zwiększa sprawność wymiany ciepła, jednakże kosztem zwiększenia powierzchni czynnej wymienników ciepła a także ponoszonych nakładów finansowych. Typowe różnice energii ΔT_{min} pokazano w Tabeli 4.

Tabela 4. Typowe wartości ΔT_{min} dla różnego typu procesów [Linhoff marzec, 1998 r.]

Przemysł	**Doświadczane wartości ΔT_{min}**
Rafinacja ropy	20 – 40 ℃
Przemysł petrochemiczny	10 – 20℃
Przemysł chemiczny	10 – 20 ℃
Procesy niskotemperaturowe	3 – 5 ℃

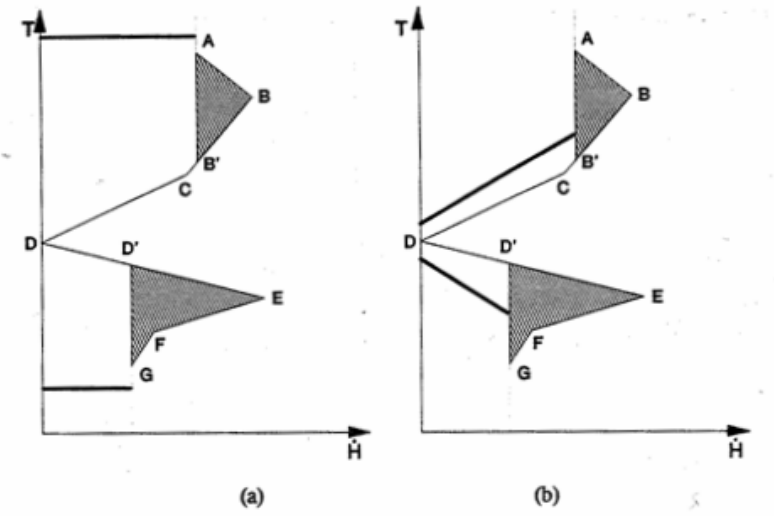
Teoretyczne wartości $Q_{C,min}$ i $Q_{H,min}$ rzadko są osiągalne w praktyce. Powodem tej sytuacji są trudności w operowaniu strumieniami, które są zanieczyszczone, agresywne lub trudno dostępne. Jednak analiza temperatury pinczu pozwala na łatwy przegląd dostępnych możliwości ich wykorzystywania.

Innym sposobem zobrazowania zapotrzebowania na energię procesów technologicznych w systemie jest **wielka krzywa zintegrowana (GCC; ang. Grand Composite Curve)**. W celu stworzenia krzywej GCC, krzywa zintegrowana ciepła (HCC) oraz zimna (CCC) przesuwane są o ½ ΔT_{min}, tak by stykały się w miejscu określającym temperaturę pinczu. Pozioma różnica pomiędzy obiema krzywymi jest teraz przenoszona na nowy wykres tworząc krzywą GCC. Jest to nieco inny sposób obrazowania profilu źródła/upustu ciepła w procesie. Jeśli strumień energii wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, proces działa jak upust ciepła (zapotrzebowanie na energię przewyższa jej dostarczanie). W odwrotnej sytuacji proces działa jako źródło ciepła.



Wykres 12: Pokrywanie się krzywej zintegrowanej HCC i CCC (a) oraz tworzenie krzywej GCC (b)

Głównym celem tworzenia krzywej GCC jest identyfikacja idealnych źródeł ciepła koniecznych do ogrzania lub schłodzenia różnych strumieni. Analizując, które ze strumieni mogą przenieść energię do konieczną do schładzania innych procesów, określamy, które z nich będą musiały uzyskać niezbędną energię cieplną z zewnątrz. Dodatkowo wykres ten pozwala uzyskać temperaturę, z jaką należy dostarczyć energię z zewnątrz (patrz Wykres 13). Warto w tym miejscu zauważyć, że wykres GCC jest w znacznym stopniu zależny od wyboru wartości ΔT_{min}.

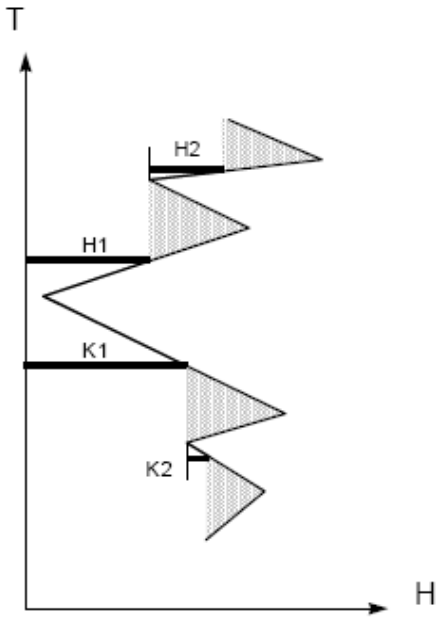


Wykres 13: Krzywa GCC oraz analiza źródeł i upustów ciepła. Zewnętrzne źródła energii (przedstawione za pomocą linii) o zbyt wysokiej/niskiej temperaturze a zatem z wysokimi stratami energii (a) i o odpowiedniej temperaturze (b)

Przykłady integracji zewnętrznych źródeł energii na podstawie analizy krzywej GCC

Źródła energii cieplnej

Najefektywniejszym rozwiązaniem jest stosowanie źródła energii cieplnej o jak najniższej temperaturze (patrz Wykres 14). W przypadku pokazanym poniżej, optymalnym rozwiązaniem byłyby stosowanie dwóch poziomów temperatury, różnych dla H1 i H2.



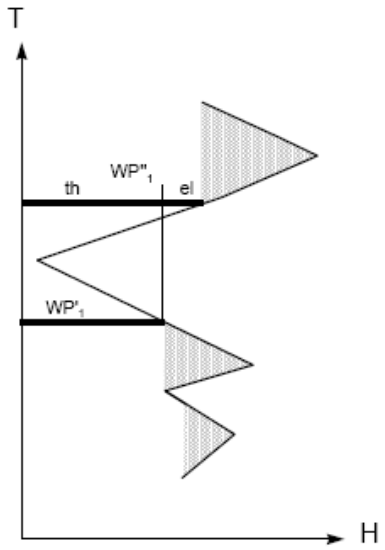
Wykres 14: Integracja zaopatrzenia w ciepło i zimno

System chłodzenia

Podobną sytuację spotykamy w przypadku określenia idealnej temperatury dla systemów chłodzenia. Energia cieplna wykorzystywana do chłodzenia powinna posiadać najwyższą możliwą temperaturę. Zatem poziom temperatury powinien zostać wyznaczony w punktach oznaczonych odpowiednio K1 i K2 (patrz Wykres 14).

Pompa ciepła

Krzywa GCC pozwala także na wskazanie możliwości integracji pomp ciepła. Poniżej temperatury pinczu dostępna jest energia cieplna, która może zostać wykorzystana przez pompy cieplne. Kompresor może wówczas podnieść temperaturę do poziomu przekraczającego temperaturę pinczu dostarczając ciepło, tam gdzie jest ono niezbędne. Kompresor stosowany w pompie cieplnej opisany jest dokładniej w podpunkcie 3.7.. Energia elektryczna dodawana jest do źródła ciepła o niewielkiej temperaturze i pozwala tym samym na podniesienie temperatury do poziomu znajdującego powyżej pinczu temperaturowego. Z tych relacji można określić właściwy poziom temperatury dla pompy ciepła (patrz Wykres 15). Pompa ciepła pracująca w zakresie wyższych temperatur nie da się odpowiednio zintegrować z systemem ciepłowniczym zakładu i będzie pracować z niższą sprawnością oraz wyższym zapotrzebowaniem na energię elektryczną.

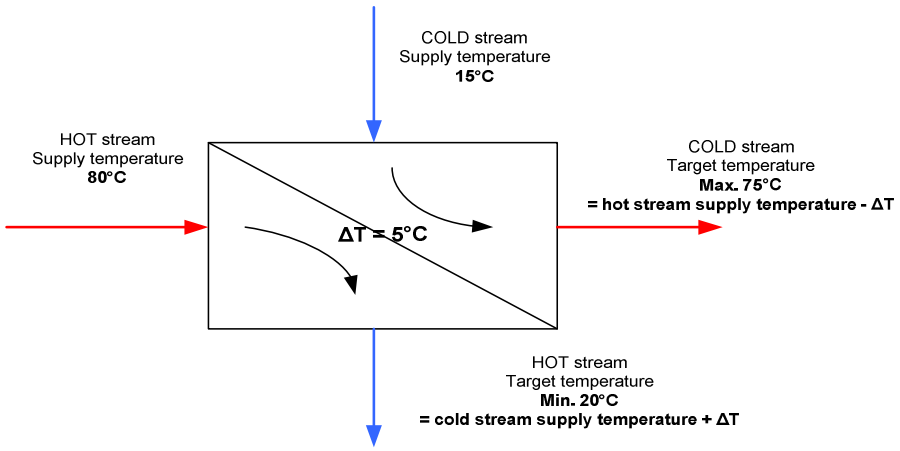


Wykres 15: Integracja pomp ciepła

Projektowanie wymienników ciepła

Podczas procesu projektowania wymienników ciepła wybór właściwej wartości ΔT_{min} jest niezwykle istotny. Czym niższa wartość ΔT_{min}, tym mniejsza różnica pomiędzy temperaturą zimnego strumienia i wymaganą temperaturą strumienia ciepłego (zakładając przeciwprądową wymianę ciepła). Zamieszczony poniżej diagram pokazuje to wyraźniej:

- W przeciwprądowym wymienniku ciepła maksymalna temperatura zimnego strumienia może osiągnąć maksymalnie temperaturę strumienia ciepłego minus ΔT_{min}.
- W przeciwprądowym wymienniku ciepła maksymalna temperatura ciepłego strumienia może osiągnąć minimalnie temperaturę strumienia zimnego plus ΔT_{min}.



Wykres 16: Wpływ wartości ΔT_{min} na projekt wymienników ciepła

Oczywiście energia wymieniana pomiędzy oboma strumieniami musi być ta sama.

$$H[kW] = m_{hs} * c_{p_hs} * \left(T_{supply_hs} - T_{target_hs}\right) = m_{cs} * c_{p_cs} * \left(T_{target_cs} - T_{supply_cs}\right) \qquad (2.17)$$

Źródło ciepła = Temperatura początkowa / Temperatura wymagana = temperatura końcowa
Indeks dolny oznaczony symbolem hs: przepływ ciepły = źródło ciepła
Indeks dolny oznaczony symbolem cs: przepływ zimny = upust ciepła

Wzór podstawowej wymiany ciepła wygląda następująco:

$$
\begin{aligned}
&Q = k^{\cdot} * A * \Delta t_m \\
&A = heat_transfer_area \\
&\Delta t_m = temperature_difference \\
&k = heat_transfer_coefficient
\end{aligned}
\tag{2.18}
$$

Wpływ wartości ΔTmin na analizę pinczu temperaturowego

Wpływ na (termodynamiczny) wymiennik ciepła

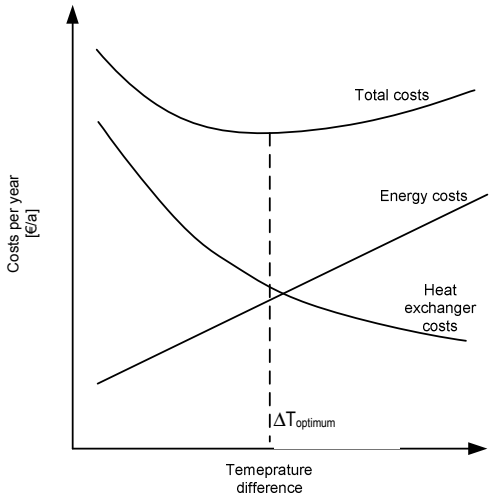
Zgodnie z tym, co omówiliśmy wyżej, wybór właściwej wartości ΔT_{min} jest niezwykle istotny. Czym niższa wartość ΔT_{min}, tym mniejsza różnica pomiędzy temperaturą zimnego strumienia i wymaganą temperaturą strumienia ciepłego (zakładając przeciwprądową wymianę ciepła). Staje się to oczywiste na prostym przykładzie: ścieki o temperaturze wynoszącej 50°C mogą ogrzewać świeżą wodę do temperatury (50-ΔT_{min})°C. Czym wartość ΔT_{min} jest niższa, tym bliższa jest, po dokonaniu wymiany ciepła, temperatura wody do 50 °C. (ten przykład jest oczywiście tylko prawdziwy jeśli przepływ masowy ścieków jest taki sam lub niższy niż wody).

Staje się wyraźne, że zmiana ΔT_{min} powoduje zmianę założeń związanych ze stosowanymi wymiennikami ciepła. Korzystając w dalszym ciągu z przykładu ogrzewania wody ściekami przedstawionego wyżej otrzymujemy następujące zależności: jeśli wartość ΔT_{min} przyjęto na poziomie 5 °C, woda może zostać ogrzana do 45°C. W przypadku, gdy wymagana temperatura wody używanej w procesie wynosi 60°C, konieczne jest znalezienie dodatkowego źródła energii cieplnej zdolnego podnieść jej temperaturę z 45°C do 60°C. Jeżeli jednak wartość ΔT_{min} zmienimy na 7°C, woda będzie musiała być podgrzana z 43°C do 60°C. Może to w dużym stopniu wpłynąć na wybór odpowiedniego źródła ciepła. Z tego powodu zmieniając wartość ΔT_{min} należy zawsze przeprowadzić ponownie wszystkie konieczne obliczenia.

Wpływ powierzchni czynnej wymiennika ciepła na ponoszone nakłady inwestycyjne

W analizie pinczu temperaturowego, krzywe składowej ciepła oraz zimna są ogólnie przedstawiane w odniesieniu do ogólnej wartości ΔT_{min}. W dalszej fazie projektowania wartość ΔT_{min} jest ustalana zgodnie z charakterystyką strumieni. Gazy posiadają zwykle mniejszą wartość ΔT_{min} niż ciecze, które posiadają lepszy współczynnik wymiany cieplnej. W punkcie „Projektowanie wymienników ciepła" wykazano, że wartość ΔT_{min} bezpośrednio przekłada się na wymaganą powierzchnię czynną wymiennika ciepła. Fakt, ten przekłada się na ponoszone nakłady inwestycyjne.

Zwykle wartość ΔT_{min} stanowi kompromis pomiędzy koniecznymi do poniesienia nakładami inwestycyjnymi a oszczędnościami osiąganymi w bieżących kosztach ponoszonych na energię. Wyższa wartość ΔT_{min}, zmniejsza wymiary wymiennika obniżając jego koszty, jednocześnie obniża też oszczędności wynikające z kosztów ponoszonych na energię (Wykres 17).



Wykres 17: Suma kosztów jako funkcja ΔT_{min}

Ocena kosztów łącznych - TCA

Ocena kosztów łącznych jest metodą pozwalającą nie tylko na konwencjonalną analizę ekonomiczną przedsięwzięcia na podstawie parametrów mikroekonomicznych, lecz jednocześnie na bardziej dogłębną analizę tego zagadnienia z uwzględnieniem także parametrów makroekonomicznych i kosztów ponoszonych w dłuższym okresie czasu. Pozwala także na włączenie do analizy takich elementów jak problemy związane z ochroną środowiska lub bezpieczeństwem. Oznacza to, że całkowita ocena kosztów umożliwia włączenie aspektów makroekonomicznych do analizy czysto mikroekonomicznej i zapewnia lepszą ocenę wpływu ponoszonych nakładów inwestycyjnych przez cały okres funkcjonowania inwestycji.

Podstawowe różnice polegają m.in. na włączeniu do analizy następujących elementów:

- *Kategorie kosztów:* poza wszelkimi kosztami branymi pod uwagę w standardowej analizie do oceny kosztów włącza się również koszty pośrednie, oszczędności i zyski, np. straty wynikające z utraty wizerunku itp.
- *Alokacja kosztów:* wszelkie koszty związane są bezpośrednio z inwestycją a nie zaliczane w poczet kosztów ogólnych
- *Okres analizy:* okres czasu, dla którego przeprowadza się analizę jest dłuższy.
- *Wskaźniki*: w ocenie TCA korzysta się także ze wskaźników pozwalających na analizę długofalowych aspektów inwestycji

Ocena kosztów łącznych może być także stosowana w analizie standardowej po zmianie kilku parametrów. W metodologii programu EINSTEIN stosuje się standardową ocenę kosztów, która może zostać łatwo poszerzona przy uwzględnieniu długofalowych efektów planowanej inwestycji.

W metodologii programu EINSTEIN analiza ekonomiczna zajmuje się porównaniem kosztów generowanych przez istniejące procesy technologiczne (zasilanie w energię cieplną) z oczekiwanymi kosztami inwestycji w alternatywne sposoby dostarczania tej energii. Ogólnie przyjmuje się zakres czasowy analizy jako równy okresowi eksploatacji (okresowi działania urządzeń systemu zasilania), ale ten parametr może przyjmować dowolną wartość.

Standardowa ocena kosztów w metodologii programu EINSTEIN (analiza mikroekonomiczna)

Obliczenia opierają się na kosztach generowanych przez istniejący system zaopatrywania w ciepło i zimno oraz kosztach inwestycyjnych związanych z jego zastąpieniem proponowanym systemem alternatywnym. Główne pozycje kosztów to koszty związane z planowaną inwestycją, koszty energii, koszty bieżące i koszty utrzymania systemu, inne koszty i zyski jednorazowe.

Do kategorii zysków jednorazowych można zaliczyć dochody możliwe do uzyskania wpływające na analizę ekonomiczną przedsięwzięcia np. wzrost udziału w rynku, oczekiwane ulgi podatkowe itp. W kategorii kosztów jednorazowych można wymienić np. koszty związane z uzyskaniem pozwolenia na prowadzenie inwestycji.

Obliczanie przypływów pieniężnych dotyczących każdego z nowych elementów systemu zaopatrywania w ciepło i zimno dokonywane jest rok do roku przy użyciu poniższego równania:

$$CF_t = \sum_{i=1}^{n} EX_i^t - \sum_{i=1}^{n} S_i^t \qquad (2.19)$$

gdzie,

t = rok

CF_t = przepływ gotówki w czasie prowadzenia analizy

n = liczba kategorii po stronie kosztów

EX = wydatki netto na projekt obliczany z kosztów proponowanego procesu

S = oszczędności wynikające z zastąpienia starej technologii

Wartość zaktualizowana netto projektu w każdym roku obliczana jest z poniższego równania:

$$NPV_t = \sum_{i=0}^{t} \frac{CF_i}{(1+r)^i} \tag{2.20}$$

gdzie,

t = rok

NPV_t= wartość zaktualizowana netto w roku t

r = bieżące odsetki w przypadku zewnętrznych źródeł finansowania

Jednym z najistotniejszych parametrów ekonomicznych w każdej analizie kosztów jest wewnętrzna stopa zwrotu (IRR). Wskaźnik IRR wyraża ocenę efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej, a także wskaźnik finansowy wyznaczony w oparciu o tę metodę. Jako metoda IRR należy do kategorii dynamicznych metod oceny projektów inwestycyjnych. Uwzględnia ona zmiany wartości pieniądza w czasie i jest oparta o analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych. Jako wskaźnik IRR jest **stopą dyskontową**, przy której wskaźnik **NPV**=0. **Wewnętrzną stopę zwrotu** (wskaźnik IRR) obliczamy dla każdego roku korzystając ze wzoru:

$$\sum_{i=0}^{t} \frac{CF_i}{(1+IRR_t)^i} = 0 \tag{2.21}$$

gdzie,

t = rok ekstrapolacji kalkulacji

IRRt = wielkość wskaźnika wewnętrznej stopy zwrotu w roku t

W ocenie efektywności inwestycji w metodologii programu EINSTEIN korzystamy także ze zmodyfikowanej wewnętrznej stopy zwrotu (MIRR). Wskaźnik ten wykorzystywany jest przy porównaniu efektywności różnych rozwiązań inwestycyjnych. Wskaźnik MIRR pozwala ocenić efektywność inwestycji przez pryzmat reinwestowania przepływów pieniężnych. Zmodyfikowaną wewnętrzną stopę zwrotu (wskaźnik MIRR) obliczamy dla każdego roku korzystając ze wzoru:

$$MIRR_t = q_t^{1/t} - 1 \tag{2.21a}$$

gdzie:

q = rok t dodatnich przepływów pieniężnych, obliczanych zgodnie ze wysokością stopy reinwestycji (zależną od danego przedsiębiorstwa), dzielonych przez wartość zaktualizowaną netto ujemnych przepływów pieniężnych, wyliczanych ze stopy oprocentowania (przy finansowaniu ze źródeł zewnętrznych):

$$q_t = \frac{\sum_{i=0}^{t} CF_i^{+}(1+d)^{t-i}}{-\sum_{j=0}^{t} CF_j^{-}(1+r)^j} \tag{2.21b}$$

gdzie:

CF^+ = dodatnie przepływy pieniężne

CF^- = ujemne przepływy pieniężne

d = stopa reinwestycyjna (stopa rzeczywista)

r = oprocentowanie (stopa rzeczywista)

Okres zwrotu jest także kalkulowany za pomocą narzędzi występujących w metodologii programu EINSTEIN. Wskaźnik zwrotu (PBP) jest wyliczany dla każdego z proponowanych rozwiązań alternatywnych. Określa on okres czasu konieczny do pokrycia poniesionych kosztów inwestycyjnych. Obliczamy go z następującego wzoru:

$$\sum_{i=0}^{PBP} \frac{CF_i}{(1+r)^i} = 0 \tag{2.22}$$

Kolejnym wskaźnikiem branym pod uwagę jest wskaźnik rentowności inwestycji (BCR).

Możliwe jest podejście alternatywne, gdzie roczne całkowite koszty energii są wyliczane jako suma kosztów paliw i energii elektrycznej, kosztów operacji bieżących i serwisu oraz rocznych kosztów opłat inwestycyjnych.

$$C_{Total} = C_{el} + C_{fuels} + C_{O\&M} + aI_0 \qquad (2.23)$$

Opłata inwestycyjna (a) jest wyliczana jako ułamek całkowitych kosztów inwestycyjnych (A) zgodnie ze wzorem: $a = A/I_0$, tak by po określonym okresie czasu spłacić wszystkie koszty inwestycyjne wraz z odsetkami[7]:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{a}{(1+r)^i} = 1 \qquad (2.24)$$

gdzie,
a: opłata inwestycyjna
N: okres deprecjacji

Wskaźniki makroekonomiczne dla TCA

Obliczenia czynników związanych z inwestycją takich jak koszty energii, koszty bieżące i koszty utrzymania systemu, inne koszty i zyski jednorazowe mogą zostać uzupełnione o wskaźniki makroekonomiczne.

Do wskaźników makroekonomicznych można zaliczyć wzrost udziałów w rynku lokalnym dzięki ogólnej poprawie sytuacji makroekonomicznej regionu. W kategorii kosztów istotnymi do uwzględniania czynnikami makroekonomicznymi są np. koszty związane z zagrożeniami środowiska naturalnego w przypadku pozostawienia systemu zasilania w energię w nie zmienionym stanie.

Zasadniczą różnicą w podejściu makroekonomicznym jest uwzględnienie subsydiów[8] i innych zewnętrznych źródeł finansowania w sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstwa.

- W przypadku oceny efektywności inwestycji dla każdego przedsiębiorstwa istotnym wskaźnikiem jest *wysokość inwestycji netto* (= całkowity koszt inwestycji – subsydia). W przypadku korzystania z subsydiów należy pamiętać, że jest to koszt społeczny. W przypadku rezygnacji z proponowanej inwestycji, uzyskane dofinansowanie można przeznaczyć na inne cele związane z ochroną środowiska naturalnego.

- Jednakże, koszt obciążeń środowiskowych (patrz wyżej) nie zawsze znajduje ujęcie w bilansie firmy, jednak stanowi poważne obciążenie dla społeczeństwa.

[7] *Oznacza to, że kolejne roczne opłaty inwestycyjne są równe całości początkowych kosztów inwestycyjnych. Równanie (2.24) odnosi się tylko do sytuacji, gdy wszelkie nakłady inwestycyjne dokonywane są w pierwszym roku (rok 0).*

[8]

Jak wdrożyć audyt energetyczny EINSTEIN?

Audyt EINSTEIN z zakresu energii cieplnej oraz projektowanie ulepszonych systemów energetycznych rozpoczyna się poza przedsiębiorstwem za sprawą kilku szybkich czynności wstępnych, które można rozpocząć siedząc w biurze. Etap tzw. „**audytu wstępnego**“ jest bardzo istotna, ponieważ daje okazję do uzupełnienia wiedzy odnośnie status quo (tj. odnośnie rzeczywistego profilu popytu na energię, funkcjonujących procesów cieplnych, stosowanego wyposażenia, rachunków za energię, itd.) oraz do przygotowania się zanim wejdziemy z audytem do przedsiębiorstwa. Po wstępnej rozmowie telefonicznej do klienta, należy wysłać do osoby kontaktowej ankietę w celu pozyskiwania danych. Kiedy już ankieta zostanie odesłana, niniejszy szablon może być automatycznie importowany do oprogramowania liczącego w celu pierwszej wstępnej ewaluacji popytu na energię, oraz potencjalnych dziedzin, w których można wprowadzić ulepszenia.

W związku z tym, w fazie wstępnej pojawia się okazja do prostej, szybkiej a zarazem gruntownej oszczędności czasu: przygotowanie przedsiębiorstwa i własne przygotowanie do **audyt energetycznego z zakresu energii na miejscu.**

Drugi etap zawiera dwa istotne działania wdrażające:

- wizytę na miejscu w przedsiębiorstwie
- analizę wyników obliczonych przy pomocy oprogramowania Einstein

Celem wizyty – poprzez audyt w przedsiębiorstwie – jest głównie uzyskanie informacji, których nadal brakuje, poprzez rozmowy i bezpośrednie pomiary; sprawdzenie planów i schematów hydraulicznych, itd. Dzięki wstępnej ocenie oraz definicji priorytetów audytu, wizyta na miejscu zajmie zaledwie kilka godzin.

Następnie, po powrocie do domu, należy posłużyć się oprogramowaniem obliczeniowym EINSTEIN. To pomoże przetworzyć zebrane informacje oraz ocenić oszczędności energetyczne i ekonomiczne. Za pomocą oprogramowania EINSTEIN można:

- sprawdzić spójność oraz kompletność pozyskanych danych;
- poprosić ponownie o dane, których nadal brakuje;
- opracować szczegółową analizę zużycia ciepła w procesie, poziomów temperatury, paliw, itp.;
- przeanalizować rzeczywistą wydajność operacyjną istniejącego wyposażenia;
- benchmarking.

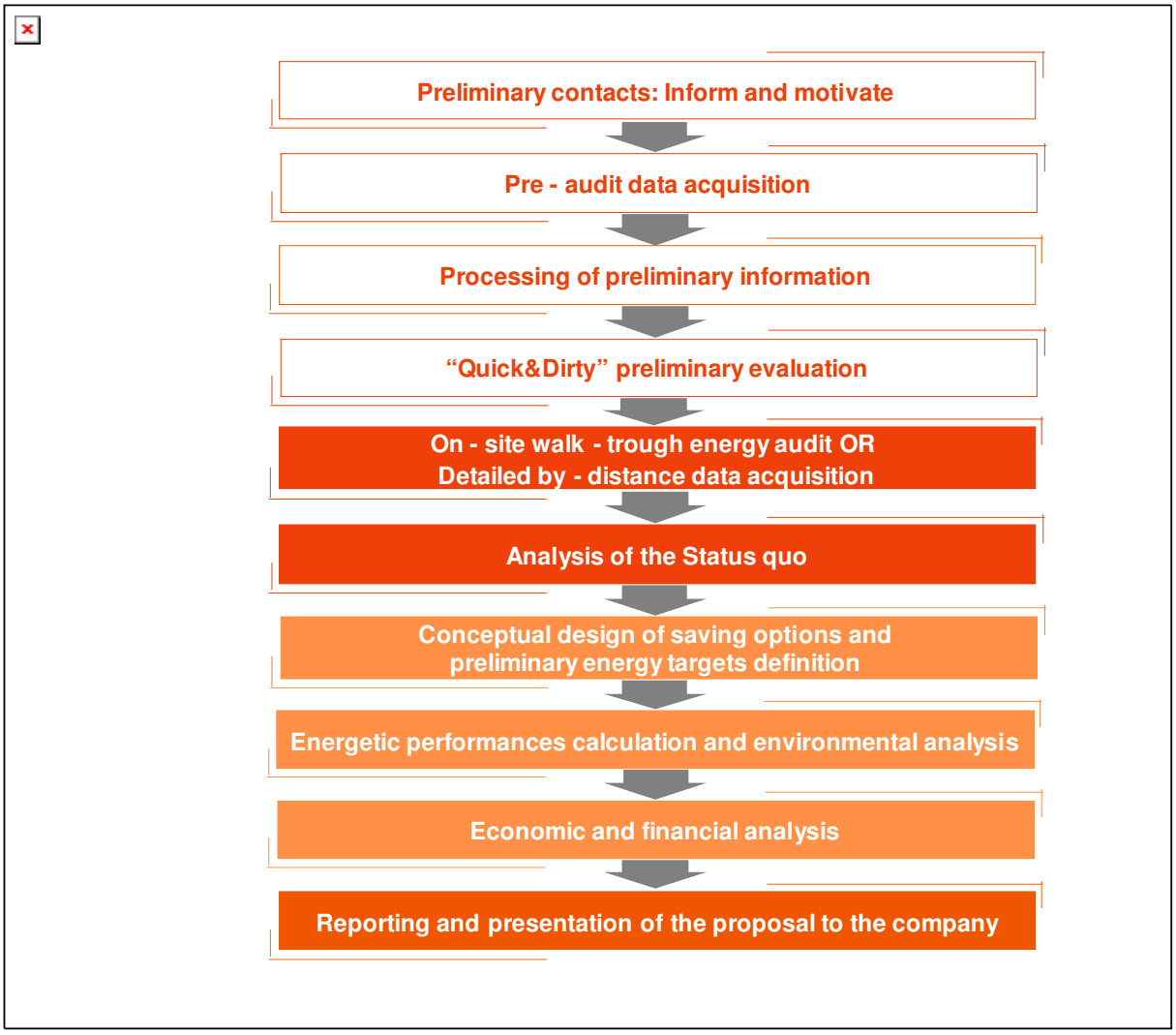
Kiedy już mamy wyraźny obraz rzeczywistych przepływów energii oraz braków efektywności energetycznej przedsiębiorstwa, możemy zdać się na EINSTEIN także w kwestii implementacji trzeciego etapu procedury audytowej: **stworzenia i oceny alternatywnych rozwiązań oszczędnych energetycznie.** To zadanie kieruje nas do porównania różnych opcji poprzez następujące kroki:

- wstępne projektowanie integralnych działań z zakresu energii i oszczędzania zasobów oraz definicja celów energetycznych;
- wyliczenie wydajności energetycznej oraz analiza wpływu realnych rozwiązań na środowisko;
- analiza aspektów ekonomicznych i finansowych.

Wreszcie będziemy mieli na laptopie wszystkie dane niezbędne do wykonania przejrzystej i efektywnej prezentacji wyników badania. **Sprawozdawczość** przy pomocy programu EINSTEIN (czwarty etap audytu) jest łatwy dla was i przekonująca dla konsumentów.

Wykres 18. Etapy audytu EINSTEIN z zakresu energii

Cztery etapy audytu EINSTEIN z zakresu energii można podzielić na 10 **kroków audytowych** EINSTEIN, pokazanych na Wykresie 19. Każdy z tych kroków audytowych został opisany ze szczegółami w następnych rozdziałach. Każdy z etapów audytu stawia inne zadania, do których istnieją wskazówki, jak należy każde z nich wykonać, oraz które narzędzia z zestawu narzędzi Einstein można zastosować. W celu uzyskania szczegółowych wskazówek odnośnie zastosowania oprogramowania EINSTEIN proszę przestudiować Instrukcję użytkownika oprogramowania EINSTEIN.



Wykres 19. 10 kroków EINSTEIN w kierunku efektywności energetycznej

Wstępne kontakty: motywowanie

Kontakt listowy i telefoniczny

Celem tego pierwszego kontaktu jest wzbudzenie zainteresowania w kliencie, przekazanie intencji poinformowania o pewnych kwestiach zawczasu i ustalenia terminu spotkania.

Jedną z najlepszych okazji do wzbudzenia zainteresowania klienta jest kontakt osobisty, który już został nawiązany. Prawdopodobnie znane są już wam przedsiębiorstwa, które chcą poprawić funkcjonowanie systemu grzewczego bądź powiększyć, zrestrukturyzować czy też zmienić istniejącą instalację.

Ponadto można wspominać o oprogramowaniu EINSTEIN podczas publicznych prezentacji bądź w ramach dyskusji, rozdawać broszury dotyczące oprogramowania EINSTEIN oraz pozyskiwać nowe kontakty np. podczas targów, szkoleń, w których się uczestniczy, wydarzeń dotyczących oszczędności energetycznej w przemyśle. Można także skontaktować się z lokalnymi stowarzyszeniami branżowymi bądź izbą handlową, jeśli te organizacje byłyby zainteresowane wsparciem waszej pracy (np. poprzez publikację artykułu w ich broszurach informacyjnych, poprzez wysłanie oferty do firm, które są członkami tych organizacji …)

Powinno się także wysłać materiały informacyjne do osoby kontaktowej lub menadżerów ds. energii określonej grupy przedsiębiorstw (np. branży przemysłowej: spożywczej, metalurgicznej, chemicznej, papierniczej, drewnianej, tekstylnej i tak dalej). Ponieważ Audyt EINSTEIN będzie nowym produktem waszej firmy doradczej można zacząć od swoich stałych klientów.

Te materiały informacyjne powinny zawierać główne aspekty programu EINSTEIN (jak wspomniano w ulotce dotyczącej EINSTEIN, łącznie z np. niektórymi statystykami kosztów energii), ale także informacją o możliwościach uzyskania wsparcia finansowego, którego prawdopodobnie można udzielić np. poprzez wsparcie finansowe instytucji publicznych, izbę handlową i tak dalej.

Po tygodniu lub dwóch powinno się skontaktować się z osobą, która otrzymała informacje wstępne. Celem jest przekonanie przedsiębiorstwa o kontynuacji procesu i wysłaniu pierwszych danych tak, aby można było sprawdzić czy przedsiębiorstwo jest kandydatem do audytu EINSTEIN. Trzeba także spróbować zorganizować osobiste spotkanie w przedsiębiorstwie i/lub przekonać do wypełnienia podstawowego kwestionariusza.

Najpierw należy sprawdzić, czy osoba, z którą nawiązaliśmy kontakt jest osobą właściwą. Można to zrobić zawczasu poprzez uzyskanie informacji z sieci, lub raportów biznesowych czy środowiskowych, artykułów prasowych itp. Powinno się znać funkcję, nazwisko, tytuł, numer telefonu, produkty oraz wielkość obiektu przemysłowego zanim zadzwoni się do odpowiedniej osoby.

Należy zdefiniować pierwsze zdania, zalety oraz pomyśleć o odpowiedziach na kontrargumenty takie jak: „Nie mam czasu, nie interesuje mnie to, proszę wysłać nam więcej informacji …”

Termin wstępnego spotkania (opcjonalny)

Jeśli przedsiębiorstwo znajduje się w miarę blisko biura powinno się pomyśleć o wstępnej wizycie na miejscu tylko po to, aby nawiązać osobisty kontakt i zaprezentować swoje przedsiębiorstwo oraz oprogramowanie EINSTEIN. W przeciwnym razie trzeba będzie wdać się w szczegółową rozmowę telefoniczną. Należy sprawdzić, czy odpowiednie osoby są na miejscu w terminie spotkania (np. menadżer obiektu, pracownik nadzorujący bojler, dyrektor działu technicznego…). Można także wysłać kwestionariusz lub narzędzie do samodzielnej oceny EINSTEIN. (dalsze szczegóły w punkcie 3.2)

Zwykle przed pierwszym spotkaniem należy zgromadzić tyle informacji ile to możliwe z sieci. Powinno także postarać się zrozumieć, kim jest klient, czego mógłby oczekiwać (np. ma problemy techniczne, koszty energii są za wysokie, aby sprostać wymaganiom przedsiębiorstwa, chce się wyróżnić…). Wówczas można zdefiniować podstawowe zalety oraz cele spotkania: rozpoczęcie audytu EINSTEIN, krótki obchód terenu zakładu.

Na tym pierwszym spotkaniu należy spytać klienta, czy chce rozpocząć od prezentacji przedsiębiorstwa czy chce najpierw posłuchać o przedsiębiorstwie. Wówczas powinno się spytać klienta o jego sytuację, życzenia,

problemy i oczekiwania. Można przedyskutować problemy, które są już znane bądź spytać np.: Czy koszty energii wzrosły? Dlaczego? Czy powstały jakieś problemy techniczne bądź organizacyjne w związku z systemem cieplnym, np. w ramach instytucji publicznych bądź innych przedsiębiorstw lub przedsiębiorstw użyteczności publicznej? Kto jest odpowiedzialny za utrzymanie? Ile lat ma bojler? Czy brakuje czasu, środków finansowych, know how? Czy są jakieś plany na przyszłość? Kto będzie odpowiedzialny za ewentualny projekt?

W celu prezentacji narzędzia EINSTEIN można użyć oficjalnej prezentacji projektu EINSTEIN, broszury promocyjnej EINSTEIN oraz broszury technicznej EINSTEIN (zawartej w zestawie narzędzi EINSTEIN). Można użyć także wyników badania quick-and-dirty, jeśli są już dostępne.

Kilka wskazówek ogólnych:

- Rozpocznij rozmowę od informacji zgromadzonych z sieci lub powiedz „macie bardzo interesującą stronę internetową, kto za nią odpowiada…"

- Nigdy nie odpowiadaj na sprzeciw bezpośrednio, tylko pytaj czy dobrze zrozumiałeś, zanotuj i zastanów się. Spróbuj zdefiniować inne podstawowe zalety.

- Staraj się zadawać wiele pytań otwartych, tak aby jak najwięcej się dowiedzieć.

  Nie mów zbyt wiele. Prezentuj dokładne i krótkie informacje odnośnie podstawowych zalet, z których przedsiębiorstwo mogłoby skorzystać.

EINSTEIN Krok 1: Kontakty wstępne. Informowanie i motywowanie

> **Materiały promocyjne**

> **Możliwość samooceny**

Gromadzenie danych przed audytem

Zanim rozpocznie się audyt energetyczny w jakimś sektorze przemysłu (co zwykle wymaga uprzedniego nawiązania kontaktu pomiędzy przedsiębiorstwem a audytorem) dobrze jest zebrać informacje wstępne. Te informacje wstępne mogą pomóc w podjęciu decyzji czy warto rozpoczynać proces audytowy.

Przygotowanie użytkownika na pytania dotyczące interesujących nas danych powinno nastąpić *przed* wizytą bądź szczegółowym kwestionariuszem telefonicznym, co pomaga zaoszczędzić czas zarówno pracownika danego przedsiębiorstwa jak i samego audytora. Dodatkowo w ten sposób mamy większą szansę uzyskania kompletnych i szczegółowych danych.

W wielu przypadkach pozyskiwanie danych na odległość może wystarczyć do pierwszej szybkiej oceny quick-and-dirty i znalezienia pomysłu na możliwe działania zmierzające do oszczędności energetycznych.

Przygotowanie przedsiębiorstwa-użytkownika

W celu przygotowania przedsiębiorstwa-użytkownika zwróć uwagę na typ danych, które są potrzebne, tak aby można było zebrać wymagane informacje, ponieważ pierwszym krokiem jest checklista dotycząca właściwych danych:

- Ogólna sytuacja przedsiębiorstwa:

  - sytuacja ekonomiczna (przeszła i obecna)
  - widoki na przyszłość (przewidywana ewolucja ilości produkcji, inne istotne zmiany lub projekty)

- rachunki za paliwo i elektryczność:
  - przegląd ilościowy obecnego zużycia energii oraz taryf
  - dane z lat poprzednich, jeśli są dostępne
  - miesięczne dane, jeśli są dostępne, bądź informacje ilościowe o zapotrzebowaniu w zależności od sezonu

- opis procesu produkcyjnego (flow chart):

  - jakie linie produkcyjne istnieją w przedsiębiorstwie
  - jaki jest przepływ produktów i kolejne etapy procesu produkcyjnego

- opis różnych procesów:

  - które z procesów wymagają zużycia ciepła i zimna
  - jakie ilości produktów są przetwarzane
  - jakie poziomy temperatury są stosowane (w dostawie ciepła, w samym procesie)
  - ile razy proces przebiega i w jakim czasie

- opis systemu dostawy ciepła i zimna

  - dane techniczne sprzętu (bojlerów, chłodnic, itd.)
  - poziom temperatury i ciśnienia w dystrybucji ciepła oraz w procesach

- opis budynków, hal produkcyjnych oraz magazynów:

  - dane odnośnie konsumpcji dla ogrzewania powierzchni oraz chłodzenia, jeśli są dostępne
  - powierzchnia, przestrzeń zajęta

Przygotowanie audytora

Zwykle audytor w ramach programu EINSTEIN jest ekspertem w dziedzinie systemów energetycznych (dostaw ciepła i zimna), ale nie może być ekspertem w zakresie wszystkich sektorów przemysłu, z którymi prawdopodobnie będzie miał do czynienia. Pomimo to istotne jest, aby zdobyć podstawową wiedzę na temat specyficznych problemów danego sektora, najlepiej jeszcze przed nawiązaniem kontaktu z przedsiębiorstwem, lub przynajmniej przed wybraniem się tam z pierwszą wizytą.

Wiele informacji jest dostępnych dla większości sektorów i podsektorów przemysłowych, ale w wielu przypadkach dostęp do właściwych informacji jest trudny i czasochłonny.

Zestaw narzędzi EINSTEIN pomaga poprzez wskazywanie przydatnych linków umożliwiających łatwy i szybki dostęp do informacji w większości sektorów, które można następnie pogłębić w zależności od dostępnego czasu oraz szczególnych potrzeb, posługując się licznymi linkami internetowymi oraz odwołaniami bibliograficznymi podanymi w dodatkowej dokumentacji.

Audytor powinien uzyskać podstawową wiedzę na następujące tematy:

- Jakie są najbardziej istotne procesy dla typowej gałęzi przemysłu danego sektora z punktu widzenia zużycia energii?

- Jakie mamy obecnie możliwości jeśli chodzi o technologię procesu, oraz jakie są jej główne zalety i wady?

Podstawowy kwestionariusz do gromadzenia danych na odległość

Metodologia audytu EINSTEIN przewiduje stosowanie podstawowego kwestionariusza do pozyskiwania danych, które następnie mogą zostać uzupełnione bardziej szczegółowymi informacjami („szczegółowe załączniki"). Ten kwestionariusz może zostać wysłany do przedsiębiorstwa, łącznie z tekstem wyjaśniającym, tak żaby technik pracujący w przedsiębiorstwie mógł wypełnić kwestionariusz informacjami. Kwestionariusz jest dostępny w formie wydruku a także w formie elektronicznej (patrz Załącznik). Przedsiębiorstwa powinny wypełniać kwestionariusz najlepiej w formie elektronicznej, ponieważ dzięki temu dane można automatycznie zaimportować do oprogramowania EINSTEIN.

Należy także wziąć pod uwagę, że pierwsza ogólna ocena może zostać przeprowadzona półautomatycznie przy nielicznych danych, pomimo że – generalnie – wiarygodność analizy i związane z tym rekomendacje wzrastają wprost proporcjonalnie do ilości zgromadzonych danych.

Wprowadzanie do narzędzia EINSTEIN niepełnych danych sprawi, że program będzie próbował oszacować brakujące parametry na tyle na ile to możliwe, oraz przeprowadzi obliczenia, które są możliwe przy użyciu dostępnych informacji i wygeneruje checklistę najważniejszych informacji dodatkowych, które powinien uzyskać audytor (zobacz opis menu „kontrola zgodności" w podręczniku użytkownika).

EINSTEIN Krok 2: gromadzenie danych przed audytem

> przygotowanie przedsiębiorstwa

> przygotowanie własnej osoby

> zebranie danych podstawowych na odległość

Przygotowanie audytu: przetwarzanie informacji wstępnych

Przetwarzanie danych zebranych przed audytem

Zwykła kontrola wstępna danych dostarczonych przez daną gałąź przemysłu może zostać przeprowadzona za pomocą oprogramowania EINSTEIN. Raz wprowadzone dane dostępne powodują utworzenie statystyki oraz oceny dostępnych informacji i sprawdzenie zgodności danych.

Na tym etapie pierwszego przetwarzania danych zebranych przed audytem można uzyskać następujące informacje:

- Listę poważnych niezgodności w danych (np. zużycie konkretnego typu paliwa, nie stosowanego w żadnym sprzęcie, ...)

- Listę niezbędnych danych, których brakuje i których nie da się obliczyć ani oszacować z innych dostępnych informacji.

Pełne informacje zebrane telefonicznie

Jeśli podczas przetwarzania danych zebranych przed audytem odkryto znaczące niezgodności bądź brak podstawowych danych, które są zbyt pobieżne, nawet jak na pierwszą, wstępną ocenę, kontakt telefoniczny z przedsiębiorstwem może pomóc w uzyskaniu dodatkowych danych bądź wyjaśnieniu wątpliwości.

Po zmianie podstawowego zestawu danych, kontrola zgodności (patrz poprzedni rozdział) powinna zostać powtórzona.

W tym momencie powinny być dostępne przynajmniej następujące dane:

- Kluczowe i produkowane produkty powinny zostać zidentyfikowane
- Łączna ilość zużywanej energii w przedsiębiorstwie na potrzeby cieplne
- Procesy pochłaniające największą ilość ciepła i zimna powinny zostać nazwane i należy oszacować przynajmniej z grubsza zużycie energii na każdy proces
- Najważniejszy sprzęt dostarczający ciepła i zimna powinien zostać zidentyfikowany i powinny być dostępne informacje o nominalnej mocy sprzętu; należy też sporządzić ogólny zarys systemu dystrybucji ciepła i zimna (który bojler dostarcza ciepła na potrzeby którego procesu, itd.)
- Powinny być znane poziomy temperatur podczas dostarczania ciepła oraz w głównych procesach zużywających ciepło

Pozyskiwanie danych benchmarku

Na tym etapie dysponujemy już pewną ilością szczegółowych informacji odnośnie danej branży przemysłowej, procesów, jakie są w niej stosowane oraz produktów i możemy uzyskać wartości odniesienia z innych podobnych branż (benchmarków).

Źródła informacji potrzebne do tego są następujące:

- Oprogramowanie EINSTEIN dysponuje bazą danych benchmarku, która pomaga szybko odnaleźć wartości odniesienia dla wielu sektorów przemysłu

- Dalsze informacje zawarte są w dokumentach wyszczególnionych w (xxx tu odniesienie do raportu WP2 i / lub listy odwołań w sieci Einstein...).

W celu uzyskania informacji o benchmarkingu patrz rozdział 3.6.5.

Pozyskiwanie podstawowej wiedzy na temat specyficznej gałęzi przemysłu

W ramach dostępnych informacji odnośnie specyficznej gałęzi przemysłu można pogłębić wiedzę dotyczącą szczególnych typów procesów i maszyn, z którymi spotkasz się podczas audytu, jak wspomniano wcześniej, w punkcie 3.2.2.

- Zdobądź informacje o specjalnych maszynach, które są stosowane oraz o możliwych alternatywnych rozwiązaniach technologicznych
- Zdobądź informacje o specjalnym stosowanym wyposażeniu i systemach dostarczania oraz o możliwych alternatywnych rozwiązaniach technologicznych

Identyfikacja możliwych działań

Informacje odnośnie danej branży, które już uzyskaliśmy, pozwalają nam już prawdopodobnie przeprowadzić pełny cykl audytu, od gromadzenia danych do wygenerowania propozycji rozwiązań.

Nawet jeśli dane są nadal w dużym stopniu niepełne i z tej przyczyny wyniki, które otrzymamy będą zapewne niezbyt dokładne, trzeba to zrobić, aby być w stanie określić rząd wielkości możliwych oszczędności, szacunkowe ilości ewentualnych koniecznych inwestycji, itd., które mogą być bardzo przydatne przy pierwszej dyskusji w przedsiębiorstwie podczas audytu.

Nie zabiera to wiele czasu, ponieważ narzędzie oprogramowania EINSTEIN robi to (niemal) automatycznie samo.

Myśląc o ewentualnych ulepszeniach, powinno się także przestudiować dostępną dokumentację odnośnie najlepszej dostępnej technologii (BAT) określonego sektora w danej kwestii. Narzędzie oprogramowania EINSTEIN pomaga uzyskać szybki dostęp do informacji.

Lista priorytetów odnośnie dalszego badania oraz pozyskiwania danych

Jeśli chcemy przeprowadzić *szybki* audyt, musimy skupić się na najważniejszych rzeczach. Jeśli chcemy przeprowadzić audyt *wysokiej jakości*, nie powinniśmy zapominać o kluczowych danych. W niektórych przypadkach może wystąpić sprzeczność pomiędzy celami. Dlatego też gdy już wiemy co będziemy chcieli zaproponować przedsiębiorstwu, powinniśmy spisać listę priorytetów mówiącą o tym, których informacji należy szukać przy pierwszym audycie i kiedy nalegać na uzyskanie informacji nawet jeżeli sprawia to trudności.

Po przeprowadzeniu audytu powinniśmy dysponować wszystkimi informacjami niezbędnymi do ustalenia możliwości wprowadzenia technologii i rozwiązań, które chcemy zaproponować (lub wykluczyć), przy czym należy unikać gromadzenia niepotrzebnych danych, szczególnie jeśli dostęp do nich nastręcza trudności. Na przykład jeśli chcemy zaproponować system generowania energii cieplnej na bazie światła słonecznego do produkcji ciepła niezbędnego do prowadzenia procesów, powinniśmy uzyskać wszelkie informacje na temat powierzchni dachu i podłoża, ewentualnych kłopotów z cieniem, szczegółów dotyczących struktury dachu, itd. koniecznych do oceny tej technologii; z kolei jeśli ewentualne rozwiązane to wymiennik ciepła służący do poprawienia odzyskiwania ciepła w jakimś procesie, fatygowanie przedsiębiorstwa żeby szukało rysunków architektonicznych szczegółów dachu może nie być najlepszą strategią...; to samo dotyczy zadawania pytań odnośnie szczegółów technicznych procesu, który pochłania jedynie 0.3 % łącznego zapotrzebowania na energię).

EINSTEIN Krok 3: Przygotowanie audytu. Przetwarzanie informacji wstępnych

> przetwarzanie danych przed audytem

> wezwanie przedsiębiorstwa do sprawdzenia danych

> porównanie z danymi benchmarku

>wiedza na temat szczególnych procesów / przedsiębiorstw

> identyfikacja dostępnych środków

> ustalenie priorytetów dla audytu

Preewaluacja quick-and-dirty

W wyniku przetwarzania informacji wstępnych, można stworzyć pierwszy raport preewaluacji „quick-and-dirty. Ten raport powinien zawierać informacje o:

- identyfikacji najważniejszych procesów, w których zużywane jest ciepło i zimno oraz przybliżone wyliczenie zużycia energii
- pierwszej ilościowej analizie zapotrzebowania na ciepło i zimno poprzez poziomy temperatury i harmonogramy; krzywa łącznego zapotrzebowania na ciepło

i oparte na tej analizie zapotrzebowanie na ciepło i zimno:

- identyfikacja ewentualnych opcji technologicznych dla efektywnego dostarczania ciepła i zimna
- rząd wielkości wymiarowania niezbędnego wyposażenia
- ocena spodziewanej wydajności energetycznej i ekonomicznej

Ten pierwszy szkic dotyczący tego „*co ewentualnie można zrobić*" w danej branży przemysłowej zmusza audytora oraz użytkownika do skupienia się od teraz na specjalnych informacjach wymaganych dla konkretnych opcji technologicznych, które prawdopodobnie będą brane pod uwagę.

Jak stworzyć raport preewaluacyjny „quick & dirty"?

Raport preewaluacyjny „quick-and-dirty" EINSTEIN może zostać wygenerowany automatycznie przy użyciu opcji „raport" narzędzia oprogramowania EINSTEIN (opcja Sporządź Raport).

Szacunkowe oceny ekonomiczne systemów zaproponowanych przez narzędzie oprogramowania EINSTEIN będą tylko tak dobre, jak dane dotyczące wyposażenia i kosztów podsystemu, które wcześniej zostały wprowadzone do odpowiedniej bazy danych. Te dane mogą się znacznie różnić w zależności od warunków lokalnych i krajowych, a dane wartości domyślne powinny być interpretowane wyłącznie jako przybliżone i orientacyjne.

Nie obiecuj zbyt wiele na początku!

Jak już wspominaliśmy, w niektórych przypadkach prezentacja pierwszego raportu preewaluacji może przydać się przedsiębiorstwu do poinformowania o ewentualnych opcjach oraz niezbędnych przyszłych krokach, które będzie należało podjąć. Liczby orientacyjne mogą pomóc personelowi technicznemu bądź kierownikom jednostek w przekonaniu przedsiębiorstwa by kontynuowało audyt i pogłębiało analizę a nawet ubiegało się o finansowanie.

Niemniej jednak należy zadbać o to, aby nie prezentować zbyt szczegółowych danych (szczególnie ekonomicznych!) które nie mają solidnych podstaw. W każdym razie należy wyraźnie powiedzieć przedsiębiorstwu, że liczby są wyłącznie szacunkowym określeniem rzędu wielkości, które mogą się znacznie zmienić podczas bardziej szczegółowej analizy.

EINSTEIN Krok 4: raport preewaluacyjny “quick & dirty”

> stworzenie raportu preewaluacyjnego

> opcjonalne: przedstawienie raportu przedsiębiorstwu

Wizyta na miejscu (lub jako alternatywa: ponowne zbieranie szczegółowych informacji na odległość)

Opcjonalnie: zaprezentuj i przedyskutuj badanie quick-and-dirty

Jeśli zdecydowałeś się zaprezentować część wstępnych wyników pierwszego badania quick&dirty przedsiębiorstwu, może jest to odpowiednia chwila, aby rozpocząć dyskusję podczas wizyty. Można podsumować otrzymane wyniki zebrane do tej pory na odległość i wyjaśnić wstępne konkluzje odnośnie przedsiębiorstwa.

Wywiady i wizyty na miejscu w celu zebrania szczegółowych danych

Gromadzenie danych w biurze

Pierwszy krok po przyjeździe do przedsiębiorstwa powinien zawsze polegać na tym, że siadamy w biurze, przedstawiamy się, przedstawiamy naszą ofertę i zbieramy podstawowe informacje. Jeśli to możliwe, podczas pierwszego spotkania powinni być obecni przedstawiciele personelu technicznego przedsiębiorstwa, którzy znają szczegóły techniczne procesu oraz sprzętu w przedsiębiorstwie.
Można zastosować strukturę podstawowego kwestionariusza EINSTEIN (powinno się mieć kopię tego kwestionariusza przy sobie, uzupełnionego o informacje zebrane we wcześniejszych etapach) w celu nadania struktury wywiadom przez zadawanie pytań dotyczących następujących informacji:

- ogólne informacje o przedsiębiorstwie: co produkuje i w jakich ilościach; jak wygląda proces produkcyjny; najważniejsze liczby (obrót, zużycie energii, ilość pracowników); jak wygląda praca, tryb zmian i jak wyglądają kwestie urlopów, itd. W tym kontekście ważne jest także uzyskanie informacji na temat perspektyw przedsiębiorstwa: plany poszerzenia działalności, które mogą całkowicie zmienić dane dotyczące popytu, bądź wprost przeciwnie, ryzyko zamknięcia niektórych linii produkcyjnych bądź całej fabryki w związku z konkurencją.
- rachunki za paliwo i elektryczność oraz taryfy za energię: spróbuj uzyskać informacje z kilku lat, oraz jeśli to możliwe, szczegółowe informacje dotyczące tego jaki udział zużycia odpowiada określonemu sprzętowi / procesowi / linii produkcyjnej
- dane dotyczące procesu: tak jak w wielu innych gałęziach przemysłu ogólne zużycie energii jest znane, ale nie jest ono znane dla poszczególnych procesów z osobna, szczegółowe informacje odnośnie procesu są niejednokrotnie jedynym sposobem na określenie rozłożenia popytu na ciepło (potencjalne sposoby na uzyskanie tych informacji zostały ogólnie przedstawione na Wykresie 20) ważne jest, aby zrozumieć jak dany proces funkcjonuje; jakie są harmonogramy operacyjne oraz temperatura procesu;

Ponadto warto zebrać dodatkowe informacje na temat różnych komponentów przyczyniających się do zmiany popytu na ciepło:

- dopływ i odpływ cieczy: objętość lub masa oraz poziomy temperatury (wlotowej/wylotowej)
- masa lub objetość, która musi zostać podgrzana podczas rozruchu, ilość partii lub przerw oraz temperatura początkowa, z której urządzenia muszą zostać podgrzane
- straty ciepła działających urządzeń zaangażowanych w proces: moc konieczna do utrzymania procesu na określonej temperaturze. Może składać się z wymaganej mocy do kompensacji strat ciepła, wymaganej mocy do zmiany fazy cieczy (gotowanie, suszenie) bądź mocy wymaganej do reakcji chemicznych. Jest to często najtrudniejsza część, która musi zostać ustalona, ponieważ np. zazwyczaj współczynniki strat cieplnych danego procesu nie są znane. Można uzyskać trochę wskazówek pozwalających na obliczenia, np. jeśli wiemy że urządzenia po okresie Dt (np. w nocy) ochładzają się z temperatury procesu TP do temperatury końcowej T', można obliczyć związany z tym współczynnik utraty ciepła; lub jeśli znasz przybliżoną wielkość urządzeń i szczelność izolacji można spróbować dokonać obliczeń; w procesach suszenia różnica wilgotności produktu mokrego i suchego dostarcza informacji o tym ile ciepła należy zastosować do odparowania, itd.

Narzędzie oprogramowania EINSTEIN jest pomocne przy przeprowadzaniu dodatkowych obliczeń w najczęściej występujących przypadkach.

- *dane dotyczące urządzeń dostarczających ciepło i zimno*: sporządź spis istniejących urządzeń i najważniejszych danych technicznych (włącznie z ich wiekiem i stanem konserwacji, aby podjąć decyzję czy ma sens zasugerowanie wymiany urządzeń); spróbuj uzyskać nie tylko informację o nominalnej *mocy*, ale także *energii* (ciepła lub zimna) wytworzonej przez te urządzenia (godziny pracy, współczynnik obciążenia częściowego [PLF]), nawet jeśli jest to informacja bardzo jakościowa, jak np. „stosujemy je tylko przez kilka godzin w ciągu dnia, służą głównie jako rezerwa" lub „te dwa bojlery pracują prawie zawsze przy pełnym obciążeniu i czasem brakuje nam pary..."; nie zapominaj o sporządzeniu jasnego diagramu blokowego dotyczącego tego, które urządzenia dostarczają ciepła bądź zimna któremu procesowi.

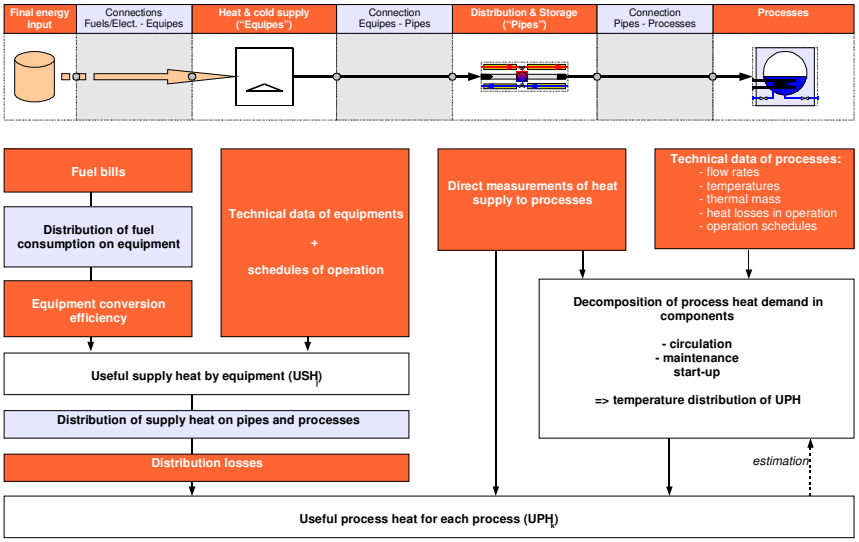
- *dane dotyczące dystrybucji oraz magazynowania ciepła i zimna*: długość i średnica rur oraz duktów; poziomy temperatur oraz ciśnienia oraz wskaźniki przepływu; niezależnie od tego skąd można zaczerpnąć tych dodatkowych informacji, może to pomóc w stworzeniu bardziej dokładnego obrazu zużycia w fabryce; należy zlokalizować magazynowanie ciepła tam, gdzie ono się odbywa (objętość, poziom temperatury i ciśnienia, izolacja).

- *istniejące systemy odzyskiwania ciepła*: zlokalizuj wymienniki ciepła w ramach systemu odzyskiwania ciepła, włącznie z danymi technicznymi oraz (typowymi) warunkami rzeczywistej pracy (współczynniki przepływu oraz temperatur po stronie ciepła i zimna).

- *energie odnawialne*: zlokalizuj dostępną przestrzeń (dach oraz powierzchnię na ziemi) do ewentualnego użycia cieplnej energii słonecznej (wielkość, kierunek, nośność statyczna dachu, odległość od maszynowni i / lub procesów); oceń dostępność biomasy i biogazu (biomasy osadowej z samego procesu produkcji lub od innych dostawców); czy jest uzasadnione zastosowanie energii odnawialnych oprócz oszczędności (np. przyczynienie się do ochrony środowiska, aspekty marketingowe, ...)?

- *zapotrzebowanie na ciepło i zimno w budynku*: zapotrzebowanie na ciepło i zimno w budynku może w niektórych przedsiębiorstwach stanowić znaczną część łącznego zapotrzebowania; sporządź spis istniejących budynków, systemu grzewczego oraz systemu wentylacyjnego; poziomów temperatur oraz harmonogramów użytkowania, itd.; należy poprosić o szkic budynku, jeśli to możliwe.

- *parametry ekonomiczne i finansowe*: jakie są koszty obsługi i konserwacji w przedsiębiorstwie (poza rachunkami za energię); jak są finansowane inwestycje w systm dostarczania energii (zewnętrznie,. wewnętrznie); jakie są wymagania związane ze spłatą bądź wskaźnikami zwrotu.



Wykres 20: Ewentualne sposoby pozyskiwania informacji na temat zapotrzebowania na ciepło i zimno w ramach różnych procesów

Powinno się pamiętać o tych zestawach danych i stosować je jako mentalną checklistę (najlepiej także na papierze), po to aby nie opuścić fabryki przed zadaniem kluczowych pytań. Ale w większości przypadków rozmowa nie idzie zgodnie z zestawem informacji zwartym w naszych głowach, lecz uzyskujemy informacje fragmentaryczne i pozbawione struktury, jak w nieformalnej rozmowie.

Aby zachować przejrzystość spojrzenia, warto prowadzić notatki o jasnej strukturze podczas wizyty, pogrupowane w zestawy wspomniane wyżej. W ten sposób po godzinie nieformalnej rozmowy, kiedy dowiedzieliśmy się wiele o różnych procesach oraz urządzeniach, a także na temat relacji rodzinnych technika zajmującego się konserwacją sprzętu i problemach z konkurencją, z jakimi boryka się właściciel fabryki, można nadal śledzić informacje i to, czy mamy już wszelkie niezbędne dany, lub czy (i *gdzie*) brakuje czegoś istotnego.

Spacer po terenie przedsiębiorstwa

Kiedy już wydaje nam się, że uzyskaliśmy od biura wszystko, co było można uzyskać, przejdźmy się po fabryce i obejrzyjmy jej instalacje. Upewnijmy się, że obejrzeliśmy przynajmniej kluczowe procesy oraz urządzenia dostarczające ciepło. Jeśli to możliwe weźmy ze sobą kamerę cyfrową i zróbmy zdjęcia, które pomogą nam później w przypomnieniu sobie szczegółów.

Użyj tej wizyty w celu pogłębienia wiedzy na temat funkcjonowania różnych procesów i zadaj dokładne pytania, o których nie pomyślałeś podczas rozmowy w biurze.

Spróbuj przewidzieć ewentualne problemy, które być może trzeba będzie rozwiązać w celu zmodyfikowania systemów, a które może już w tej chwili przychodzą Ci do głowy:

- ewentualne możliwości połączenia nowych linii bądź sprzętu do dystrybucji ciepła i zimna
- dostępna przestrzeń dla nowych urządzeń lub magazynowa

W biurze rozmawialiśmy jedynie z dyrektorem technicznym, a teraz należy spróbować zastosować tę pierwszą wizytę w celu skontaktowania się z personelem odpowiedzialnym za konserwację, który może udzielić cennych informacji z codziennej praktyki (np. zadawaj pytania w rodzaju „… *rano kiedy wchodzisz do fabryki, jaką temperaturę ma ten zbiornik magazynowy*", itd. ...).

3.5.2 Szybka kontrola kompletności oraz spójności na miejscu

Jeśli podczas wywiadu stosowaliśmy laptop i mieliśmy okazję wpisać niektóre dane do narzędzia oprogramowania EINSTEIN można zastosować opcję „kontrola spójności" narzędzia oprogramowania EINSTEIN aby sprawdzić:

a) czy dane są spójne, lub czy nie ma niezgodności w uzyskanych informacjach (np. pomylone jednostki)

b) czy nie brakuje nam istotnych danych (i jakie to dane), tak aby można było wprost o *te dane* poprosić.

c) może dysponujemy wystarczającą ilością informacji aby uruchomić narzędzie generujące automatycznie sugestie, co da nam obraz rzędów wielkości ewentualnych alternatywnych systemów dostarczania ciepła (np. jeśli wiemy ile dodatkowego magazynowania wymagał będzie określony system, podczas wizyty można sprawdzić czy mamy wystarczającą ilość miejsca...).

Pomiary podczas wizyty

W wielu procesach produkcyjnych całkowite roczne (a zwykle nawet miesięczne) zapotrzebowanie na energię wylicza się na podstawie rachunków firmy za media, ale zapotrzebowanie przydzielane na poszczególne wyposażenie lub procesy. Jednakże, ta wiedza – przynajmniej dla kluczowych procesów oraz dla głównego sprzętu dostarczającego ciepło i zimno – jest niezbędna przy zastosowaniu metodologii oprogramowania EINSTEIN.

Wszelkie dane dostępne podczas pomiarów na miejscu w firmie mogą pomóc w analizie szczegółowego profilu energetycznego w tym zapotrzebowania na energię oraz programów dostępności zużytego ciepła. Dlatego ważne jest, aby sprawdzić wraz z firmą, które dane są już monitorowane a które kombinacje zbiorów danych mogą zostać użyte przy analizie przepływu energii.

W wielu firmach niezbędne okażą się dodatkowe pomiary, aby uzupełnić braki danych. W zależności od różnorodności procesów, niektóre pomiary mogą być przeprowadzone podczas pierwszej wizyty w firmie. Szybkie i łatwe pomiary dla wyliczenia przepływów ciepła i zimna podczas pierwszej wizyty na terenie firmy to m.in.:

Pomiary temperatury

Pistolety na podczerwień stosowane przy (nie izolowanych) zbiornikach lub rurach mogą zaprezentować pierwsze oszacowanie temperatury podczas produkcji. W przypadku, gdy temperatura podczas procesu ulega szybkiej zmianie, termoelementy z rejestratorami danych mogą zostać szybko zainstalowane i zgromadzić dane podczas trwania wizyty. Temperatura zmierzona w izolowanych zbiornikach lub kanałach stanowi podstawę do wyliczeń strat ciepła.

W przypadku, gdy znany jest przepływ masowych w rurach (przepływów zaopatrzenia w ciepło, strumienia produkcji lub przepływu zaopatrzenia w zimno), pomiar temperatury obiegu w rurach podczas kilku godzin może już zapewnić wystarczająca informację o wyliczeniu ciepła i zimna dostarczanego do rur.

Pomiary przepływu masowego

Pomiary bezdotykowe wody/średniego przepływu przy zastosowaniu np. ultradźwiękowych zasad pomiaru mogą być łatwo przeprowadzone bez ingerowania w procesy. W połączeniu z pomiarami temperatury, przepływ energii może być łatwo obliczony. Pamiętaj, że krótkie pomiary (np. kilkugodzinne) prezentują jedynie mały odcinek całej produkcji szczególnie w przypadku, gdy w procesie produkcyjnym duże znaczenie ma czas.

Pomiar przepływu energii może być przeprowadzony po pierwotnej fazie zaopatrzenia w energię (ciepła woda, przewód kondensacyjny) lub po wtórnej fazie (pomiar procesu pośredniego). Zwykle wybór od dostępności możliwych punktów pomiarowych (dostęp do rur, materiał izolacyjny, rodzaj rury, regulacja itp.). Krótka lista możliwych pomiarów (niekompletna) pokaże użytkownikowi możliwe punkty pomiaru:

1. *Pomiary po stronie procesu ("faza wtórna"):*
    - Pomiar procesu pośredniego (woda, powietrze, przepływ produktu)
    - Pomiar świeżej wody dodanej do zbiornika, która jest ciągle podgrzewana do określonej temperatury (np. w zakładach myjących)
2. *Pomiary po stronie zaopatrzenia w ciepło („faza pierwotna"):*
    - Pomiary dostaw wody ciepłej oraz temperatury przed i po wymianie ciepła (dla pośredniego zaopatrzenia w energię)
    - Pomiary dostaw wody ciepłej oraz temperatury wody ciepłej (dla pośredniego zaopatrzenia w energię)
    - Pomiar przewodu kondensacyjnego jednego procesu (lub kilku procesów, jeśli ich regulacja pozwala na to, aby dane pomiarowe były później przypisane każdemu procesowi)

- Pomiar świeżej wody dodanej do systemu strumienia zaopatrzenia (dla wskazania zużytej energii jako bezpośredniego źródła)

Program pomiarowy dla użytkownika

Jeśli zauważysz, że brakuje jakiejś informacji, która nie może być natychmiast dostarczona podczas pomiaru na miejscu, może przekazać część pracy firmie:

- Zapisywanie w regularnych odstępach czasu temperatur, ciśnienia lub stanu liczników z już istniejących czujników
- Możesz także zostawić niektóre sprzęty pomiarowe, które ze sobą zabrałeś i poprosić firmę, aby zapisywała wyniki pomiarowe przez pewien czas.
- Możesz wskazać kilka łatwych „eksperymentów", które mogą być przeprowadzone przez firmę (np. sporządzenie wykresów przepływu ciepła i zimna niektórych urządzeń itp.)

Omów spostrzeżenia po wizycie

Po wizycie, dostarcz firmie informacje dotyczące twojego wrażenia oraz propozycji działania:

- Wskażcie i zdecydujcie wspólnie, które możliwe wyniki należy przeanalizować w szczegółach, a które z góry wykluczyć.
- Ustal pewien harmonogram kolejnych kroków: ostateczny termin dostarczenia przez firmę dodatkowych informacji; ostateczny termin na dostarczenie raportu z audytu.

EINSTEIN Krok 5: etapy audytu w terenie

> zaprezentuj firmie badanie quick and dirty

> przeprowadź rozmowy i odwiedź miejsce

> sprawdź nowe dane

> przeprowadź pomiary

> określ program pomiarowy

> omów nową koncepcję

Analiza status-quo

Sprawdzanie danych pod kątem spójności i pełności

Regularna analiza status-quo to punkt wyjścia dla dalszego poszukiwania możliwości oszczędzania energii w przedsiębiorstwie. Jednakże dzielenie całkowitego zużycia energii na różne składowe i określanie głównych strumieni, źródeł i wycieków energii wymaga zdobycia raczej dużej ilości danych. Poza ilością także dokładność i spójność dostępnych danych znacząco wpływa na rzetelność przewidzianych alternatywnych rozwiązań.

Jak już wspominaliśmy w poprzednim rozdziale, często istnieje kilka sposobów zdobycia tej samej informacji. Oto przykłady: (patrz także Wykres 20):

- Zużycie paliwa w przedsiębiorstwie może zostać podane bezpośrednio w formie energii, albo w ilości zużytego paliwa (wyrażonej w m^3, litrach, itp.), z czego można obliczyć zużycie energii używając niskiej wartości opałowej [LCV] paliwa.

- Ciepło wytwarzane przez bojler podgrzewający wodę może zostać oszacowane albo poprzez zużyte do tego paliwo, albo jako ilość zużytej ciepłej wody; co więcej, może nawet pojawić się pomiar ciepła wskazujący bezpośrednio ilość dostarczonego ciepła w wylocie bojlera.

Zbierając dane nt. status-quo (obecnego stanu zapotrzebowania na energię, itp.) możesz spotkać się z - i musieć rozwiązać – jednym bądź obydwoma z poniższych problemów:

- *Nadmiar* informacji i możliwe *sprzeczności* danych: Nadmiar istnieje w przypadku gdy, jak w powyższym przykładzie, masz dwa bądź więcej sposobów określenia czy oszacowania tego samego parametru. Jeśli różne drogi doprowadzą Cię do tego samego wyniku, wszystko jest w porządku: masz większą pewność, że otrzymana wartość jest prawdziwa. Ale w odwrotnym przypadku, jeśli różne sposoby obliczenia czegoś dają różne wyniki, wtedy stajesz przed problemem wyboru (która wartość jest prawdziwa a która nie?) i – jakiegokolwiek wyboru dokonasz – w konsekwencji niepewności możesz wątpić w prawdziwość obu.

- *Brak informacji.* Możesz nie posiadać dostępu do wszystkich szczegółowych informacji potrzebnych Ci do dokładnych obliczeń. Np. możesz znać całkowity popyt na ciepło (obliczony na podstawie zużycia paliwa) i zapotrzebowanie procesu zużywającego najwięcej ciepła, ale może brakować Ci informacji nt. tego jak rozkłada się pozostały popyt na dwa mniejsze procesy.

Sprawdzanie nadmiaru i pełności to w drodze rozbudowanego systemu może okazać się dość rozległym zadaniem. Masz do tego następujące narzędzia:

a) *związki matematyczne i fizyczne* pomiędzy różnymi ilościami otrzymanymi z podstawowych praw fizyki (zachowanie energii, drugie prawo termodynamiki) oraz *fizycznych właściwości* materiałów.

- *Równowaga energii i masy* wyposażenia i podsystemów (wkład = wynik + strata). Parametry wydajności bądź masowe proporcje przepływu w wielu przypadkach muszą wynosić od 0 do 1 zgodnie z zasadami zachowania energii.

- *Ograniczenia drugiego prawa:* ciepło przepływa jedynie od gorącego do zimnego. To może pomóc Ci zdefiniować minimalne i maksymalne możliwe wartości niektórych wielkości (np. temperatury).

- *fizyczne właściwości materiałów,* szczególnie właściwości płynu i paliwa. Np.: energia transportowana w formie płynu związana jest z przepływem masy i określoną różnicą zawartości ciepła między tym co wysyłane i otrzymywane, co zależy od określonej pojemności ciepła i od frakcji gwałtownego parowania oraz i utajonego ciepła parowania (w przypadku zmiany fazy).

- *godziny działania* procesu i wyposażenia są ograniczone czasem trwania dnia (24h) oraz roku (8760 h) oraz czasem wolnym od pracy i weekendami.

b) *wiedza inżynieryjna* nt. typowych wartości bądź praktycznych limitów niektórych wartości:

- z punktu widzenia matematyki wydajność bojlera wynosi od 0 do 1 (albo od zera do około 1,1 jeśli punkt odniesienia stanowi LCV [niska wartość opałowa]). W praktyce dziwne byłoby znalezienie bojlera o tak niskiej wydajności jak 0.1, a także 0.999 w praktyce może okazać się niemożliwe do osiągnięcia. Więc coś pomiędzy 0.7 a 0.95 może zostać uznane za praktyczny limit dla bojlerów niekondensacyjnych. Podobne rozumowanie może zostać zastosowane w przypadku wydajności dystrybucji rurami i przewodami.

- *spadki temperatury* w zamiennikach ciepła (LMTD) teoretycznie (zgodnie z drugim prawem termodynamiki) muszą wynosić więcej niż 0 K. Ale w *praktyce inżynieryjnej* limit ten jest nawet wyższy i wynosi coś pomiędzy 3 a 5 K w przypadku zamienników ciepła o układzie ciecz-ciecz. Podobne rozumowanie może zostać zastosowane dla różnicy pomiędzy wysyłanymi a powracającymi temperaturami w cyrkulacji cieczy: nikt nie zaprojektuje obiegu z cieczą transportującą ciepło cyrkulujące przy tak wysokim przepływie masy że różnica między wysyłanym a powracającym wynosi jedynie 0,1 K. Praktyczne limity mogą tu wynosić od 1 do 2 K.

- *straty ciepła* w niektórych sprzętach są niemożliwe do dokładnego oszacowania, ale istnieje pewien górny limit wynikający z całkowitej powierzchni sprzętu (która łatwo może zostać obliczona na podstawie rozmiaru) i faktu iż całkowity przepływ ciepła (promieniowanie + naturalna konwekcja) każdego nieizolowanego ciała i przy nie najwyższej temperaturze (ponizej 100 ºC) jest niższy niż 8 W/m^2K w pomieszczeniu i 20 W/m^2K na zewnątrz (łącznie z wiatrem), jeśli nie ma dodatkowych strat spowodowanych zmianą fazy bądź reakcjami chemicznymi (np. wrzeniem ...).

- *czas na nagrzanie bądź wypełnianie/opróżnianie* sprzętu używanego w procesie rzadko przekroczy 50 % całkowitego czasu trwania partii w obróbce partii bądź więcej niż 2 – 3 godziny w ciągłym procesie przerywanym na czas nocy.

Podczas gdy limity matematyczne podają ostry i jasno zdefiniowany osąd (tak/nie) nt. tego czy dana wartość parametru (w kontekście całego zestawu danych) jest możliwa czy nie, limity wiedzy inżynieryjnej są do pewnego stopnia rozmyte. Na potrzeby tych ograniczeń inżynieryjnych w EINSTEIN rozróżniamy między:

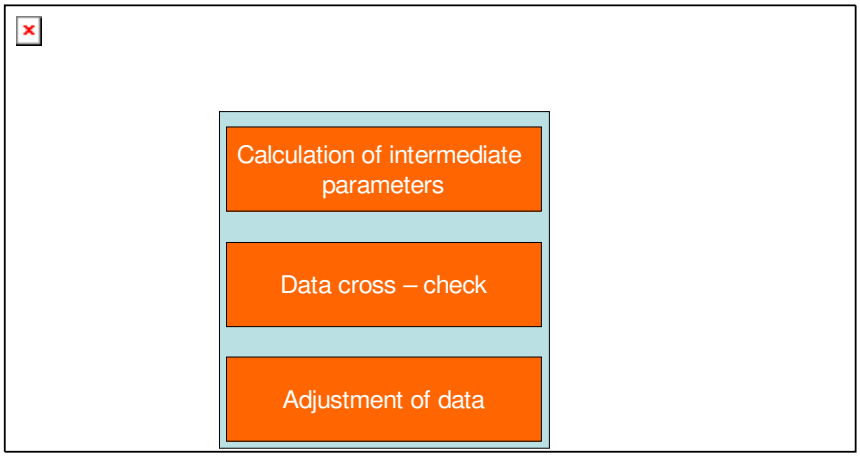
- *praktycznym limitami wartości*: jest to szeroki zakres możliwych wartości (z inżynieryjnego punktu widzenia) które dotyczą 99.9 % praktycznych przypadków.

- *Zakres typowych wartości:* jest to znacznie węższy zakres wartości który obowiązuje w około 90% praktycznych przypadków (ale pamiętając o tym, że może być 10 % sytuacji wykraczających poza ten zasięg).

Podstawowe sprawdzanie zgodności w EINSTEIN rozumiane jest jako sprawdzenie czy zestaw danych danego przedsiębiorstwa jest zgodny z *związkami matematycznymi i fizycznymi* i z *praktycznym limitami wartości* podawanymi przez wiedzę inżynieryjną.

Z pomocą oprogramowania EINSTEIN to podstawowe sprawdzanie zgodności może zostać wykonane automatycznie. Jeśli pojawia się niezgodność między wprowadzonym zestawem danych a podanymi limitami, dane zostaną automatycznie skorygowane i zostanie wyprodukowana lista wiadomości o błędach.

Co więcej, podstawowe sprawdzanie zgodności przy pomocy oprogramowania EINSTEIN uzupełnia dane, które nie są otwarcie podane w kwestionariuszu, ale które mogą zostać wyliczone z korelacji i limitów.



Wykres 4: Schemat procedury podstawowego sprawdzania spójności przez oprogramowanie EINSTEIN. „Nones" oznacza nieznane dane (puste komórki).

Zdobywanie brakujących danych

Ilość informacji i poziom ich dokładności niezbędny do audytu energetycznego zależy od dokładności audytu energetycznego. Na cele wstępnych szacunków (powierzchowne badania) mniej informacji jest potrzebnych, natomiast dla szczegółowej analizy duża ilość parametrów musi zostać wzięta pod uwagę.

Jakkolwiek, w wielu przypadkach nie wszystkie liczby teoretycznie potrzebne mogą być łatwo poznane. Czasami, zwłaszcza w przypadku małych przedsiębiorstw, nawet bardzo podstawowe dane ciężko jest uzyskać, przez co po podstawowym sprawdzeniu spójności i uzupełnieniu danych nadal mogą występować braki w zestawie danych, bądź danych, które mogą zostać określone jedynie z bardzo niską dokładnością.

W takim przypadku, zamiast nadal nieznanych parametrów możemy użyć tego, co nazwaliśmy *zakresem typowych wartości* czerpanych z naszej wiedzy inżynieryjnej. Z pomocą tych „typowych wartości" będziemy w stanie uzupełnić większość wciąż istniejących braków, przy czym musimy być świadomi tego, iż używając tych oszacowań robimy pewne *założenia*, które niekoniecznie muszą stać w sprzeczności z rzeczywistością.

Więc za każdym razem gdy top robimy powinniśmy jasno to odzwierciedlić I podkreślić w naszych raportach:

> "*wnioski ważne jedynie przy założeniach A, B i C ...*"

Oraz, kiedy to tylko możliwe, powinniśmy potwierdzić chociaż a posteriori, czy założenia te były prawdziwe, czy też nie.

Jeśli nawet z Twoją całą wiedzą inżynieryjną nadal nie jesteś w stanie oszacować podstawowych danych całkowicie niezbędnych do przeprowadzenia analizy, masz dwa wyjścia:

a) zadzwoń do przedsiębiorstwa i powiedz im że z tak niekompletnymi informacjami całkowicie niemożliwe jest podanie rozsądnych propozycji.

b) przyjmij pewną hipotezę bądź scenariusz uwzględniający brakujące informacje: po prostu załóż pewne liczby, które chociaż wyglądają rozsądnie. Możesz spróbować ustalić skrajne przypadki: jeden bardzo dobry scenariusz (dla systemu, który chcesz zaproponować), jeden bardzo zły i jeden wypośrodkowany.

Czasem lepsze to niz nie zrobienie niczego, ale wszystkie wspomniane wyżej rozwiązania w tym przypadku powinny zostać podane dwukrotnie, i wciąż podkreślone **wytłuszczonymi literami**.

Ilość i dokładność danych potrzebnych do różnych poziomów analizy

Metodologia EINSTEIN rozróżnia pomiędzy trzema poziomami analizy o wzrastającym poziomie szczegółowości i dokładności:

- *Poziom 1: Pobierzna analiza*

  Na potrzeby pobieżnej analizy wystarczy znać z pewną minimalną dokładnością[9] zużycie energii I główny poziom temperatury (temperatury procesu) zużywającego najwięcej energii prodecu w przedsiębiorstwie.

- *Poziom 2: Standardowy poziom analizy EINSTEIN*

  Na potrzeby standardowego poziomu analizy EINSTEIN co najmniej niżej wymienione parametry powinny być znane z minimalnym poziomem dokładności:

  - zużycie energii przez zużywający najwięcej energii proces i jego rozłożenie na zapotrzebowanie na ciepło oraz zimno w cyrkulacji, utrzymaniu i startowaniu

  - wszystkie poziomy temperatury (wlot, proces, wylot) oraz godziny przeprowadzania tych procesów i odpowiadających im sprzętów dostarczających ciepło i zimno.

  - ścieżki przepływu ciepła niewykorzystanego w procesie zużywającym najwięcej energii

- *Poziom 3: szczegółowa analiza*

  Na potrzeby szczegółowego poziomu analizy co najmniej pełen zestaw informacji podanych w podstawowym kwestionariuszu EINSTEIN powinien być dostępny z wymaganą dokładnością.

Dokładność dostępnych danych, zarówno w jakościowym sensie rzetelności (czy im ufasz czy nie) jak i w ilościowym sensie marginesu błędu (± xy %), silnie uzależniona jest od poniższych czynników:

- *Źródło informacji.* Czasami w dużych przedsiębiorstwach liczby dotyczące zużycia energii są mierzone bezpośrednio przez dokładny sprzęt do pomiaru I przechowywane w zaawansowanych systemach do zarządzania energią, podczas gdy małe przedsiębiorstwa często znają jedynie uśrednione warunki działania elektrowni i ogólne zużycie energii z rachunków za energię. Dane pochodzące z jednego roku bądź nawet pojedynczego miesiąca mogą nie być reprezentatywne dla średniego zużycia w przyszłości.

- *Procedura pozyskiwania danych.* Błędy z łatwością zostaną wykryte podczas wypełniania formularza danych bądź kopiowania liczb podczas wprowadzania danych do narzędzia wykonującego obliczenia, itp. (np. czy Ty/przedsiębiorstwo prawidłowo wprowadziłeś/ło dane do kwestionariusza? Czy mogła zajść pomyłka w jednostkach pomiaru? Czy kwestionariusz został wypełniony przez przedsiębiorstwo, czy asystowałeś im przy tym?, itp.)

- *Poziom szczegółowości.* Im głębszy poziom analizy, tym bardziej szczegółowe otrzymywane są wymagane dane, przez co może wzrosnąć ryzyko otrzymania mniej dokładnych liczb (np. czy potrzebujesz tych liczb w skali roku? W skali godziny? Czy jesteś zainteresowany ogólnym zużyciem energii? Czy też rozkładem na różne procesy? ltd.).

Jeśli istnieje choć jeden parametr co do ważności którego masz wątpliwości, powinieneś podkreślić to w swoim raporcie w ten sam sposób, który został podany powyżej dla oszacowanych wartości oraz dla wartości zakładanych w twoich scenariuszach.

Szczegółowy rozkład zużycia

Rozkład zużycia energii na poszczególne procesy, sprzęty, paliwa i poziomy temperatury jest bardzo istotny dla dostrzeżenia wszystkich aspektów związanych z użyciem energii w analizowanym przemyśle.

[9] *As minimum accuracy we consider an error margin of less than +/- 50 % !*

Wynikająca informacja statystyczna dla aktualnego stanu to punkt wyjścia dla decyzji dotyczących zastosowania środków i technologii umożliwiających oszczędność energii.

Ogólne zużycie energii pozwala natychmiastowo wskazać audytorowi stopień zużycia energii i możliwości (a priori) oszczędności energii, gdy zostanie ono porównane z dostępnymi punktami odniesienia dla sektora przemysłowego (benchmarki). Podczas rozważania różnych alternatywnych rozwiązań poprawienia efektywności energii, obecny popyt na energię i jego rozkład brane są pod uwagę jako punkty odniesienia do analizy efektu proponowanych środków poprawy.

Poniżej podane są najważniejsze statystyki energetyczne wraz z komentarzem nt. zastosowania danych.

- *Rozkład energii ze względu na procesy, sprzęt i rodzaj paliwa:* Ocenia zużywające najwięcej energii procesy, sprzęty oraz Rodzaje paliwa odpowiedzialne za najwyższy rachunek za energię. Wysiłki dążące do poprawy koncentrujące się na nich będą miały największy wpływ.

- Analiza zużycia energii ze względu na *poziom temperatury*. Pozwala ocenić potencjał odzyskania niewykorzystanego ciepła i zastosowania wydajnych technologii o niskiej temperaturze, takich jak słoneczny prąd termiczny, pompy grzewcze, woda chłodząca z połączonych silników elektryczno-cieplnych (CHP), itp.

- Analiza zużycia energii wedle *pierwotnego zużycia ciepła, emisji CO_2 i innych substancji*: pozwala ocenić wpływ przemysłu na środowisko.

- Rozkład wedle określonych współczynników zużycia energii: intensywność energii (IE) i jednostkowe zużycie energii (SEC): pozwala porównać z danymi będącymi punktami odniesienia (benchmark) i ustalić realne cele w zużyciu energii.

Statystyki energetyczne (rozkład) dotyczące różnych skali czasowych jest bardzo użyteczny dla osiągnięcia głębszego wglądu:

- *Roczne dane* wskazują zużywające najwięcej energii procesy, sprzęty oraz typy energii dając ogólne wskazówki gdzie środki efektywności energii powinny być najpierw skierowane.

- *Miesięczne dane* są niezbędne do uwzględnienia wahań w popycie ze względu na pory roku czy temperaturę zewnętrzną (dotyczących ogrzewania powierzchni, procesu suszenia, sezonowości produkcji np. w produkcji napoi, itp.) i w zaopatrzeniu (np. w systemy słonecznych prądów termicznych) i są potrzebne do oceny wykonalności poszczególnych technologii.

- *Godzinne dane* dotyczące skali popytu i zaopatrzenia w ciepło są istotne dla określenia szczytowej konsumpcji energii, analizy możliwości odzyskania niewykorzystanego ciepła, a zwłaszcza dla oceny akumulacyjności ciepła i chłodu.

Cały ten rozkład popytu na energię w przedsiębiorstwach może zostać stworzony automatycznie dzięki oprogramowaniu EINSTEIN, zarówno dla obecnego stanu przemysłu jak i dla przyszłościowych scenariuszy uwzględniających alternatywne rozwiązania.

Analiza rzeczywistego działania istniejącego sprzętu

Dane techniczne dotyczące sprzętu są bardzo istotne do oceny wydajności systemu energetycznego. Najodpowiedniejsze parametry działania to efektywność przekształcania energii i pojemność cieplna/chłodzenia.

W większości przypadków jedyna dostępna informacje o tych danych to nominalne wartości podane w specyfikacjach technicznych przygotowanych przez producentów sprzętów bądź podane na samych sprzętach.

Mimo wszystko, rzeczywista wydajność sprzętu może różnić się od tych danych z powodu zanieczyszczenia nieprawidłowego działania, czy ekstremalnych warunków pracy przy pewnym zastosowaniu, a także z innych przyczyn. W związku z powyższym, gdy to tylko możliwe, interesującym może się okazać porównanie rzeczywistej wydajności sprzętu z nominalnymi danymi dotyczącymi tejże wydajności.

Jedną z możliwości oceny rzeczywistej wydajności to pomiar wkładu/uzysku, np. jeśli zużycie paliwa i produkcja ciepła przez bojler znana jest z pomiarów, średnia wydajność przekształcenia może zostać wyliczona.

Jeśli chodzi o sprzęt do spalania, pomiar wydmuchiwanego gazu to kolejny sposób uzyskania informacji nt. wydajności przekształcenia, jako iż ciepło zawarte w wydmuchiwanym gazie i niekompletne spalanie to główne czynniki strat przy przekształcaniu energii.

Jeśli dane z pomiaru są dostępne, niezbędne obliczenia są przeprowadzane automatycznie przez oprogramowanie EINSTEIN, a w przypadku znacznych różnic między nominalną a rzeczywistą wydajnością sprzętu, odpowiednie wiadomości ostrzegawcze dostarczą audytorowi rad.

Porównanie z punktami odniesienia (benchmarkami)

Co to są benchmarki?

Stosowanie benchmarków[1] odnosi się do procesu strukturalnego porównywania i analizowania praktyk biznesowych w celu poprawienia procesów biznesowych poprzez identyfikację, dzielenie się i stosowanie najlepszych praktyk. Celem zastosowania benchmarków jest umożliwienie oceny wydajności energetycznej w przedsiębiorstwie w odniesieniu do określonych benchmarków bądź celów.

EINSTEIN używa następujących wartości odniesienia:

- *Benchmark* to skala określona przez minimalną i maksymalną wartość (B_{min}, B_{max}), która opisuje obecny stan zużycia energii przez istniejące przedsiębiorstwa w danym sektorze.

- *Cel* to wartość celowa (B_{cel}) dla natężenia energii albo określonego zużycia energii, która może zostać osiągnięta przy zastosowaniu możliwych z finansowego punktu widzenia, najlepszych dostępnych technologii. Jeśli żadne wartości celowe nie zostaną podane, zakłada się, że w zakładach stosujących dobre praktyki zużycie energii sięga niższych 10% w skali pomiędzy B_{min} and B_{max}.

- Dobre praktyki[2] to udokumentowane strategie i taktyka stosowane przez odnoszące sukces przedsiębiorstwa. Mogą one zostać zidentyfikowane na podstawie pogłębionych wywiadów z manadżerami energii, analizy dokumentów przedsiębiorstwa, literatury i drugorzędnych źródeł.

Klasyfikacja wskaźników według typów jednostek referencyjnych

W testowaniu wzorcowym w programie EINSTEIN korzysta się systematycznie z trzech typów wskaźników w zależności od jednostki użytej jako wartość referencyjna:

- *Intensywność energii*: poprzez intensywność energii rozumie się zużycie energii na gotowy produkt wyrażanej w formie jego wartości (tj. w danej jednostce monetarnej). Wartość produktu może zostać wyrażona jako obrót (cena sprzedaży) lub jako funkcja kosztów jego wytworzenia (w przybliżeniu cena sprzedaży minus korzyści rynkowe). Jeśli nie zaznaczono inaczej, w rozważaniach przyjmuje się pierwsze z podanych rozwiązań (tzn. obrót). W testowaniu wzorcowym konieczne jest odniesienie do waluty w jakiej jest wartość jest kwotowana i roku jakiego dotyczy.

- *Właściwe zużycie energii na produkt gotowy*. Właściwe zużycie energii konieczne do wytworzenia konkretnego produktu. Jest to zatem ilość energii niezbędna do wyprodukowania danego produktu końcowego wyrażona w jednostkach takich jak np. sztuki, tony, litry itp. (np. ilość energii niezbędna do wyprodukowania jednego litra koncentratu z soku lub ilość energii zużyta na wytworzenie jednego litra produktu chemicznego).[10]

- *Właściwe zużycie energii na półprodukt*. Poza wskaźnikami dotyczącymi produktów gotowych, mierzone są także wskaźniki dotyczące półproduktów niezbędnych do wytworzenia produktu gotowego. Podobnie jak w przypadku produktów gotowych wskaźnik wyrażany jest w jednostkach miary takich jak tony, litry, sztuki itp. (np. wyrażamy go w tonach lub litrach destylatu). W przypadku tych wskaźników istnieje odniesienie do jednostki referencyjnej (np. podczas suszenia zużycie

[10] *W przedsiębiorstwie łączne zużycie energii, którego nie można kojarzyć z daną linią produkcyjną ani z produktem, a które należy proporcjonalnie uwzględnić względem wartości danego produktu w łącznym obrocie.*

energii może zostać wyrażone w kg produktu mokrego lub w kg produktu suchego, co może prowadzić do rozbieżnych wartości).

Klasyfikacja wskaźników według typu energii

- *Energia elektryczna vs. paliwa*: w module testowania wzorcowego programu EINSTEIN dane dotyczące zużycia energii są oddzielnie klasyfikowane jako zużycie energii elektrycznej i zużycie energii cieplnej. Dane te są łatwo dostępne w praktyce np. poprzez rachunki płacone za dostawy obu typów energii.

- *Całkowite końcowe zużycie energii*: Dane dotyczące całkowitego końcowego zużycia energii można uzyskać dodając całkowitą konsumpcję energii elektrycznej z ilością energii uzyskanej z paliw.

- *Całkowite pierwotne zużycie energii*: Tego parametru należy używać (w przypadku gdy jest dostępny) do globalnego porównania pomiędzy przedsiębiorstwami.

Procedura testowania wzorcowego w metodologii EINSTEIN

W testowaniu wzorcowym w programie EINSTEIN efektywność energetyczną przedsiębiorstwa analizuje się poprzez porównanie danego wskaźnika *I* (np. zużycie energii na tonę produktu) do wskaźnika odniesienia B_{tar}. Wartość jednostki referencyjnej jest specyficzna dla każdej z gałęzi przemysłu. Zatem zarówno wskaźnik *I* jak i B_{tar} będzie silnie zależny od zmian w strukturze wykorzystywania energii w danej gałęzi przemysłu.
Wartość jednostki referencyjnej B_{tar} jest definiowana tak jak opisano powyżej. Różnica pomiędzy właściwą wartością wskaźnika *I* oraz wartością jednostki referencyjnej B_{tar} jest wykorzystywana do mierzenia efektywności zużycia energii ponieważ opisuje ona poziom efektywności jaki może osiągnąć przedsiębiorstwo w przypadku stosowania najlepszych z dostępnych technologii ograniczających zużycie energii. Czym mniejsza różnica pomiędzy tymi wskaźnikami tym lepsza jest efektywność energetyczna. Stosunek wskaźnika *I* do wartości jednostki referencyjnej B_{tar} (zwanej też indeksem efektywności energetycznej *EEI*; patrz równanie 3.1) można bezpośrednio porównywać pomiędzy poszczególnymi przedsiębiorstwami.

$$EEI = \frac{I}{B_{tar}} \cdot 100\% \qquad (3.1)$$

where *I* is the specific indicator of energy consumption and B_{tar} the reference target value.

W przypadku, gdy cała gałąź danego przemysłu korzystałaby tylko z najbardziej energooszczędnych rozwiązań technologicznych, wartość *EEI* równałby się 100. Wartość 105 tego wskaźnika wskazuje, że osiągnięty poziom wskaźnika zużycia energii jest o 5% wyższy niż wartość referencyjna. Oznacza to uzyskanie 5% oszczędności energii poprzez implementacje technologii referencyjnej.

Źródła danych referencyjnych

Niektóre wartości referencyjne zostały uzyskane z istniejących dokumentów referencyjnych BAT (tak zwane BREFy) oraz z innych publikacji i źródeł. Pozwala to na stworzenie bazy danych umożliwiającej zdefiniowanie wskaźników. Dane te są dostępne w standardowej bazie danych programu EINSTEIN. Dla każdego wzorca wskazano źródło z jakiego zostały uzyskane.
Wartości referencyjne dostępne są także w literaturze dla całych gałęzi przemysłu i branży oraz dla pewnych operacji jednostkowych.

a) *Klasyfikacja według sektora przemysłu lub branży*
   Standardowa baza danych programu EINSTEIN zawiera wartości referencyjne dla różnych gałęzi przemysłu (identyfikowalnych poprzez kod NACE). W przyszłości baza danych może zostać rozszerzona. Istnieje też możliwość dodawania własnych wartości definiowanych przez użytkownika.
b) *Klasyfikacja według operacji jednostkowych*
   W przemysłowej produkcji dóbr, operacja jednostkowa jest podstawową częścią każdego procesu technologicznego. Przykładowo w przetwórstwie mleka homogenizacja, pasteryzacja oraz chłodzenie oraz pakowanie są operacjami jednostkowymi, koniecznymi do wytworzenia gotowego produktu.

Publikacje:

[1] Dokumenty referencyjne BAT (BREFy) publikowane dla różnych gałęzi przemysłu przez UE na stronie http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] Energy Auditing Practices and Tools [„*Praktyki i narzędzia wykorzystywane podczas audytu energetycznego*"]. Projekt EINSTEIN, wersja D.2.2.

EINSTEIN Krok 6: Analiza stanu zastanego

> sprawdzenie spójności danych

> oszacowanie / uzyskanie brakujących danych

> określenie zużycia energii

> sprawność urządzeń

> porównanie z wartościami referencyjnymi

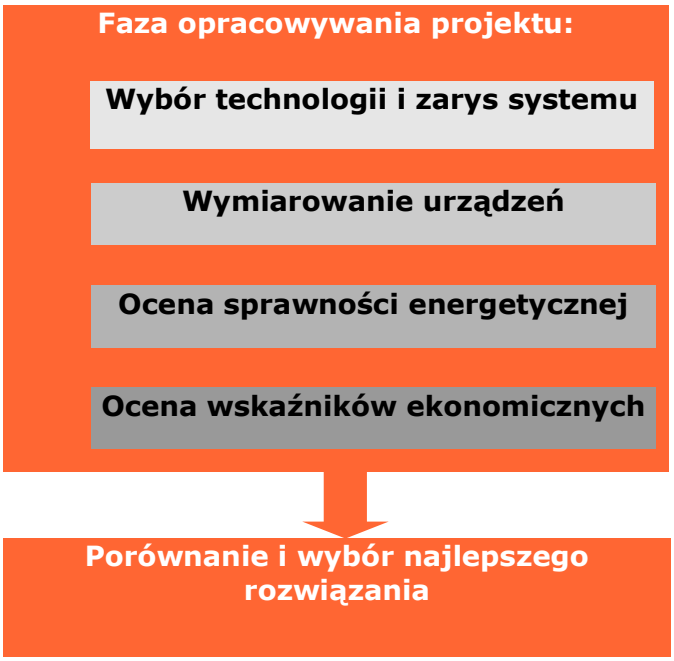
Projekt koncepcyjny możliwych do uzyskania oszczędności związanych z ograniczeniem zużycia energii oraz wstępny projekt założonych oszczędności

Analiza możliwości uzyskania oszczędności w zużyciu energii została wstępnie zarysowana w sekcji 1.3. W celu uzyskania oszczędności konieczne jest:

- Ograniczenie zapotrzebowania na energię cieplną procesów przemysłowych poprzez ich optymalizację
- Zmniejszenie zapotrzebowania na energię cieplną poprzez odzyskiwanie energii odpadowej i wprowadzenie zasad zintegrowanej gospodarki cieplnej
- Wykorzystywanie technologii takich jak kogeneracja i poligeneracja
- Dostarczanie energii cieplnej z wykorzystaniem energooszczędnych technologii oraz - jeśli to tylko możliwe - korzystanie z odnawialnych źródeł energii

Wstępnie, konieczny jest zarys projektu alternatywnego sposobu pozyskiwania energii cieplnej oraz założenia co do jego wielkości. Wówczas należy rozważyć jego zalety z punktu widzenia efektywności energetycznej oraz opłacalności ekonomicznej w krokach przedstawionych na schemacie poniżej

Analiza zapotrzebowania na ciepło oraz możliwości odzyskiwania energii odpadowej, a także możliwości wprowadzenia zintegrowanej gospodarki cieplnej pozwala także, na ustalenie *a priori* poziomu planowanych do uzyskania oszczędności i korzystania z tej wartości jako wartości odniesienia przy ocenie rzeczywistej sprawności projektowanego systemu.



Wykres 5: Kroki przy projektowaniu oraz wybór rozwiązania (audyt EINSTEIN, kroki 7-9).

Optymalizacja procesów technologicznych: lista technologii energooszczędnych dla poszczególnych operacji jednostkowych, możliwości redukcji zapotrzebowania

Po określeniu i udokumentowaniu zapotrzebowania na energię oraz ich analizie i wzorcowaniu należy wykazać jakie działania mogą zostać podjęte w celu uzyskania oszczędności w zużyciu energii oraz które z procesów technologicznych mogą zostać usprawnione energetycznie.
Dostępnych jest wiele źródeł opisujących kroki konieczne do zwiększenia efektywności energetycznej rozmaitych gałęzi przemysłu. Trwają także nieustanne badania nad dalszymi możliwościami minimalizacji wykorzystania energii w przemyśle. UE opracowała serię dokumentów dla każdej z gałęzi przemysłu, które opisują najlepsze dostępnie obecnie technologie, a ich nadrzędnym celem jest propagowanie efektywnego wykorzystania energii w przemyśle.
Dokumenty te (tak zwane BREFy) publikowane są przez UE na stronie internetowej http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm i dotyczą rozmaitych gałęzi przemysłu. W tym przypadku najbardziej interesujące są dokumenty dotyczące:

A. *Efektywności energetycznej:*

- Projekt dyrektywy sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń, **[**Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Energy Efficiency Techniques], czerwiec 2008

B. *Systemów dostarczania energii:*

- Projekt dyrektywy sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń, **[**Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems], grudzień 2001
- Projekt dyrektywy sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń, **[**Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants], lipiec 2006

C. *Żywność:*

- Projekt dyrektywy sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń, **[**Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries], sierpień 2006

Jak wykazano powyżej istnieje wiele źródeł oraz analiz konkretnych przypadków dotyczących efektywności energetycznej, wykazuje praktyczną możliwość ograniczenia energochłonności procesów technologicznych. Wiele z niech zostało przedstawionych w raporcie projektu EINSTEIN D.2.2 „Praktyki i narzędzia wykorzystywane podczas audytu energetycznego" [*Energy Auditing Practices and Tools*]. W dokumencie tym zaprezentowano środki klasyfikowane wg branży oraz wg technologii co pozwala na usystematyzowany przegląd potencjalnych możliwości ograniczenia zużycia energii.
W ramach programu Międzynarodowej Agencji Energii (IEA) nr 33/IV dotyczącego zastosowania energii słonecznej w przemysłowych procesach technologicznych [*Solar Heat for Industrial Processes*] opracowano systematycznie aktualizowany zestaw wskaźników opisujących procesy technologiczne oraz informacje energetyczne pod kątem możliwości potencjalnego zastosowania cieplnej energii słonecznej w różnych gałęziach przemysłu. Celem projektu było stworzenie systemu wspierającego podejmowanie decyzji pozwalającego na dostęp do obszernej bazy danych zawierającej wszystkie konieczne działania konieczne do stworzenia systemu wykorzystującego cieplną energię słoneczną w zastosowaniach przemysłowych. Baza zawiera m.in. przegląd procesów przemysłowych, ważne wskaźniki energetyczne dotyczące operacji jednostkowych, wartości referencyjne, technologie, schematy hydrauliczne w przypadku integracji takich systemów i przykłady implementacji rozwiązań. W ramach działu dotyczącego technologii przedstawiono listę dostępnych technologii dla rozmaitych rodzajów operacji jednostkowych.
Narzędzie EINSTEIN korzysta z tych rozległych zasobów informacji (częściowo zebranych w ramach projektu EINSTEIN) udostępniając bazę danych gdzie użytkownik może sprawdzić:

a) ogólny zarys środków implementowanych w celu ograniczenia zużycia energii;
b) rzeczywiste korzyści ze stosowania rozwiązań energooszczędnych na podstawie wykonywanych operacji jednostkowych w ramach procesu technologicznego;

Struktura bazy danych oparta na operacjach jednostkowych oraz wzajemnie połączonych relacyjnie z gałęziami przemysłu, w których, znajdują zastosowanie pozwala na takie operowanie bazą danych by w łatwy sposób wyszukać dostępne techniki ograniczania zużycia energii i metody stosowane przy danej operacji jednostkowej. Baza danych pozwala też na wyszukiwanie metod ograniczania zużycia energii dla danych technologii. Tabela 5 zawiera przykład zestawu danych uzyskanego z tej bazy danych (z wyłączeniem danych dotyczących gałęzi do których odnoszą się te technologie i metody ograniczania zużycia energii).

Tabela 2. Przykładowy zestaw danych uzyskanych w bazie danych EINSTEIN

UNIT OPERATION	TYPICAL PROCESS	TECHNOLOGY	ENERGY EFFICIENCY MEASURE
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	General measures	Install heat exchangers to recover thermal energy from condensate in its bottle washing section and fuel oil heater condensate
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	Methodology	Cascaded use of wash water
01-CLEANING	0103-Cleaning of production halls	General measures	Low temperature detergents in washing: Use of final rinsing water for pre-rinsing, intermediate rinsing or the preparation of cleaning solution (often used in CIP systems); turbidity detectors can optimize the reuse of water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Flash pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Use store heat / solar heat for heating system for start up
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	High efficiency pumps, VS drives
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Preheat incoming containers (ambient air, solar)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Local generation of hot water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Use of hot water instead of steam (no distribution losses, no HEX losses etc.)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Insulating high temperature zones of unit
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Thinner glass / more conductive materials lower the driving temperature (temp drop across glass now: 5-15°C)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Even heating/cooling increase heat transfer and shorten process times
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Immersion, spraying from below, or other heat transfer systems may increase internal convection and allow process time to be shorter
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Aiming at very little temperature increase of containers leaving the unit (normally +20°C compared to entrance temp)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Tunnel pasteurization	Evaporatively cooled water, absorption or ejector cooling with waste heat or other strategies may be used for cooling, if necessary
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microwave pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water Possible use in conjunction with heat recovery or at variable basis to achieve specified temperatures where variable heat sources are available or flow rates vary. Efficiency at 90% (conversion from electricity). Power from cogeneration can enhance economic/ecological performance.
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Mechanical pasteurisation	Reducing pressure drop over filters is decisive. Strategies using centrifuges
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Irridation for pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultrasonic pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultraviolet radiation for sterilization	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microfiltration for sterilization and clarification	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	General measures	Use of vapour condensers in wort boiling to collect hot water from condensate
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with mechanical vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with thermal vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Steineker Merlin wort boiling system	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Brewing at high specific gravity	

Baza danych jest zoptymalizowana w taki sposób, by ukazać najlepsze dostępne technologie i środki pozwalające na optymalizację procesów przemysłowych dla danych operacji jednostkowych. Pozwala to użytkownikowi na czerpanie wiedzy na temat stosowanych środków ograniczania zużycia energii także w innych gałęziach przemysłu borykającymi się z podobnymi problemami inżynieryjnymi.

W celu uzyskanie większej ilości informacji dotyczących proponowanych technologii oraz rozwiązań zmniejszających zużycie energii podano także link do *Wiki Web on Energy Efficiency*. Na stronie można znaleźć zestaw wskaźników (stworzonych w ramach programu IEA nr 33/IV). Znajduje się tam także, ciągle rozszerzana, sekcja dotycząca technologii i proponowanych środków ograniczających zużycie energii.

Narzędzia modułu optymalizacji procesów technologicznych

- baza danych dotycząca najlepszych dostępnych technologii i optymalizacji procesów technologicznych dla zadanych operacji jednostkowych
- narzędzie identyfikujące możliwe sposoby optymalizacji procesów technologicznych dla używanej technologii i sprzętu

Wstępny projekt systemu wymienników ciepła i magazynów energii

Po określeniu i udokumentowaniu wszelkich danych dotyczących zapotrzebowania na energię oraz analizie możliwych do uzyskania oszczędności w zużyciu energii należy przeprowadzić analizę możliwości wprowadzenia dalszych oszczędności poprzez możliwość odzyskiwania energii. Jest to szczególnie istotne ponieważ zastosowanie rozwiązań energooszczędnych przed wymianą systemu dostarczania ciepła zapewnia wymaganą sprawność całości stosowanego rozwiązania zapewniając nieprzerwany dostęp do energii w przyszłości a także pozwala na właściwe zwymiarowanie systemu.

Zintegrowana gospodarka cieplna jest od lat 70tych ubiegłego wieku dobrze rozwiniętą metoda optymalizacji cieplnych procesów technologicznych. W analizie pinczu temperaturowego (opisanego w sekcji 2.5) możliwe staje się określenie możliwości odzyskiwania energii cieplnej w sieci ciepłowniczej. Bazując na zebranych danych, dotyczących zarówno procesów, jak i urządzeń zasilających będących na wyposażeniu przedsiębiorstwa, a także bilansu energetycznego, można zdefiniować „przepływy entalpii" ukazujące zarówno zapotrzebowanie, jak i dostępność energii cieplnej w danym procesie technologicznym.

Jako przykład ilustrujący to zagadnienie możemy posłużyć się procesem zmywania butelek. Parametry podano w tabeli 6:

- Pojemność całkowita naczynia urządzenia: 5 m³
- Temperatura wody zimnej = 10℃
- Temperatura wody w urządzeniu = 60℃
- Ilość wody podczas pracy ciągłej = 10 m³/d
- Wymagana energia cieplna podczas pracy (podgrzanie wody oraz kompensacja strat cieplnych, parowanie można pominąć) = 90 kW
- Czas operacji: rozruch od godziny 6:00 do 6:30, praca ciągła od godziny 6:30 do 16:00.
- Temperatura ścieków = 50℃
- Temperatura do jakiej można obniżyć temperaturę ścieków: 5℃

Tabela 3: Strumienie entalpii w przykładzie zmywarki do butelek

Nazwa	Temperatura początkowa	Temperatura końcowa	Przepływ masy	Wymagana moc / Ciepło odpadowe	Czas operacji
	℃	℃	kg/h	kW	
rozruch	10	60	10.000	582	6:00 – 6.30
ogrzewanie ciągłe napływającej wody	10	60	1.053	61	6:30 to 16:00
energia konieczna do kompensacji strat cieplnych układu	60	60	-	29	6:30 to 16:00
ścieki	50	5	1.053	55	6:30 to 16:00
ścieki po zatrzymaniu produkcji	50	5	10.000	524	16:00 – 16:30

Strumienie mogą zostać zdefiniowane dla dowolnego procesu. Uwaga skupiać się będzie na najbardziej istotnych z punktu widzenia energii cieplnej. Opierając się na tabeli łatwo można wyznaczyć krzywe i wykazać teoretyczną możliwość odzyskania energii dla zdefiniowanej wartości ΔT_{min} przez wymienniki ciepła (patrz sekcja 2.5).

Tabela 6. Krzywe ciepła i zimna dla mleczarni

Krzywa GCC wyznacza potencjał odzyskania energii z procesu technologicznego w nieco innej formie, opierając się na tych samych danych wejściowych (patrz sekcja 2.5). W tym przypadku ukazana jest różnica pomiędzy krzywymi, dzięki czemu można w łatwy sposób zilustrować ilość energii cieplnej koniecznej z zewnątrz do zaopatrzenia danego procesu w energię.

Tabela 7. Krzywa GCC w przypadku mleczarni

Opierając się na teoretycznych wyliczeniach można opracować, odpowiednią, zarówno z punktu widzenia możliwości technicznych jak i ekonomicznych, sieć cieplną. W tym przypadku należy brać pod uwagę następujące zagadnienia:

- Używanie ciepła o określonej temperaturze do ogrzewania innych strumieni do zbliżonego poziomu (unikanie sytuacji, w której strumienie o wysokiej temperaturze wykorzystywane są do aplikacji niskotemperaturowych);
- Moc wymiany cieplnej;
- Całkowita ilość energii, która może zostać wymieniona
  - harmonogram poszczególnych procesów – jakie ze strumieni i kiedy mogą zostać wykorzystane do wymiany ciepła.
  - magazynowanie – czy wymiana ciepła wymaga magazynowania energii, jaki będą straty wynikające z magazynowania i jaka ilość całkowita energii może zostać wymieniona.
- Zintegrowana gospodarka cieplna w ramach tego samego procesu technologicznego jest sprawą priorytetową – pozwala na bezpośrednie użycie ciepła odpadowego
- Wykorzystanie ciepła, które może zostać przez wymiennik ciepła wykorzystane do podgrzania mediów wykorzystywanych w danym procesie technologicznym, pozwala wyeliminować zewnętrzne źródła ciepła tym samym przyczyniając się do oszczędności zużycia energii.
- Odległość pomiędzy źródłem ciepła, a upustem ciepła;
- Kwestie praktyczne tj. osady, konieczność pośredniej wymiany ciepła, temperatura i ciśnienie itp.;
- Nakłady inwestycyjne oraz możliwe oszczędności kosztów energii;

Konieczne obliczenia mogą zostać wykonane ręcznie, jednak dla bardziej skomplikowanych systemów zadanie to może być czasochłonne. Opracowano wiele algorytmów pozwalających na wybór właściwego systemu wymiany ciepła opracowanych przez różne grupy badawcze, jednak często zagadnienia związane z czasem operacji oraz zasadami magazynowania energii są uwzględniane tylko w niewielkim zakresie. Dodatkowo także, kwestie związane z odzyskiwaniem energii traktowanej jako cel nadrzędny oraz założenie osiągnięcia maksymalnych oszczędności takiego systemu nie są traktowane priorytetowo.

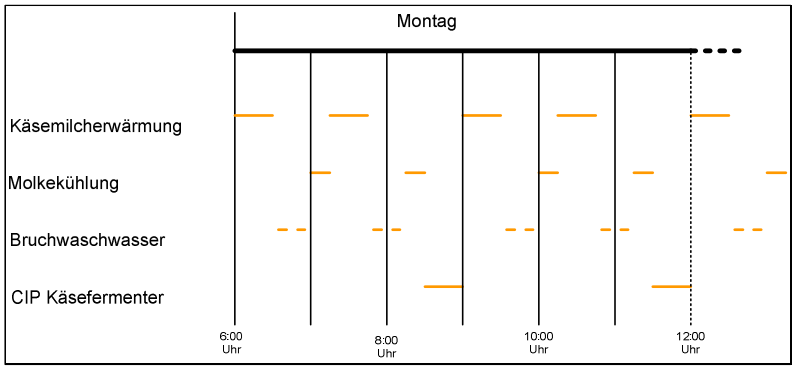
Program EINSTEIN wykorzystuje metodę opracowaną przez JOANNEUM RESEARCH, której celem jest uwzględnienie wyżej wymienionych zagadnień, a także taką optymalizację sieci ciepłowniczej by ułatwić późniejszą integrację rozwiązań opartych na odnawialnych źródłach energii.

Magazynowanie energii cieplnej

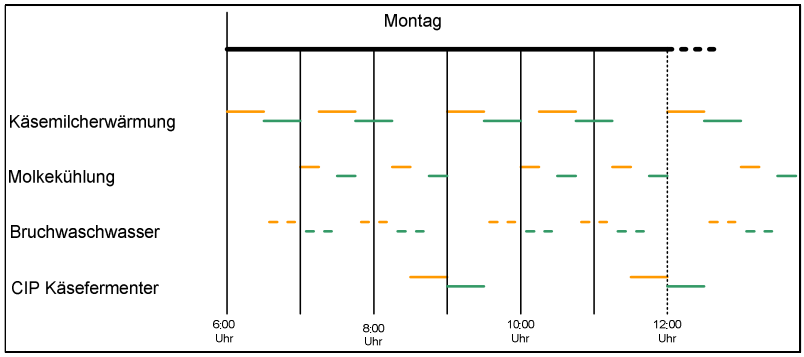
Ważnym zagadnieniem dotyczącym odzyskiwania energii w przemyśle spożywczym czy metalurgicznym jest koncepcja magazynowania energii, a także uwzględnienie cykliczności niektórych procesów. Po pierwsze, typowe harmonogramy procesów technologicznych musza być przewidziane na typowy tydzień. W tych gałęziach ważny jest nie tylko czas rozpoczęcia i zakończenia procesu ale także, ilość powtórzeń każdego z cykli procesu, czas jego trwania itp. Wykres 25 przedstawia to na przykładzie kadzi fermentacyjnej sera.

W kadzi fermentacyjnej najpierw ciepłe mleko ulega podgrzaniu, następnie pozostając w kadzi fermentacyjnej dodawana jest woda i w końcu następuje ekstrakcja i schłodzenie serwatki. W tym procesie należy założyć konieczność każdorazowego czyszczenia fermentera po dwóch ekstrakcjach. Jeżeli istnieją dwie linie wówczas cały proces jest bardziej ciągły, ponieważ kadzie fermentacyjne mogą operować z harmonogramami przesuniętymi w czasie.

Zatem wydaje się oczywiste, że staranne zaplanowanie oraz zarządzanie tymi procesami może doprowadzić do znacznego zmniejszenia zużycia energii.



Wykres 8: harmonogram pracy kadzi fermentacyjnej

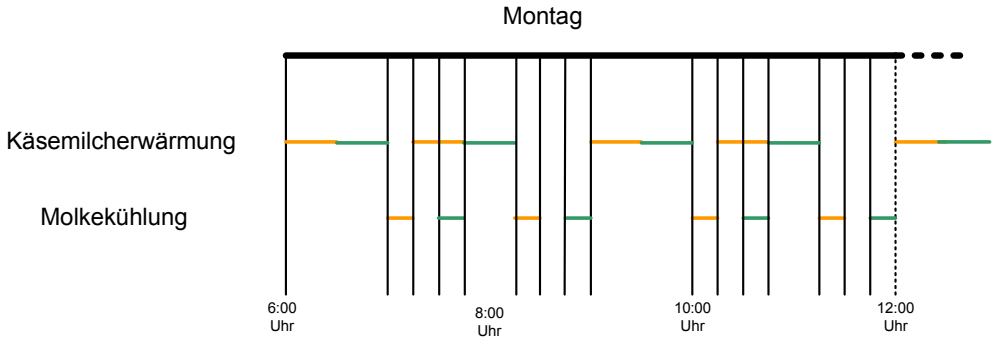


Wykres 9: harmonogram pracy dwóch kadzi fermentacyjnych z przesunięciem w czasie

Jednak, w wielu przypadkach, pełna ciągłość procesu nie może zostać zachowana. Na przykładzie działania kadzi fermentacyjnej widać wyraźnie konieczne przerwy produkcyjne. Zatem w przypadku, chęci wymiany ciepła pomiędzy procesami podgrzewania mleka i chłodzenia serwatki konieczne jest stosowanie magazynu energii cieplnej.

W tej sytuacji można zastosować model czasu. Czasu rozpoczęcia oraz czas zakończenia każdego cyklu określa każdy z cykli produkcyjnych. Można wyróżnić cztery takie cykle, gdzie:

1. Dostępne jest tylko źródło ciepła;
2. Energia dostępna tylko na upuście ciepła;
3. Energia dostępna zarówno na źródle jak I upuście ciepła;
4. Brak przepływu;



Wykres 10: Model czasu opracowany dla ogrzewania mleka i chłodzenia serwatki

Istnieją metodologie, które nakładają przedziały czasowe na całą sieć przepływów i dopiero wówczas wylicza się wymienniki ciepła dla każdego z okresów czasu. Tutaj, proponowana jest inna metodologia polegająca na wybraniu, na podstawie kryteriów opisanych wyżej, dwóch przepływów dla danego wymiennika ciepła i obliczeniu pojemności cieplnej koniecznej dla zmagazynowania energii na każdy z

okresów czasu, a następnie obliczeniu całkowitej ilości energii cieplnej, jaką można wymienić pomiędzy tymi przepływami. Obliczenia powtarza się dla kolejnych kombinacji przepływów i dopiero wówczas dopiero wybiera się ten który jest najlepszy (prowadzi do najwyższych oszczędności w zużyciu energii).
Dla każdego okresu można wyliczyć różnice w zapotrzebowaniu i zużyciu energii cieplnej. Wyliczona nadwyżka energii stanowi podstawę dla projektu magazynowania energii. Projekt powinien przewidywać kumulację, odpowiednią wielkość magazynu, pojemność oraz straty energii w każdym z rozpatrywanych odcinków czasu.
Należy podkreślić, że ten pierwszy, wstępny projekt jest oparty wyłącznie o symulacje energetyczną dla standardowych magazynów energii i pojemność energetyczną dla każdego wymiennika ciepła. Na tej podstawie ekspert może zadecydować jak cały system ma wyglądać w praktyce.
Proponowane wymienniki ciepła – projekt
W opracowaniu teoretycznym przyjmujemy, że wszystkie wymienniki ciepła będą przeciwprądowe w celu uzyskania maksymalnego stopnia wymiany energii.
Dla wstępnego oszacowania kosztów inwestycyjnych konieczne jest obliczenie aktywnej powierzchni wymiennika ciepła. Tak jak opisano to w sekcji 2.5, istnieje zależność pomiędzy ilością zaoszczędzonej energii a ponoszonymi nakładami inwestycyjnymi, zależnie od wybranej wielkości wskaźnika ΔT_{min}. Istnieją, wymieniane w literaturze, pewne standardowe wielkości jakie powinien przyjmować, w zależności od temperatury i fizycznych właściwości przepływu masowego (ciecz, płyn, kondensat) wskaźnik ΔT_{min}.
Konieczne jest też zdefiniowanie współczynnika przewodzenia ciepła w celu określenia wymiarów wymienników ciepła. W fazie wstępnej, można przyjąć pewne bazowe wartości dla różnych fizycznych własności nośników energii uczestniczących w wymianie. W dalszej kolejności konieczne będzie wzięcie pod uwagę danych opisujących rzeczywiste wartości przepływu.
Poniższa tabela podsumowuje pewne ogólnie przyjęte wartości w modelu EINSTEIN.

Tabela 2: Wartości standardowe ΔTmin przy współczynniku przewodzenia ciepła α

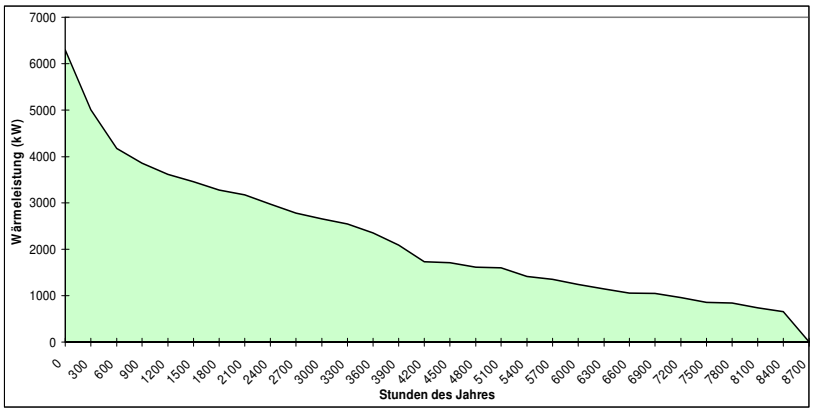
Stan fizyczny	ΔTmin [℃]	Współczynnik przewodzenia ciepła α [W/m²K]
Ciecz	5	5.000
Gaz	10	100
Kondensat	2,5	10.000

W praktyce współczynnik przewodnictwa cieplnego k (= $1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2$) zależy od typu stosowanego wymiennika, materiału z jakiego wymiennik jest wykonany i stopnia zaburzeń przepływu nośnika energii. Średnie wartości współczynnika dla każdego strumienia w wymienniku ciepła podane są w tabeli powyżej. Wartości ten stanowią także, dobre przybliżenie wartości całkowitego współczynnika wymiany ciepła, których należy oczekiwać w różnych rodzajach wymienników ciepła. Jako wartość standardową przyjęto, wymiennik ciepła wykonany ze stali nierdzewnej.

Tabela 3: Rodzaje wymienników ciepła oraz całkowity współczynnik wymiany ciepła

Wymiana ciepła	Rodzaj wymiennika wybrany w module EINSTEIN	Całkowity współczynnik wymiany ciepła (materiał = stal nierdzewna) α [W/m²K]	Wartości średnie wg VDI Heat Compendia [W/m²K]
ciecz - ciecz	Płytowy	2.143	1000 – 4000
gaz – ciecz	Rura w rurze	97	15-70
kondensat – ciecz	Rura w rurze	2724	500 – 4000
gaz – gaz	Rura w rurze	50	5-35
kondensat – gaz	Rura w rurze	99	20 - 60

Jak widać, podczas szacunkowej oceny bierze się pod uwagę tylko dwa rodzaje wymienników ciepła. Po oszacowaniu powierzchni koniecznej do wymiany energii cieplnej oraz wyborze typu wymiennika, można pokusić się o wstępny szacunek kosztów. Dane niezbędne do tego szacunku można uzyskać albo metoda szacunkową (dostępna w literaturze) lub też pytając bezpośrednio producentów wymienników.
Krzywe zapotrzebowania i dostępności energii
Po wykonaniu wstępnego projektu wymienników ciepła i określeniu poziomu spodziewanych oszczędności, można określić pozostałe zapotrzebowanie na energię cieplną. W celu określenia konkretnych wymagań dotyczących sieci ciepłowniczej, należy nakreślić krzywe zapotrzebowania oraz poziom dostępności energii cieplnej. Roczne krzywe wydają się być idealnym rozwiązaniem, ponieważ określają przez ile godzin w roku występuje zapotrzebowanie na energię. Na tej podstawie można określić właściwy rozmiar wykorzystywanych urządzeń w systemie.



Wykres 11: Krzywa obciążenia

Korzystając z danych dotyczących energii cieplnej zawartej w poszczególnych strumieniach oraz czasu ich pracy, po wykonaniu analizy pinczu temperaturowego można nakreślić krzywe obciążenia. Ponieważ strumienie energii opisują także temperaturę, możliwe jest wykreślenie krzywych zapotrzebowania na różnych poziomach temperatury. Na tej podstawie można określić urządzenia odpowiednie dla zapotrzebowania na różnych poziomach temperatury (patrz sekcja 3.7.4).

Przeprojektowanie system wymienników ciepła w związku ze zmianą sposobu dostarczania energii

W niektórych przypadkach konieczne staje sie przeprojektowanie system wymiany ciepła. Sytuacja taka może wystąpić w przypadku gdy system wymiany korzysta z gazów wylotowych kotła, który zostaje zastąpiony systemem z kombinacją kotła zasilanego biomasą oraz układem kolektorów słonecznych. W każdym razie w takich przypadkach należy zawsze sprawdzić system wymiany ciepła przy próbie zmiany systemu zasilania w energię. W programie EINSTEIN możliwe jest prowadzenie takich kalkulacji bazowanych na przewidywanym bilansie energetycznym wynikającym ze stosowania nowych rozwiązań i urządzeń.

Dalsze informacje:

Oto krótka lista pozycji, gdzie można uzyskać dodatkowe informacje dotyczące projektowania systemów wymienników ciepła:

[1] Schnitzer H., Ferner H. (1990), Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben
[2] Kemp, I.C. (2006). Pinch Analysis and Process Integration
[3] Verein Deutscher Ingenieure (2006). VDI Wärmeatlas
[4] Brienza; Gandy; Lackenbach (Editors) (1983). Heat Exchanger Design Handbook
[5] Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, Joseph A. Shaeiwitz (1998). Analysis synthesis and design of chemical processes.

Koncepcyjny model alternatywnych systemów zasilania (zawiera zmiany w stosowanych paliwach oraz w systemie dystrybucji)

Cele

Po ocenie możliwości odzysku ciepła i modyfikacji temperatury procesów technologicznych (zmiany te wymagają z reguły mniejszych nakładów inwestycyjnych, niż przynosząca największe efekty, zmiana systemu zasilania w energię), kolejnym krokiem zgodnym z metodologią audytu EINSTEIN jest opracowanie koncepcyjnego modelu alternatywnych systemów zasilania.

Model ten stanowi alternatywę dla istniejącego systemu zasilania w energię, oferując znaczące obniżenie zużycia energii, wpływu na środowisko naturalne oraz poprawiając wskaźniki ekonomiczne. Stworzenie

takiego koncepcyjnego modelu wymaga wyboru odpowiednich urządzeń oraz oceny zagadnień związanych z dostępnością i zapotrzebowaniem na energię.

Zatem konieczne staje się rozbicie całkowitego zapotrzebowania na energię po optymalizacji procesów technologicznych, odzysku ciepła i modelu magazynowania energii biorąc pod uwagę następujące czynniki:

- Poziomu temperaturowego pozostałego zapotrzebowania na energie cieplną (po odzyskaniu ciepła odpadowego)
- Analizę ilościową dostępnej energii cieplnej i występującego zapotrzebowania
- Chwilową dystrybucję dostępnego ciepła odpadowego i zapotrzebowania na energię cieplną
- Dostępność przestrzeni
- Dostępność alternatywnych źródeł energii oraz ich koszt (biomasa itp.)

Metodologia

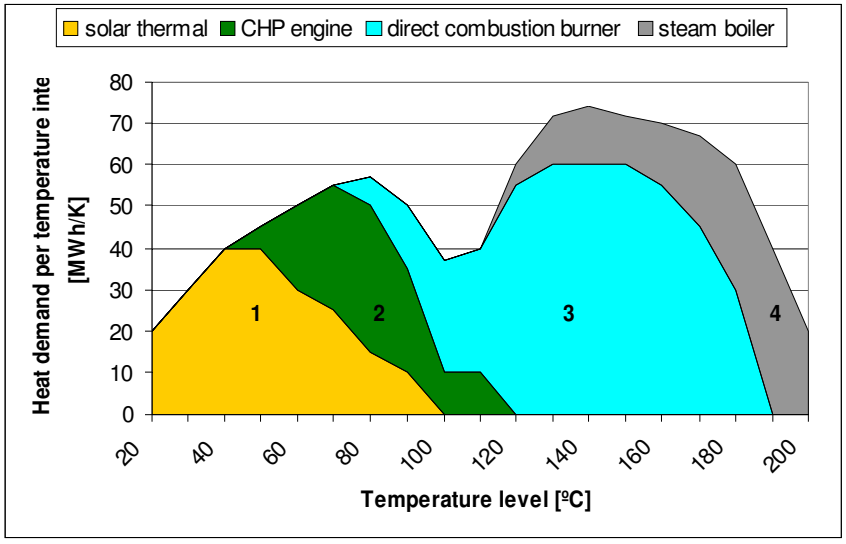
Optymalizacja zasad gospodarki cieplnej oparta jest na założeniu istnienia kaskady zaopatrzenia w energię cieplną wykorzystywaną dla pokrycia całkowitego zapotrzebowania w energię:

- Podstawowy poziomie obciążenia zapewniany jest przez urządzenia o dużej sprawności (długi czas pracy) zapewniając dostęp do relatywnie niskiej temperatury.
- Obciążenie szczytowe i/lub pozostała część zapotrzebowania w tym na wysokie temperatury, zapewniana jest przez urządzenia o mniejszej sprawności, co jest rozwiązaniem odpowiednim w takim scenariuszu.

Metoda ta, nie gwarantuje zawsze osiągnięcia optimum, nie bierze także pod uwagę pewnych specyficznych własności danego systemu dystrybucji energii cieplnej, ale pozwala uzyskać wstępne, przybliżone wyniki, które w dalszej kolejności mogą zostać tak zoptymalizowane by uzyskać pożądany efekt.

W procesie wyróżniamy następujące kroki:

- Wybór urządzeń wykorzystywanych w kaskadzie cieplnej, a także kolejności ich występowania w kaskadzie. Czynności te najczęściej muszą być wykonane ręcznie przez audytora, pomimo tego, że program EINSTEIN zawiera wbudowane sugestie dotyczące sekwencji urządzeń w kaskadzie.
- Indywidualne wymiarowanie urządzeń w kaskadzie dla każdego z typów urządzeń. Program EINSTEIN oferuje system kreatorów (tak zwane *design assistants*) dla rozmaitych technologii. Te automatyczne lub półautomatyczne system kreatorów pozwala na późniejszą edycję parametrów, tak by uzyskać żądany efekt.
- Wybór optymalnej strategii rozwiązań zintegrowanych. Tutaj konieczne jest podejście typu próby i błędu: pozwala na porównanie rozmaitych kombinacji technologii oraz analizę ich skuteczności z punktu widzenia właściwości energetycznych, oddziaływania na środowisko i wskaźników ekonomicznych.
- W wielu przypadkach optymalizacja procesu odzyskiwania ciepła musi być przeprowadzana wielokrotnie ze względu na fakt, że zmiany dostępności energii cieplnej mogą prowadzić do zmian w dostępności ciepła odpadowego i w ten sposób wpływać na możliwości odzyskiwania energii.



Wykres 12. Przykład: wpływ całkowitego zapotrzebowania na energię na kolejnych poziomach temperatury przez kaskadę cieplną utworzona z różnych rodzajów urządzeń

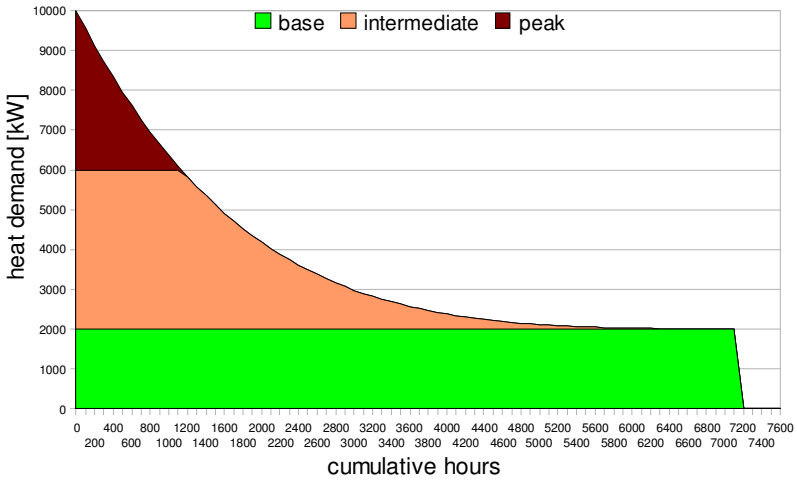
Magazynowanie energii cieplnej

Większość energooszczędnych technologii (tj. wykorzystywanie agregatów kogeneracyjnych, pompy ciepła, energia pochodząca z odnawialnych źródeł) odróżnia się od powszechnie (dziś) używanych technologii następującymi czynnikami:

- Niższym zużyciem energii a zatem niższymi kosztami operacyjnymi;
- Zwykle wyższym kosztem inwestycyjnym;

Podczas gdy koszty inwestycji są stałe i zależą głownie od rodzaju wykorzystanych urządzeń, oszczędność zużycia energii rośnie w raz ze stopniem jego wykorzystania (ilością godzin pracy). Wynika z tego wniosek, że ekonomiczne uzasadnienie prowadzonych inwestycji rośnie wraz z możliwością zapewnienia ciągłej pracy systemu.

Zatem urządzenia charakteryzujące się zmniejszonym zużyciem energii powinny być wykorzystywane przy nominalnym obciążeniu systemu, natomiast wymagania energetyczne w okresie szczytowego zapotrzebowania mogą zostać zaspokojone przez tańsze, lecz także mnie wydajne urządzenia.



Wykres 13. Wymiarowanie urządzeń do pracy podstawowej, średnich obciążeń oraz pracy w szczycie

Magazynowanie energii pozwala w pewnym stopniu ograniczyć wymagania energetyczne przy obciążeniu szczytowym, powodując jednocześnie, że większa część całkowitego zapotrzebowania pokrywana jest ze źródeł energetycznie wydajnych.
W związku z tym system magazynowania energii powinien być rozpatrywany nie jako oddzielna technologia, lecz jako integralna część energooszczędnego systemu zaopatrzenia w energię.
Systemy magazynowania energii:

- Magazynowanie energii w postaci ciepłej/zimnej wody (w zbiornikach ciśnieniowych do temperatury wynoszącej do 150 ºC);
- Magazynowanie energii w postaci ciepła utajonego (zbiorniki nasyconej pary);
- Magazynowanie energii w postaci ogrzanego oleju;
- Magazynowanie energii w ciałach stałych (materiały ceramiczne, skały, ...);
- Magazynowanie energii w lodzie i innych materiałach, z których odzyskuje sie energię przejścia fazowego;

Energooszczędne systemy dystrybucji energii cieplnej

W wielu przypadkach sama zmiana sposobu dystrybucji energii cieplnej może prowadzić do znaczących oszczędności w zużyciu energii. Można wyróżnić następujące możliwości:

- *Obniżenie poziomu temperatury*: obniżenie temperatury pozwala zmniejszyć starty ciepła oraz zwiększyć sprawność przemiany energii w urządzeniach dostawczych (kotły itp.). Redukcja może być także konieczna w sytuacji wprowadzania technik energooszczędnych (tj. kogeneracji, pomp ciepła, kolektorów solarnych).
- *Spalanie bezpośrednie:* w pewnych procesach technologicznych (np. suszenie, podgrzewanie kadzi) bezpośrednie spalanie lub bezpośrednie użycie gazów wylotowych (np. z turbin gazowych) pozwala na zwiększenie sprawności systemu, z jednej strony eliminując straty w systemie dystrybucji energii, a z drugiej z powodu użycia skondensowanej pary wodnej zawartej w gazach wylotowych. Stosowanie tej metody ograniczone jest do raczej „czystych" paliw takich jak gaz ziemny lub biogaz.

Kogeneracja

Kogeneracja jest obecnie najbardziej energooszczędną metodą uzyskiwania energii elektrycznej (z wyjątkiem energii elektrycznej uzyskiwanej ze źródeł odnawialnych), poprzez optymalizację spalania paliwa w taki sposób by produkować nie tylko samo ciepło lub elektryczność, ale oba nośniki energii na raz. Z punktu widzenia termodynamiki jest to najbardziej efektywny sposób przemiany energii ponieważ przy

danym nakładzie paliwa (np. gazu lub dowolnego paliwa płynnego) wysokowydajne agregaty kogeneracyjne pozwalają na uzyskanie energii cieplnej i elektrycznej przy stratach wynoszących typowo od 10% do 25%. Dla porównania wskaźnik podobnego systemu dostarczającego tylko energie elektryczną wynosi 45%.

W celu maksymalizacji zysków energetycznych agregat kogeneracyjny powinien zapewniać dostarczanie energii cieplnej zgodny z wymaganiami konkretnej lokalizacji. Dzięki temu system Kogeneracji będzie optymalnie wykorzystywany. Nadmiar wytworzonej energii elektrycznej może zostać wysłany do publicznej sieci energetycznej. Wytwarzanie energii elektrycznej przy odprowadzaniu ciepła do środowiska powinno być unikane ze względów na efektywność energetyczną przedsięwzięcia, chyba, że sprawność produkcji energii elektrycznej jest wyższa niż średnia sprawność przemiany ciepła.

Jest wiele sposobów obliczenia możliwości zaoszczędzenia energii pierwotnej uzyskiwanej poprzez stosowanie agregatów kogeneracyjnych. Możliwe jest porównanie ilości zaoszczędzonej energii w porównaniu z systemami zajmującymi się tylko produkcja energii elektrycznej lub tylko energii cieplnej z wykorzystaniem tego samego paliwa. Można także używać średnich cen energii elektrycznej jako porównania. Ponieważ agregaty kogeneracyjne produkują zarówno energie elektryczna jak i cieplną, oszczędności można przedstawiać w jednej z tych form lub jako proporcję obu. Obecnie do zagadnienia Kogeneracji istnieją dwa zasadnicze podejścia:

- Zgodne z Dyrektywą 2004/8/EC porównujący agregaty kogeneracyjne z systemami zajmującymi się tylko produkcją energii cieplnej bądź elektrycznej (na podstawie wartości referencyjnych stosowanych dla produkcji tylko z jednego typu energii). Podejście to charakteryzuje się "symetrycznościa" zarówno dla ciepła jak i energii elektrycznej

- "*ekwiwalentna sprawność elektryczna*" stosowane w takich krajach jak Hiszpania czy Portugalia polega na odjęciu ilości energii elektrycznej koniecznej do wytworzenia równowartości otrzymywanej energii cieplnej w konwencjonalnym systemie i obliczeniu teoretycznej sprawności elektrycznej systemu. Wartość ta może być bardzo wysoka zwykle znacznie powyżej 60%.

W programie EINSTEIN zajmujemy się głównie energią cieplną, zatem tak jak podkreślono wyżej optymalne warunki pracy agregatów kogeneracyjnych powinny być zdeterminowane przez zapotrzebowanie na energie cieplną. Konsumpcję netto właściwej energii pierwotnej na jednostkę ciepła obliczamy następująco:

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{CHP}} \left(1 - \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{grid}} \right) \qquad (3.2)$$

Konsumpcja netto właściwej energii pierwotnej może być nawet ujemna (!) w przypadku gdy elektryczna sprawność aparatów kogeneracyjnych jest wyższa niż agregatów prądotwórczych używanych do produkcji energii elektrycznej w sieci.

W średnim terminie sytuacja ta będzie ulegać zmianie ze względu na fakt, że średnia sprawność produkcji energii elektrycznej stale się zwiększa (wzrasta sprawność elektrowni, a co raz większa część wytwarzanej energii pochodzi ze źródeł odnawialnych). Także w przyszłości należy się spodziewać spadku wartości tego wskaźnika.

Tak jak we wszystkich rozwiązaniach energooszczędnych, ekonomiczna praca agregatów wymaga dużej liczby godzin pracy (z reguły powyżej 4000 h/a). Dlatego najlepiej kogenerację stosować przy niewielkich obciążeniach i/lub w połączeniu z magazynowaniem energii cieplnej.

Po za zapotrzebowaniem na ciepło agregaty kogeneracyjne pozwalają także na zaopatrzenie w zimno (tak zwana tri generacja: energia elektryczna + ciepło i zimno) w połączeniu z chłodnicami cieplnymi. W zależności od technologii chłodnice wymagają dostarczenia energii cieplnej o temperaturze pomiędzy 80 ºC a 180 ºC.

Wybór technologii kogeneracji zależy od wielkości ciągłości I poziomu temperatury w zapotrzebowaniu na energie cieplną.

Tabela 4. Dostępne technologie kogeneracyjne

Technologia	Poziom temperatury	Sprawność

		(el./thermal)
Gaz lub silnik spalinowy	< 95 ºC (chłodziwo) < 400 ºC (gazy wylotowe)	(40% / 45 %)
Turbina gazowa	< 400 ºC	(30 % / 60 %)
Turbina parowa	< 250 ºC (limit praktyczny wykorzystania uzależniony od przeciwciśnienia)	(20 – 30 % / 65 %)
Cykl kombinowany (turbina gazowa +odzysk ciepła przez generator pary + turbina parowa)	< 250 ºC (limit praktyczny wykorzystania uzależniony od przeciwciśnienia)	(50 - 55 % / 35 - 40%)
turbina ORC	< 250 ºC	*(27- 50% / 30-55 %)*
Silnik Stirling'a	*<90 ℃*	*(10-25 % / 60 – 80 %)*
Ogniwa paliwowe	*<80 ℃ (PEM)* *<400 ℃ (SOFC)*	*(45-60 % / 30 – 50 %)*

Więcej informacji mozna uzyskać:

[1] OPET: Combined heat and power and district heating project. www.opet-chp.net.
[2] COGEN*challenge:* The European information campaign on small-scale cogeneration. www.cogen-challenge.org.
[3] COM 2004/8/EC: Directive on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. www.managenergy.net/products/R81.htm.
[4] UK Department for Environment, Food and Rural Affairs: Action in the UK - Combined heat and power. www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/chp/index.htm.
[5] American Council for an Energy Efficient Economy: CHP – Capturing wasted Energy. www.aceee.org/pubs/ie983.htm

Pompy ciepła

Pompy ciepła wykorzystywane są do podniesienia temperatury ścieków (lub energii z innych źródeł np. powietrza zewnętrznego bądź gleby) do poziomu pozwalającego na praktyczne stosowanie nośnika w systemie zaopatrzenia w energie cieplną.
Pompy cieplne różnią się wielkością i stosowanymi technologiami, ale w zastosowaniach przemysłowych stosuje się najczęściej:

- *Pompy z kompresją mechaniczną* korzystają one najczęściej z energii elektrycznej do napędu kompresora
- Pompy absorpcyjne, wykorzystujące energie cieplną w postaci wody lub pary
- Pompy parowe, wykorzystujące strumień pary

Pompy wykorzystywane są najczęściej w takich procesach technologicznych jak np. do podgrzewania lub schładzania wody, suszenia, ogrzewania pomieszczeń, odparowywania i procesów destylacji oraz do odzyskiwania ciepła odpadowego.

W przypadku pomp ciepła należy rozważyć następujące zagadnienia:

- *Temperaturę dostarczanej energii cieplnej.* Zależy od typu stosowanej pompy i zawiera się typowo w granicach 55 i 120 ºC. Niektóre pompy kompresorowe korzystające z wody jako chłodziwa mogą uzyskiwać wyższe temperatury w granicach 80 - 150ºC. w pompach eksperymentalny osiągnięto temperatury rzędu 300º.
- *Przyrost temperatury.* Współczynnik sprawności pompy cieplnej w dużej mierze zależy od współczynnika wzrostu temperatury, czyli różnicy pomiędzy temperaturą źródła ciepła i temperaturą na wyjściu pompy. Pompy osiągają najwyższą sprawność przy niewielkim współczynniku przyrostu. W większości zastosowań przyrost temperatury mieści się w granicach 20 – 40 .

- *Czas pracy.* Pompy ciepła, podobnie jak większość energooszczędnych technologii pozwalają na oszczędności kosztów operacyjnych, jednak są drogie. Zatem ich stosowanie jest ekonomicznie uzasadnione tam gdzie mamy do czynienia z procesami ciągłymi.

- *Temperatura pinczu.* Temperaturę pinczu (patrz sekcja 2.5) dzieli zespolone zapotrzebowanie na energie cieplną na dwie części: w zakresie temperatur występujących powyżej pinczu konieczne jest dostarczenie energii z zewnątrz, podczas gdy poniżej istnieje nadmiar ciepła (odpadowego). Właściwie stosowana pompa ciepła działanie poprzez punk wyznaczony przez pincz temperaturowy, zatem pompa ma za zadanie pobierać ciepło tam gdzie jest jego nadmiar i przekazywać tam gdzie istnieje jego niedobór.

- *Forma zasilania, krzywe zapotrzebowania na energie cieplną*. Stosowanie pompy cieplnej ma sens w sytuacji kiedy po odzysku ciepła odpadowego wciąż występują punkty wspólne pomiędzy dostępną energią cieplną a zapotrzebowaniem na tą energię. Także występowanie sytuacji, kiedy wymagany wzrost temperatury jest niewielki powinien wskazywać na możliwość wykorzystania pompy ciepła.

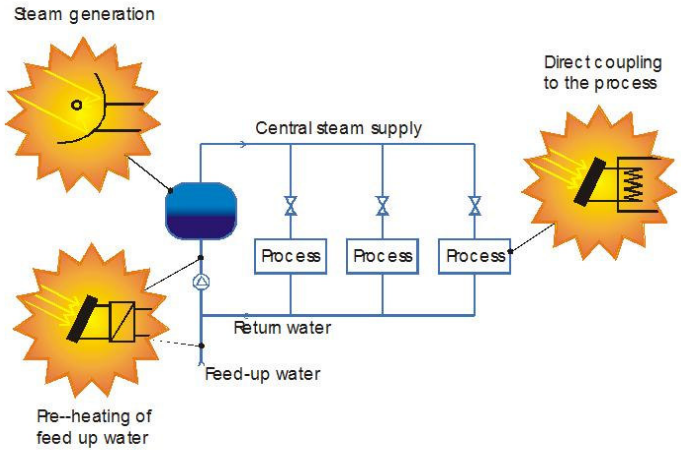
Informacje:

[1] Information on heat pump technologies and suppliers is available on the web site of the IEA Heat Pump Centre: www.heatpumpcentre.org.

Termalna energia słoneczna

Wykorzystanie termalnej energii słonecznej w procesach technologicznych

Istniejące systemy dostarczania ciepła są często zaprojektowane tak by dostarczać wyższą temperaturę (150–180°C) niż ta realnie potrzebna w większości procesów technologicznych (100°C i niższe). Energia powstająca z wykorzystaniem kolektorów słonecznych powinna być połączona z istniejącym system dostawy energii cieplnej w możliwie najniższym zakresie temperatur. Niezależnie od tego, należy energię słoneczną dodawać do nośnika po uprzednim podgrzaniu przez ciepło odpadowe. System taki, oferuje lepszą sprawność niż korzystanie tylko z energii słonecznej bez odzysku ciepła. System oparty na wykorzystaniu termalnej energii Słońca może być połączony z konwencjonalnym systemem dostawy energii na wiele sposobów w tym m.in. bezpośrednie podłączenie do określonego procesu technologicznego, zapewnianie



pogrzania wstępnego wody oraz generacja pary w centralnym systemie ogrzewania.

Wykres 14. Łączenie źródła energii opartego na termalnej energii słonecznej z konwencjonalnym systemem ogrzewania

Jeśli jest to możliwe preferowanym sposobem wykorzystania tego rodzaju energii jest *bezpośrednie* podłączenie do procesów technologicznych. Można to wykonać w następujący sposób:

- *Podgrzanie wstępne cyrkulujących cieczy* (np. wody zasilającej, powrotu w układach zamkniętych, podgrzewanie powietrza etc.). Ogólnie, najczęściej temperatura dostarczana przez system jest niższa niż wymagana przez dany proces. Dodatkowo, jeśli, proces nie jest ciągły, należy przewidzieć magazynowanie energii.

- *Podgrzewanie kadzi, naczyń, maszyn gorącokomorowych (np.suszenie)*. Energia cieplna jest konieczna do wstępnego podgrzania cieczy wymaganych w procesach technologicznych oraz do utrzymania temperatury w czasie działania procesu. Istniejące wymienniki często zaprojektowane są dla temperatur zbyt wysokich dla możliwych do osiągnięcia za pomocą energii słonecznej. Jeśli wymiana tych urządzeń nie jest możliwa z przyczyn technicznych, może zostać użyty zewnętrzny wymiennik ciepła połączony z pompą obiegową W przypadku dobrej izolacji cieplnej kadzi wykorzystywanych w procesie technologicznym, można je będzie wykorzystać w formie magazynu energii. Na przykład wykorzystanie ciepła dostarczonego przez system oparty na energii słonecznej po zakończeniu procesu (np. w czasie weekendu) ograniczy zapotrzebowanie na energię podczas rozruchu.

Operacje jednostkowe gdzie najskuteczniej można wykorzystać energię słoneczną to m.in. mycie, suszenie, odparowywanie i destylacja, blanszowanie, pasteryzacja, sterylizacja, gotowanie, malowanie, odtłuszczanie a także chłodzenie. Po za procesami technologicznymi, energia oparta na kolektorach słonecznych może być wykorzystana do ogrzewania budynków.

W większości zastosowań, *połączenie system opartego na energii słonecznej z kotłami* jest także możliwe. Energia słoneczna najczęściej zapewnia wstępne podgrzanie wody zasilającej kocioł lub wykorzystywana jest jako generator pary. W pierwszym przypadku to źródło energii wykorzystywane jest jako metoda podgrzania wstępnego wody zasilającej (jeśli nie istnieje możliwość odzysku ciepła z innych źródeł) lub w celu zwiększenia temperatury kondensatu. Druga opcja możliwa jest tylko w miejscach o wysokim nasłonecznieniu i wymaga stosowania zespołu kolektorów.

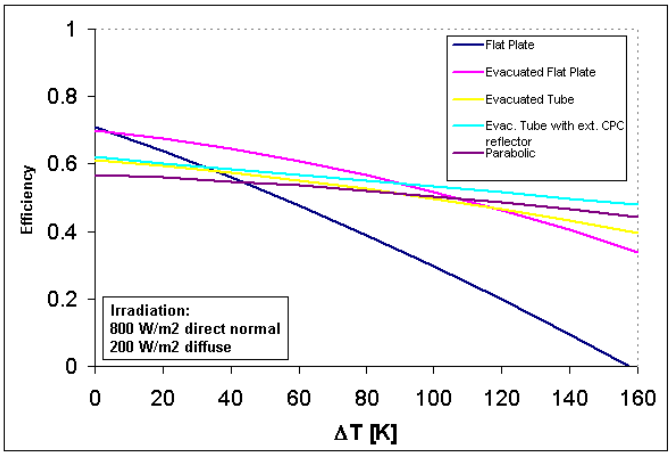
Kolektory wykorzystywane w procesach technologicznych

Sprawność (□) kolektora wylicza się ze wzoru:

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) * \frac{\Delta T}{G_T} \qquad (3.3)$$

gdzie c_0 jest sprawnością optyczną, c_1, c_2 są współczynnikami liniowymi I kwadratowymi utraty ciepła (c_1 [W/K m^2]; c_2 [W/K^2m^2]), □T [K] jest różnicą średniej temp. nośnika energii słonecznej i temperaturą atmosfery G_T [W/m^2] jest sumą radiacji słonecznej na kolektor.

Bazując na tym równaniu łatwo przewidzieć, że efektywność rozwiązania zależy głownie od ilości energii słonecznej i temperatury pracy (straty ciepła na kolektorze i w dystrybucji)..

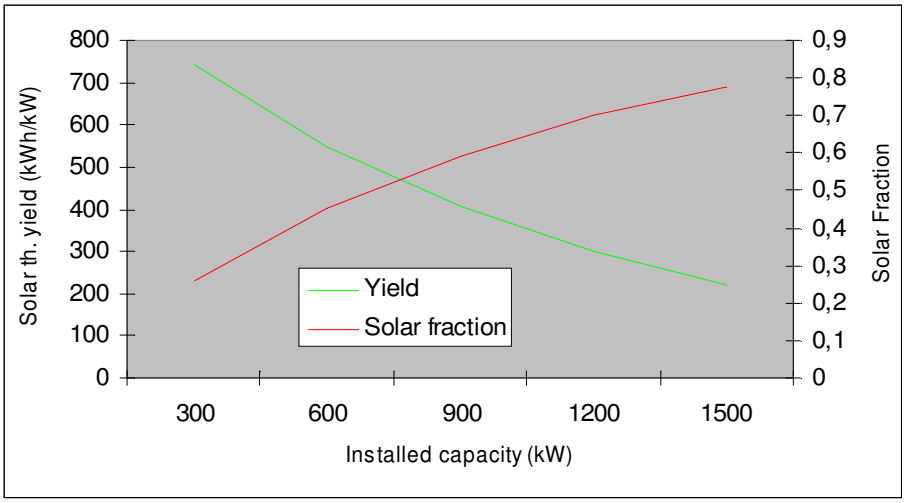


Wykres 15. Chwilowa sprawność różnych typów kolektorów słonecznych (w stosunku do powierzchni całkowitej) [1].

Obecnie, w zakresie niskich temperatur (do ok. 80 °C), kolektory płytowe (z lub bez selektorów) są najczęściej stosowanym rozwiązaniem. Innymi typami kolektorów operujących w zakresie wyższych temperatur (do 250°C), są: wysokowydajne kolektory płytowe (np. szklone podwójnie lub powłoka antyrefleksyjną), próżniowe, kolektory CPC, kolektory paraboliczno-korytowe oraz kolektory Fresnela. Obecnie trwają prace na innymi typami kolektorów m.in. ze zwierciadłem stacjonarnym.

Wymiarowanie systemu kolektorów

Dla danego zapotrzebowania na energię, przewymiarowanie stacji kolektorów prowadzi do wzrostu udziału energii słonecznej w ogólnym bilansie energetycznym. Średni udział energii słonecznej nie powinien przekraczać 60% zużycia energii. Właściwy uzysk energii (uzysk energii na moc cieplną w kW_{th}[11] lub na powierzchnię) zmniejsza się wraz z wielkością instalacji, głównie z powodu wzrostu temperatury kolektorów co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia strat cieplnych.



Wykres 16. Uzysk energii i stopień nasłonecznienia dla różnych wielkości system kolektorów

Profil obciążenia i magazynowanie energii słonecznej

W sytuacji, gdy zapotrzebowanie na ciepło jest ciągle zarówno w ciągu dnia jak i przez weekend (np. brak przerw weekendowych), system nie wymaga instalowania magazynu energii i ciepło może być dostarczane do użytkownika końcowego (procesu technologicznego lub systemu ogrzewania). To najlepszy z możliwych scenariuszy, który w zdecydowany sposób upraszcza projekt i efektywność rozwiązania, obniżając dodatkowo koszty inwestycyjne. Jednak w rzeczywistości często zdarza się, że zapotrzebowanie na energie nie jest stałe w ciągu dnia. Często też nie jest możliwe by proces był ciągły.

W przypadku, gdy proces jest ciągły, występują jednak silne fluktuacje zapotrzebowania na energię w ciągu dnia, należy zastosować magazyn energii o pojemności pomiędzy 20 – 80 l/m^2 kolektora. Jeżeli natomiast profil obciążenia wskazuje na występowanie przerw (np. weekend), wielkość magazynu należy zwiększyć do 80 – 150 l/m^2. Magazynowanie na dłuższe okresy czasu (sezonowanie) może być rozpatrywane tylko w przypadku dużych systemów (> 3 000 kW).

Wnioski:

Rozważając możliwość zastosowania kolektorów słonecznych należy sprawdzić:

- Temperatury wymagane przez procesy
- Profil obciążenia (okresowy, stały)
- Możliwość magazynowania energii z wykorzystaniem wewnętrznych magazynów energii (wykorzystywanych w danym procesie technologicznym)
- Możliwość przyłączenia do istniejących urządzeń (np. wymienniki, urządzenia itp.) i konwencjonalnych systemów dostarczania ciepła
- Możliwość odzysku energii
- Dostępność miejsca (dach, działka)

[11] *W celu przeliczenia powierzchni [m^2] na nominalną moc cieplną [kW] w standardowych warunkach przyjmuje się wartość: 1 m^2 = 0.7 kW*

W przypadku ostatniego punktu należy pamiętać, że statystycznie brak miejsca jest najczęstszą przyczyną rezygnacji z budowy dużych systemów kolektorowych. Dlatego należy sprawdzić wszystkie dostępne miejsca!

Tabela 5. Kryteria projektowe przy tworzeniu przemysłowych systemów kolektorowych

Kryterium	Wpływ na paramentry energetyczne i wskaźniki ekonomiczne
Temperatura pracy	Temp niższa niż 200°C, najlepsza sprawność < 100 °C
Klimat	Najlepsze warunki w południowej i centralnej Europie
Ciągłość zapotrzebowania Zmienna rocznie Zmienna dziennie	Przerwy w lecie obniżają sprawność. Straty SA bardziej niż proporcjonalne do długości przerwy. Zapotrzebowanie ciągłe (z możliwym zapotrzebowaniem szczytowym - korzystne. Krótkie przerwy w pracy (kilkugodzinne) mogą być kompensowane magazynowaniem energii (minimalny dodatkowy nakład)
Wielkość systemu	Opłacalność systemu zależy od jego wielkości. Koszty uzyskania energii słonecznej są ok. 50 % niższe dla dużych
Roczny uzysk energii	Roczny uzysk energii winien wynosić min. 600 kWh/kW
Udział w bilansie	Nie więcej niż 60 % (zapotrzebowanie ciągłe)
Dostępność miejsca pod instalację	W celu uzyskania udziału w ogólnym bilansie energetycznym na poziomie 5 - 60 % wymagana jest odpowiednia ilość miejsca pod instalację. Orientacja południowa z inklinacją ?? (szerokość – 10°) jest odpowiednia do uzyskania dobrych efektów. Możliwe lekkie odchylenia (±45° z kierunku S, ±15° optymalnej inklinacji). Krótki system dystrybucji.
Struktura dachu	Konieczność wzmocnienia dachu zwiększa koszty inwestycji ograniczając zyski ze stosowania systemu. Dodatkowe obciążenie statyczne wynosi ok. 25 – 30 kg/m^2.
Odzysk ciepła odpadowego	Po rozpoznaniu możliwości odzysku ciepła odpadowego można uzupełnić ewentualne braki systemem opartym na kolektorach słonecznych

Więcej informacji dotyczących technologii kolektorów słonecznych można uzyskać:

[1] H.Schweiger et al., POSHIP (Project No. NNE5-1999-0308), The Potential of Solar Heat for Industrial Processes, Final Report. Website: www.aiguasol.com/poship.htm

[2] Process heat collectors. State of the art within Task 33/IV, Editors: W. Weiss, M. Rommel, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

[3] D. Jaehnig, W.Weiss, Design Guidelines – Solar space heating of factory buildings. With underfloor heating systems, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

Argumenty przemawiające za stosowaniem systemu kolektorów słonecznych:

[4] Solar Thermal Action Plan for Europe (STAP), Estif. Website: www.estif.org/281.0.html

[5] Potential for Solar Heat in Industrial Processes, Editors: C.Vannoni, R. Battisti, S. Drigo, Published by CIEMAT, Madrid (Spain) 2008. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

Biomasa i biogaz

Wykorzystanie biomasy i biogazu jako źródła energii może pokrywać znaczącą część zapotrzebowania przemysłu na energię. Biomasa, jako energia pochodząca z tych odnawialnych źródeł, wykorzystywana jest głównie w piecach przemysłowych w postaci wiórów drewnianych i brykietu. Korzysta się także, ze słomy jednak jej wykorzystanie ograniczone jest wyposażeniem technicznym. Można korzystać też z dowolnego rodzaju materiału biogenicznego, jednak jego praktyczne zastosowanie ograniczone jest zawartością wody oraz osiągalnej wartości kalorycznej.

Reasumując, piece na biomasę stosowane do ogrzewania wody i wody przegrzanej są obecnie na najwyższym poziomie. Kotły parowe opalane biomasą mają nieco krótszą historię, ale istnieje wiele przykładów zastosowań w ostatnich latach.

Fermentacja masy biogenicznej do postaci biogazu otwiera nowe możliwości jej użytkowania. Jedną z głównych zalet takiego rozwiązania jest pominięcie procesu suszenia biomasy przed jej użyciem. Tutaj, wydajność procesu fermentacji zależy od uzysku metanu w fazie gazowej i konieczności oczyszczenia gazu po fermentacji (istotne przy zastosowaniu do napędu silników). Biogaz może być wykorzystywany w różnych technologiach m.in. w kotłach CHP, turbinach gazowych i ogniwach paliwowych lub też wykorzystywany jako paliwo w silnikach (w samochodach, ciężarówkach, łodziach).
Szczegóły wykorzystania biogazu

Biogaz to mieszanka metanu, CO_2, H_2S, wody oraz innych pierwiastków występujących śladowo wytwarzanym w wyniku fermentacji aerobowej, powstający z materiału pochodzenia organicznego. Jest to skomplikowany proces wymagający wielokrotnej fermentacji. Jakość produktu zależy od wielu czynników m.in. od jakości biomasy, mikroorganizmów biorących udział w fermentacji oraz warunków w jaki się proces odbywa (np. temperatura, pH itp.) , także w końcowej fazie od obróbki w końcowej fazie produkcji.

W ostatnich latach biogazownie wykorzystują zaawansowany technologicznie proces tzw. kofermentacji pozwalający na jednoczesną fermentację nawozów organicznych (płynny obornik) wraz z innymi surowcami biogenicznymi i odpadami pochodzenia organicznego. W zastosowaniach przemysłowych, jednoczesne wykorzystywanie wielu materiałów organicznych posiada tą zaletę, że ułatwia produkcję gazu na miejscu i zwiększa niezależność od zewnętrznych źródeł energii. Tabela 11 przedstawia możliwe rozwiązania:

Tabela 8: Surowce do produkcji biogazu pochodzące z różnych źródeł

Agriculture industry	Slaughter houses	Industry (e.g. food)	Canteen kitchen	commune
•Residues of harvesting •Energy plants •Liquid manure •Solid and liquid dong	•Slaughter house waste water (grease,..) •Slaughter house solid waste (bowels)	•mash •Brewer grains •yeast •Fruit pulp	•Food residues •Kitchen waste •Waste grease	•grass •Biogenic waste •Sewage sludge

Tabela 9: Technologie obróbki wstępnej

Pre-treatment	**examples**
Mechanical/physical	Milling, chaffing, ultra sonic
chemical	Acids, base, wet oxidation
Bio-technological	Enzymes, fungi,
Thermal	Steam explosion, thermal pressure hydrolysis

Tabela 10: Skład biogazu powstającego z różnych surowców

components	Wood gas		Sewage gas	landfill gas	biogas	Biogas av.
	air	steam				
CH_4	3 – 6 %	9 – 11 %	60 – 75 %	45 – 55 %	50 – 75 %	**55 %**
CO_2	12 – 16 %	20 – 25 %	30 – 40 %	30 – 40 %	25 – 45 %	**43,9 %**
H_2S			< 1 %	50 – 300 ppm	0 – 1 %	**0,05 %**
H_2O			saturated	saturated	saturated	saturated
H_2	11 – 16 %	33 – 40 %	traces		0 – 1 %	**0,5 %**
O_2			< 1 %		0 – 1 %	**0,1 %**
N_2	45 – 60 %	< 3 %	< 4 %	5 – 15 %	0 – 3 %	**0,4 %**
NH_3					0 – 0,5 %	**0,05 %**
CO	13 – 18 %	25 – 30 %	traces		-	-
Heating value [kWh/m³]	**1,1 – 1,7**	**3,3 – 4,2**	**6 – 7,5**	**4,5 – 5,5**	**5 – 7,5**	**5,5**

* Vol% on dry gas

Zastosowana technologia, taka jak jedno- i dwufazowa fermentacja, warunki mezofilowe lub termofilowe oraz fermentacja sucha lub mokra wpływają zarówno na jakość jak i ilość uzyskiwanego produktu. W szczególności obróbka wstępna materiałów celulozowych wpływa niezwykle korzystnie na ilość uzyskiwanego biogazu. Techniki obróbki przedstawiono w tabeli 12 .

Dalsza obróbka biogazu jest uzależniona od planowanego zastosowania. Usuniecie CO_2, H_2S czy H_2O zwiększa wartość opałową gazu. Średnia wartość opałowa gazu ziemnego wynosi ok. 10 kWh/m³; biogazu ok. 6 kWh/m³ co stanowi ok. 60% wartości opałowej gazu ziemnego .

Więcej informacji:

[1] Handbook of Biogas Utilization, Second Edition, Ross, Charles C.; T. J. Drake III; Environmental Treatment Systems, Inc. July 1996

Energooszczędne technologiczne stosowane w piecach i kotłach

W celu oceny wydajności istniejącego kotła podczas audytu należy sprawdzić dane takiej jak: rok instalacji, dane techniczne (producent, moc nominalna itp.), stan instalacji, możliwe przecieki, sposób wykorzystania urządzenia
Istnieje wiele metod pozwalających na ograniczenie zużycia energii przez istniejące lub projektowane instalacje dostarczania energii cieplnej (kotły, generatory pary, kotły kondensacyjne). W szczególności należy zwrócić uwagę na:

- Wykorzystanie energii elektrycznej do ogrzewania w procesach technologicznych jest nie wydajne. Sprawność przemiany energii pierwotnej w energię elektryczną wynosi zaledwie 30% (wraz ze stratami w dystrybucji). Wysokosprawne kotły lub piece wykazują się wskaźnikiem na poziomie 90%.

- Kotły wodne posiadają wyższą sprawność od kotła parowego. Ogranicza się także straty w dystrybucji. Dodatkowo obieg wody pozwala na stosowanie innych energooszczędnych technologii takich jak agregaty kogeneracyjne, pompy ciepła oraz kolektory słoneczne.

- Niższe ciśnienie pary (a także temperatura) ogranicza straty ciepła I koszty.

- Użycie gazu ziemnego lub LPG pozwala na stosowanie energooszczędnych technologii (kotły kondensacyjne, bezpośrednie spalanie itp.)

- Sprawność kotła radykalnie spada w memencie gdy pracuje poniżej 30% obciążenia nominalnego, zatem konieczne może być zainstalowanie dwóch kotłów. Należy unikać przewymiarowywania kotłów. W szczególności należy zwrócić uwagę na to by wysokosprawne kotły zajmowały się obsługą zapotrzebowania nominalnego, a w przypadku mniej sprawne tylko zapotrzebowania w szczycie.

- Optymalizacja sposobu wykorzystania kotłów może przynieść wymierne oszczędności.

- W sytuacji, gdy kotły są regularnie wyłączane, utrata ciepła przez komin może być ograniczona stosując dławiki kominowe.

- Czynnikami wpływającymi na sprawność jest utrata gazów spalinowych oraz utrata ciepła poprzez radiację. Obniżenie temperatury gazów i dobra izolacja termiczna kotła poprawnie wpływa na sprawność urządzenia. Także regulacja ilości powietrza wpływa dodatnio na straty gazów wylotowych poprawiając wydajność.

- Powrót kondensatu do kotła pozwala na odzyskanie energii w nim zawartej (do 15 % energii koniecznej do generowania pary).

- W celu zminimalizowania utraty ciepła podczas wydmuchu, ilość pary w wydmuchu powinna zostać ograniczona, a ciepło w niej zmagazynowane odzyskane (poprzez wstępne oczyszczenie wody) Dodatkowym, pozytywnym efektem tych działań jest fakt, że proces ten redukuje osadzanie kamienia wapiennego zachowując tym samym dobre przewodnictwo cieplne.

- Dodanie ekonomizera (dodatkowego wymiennika ciepła podgrzewającego wstępnie wodę na wejściu kotła z wykorzystaniem jego gazów wylotowych) i/lub an rekuperatora dalej zwiększa sprawność systemu.

Dalsze informacje można wyszukać w:

[1] The Energy Research Institute Department of Mechanical Engineering University of Cape Town. H*ow to save money and energy in boiler and furnaces systems.* Website: http://www.3e.uct.ac.za
[2] Lawrence Berkeley National Laboratory Washington, DC for DOE, Improving Steam system Performance a sourcebook for industry. April 2004. Website: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steamsourcebook.pdf.
[3] Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. July 2006. Website: http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
[4] Ralph L. Vandagriff. Practical guide to industrial Boiler systems. 2001. Marcel Dekker, Inc. Website: www.dekker.com
[5] V. Ganapathy ABCO Industries. Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations. 2003 Marcel Dekker, Inc.Website: www.dekker.com

Energooszczędne metody produkcji zimna

Agregaty chłodnicze w przemyśle wykorzystywane są do kontrolowanego schładzania produktów i urządzeń lub do zapewnienia odpowiednich warunków środowiskowych w pomieszczeniach zakładowych. Agregaty dzielimy na dwie zasadnicze grupy:

- *Agregaty sprężarkowe* wymagają energii mechanicznej do pracy i napędzane są silnikami elektrycznymi, parą bądź turbinami gazowymi. Najpopularniejszym rozwiązaniem jest stosowanie napędu elektrycznego. W zależności od zastosowanego typu sprężarki, agregaty można podzielić na: tłokowe, osiowe, śrubowe, odśrodkowe. Współczynnik sprawności dużych agregatów sprężarkowych wynosi 4 lub więcej.

- *Agregaty cieplne* korzystają z energii cieplnej. Najpopularniejszym typem jest *agregat absorpcyjny*. Sprawność tych agregatów najczęściej wynosi od 0.5 – 0.8 (jednostopniowo) to 1.0 – 1.3 (dwustopniowo)[12].

Agregaty przekazują odebraną energie cieplną z medium do środowiska. Energia może zostać przekazana do powietrza (chłodzone powietrzem lub wody (chłodzone wodą). Agregaty chłodzone wodą korzystają z chłodnic kominowych, które zwiększają sprawność (w porównaniu z agregatami chłodzonymi powietrzem), jednocześnie jednak zwiększają zużycie wody.

W fazie projektowania a następnie korzystania z agregatów należy uwzględnić:

[12] *Bezpośrednie porównanie sprawności obu typów rozwiązań jest trudne.*

- *Temperatura dostarczania zimna*. Sprawność agregatów zimna zależy silnie do temperatury odparowywania. Wyższa temperatura powoduje zwiększenie sprawności urządzenia. W wielu zastosowaniach jeden agregat zimna stosuje sie w wielu procesach technologicznych. Jeżeli procesy wymagają zastosowania zimna o różnym zakresie temperatur należy je pogrupować wg tych zakresów.

- *Różnica temperatury pomiędzy parowaniem i kondensacją*. Mniejsza różnica zwiększa sprawność. Prawidłowe zaprojektowanie chłodnicy kominowej poprawia sprawność.

- *Dostępność energii cieplnej o niskiej temperaturze (80 - 90 ºC).* Energia ta może być dostępna w postaci ciepła odpadowego, z agregatów kogeneracyjnych lub z system kolektorów słonecznych. W tych przypadkach należy rozważyć możliwość skorzystania z agregatów termicznych, szczególnie w przypadkach dużego wykorzystania agregatu zimna.

- *Godziny pracy.* Agregaty są drogie dlatego powinny być wybierane, tak by zapewnić ich wysoko utylizację (3000 - 4000 h/rocznie i więcej). Można także zwiększyć czas pracy przez stosowanie magazynu zimna.

- *Możliwości darmowego chłodzenia.* Agregaty należy stosować tylko wówczas, gdy nie istnieje możliwość chłodzenia korzystając z innych źródeł. W wielu klimatach temperatury zewnętrze mogą być niższe niż wymagania termiczne przez wystarczająco długi okres czasu (podczas nocy lub/i zimy). Istnieją agregaty umożliwiające wymianę powietrza z chłodzonym medium w tych okresach. Korzystanie z tego typu agregatów może przynieś duże korzyści ekonomiczne.

- *Korzystanie z przyjaznych środowisku i naturalnych czynników chłodniczych.* Podczas wyboru agregatu sprężarkowego należy zwrócić również uwagę na czynniki chłodzące użyte w danym urządzeniu. Preferuje się użycie czynników przyjaznych dla warstwy ozonowej i przeciwdziałających globalnemu ociepleniu. Także naturalne czynniki chłodzące takie jak amoniak, dwutlenek węgla posiadają świetne własności termofizyczne i mogą być wykorzystywane jako czynnik chłodzący.

- *Wykorzystanie wody odpadowej z agregatu.* Woda ze skraplacza chłodząca agregat wodny (której energia jest najczęściej rozpraszana przez chłodnicę kominową) może zostać użyta do podgrzewania cieczy w niskim zakresie temperatur (do ok. 50 ºC przy wykorzystaniu agregatu jako *pompy ciepła*; możliwy wzrost temperatury o ok. 40 K).

Informacje:

[1] EU BREF *Reference Document on the application of Best Available.Techniques to Industrial Cooling Systems.* December 2001. The European Comission.
[2] ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment. ASHRAE, 2008.

Kalkulacja sprawności systemu energetycznego i ocena wpływu na środowisko

W celu wyliczenia zużycia energii prze proponowany system dostarczania energii cieplnej konieczne jest przeprowadzenie symulacji działania systemu. Do celów tych w programie EINSTEIN zawarto prosty model kalkulacyjny dostępny dla wszystkich technologii.

EINSTEIN Krok 7: project koncepcyjny oszczędności energetycznych i wstępne określenie celów

> rekomendacje dla potencjalnych oszczędności energetycznych

> optymalizacja procesów/oszczędności po stronie potrzeb

> analiza teoretycznego potencjału odzysku ciepła

> wstępny projekt wymienników i magazynowania energii

> wstępny projekt alternatywnych systemów dostawy

Szybkie kalkulacje

Algorytm kalkulacji sprawności systemu energetycznego zawarty w modelu EINSTEIN oparty jest na sumarycznym zapotrzebowaniu na energie cieplną oraz potencjalnej mocy oddawanej przez urządzenia w kaskadzie. Zapotrzebowanie na energie jest zależne od czasu I temperatury w zależności od własności procesu technologicznego I jego harmonogramu: $\dot{Q}_D = \dot{Q}_D(T,t)$.

Potencjalna moc oddawana P_{nom} różnych urządzeń w systemie jest zależna od temperatury oraz w szczególnych przypadkach (pompy ciepła) od dostępności ciepła odpadowego: $\dot{Q}_A = \dot{Q}_A(T,t)$

Energia użyteczna każdego z urządzeń w kaskadzie (w miejscu j) może zostać wyliczona z zapotrzebowania na energię cieplną oraz mocy nominalnej:

$$\dot{Q}_{USH,j}(T,t) = min\left[P_{nom}(T), \dot{Q}_{D,j}(T,t)\right] \qquad (3.4)$$

gdzie

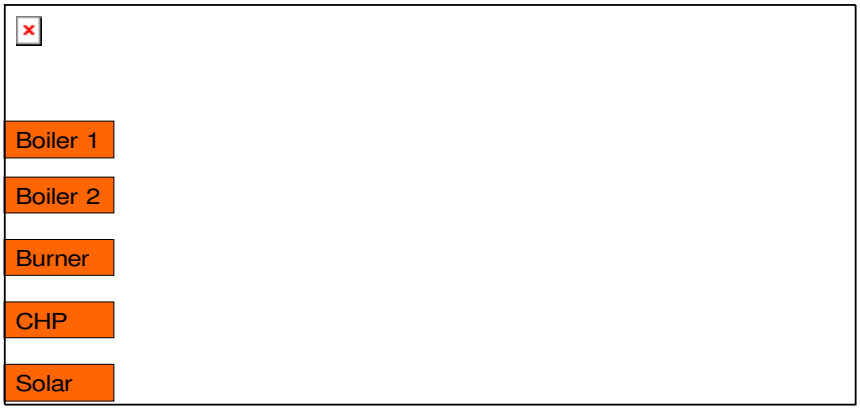
$$\dot{Q}_{D,j}(T,t) = \dot{Q}_{D,j-1}(T,t) - \dot{Q}_{USH,j-1}(T,t) \qquad (3.5)$$

Jest pozostałym zapotrzebowaniem na energię urządzeń umieszczonych w j-th po pokryciu reszty zapotrzebowania przez urządzenia 1 .. j-1 znajdujących się niżej w kaskadzie systemu.

Domyślnie program EINSTEIN wykonuje obliczenia w krokach co godzinę na okres 1 roku, biorąc pod uwagę wariacje zapotrzebowania czasu i temperatury o różnych porach dnia, a także przerwy i zmiany sezonowe (weekendy, święta itp.).

Zasadniczym ograniczeniem tego narzędzia jest podejście “wszystko w jednym” (jeśli chodzi o sumaryczne zapotrzebowanie): nie brane są pod uwagę specyficzne własności systemów występujące w rzeczywistości[13].

W celu wykonania dokładniejszych wyliczeń można skorzystać z oprogramowania do symulacji.



Wykres 6: Podejście typu „wszystko w jednym” inaczej zwane podejściem zapotrzebowania sumarycznego stosowane do modelowania systemu zaopatrzenia w ciepło i zimno w programie EINSTEIN.

Symulacja z wykorzystaniem zewnętrznego programowania do modelowania

W tych przypadkach, gdy model obliczeniowy zawarty w programie EINSTEIN prowadzić może do błędnych wyników lub jest zbyt mało precyzyjny konieczne staje sie wykorzystanie zewnętrznych programów do modelowania (symulacji). Wyniki można potem wprowadzić do narzędzia wykorzystywanego w programie

13 *brane są pod uwagę starty ciepła przyjmując całkowitą średnią wartość dla sprawności systemu dystrybucji.*

EINSTEIN i prowadzić dalsze obliczenia. Więcej na temat korzystania z narzędzi do symulacji można znaleźć w raporcie projektu EINSTEIN D.2.2 „Praktyki narzędzia wykorzystywane podczas audytu energetycznego" [*Energy Auditing Practices and Tools*].

Analiza wpływu na środowisko

Tak jak już przedstawiono w rozdziale 2.1 program EINSTEIN korzysta z następujących wskaźników w celu oceny wpływu instalacji na środowisko:

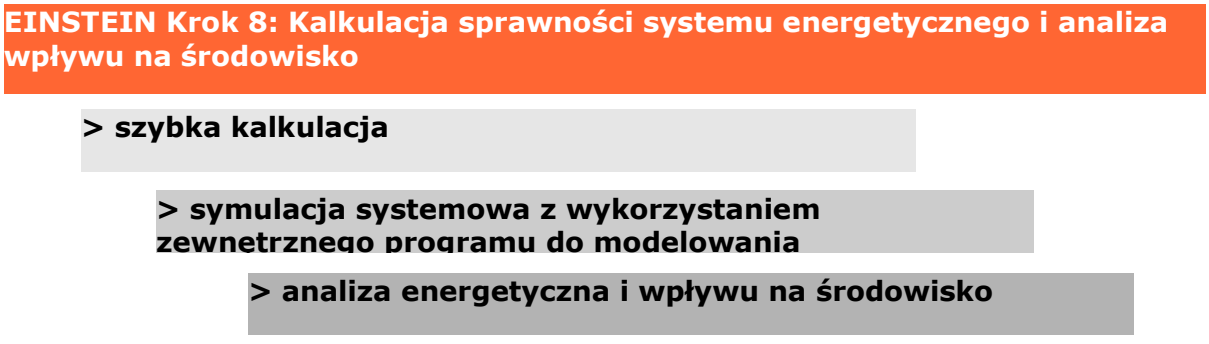
- *Zużycie energii pierwotnej* stanowiący główny wskaźnik oceny wpływu na środowisko
- *Emisja CO_2*
- *Tworzenie substancji wysoko-radioaktywnych (HR) odpadów nuklearnych* (związanych ze zużyciem energii elektrycznej)
- *Zużycie wody*

Wielkość wskaźników wpływu na środowisko jest bezpośrednio wyliczana ze składowych całkowitego zużycia energii w przemyśle i wynika z analizy sprawności energetycznej instalacji opisanej w poprzednich sekcjach.

Wykorzystywane parametry przemiany energii mogą zostać wprowadzone do bazy danych przez użytkownika dla paliw i wykorzystywanego modelu dostarczania energii.

Ogólnie całkowite zużycie energii winno być wykorzystywane jako główny wskaźniki i doprowadzone do minimum jako, że w dużej mierze reprezentuje (średnio) wskaźnik dla wszelkiego rodzaju emisji.

Wielkość emisji CO_2 –często wykorzystywany jako wskaźnik wpływu na środowisko – zaniedbuje inne rodzaje emisji, najczęściej szkodliwych dla środowiska naturalnego (odpady radioaktywne), wskazując jedynie na przesunięcie nacisku z produkcji energii w procesie spalania na rzecz energii elektrycznej (dotyczy w szczególności państw z wysokim wskaźnikiem udziału energii jądrowej w ogólnym bilansie energetycznym).



Analiza ekonomiczna i finansowa

Dla samego przedsiębiorstwa analiza ekonomiczna proponowanego zaopatrzenia w energię to jedno z podstawowych zagadnień. Z tego powodu nacisk musi być kładziony na ten właśnie etap i im bardziej szczegółowe dane zostaną zgromadzone, tym większa będzie rzetelność wyników.

Do ekonomicznej analizy nowych systemów dostawy energii, koszty działania (energii) muszą zostać porównane z obecnym wyposażeniem. Tak więc, odpowiednia metodologia obliczy wszystkie koszty, które pojawią się w przyszłości wraz z obecnym zaopatrzeniem w ciepło i zimno i porówna je z przewidywanymi kosztami inwestycji i innymi kosztami proponowanego alternatywnego systemu dostawy energii.

Ogólnie rzecz biorąc należy uwzględnić poniższe kategorie:

- Koszty inwestycji:

  - oferty dostawców bądź zastosowanie używanego sprzętu
  - dotacje i finansowanie
  - dochód uzyskany ze sprzedaży wymienianego sprzętu

- Koszty działalności:

  - koszty energii łącznie z oczekiwanym wzrostem cen energii
  - utrzymanie, koszty utrzymania pracowników, ubezpieczenie, usługi itp.

- Inne przypadki

  - jeśli obecny system zaopatrzenia nie zostanie zmieniony: niekorzystne podatki, koszty działań rekultywacyjnych, koszty spełniania wymogów prawnych, negatywny wpływ na udział w rynku, wpływ CO2 na handel, itp.
- jeśli obecny system zaopatrzenia zostanie zmieniony: ulgi podatkowe, pozytywny wpływ na udział w rynku, poprawa wizerunku firmy

- Koszty jednorazowe

- naprawa sprzętu, wymiana kolektorów, nieregularne utrzymanie, pozwolenia, koszty prawne, koszty zapobiegawcze, itp.

W tradycyjnej ocenie kosztów nacisk kładziony jest na koszty inwestycji i działalności. Jednakże do rozpatrzenia ogólnych kosztów rzeczywistych także dotacje i koszty jednorazowe muszą zostać wzięte pod uwagę, gdyż mogą one mieć istotny wpływ na ostateczny wynik. Analiza kosztów powinna być odpowiednia dla zidentyfikowania wszystkich parametrów wpływających na wydajność ekonomiczną i energetyczną oraz instalację systemów zaopatrzenia w energię procesów przemysłowych a nie tylko odnosić się do kosztów energii.

Przy pełnej oceny kosztów (TCA) biorącej pod uwagę dłuższy okres czasu oraz makroekonomiczne parametry, dotacje i koszty jednorazowe stanowią kategorie do uwzględnienia.

Oczywistym jest fakt, iż poniższe parametry są najistotniejsze dla wyniku oceny kosztów:

- Nominalna wysokość odsetek przy finansowaniu zewnętrznym

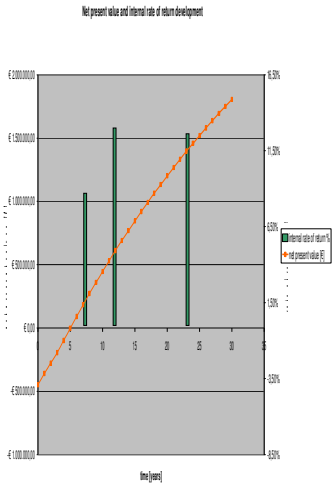
- Zależna od przedsiębiorstwa wysokość rabatu

- Oczekiwany wzrost cen energii

- Ogólna stopa inflacji

- Wybrane ramy czasowe przeprowadzanej analizy ekonomicznej

Wynik analizy ekonomicznej uwzględnia inwestycje, czas zwrotu oraz wskaźnik korzyści w odniesieniu do kosztów, ale powinien także zawierać czynniki ekonomiczne pokazujące wydajność ekonomiczną w dłuższym okresie czasu. W tym przypadku wewnętrzna stopa zwrotu i rozwoju obecnej wartości netto w ciągu lat jest bardzo istotna. (Szczegółowe wyliczenia znajdziesz w rozdziale 2.6.)



Wykres 7: Wynik analizy ekonomicznej

EINSTEIN Krok 9: Analiza ekonomiczna i finansowa

> wyliczyć główne parametry ekonomiczne

> oszacować możliwości funduszy i finansowania

> opracować odpowiedni plan finansowania

Raporty i prezentacja

Zawartość raportu

Po skończonym audycie, musi zostać napisany *raport z audytu*, ponieważ jest to główny dokument powstający w tym procesie.

Raport z audytu powinien zawierać (przynajmniej) następujące informacje:

- *Podsumowanie wykonawcze* podkreślające główne wyniki audytu
- Dane, jakie zostały zebrane bądź oszacowane podczas przeprowadzania audytu i zostały użyte jako punkty wyjściowe do analizy. Zwłaszcza *założenia* i *hipotezy* stawiane przez audytora a nie poparte przez zebrane dane powinny zostać wyraźnie podkreślone.
- Rozkład obecnego stanu zużycia energii, jak zostało to opisane w rozdziale xxx, i jego porównanie z danymi stanowiącymi punkty odniesienia benchmarku.
- Opis różnych analizowanych propozycji alternatywnych podkreślający niezbędne zmiany z uwzględnieniem stanu obecnego, oraz cechy różniące każde z alternatywnych rozwiązań. Każda z alternatywnych propozycji powinna zostać nazwa krótkim, acz znaczącym akronimem, który mógłby być używany do identyfikacji w tabelach i wykresach porównawczych.

  Najlepiej byłoby, gdyby opisowi alternatywnych rozwiązań towarzyszyły schematyczne rysunki (schematy blokowe i hydrauliczne) jasno ilustrujące położenie nowego sprzętu i istniejącego systemu.
- Tabele i wykresy porównawcze pokazujące najważniejsze wyniki (energetyczne, środowiskowe, ekonomiczne) różnych analizowanych alternatyw
- Prezentacja szczegółowej analizy finansowej ostatecznego proponowanego rozwiązania (bądź rozwiązań: w niektórych przypadkach rozsądne będzie zaproponowanie więcej niż jednego „najlepszego" rozwiązania, i pozostawienie ostatecznego wyboru przedsiębiorstwu). W tym momencie powinno się także wspomnieć o możliwości finansowania koniecznych inwestycji przez trzecią stronę, możliwych źródłach finansowania i innych typach dodatków motywacyjnych.
- Jasne stwierdzenie i identyfikacja koniecznych niepewnych danych, które istnieją nadal po ukończeniu szybkiego audytu, zwłaszcza jeśli mogą one mieć zasadniczy wpływ na wykonalność proponowanych systemów. Należy podkreślić aspekty, które powinny zostać przeanalizowane dokładniej zanim zapadnie decyzja o zmianie systemu.

Oprogramowanie EINSTEIN automatycznie wygeneruje standardowy raport z audytu zawierający wszystkie te informacje. Raport ten zostanie wyprodukowany w formie tabeli (OpenOffice), która może być modyfikowana, do której można dodać dodatkową zawartość, itp.

Prezentacja firmy

Przedstawianie raportu firmie powinno być zawsze w miarę możliwości przeprowadzane osobiście, tak żebyś to właśnie TY miał okazję zaprezentować swoje propozycje, uniknąć nieporozumień oraz podkreślić zalety Twoich pomysłów przed osobami odpowiedzialnymi za podejmowanie decyzji w firmie.

Jednakże, raport z audytu przygotowany za pomocą oprogramowania EINSTEIN powinien być na tyle jasny i czytelny, aby można go było wysłać pocztą zwykłą lub elektroniczną, w przypadku braku możliwości przedstawienia jej osobiście (np. daleka lokalizacja firmy oraz niski budżet uniemożliwiające kolejną wizytę,...).

EINSTEIN Krok 10: Raportowanie i prezentacja firmie

> stwórz krótki i jasny raport z audytu

>zaprezentuj firmę

Wspólna nauka

Podziel się swoim doświadczeniem z innymi

Każde studium przypadku, które przeprowadzasz jest nowym doświadczeniem, szczególną wiedzą, która powinna zostać dołączona do bazy danych, do której zarówno Ty jak i inni audytorzy mieliby dostęp podczas przeprowadzania przyszłych audytów. Wspólna nauka może mieć miejsce na wiele sposobów i na wielu poziomach:

- Podziel się informacjami ze swoja firmą, instytutem lub korporacją. Dane, które już raz znalazły się w bazie danych EINSTEIN mogą być udostępniane podczas przyszłych audytów, np. do użytku w przypadku dodatkowego wskaźnika porównawczego dla podobnych branży, jako źródło nowych pomysłów, na podstawie których można mierzyć wyniki, itp.

- Podziel się informacjami ze społecznością użytkowników programu EINSTEIN. W kolejnych aktualizacjach pakietu narzędzi EINSTEIN zostaną załączone nowe produkty opracowane przez użytkowników. Kwestie poufności danych zostaną wzięte pod uwagę poprzez wprowadzenie anonimowych danych (narzędzia oprogramowania EINSTEIN oferują różne opcje / poziomy poufności danych, które automatycznie wykluczają poszczególne dane z projektów). Projekt może zostać przedłożony bezpośrednio poprzez narzędzie dzięki stronie internetowej oprogramowania EINSTEIN www.iee-einstein.org, lub poprzez nadesłanie kopii drogą elektroniczną do firmy EINSTEIN na adres: info@energyxperts.net.

- Użytkownicy pomagają sobie wzajemnie: istnieje forum dla użytkowników oprogramowania EINSTEIN, gdzie można wymienić poglądy, otrzymać wsparcie lub zapewnić wsparcie innym użytkownikom. Należy tylko zalogować się na stronie oprogramowania EINSTEIN: http://sourceforge.net/projects/einstein

Pomóż usprawnić metodologię i narzędzia oprogramowania

Oprogramowanie EINSTEIN jest niemal perfekcyjne, jednak niezupełnie. Zawsze znajdzie się coś do udoskonalenia: nowe technologie lub gromadzone dane; kwestie, które nie były wzięte pod uwagę, szczególne przypadki, których nie można zaprezentować odpowiednio w ramach standardowego systemu EINSTEIN, itp.

Korzystaj z matryc dostępnych w pasku narzędzi lub na stronie internetowej EINSTEIN w celu powiadomienia o usterkach, pomysłach odnośnie udoskonaleń, itp.

Zostań programistą EINSTEIN

Narzędzie oprogramowania EINSTEIN jest w dalszym ciągu udoskonalane w ramach darmowego i otwartego źródła projektu oprogramowania. Możesz pobrać i modyfikować kod źródłowy, doskonalić i dodawać swoje własne moduły.

Po sprawdzeniu jakości i zgodności przez zespół EINSTEIN, moduły te mogą zostać dołączone przy następnej dystrybucji oprogramowania EINSTEIN.

W jaki sposób? Wystarczy wysłać aplikację na stanowisko programisty EINSTEIN do zespołu EINSTEIN poprzez jeden z wymienionych poniżej kanałów.

Kontynuacja

Od audytu do instalacji nowego systemu

Każde studium przypadku, które przeprowadzasz jest nowym doświadczeniem, szczególną wiedzą, która powinna zostać dołączona. Kontynuacja jest tak samo ważna jak audyt. Oczywiście głównym celem jest przekonanie firmy do realizacji zaproponowanej inwestycji i instalacji nowych energooszczędnych systemów.

Możesz nauczyć się czegoś i zdobyć doświadczenie także dzięki negatywnym komentarzom: spróbuj dowiedzieć się, dlaczego wniosek, który wydawał ci się możliwy do zrealizowania pod względem energetycznym i ekonomicznym, nie został wdrożony. Jeżeli w tym konkretnym przypadku decyzji nie można zmienić spróbuj przynajmniej wykorzystać już zdobytą wiedzę przy kolejnych prezentacjach swoich badań.

Przewidziane i faktyczne działanie nowych systemów

Jeżeli wszystko poszło zgodnie z planem a ty dobrze wykonałeś swoją pracę, firma w końcu usprawni system zaopatrywania w ciepło i zimno poprzez zainstalowanie (w większym lub mniejszym stopniu) nowego systemu zaproponowanego przez ciebie. Możesz się położyć, zrelaksować, cieszyć sukcesem a po jakimś czasie… zacząć pracować nad następnym audytem.

Ale powinieneś być na bieżąco i wykorzystywać już zdobyte doświadczenie przez przynajmniej 7 lat po wprowadzeniu nowych systemów (wiele problemów odnośnie konkretnych technologii może ujawnić się po pewnym czasie). Najlepszą metodą na to jest przeprowadzanie systematycznych działań kontrolnych:

- Najlepiej podpisz umowę serwisową, która zapewni ci bezpośredni kontakt z zakładem przez pierwsze lata produkcji.
- Dzwoń do firmy okresowo i pytaj o doświadczenia.
- Jeśli możesz uzyskać dane dotyczące wyników funkcjonowania systemu tym lepiej. Skorzystaj z tych danych w celu porównania swoich prognoz z prawdziwym działaniem.
- Stwórz listę kontaktów, z których korzystasz, informacji o problemach oraz propozycji odnośnie tego, jak można uniknąć tych problemów itp.

Przykłady

Ogólna procedura

Punkt wyjścia:

Po zaprezentowaniu działań dotyczących oszczędności energii oraz energii odnawialnej w przemyśle, przeprowadzisz krótką rozmowę z Panią Cleanton, dyrektorem technicznym firmy EINSTEIN Container Washing Ltd. Opowie ci jak bardzo jest zainteresowana potencjałem, jaki niesie za sobą energia odnawialna przy redukcji kosztów energetycznych. Dowiesz się, że po ostatnich podwyżkach cen energii ten czynnik ma bardzo duże znaczenie dla firmy. Wymienicie się wizytówkami i obiecasz nadesłać dalsze informacje.

EINSTEIN Krok 1: Motywacja

Gdy wrócisz do biura, wyślesz krótki e-mail do Pani Cleanton zawierający materiał informacyjny firmy EINSTEIN.

Po kilku dniach zadzwonisz do niej i dowiesz się, że jest bardzo zainteresowana audytem energetycznym przeprowadzanym przy użyciu oprogramowania EINSTEIN i zaproponuje ci ponowne spotkanie w firmie, która niestety mieści się w Railway City około 150 km od twojego biura. Zgodzisz się, żeby wcześniej wysłała dane i szkice zakładu tak, aby można było opracować wstępną propozycję przed wizytą.

EINSTEIN Krok 2: Zbieranie danych do audytu wstępnego

Wysyłasz Pani Cleanton „Listę kontrolną EINSTEIN dla firmy", aby pokazać, jakie informacje będą ci potrzebne podczas wizyty. Listę wysyłasz razem z podstawowym kwestionariuszem EINSTEIN, prosząc o wypełnienie danych, które mogą być łatwo podane oraz o wysłanie kwestionariusza z powrotem faksem lub pocztą elektroniczną.

Kilka dni później dostaniesz z powrotem kwestionariusz z wypełnionymi danymi:

Kilka ogólnych danych na temat firmy: dane administracyjne, obrót, itp.

tylko jeden proces:	mycie kontenerów
zapotrzebowanie na ciepłą wodę:	100 m^3 / na dzień w 80 ºC
urządzenie dostarczające ciepło:	kocioł parowy, bez dalszych konkretnych danych
zużyte paliwo:	gaz ziemny, bez dalszych konkretnych danych dot. zużycia

Pomimo, że przypadek firmy EINSTEIN Container Washing Ltd. wydaje się raczej prosty, postaraj się zdobyć informacje o podobnych branżach i wytycznych EINSTEIN BAT oraz sprawdzić, czy potrafisz znaleźć możliwe do wykonania ulepszenia. Rekomendacje, które najlepiej pasują do tego przypadku to:

Optymalizacja procesu mycia:

- „sprawdź czy zużycie wody i/lub temperatura wody może być zmniejszona poprzez użycie innych detergentów"
- „sprawdź czy możliwe jest ponowne użycie zużytej wody lub zastosowanie zamkniętego obiegu wody"

Rekomendacje dotyczące zaopatrzenia w ciepło:

- „sprawdź możliwość odzysku ciepła z zużytej wody"
- „ogrzewanie ciepłą wodą w niskiej temperaturze jest stosowne przy zastosowaniu termalnej energii słonecznej"

EINSTEIN Krok 3: Przetwarzanie danych wstępnych

W pierwszej kolejności należy wprowadzić do oprogramowania EINSTEIN posiadane informacje uzyskane z przedsiębiorstwa. Pozwala to na ocenę szczegółowości posiadanych danych i ocenę ich przydatności. Oczywistym jest, że w tej wstępnej fazie konieczne będzie przyjmowanie przybliżonych założeń co do możliwości odzyskiwania ciepła odpadowego, które w przyszłości wymagać będą weryfikacji i mogą okazać się błędne. W tej fazie zakładamy następujące parametry:

- ilość ścieków = ilość zużywanej wody gorącej: 100 m^3 dziennie
- temperaturę ścieków: 50 ºC

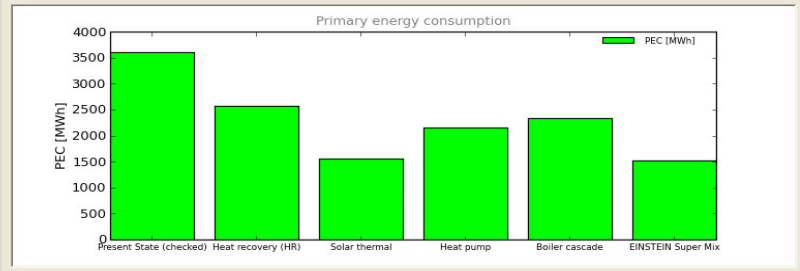
Ponieważ obecnie potrzebna jest tylko zgrubna analiza, oprogramowanie EINSTEIN uruchamiamy w trybie automatycznym ustawiając opcję „Quick&Dirty". Otrzymujemy następujące wyniki:

- Dane są wystarczające dla wstępnej, zgrubnej analizy i są spójne
- W celu większego uszczegółowienia konieczne będą dane dotyczące mocy nominalnej wykorzystywanego kotła
- Szacowane roczne zapotrzebowanie na energie cieplną wynosi 2,113 MWh, zużycie paliwa wynosi 2729 MWh; 71% (ok. 1500 MWh) zapotrzebowania na energie cieplną wymaga temperatury poniżej 60℃
- Poprzez odzysk ciepła można zredukować zapotrzebowanie do 1435 MWh
- Jako proponowane rozwiązania energooszczędne program proponuje:
  a) System kolektorów słonecznych o pojemności nominalnej 490 kW pokrywający 46% całkowitego zapotrzebowania na energię cieplną
  b) Pompa ciepła pokrywająca 46% całkowitego zapotrzebowania na energię
  c) Kombinację obu wyżej wymienionych rozwiązań

Primary energy consumption (PEC)

	Alternative	Primary energy consumption [MWh]	Savings [MWh]	Savings [%]
1	Present State (checked)	3601.73		
2	Heat recovery (HR)	2572.57	1029.17	28.57
3	Solar thermal	1549.12	2052.61	56.99
4	Heat pump	2157.99	1443.74	40.08
5	Boiler cascade	2334.12	1267.61	35.19
6	EINSTEIN Super Mix	1514.42	2087.31	57.95

Relative comparison of PEC



Wykres 8: Porównanie szacunkowego obecnego zużycia energii pierwotnej oraz sposoby jego redukcji.

W celu porównania otrzymanych danych konieczne musimy ustalić moc nominalną kotła zainstalowanego w przedsiębiorstwie.

Teraz, gdy mamy wstępny pogląd o charakterystyce zużycia energii cieplnej w przedsiębiorstwie, możemy porównać go z wartościami referencyjnymi, a następnie ustalić, czy otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że przedsiębiorstwo mieści się w średniej dla branży.

W celu zaproponowania rozwiązań prowadzących do redukcji zużycia energii, ustalamy, że niezbędne będzie ustalenie:

- temperatury ścieków i stopnia ich zanieczyszczenia (czyli możliwych problemów z odzyskiem z nich ciepła);
- dostępności powierzchni oraz struktury dachu pod układ kolektorów słonecznych;
- oceny sprawności przemiany energii, wieku i stanu technicznego obecnie wykorzystywanego kotła i sprawdzenie celowości jego wymiany na nowy;

EINSTEIN Krok 4: Tryb oceny zgrubnej "Quick&Dirty„

Na tym etapie posiadamy jednak już wystarczające dane by opracować pierwszą, wstępną propozycję typu „Quick&Dirty", która może zostać przedyskutowana z przedstawicielami przedsiębiorstwa. Drukujemy zatem standardowy raport w programie EINSTEIN. Decydujemy się jednak nie przesyłać go poczta elektroniczną, ale przedyskutować osobiście z przedstawicielami firmy na miejscu w zakładzie.

EINSTEIN Krok 5: Wizyta w firmie

W zakładzie spotykamy się z panią Cleanton, której towarzyszy operator myjni. Po przedstawieniu wstępnego raportu, uzyskujemy potwierdzenie, że firma jest szczególnie zainteresowana możliwościami zmniejszenia zużycia energii w szczególności zaś tymi, które pozwalają na osiągniecie najwyższych oszczędności: odzyskiem ciepła oraz kolektorami słonecznymi.

Teraz możemy skupić się na pozyskaniu niezbędnych danych. Otrzymujemy następujące informacje:

- Istniejący kocioł jest niezwykle stary i firma myślała o jego zastąpieniu. Pani Cleanton uzyskała w tym czasie informacje o rachunkach za energię: zużycie gazu ziemnego w okresie ostatnich 3 lat wynosiło od 300.000 do 350.000 m^3 rocznie.
- Firma dysponuje dachem o powierzchni ok. 2000 m^2. Betonowa struktura nie będzie sprawiać trudności statycznych.
- Przed przekazaniem do oczyszczalni ścieków wszystkie ścieki zbierane są w niewielkim rezerwuarze, w celu oddzielenia chemikaliów i innych zanieczyszczeń. Brak informacji dotyczących temperatury. Dowiadujemy się jednak, że ścieki nie są silnie korozyjne oraz nie zawierają dużej ilości zanieczyszczeń stałych np. włókien, które mogły by stanowić problem dla wymienników ciepła.

Ponieważ przybyliśmy do firmy na prezentację, posiadamy laptop i w wolnej chwili możemy uzupełnić dane w programie EINSTEIN o nowo uzyskane informacje, by sprawdzić czy nie wpłyną one na wyniki naszych wstępnych analiz. W tym wypadku okazuje się, że nie. Pozwalają one jednak nam zasugerować, że istniejący kocioł jest wyjątkowo mało sprawny (program wylicza sprawność na poziomie 67 % !).

Podczas przeglądu istniejących instalacji dokonujemy pomiarów temperatury ścieków na kolektorze ściekowym. Robimy dwa pomiary: jeden na początku przeglądu oraz drugi tuż przed opuszczeniem przedsiębiorstwa. Otrzymujemy następujące wyniki:

- Temperatura ścieków w rezerwuarze ściekowym: (a) 51.3 ºC (podczas równoczesnej pracy trzech procesów mycia); (b) 42.8 ºC (w tym czasie pracowała tylko jedna myjnia).

Otrzymane temperatury nie zbyt odbiegają od przyjętych wstępnie wartości. Niezależnie, od tego, sugerujesz, by firma monitorowała temperaturę ścieków w ciągu tygodnia, włącznie z czasem rozpoczęcia i kończenia pracy urządzeń.

Po przeglądzie urządzeń technicznych przedsiębiorstwa przekazujemy nasze uwagi pani Cleanton. Mówimy, że w naszej opinii, założenia przedstawione w czasie pierwszej, wstępnej analizy pozostają w mocy. Sugerujesz, że konieczne jest uzupełnienie danych, a ponieważ operator myjni obiecuje zebarać brakujące informacje w ciągu tygodnia sugerujesz przedstawienie pełnego raportu za dwa tygodnie.

EINSTEIN Krok 6: Analiza Status Quo

Po otrzymaniu brakujących danych faksem obliczamy, że średnia temperatura ścieków wynosi 45.2 ºC. Temperaturę ścieków, podczas przygotowywania ostatecznego raportu dla przedsiębiorstwa, zmieniamy zatem ze wstępnie założonych 50°C na 45 ºC. Uzyskujemy rozbicie zapotrzebowania na energię cieplną w danych zakresach temperatur dla procesów technologicznych, tak jak to przedstawiono na wykresie 37.

Dodatkowo uzyskujemy potwierdzenie niskiej sprawności kotła na poziomie ok. 67 %.

Schemat 37: Rozbicie zapotrzebowania na energię (przykład): ciepło technologiczne oraz ciepło dostarczane w funkcji temperatury (Uwaga: podana jest najniższa wymagana temperatura dostarczanego ciepła, a nie właściwa temperatura danego strumienia).

EINSTEIN Krok 7: Projekt koncepcyjny dostępnych sposobów ograniczenia zużycia energii

Optymalizacja procesów technologicznych

Po przedyskutowaniu tych zagadnień z przedstawicielami przedsiębiorstwa dochodzimy do wniosku, że w tym przypadku nie da się usprawnić samego procesu mycia. Decydujemy się zatem skupić naszą uwagę na sposobach odzyskiwana energii cieplnej i optymalizacji dostawy ciepła.

Odzysk ciepła odpadowego

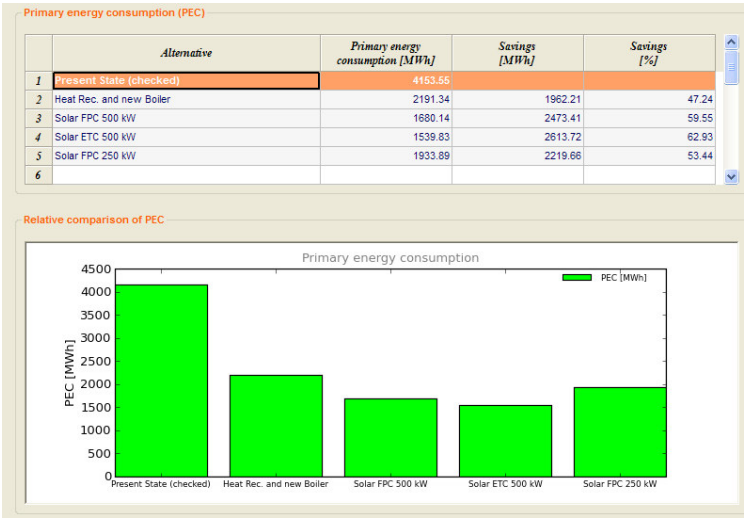
Jako pierwszy krok do zwiększenia efektywności sugerujemy wykorzystanie ścieków do wstępnego podgrzania wody zasilającej. Korzystamy z oprogramowania EINSTEIN w celu opracowania odpowiedniego projektu systemu wymienników ciepła oraz magazynu energii. Pozostała różnica w zapotrzebowaniu stanowi punkt wyjścia do rozważań nad optymalizacją systemu ciepłowniczego.

Dostarczanie energii cieplnej

Ponieważ nasz audyt ma charakter wstępny korzystamy z wielu automatycznych funkcji zawartych w programie EINSTEIN. Dokonujemy jednak ręcznie kilku poprawek, dotyczących najlepszej naszym zdaniem propozycji tj. połączenia odzysku ciepła odpadowego, systemu kolektorów słonecznych i zastąpienia starego kotła nowym o mniejszej mocy.

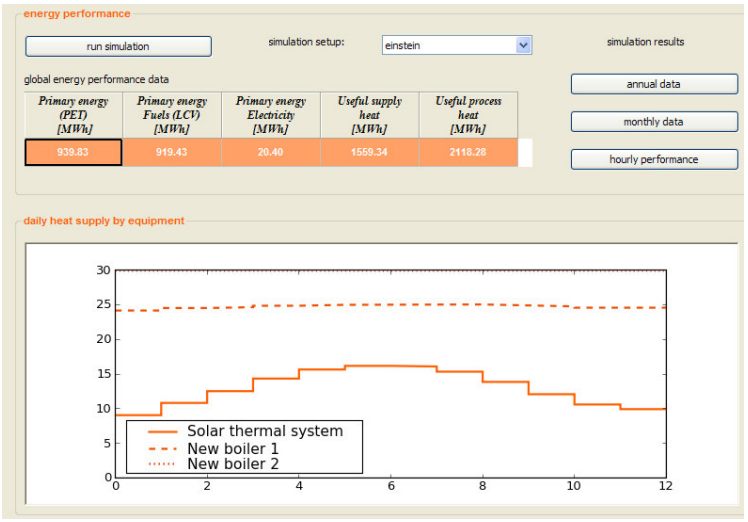
Automatycznie wygenerowana propozycja takiego systemu przewiduje system próżniowych kolektorów słonecznych o mocy 490 kW. Decydujemy się jednak wykonać ręcznie kilka poprawek:

- Zaokrąglamy moc w górę do 500 kW
- Porównujemy kilka typów kolektorów: płytowych (FPC) i próżniowych (ETC)
- Rozważamy zmniejszenie mocy systemu kolektorów słonecznych (FPC 250 kW)



Wykres 38: Porównanie obecnego stanu konsumpcji energii pierwotnej w porównaniu z kilkoma propozycjami jej zmniejszenia. Rozwiązania oparte o system kolektorów bazują na opcji "Heat Rec. and new Boiler", łącząc odzyskiwanie energii cieplnej z instalacją nowego kotła.

EINSTEIN Krok 8: Kalkulacja sprawności energetycznej



Wykres 39: Porównanie obecnego stanu konsumpcji energii pierwotnej w porównaniu z kilkoma propozycjami jej zmniejszenia. Rozwiązania oparte o system kolektorów bazują na opcji "Heat Rec. and new Boiler", łącząc odzyskiwanie energii cieplnej z instalacją nowego kotła.

W celu oceny sprawności energetycznej proponowanego systemu wykonujemy obliczenia przy pomocy wewnętrznego algorytmu zawartego w oprogramowaniu EINSTEIN. Wyniki pokazują miesięczne zmiany sprawności proponowanego systemu w ujęciu rocznym. (Wykres 39).

EINSTEIN Krok 9: Analiza ekonomiczna i finansowa

Na końcu dokonujemy porównania ekonomicznych aspektów proponowanych rozwiązań. Analiza ekonomiczna i finansowa przedstawiona jest w Tabeli 14. We wszystkich proponowanych rozwiązaniach alternatywnych, obecny poziom kosztów energii, pozwala na 60 % oszczędność energii oraz na oszczędność ok. 29 – 30 % kosztów rocznych biorąc pod uwagę koszty związane z utrzymaniem oraz pokryciem nakładów inwestycyjnych wraz z amortyzacją. Dodatkowo, jeśli brać pod uwagę możliwy w przyszłości wzrost kosztów nośników energii, najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się być alternatywa z najniższym zużyciem energii pierwotnej (ETC 500 kW).

Tabela 64. Analiza ekonomiczna - podsumowanie. Deprecjacja wyliczona na okres 15 lat, oprocentowanie (stopa rzeczywista) w wysokości 6 %.

	Present state	Heat Rec. + new boiler	FPC 500 kW	ETC 500 kW	FPC 250 kW
Total investment	**0**	**200 000**	**450 000**	**550 000**	**340 000**
Funding (50 % of solar thermal)	0	0	125 000	175 000	70 000
Total own investment	**0**	**200 000**	**325 000**	**375 000**	**270 000**
Yearly energy cost	124 590	65 730	50 400	46 170	58 020
Yearly O&M cost	2 000	2 500	5 000	5 000	4 000
Depreciation of investment	0	20 600	33 475	38 625	27 810
Total yearly cost (incl. depreciation)	**126 590.0**	**88 830.0**	**88 875.0**	**89 795.0**	**89 830.0**
Yearly savings	**-**	**29.8%**	**29.8%**	**29.1%**	**29.0%**

EINSTEIN Krok 10: Prezentacja proponowanych rozwiązań

Po opracowaniu tych propozycji drukujemy je z poziomu oprogramowania EINSTEIN. Wydaje się, nasza propozycja jest atrakcyjna pozwalając na redukcję kosztów o blisko 30 %. Dzwonimy do pani Cleanton by umówić się na prezentację proponowanych rozwiązań.

Sprawdzenie spójności i estymacja danych

W sekcji tej rozpatrujemy, na konkretnych przykładach, sposoby wykorzystania oprogramowania EINSTEIN do sprawdzenia spójności posiadanych danych. Uproszczony model mleczarni, korzystający tylko z trzech procesów technologicznych, posłuży do zilustrowania możliwości zawartych w oprogramowaniu EINSTEIN. Omawiane przykłady są także włączone w standardową bazę danych wbudowaną w program EINSTEIN.

Opis modelu mleczarni

Procesy

Rozpatrujemy trzy podstawowe procesy technologiczne:

- pasteryzację
- koagulację
- wirowanie sera typu mozzarella

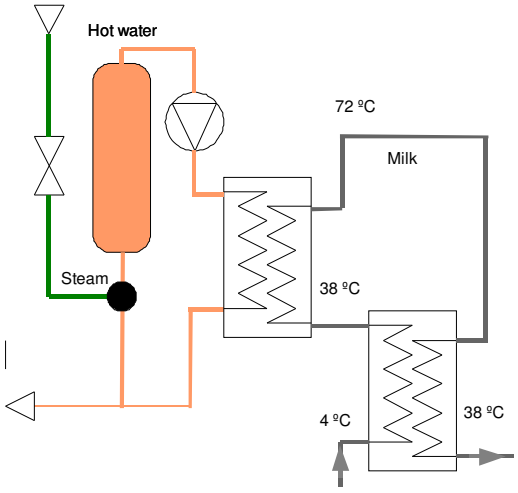
Pasteryzacja to proces technologiczny posiadający największe zapotrzebowanie na energię. Mleczarnia działa 280 dni w roku produkując głównie dwa rodzaje sera: ser zwykły i ser typu mozzarella. Produktami pośrednimi występującymi w cyklu produkcyjnym są: mleko pasteryzowane (z pasteryzacji), serwatka i skrzep mleka (z koagulacji).

Pasteryzacja

Pasteryzacja jest procesem kontrolowanego ogrzewania stosowany w celu eliminacji mikroorganizmów. Pasteryzacja typu HTST wykorzystuje temperatury rzędu 72℃-75℃ w czasie od 15 do 240 sekund. Pasteryzacja typu HHST korzysta z wyższych temperatur (85℃-90℃) w czasie od 1 sekundy do 25 sekund. W pasteryzacji stosowanej jako proces ciągły stosuje się wymienniki ciepła np. rurowe, płytowe itp. Posiadają one sekcje grzewczą, sekcję utrzymania i sekcję chłodzenia.

Pasteryzacja przewiduje wewnętrzne odzyskiwanie ciepła i zewnętrzne doprowadzenie energii cieplnej w celu podgrzania oraz schłodzenia mleka cyrkulującego w obwodzie. Dzienna wydajność wynosi 400 m^3. Proces ma charakter ciągły i trwa 5 godzin dziennie od godziny 6 do godziny 11. Nośnikiem zewnętrznej energii cieplnej jest woda.

Mleko o temperaturze 4℃ doprowadzane jest do urządzeń i przepływa wówczas przez wewnętrzny przeciwprądowy wymiennik ciepła, gdzie podlega podgrzaniu przez przetworzone wcześniej mleko do temperatury 38℃. Mleko potem jest podgrzewane przez wodę do wymaganych 72℃, utrzymując tą temperaturę przez określony wcześniej okres czasu. Następnie kierowane jest do wymiennika ciepła, gdzie jego temperatura obniża się do 38℃. Zapotrzebowanie na energię związaną ze stratami cieplnymi pasteryzatora i konieczną podczas rozruchu urządzenia w tym przypadku jest ignorowana.



Wykres 40: Uproszczony schemat pasteryzatora

Koagulacja

Koagulacja jest procesem wykorzystywanym podczas przetwarzania mleka pozwalającym na rozdzielenie skrzepu mlekowego od serwatki. Prowadzi się ją w specjalnie przystosowanych do tego kadziach, gdzie dodawane są niezbędne do zainicjowania tego procesu dodatki. Podczas oddzielania powstaje skrzep mlekowy i jest on wysyłany do dalszej obróbki jeśli jest to konieczne. Poziom temperatury jest jednym z głównych czynników wpływających na proces koagulacji. Wymagana temperatura osiągana jest poprzez wymienniki ciepła lub bezpośrednie działanie strumienia na kadź koagulacyjną.

Koagulacja jest procesem cyklicznym i w tym wypadku każdy z cykli trwa 1,5 h. Dziennie mamy do czynienia z czterema cyklami procesu koagulacji w godzinach od 10:00 do 16:00. Energia cieplna wymagana jest podczas rozpoczęcia każdego procesu (podgrzanie mleka z temperatury 37°C do wymaganych 40°C) oraz do utrzymania stałej temperatury podczas trwania koagulacji (40°C).

Mleko o objętości 400 m^3 przekazywane jest do koagulacji po pasteryzacji. Po separacji otrzymujemy 240 m^3 serwatki dziennie o temperaturze 37°C.

Odwirowywanie sera typu mozzarella

Proces ten wymaga ogrzewania i topienia. Skrzep mleka przekazywany jest do kotła i mieszany z gorącą wodą o temperaturze ok. 75°C-95°C. Gorąca woda jest wykorzystywana głownie do rozpuszczenia *koagulum*. Pewna część wody jest także absorbowana przez skrzep mleka w celu podniesienia jego elastyczności. Wodę o żądanej temperaturze uzyskujemy poprzez podgrzanie w wymienniku ciepła lub bezpośrednie działanie strumienia.

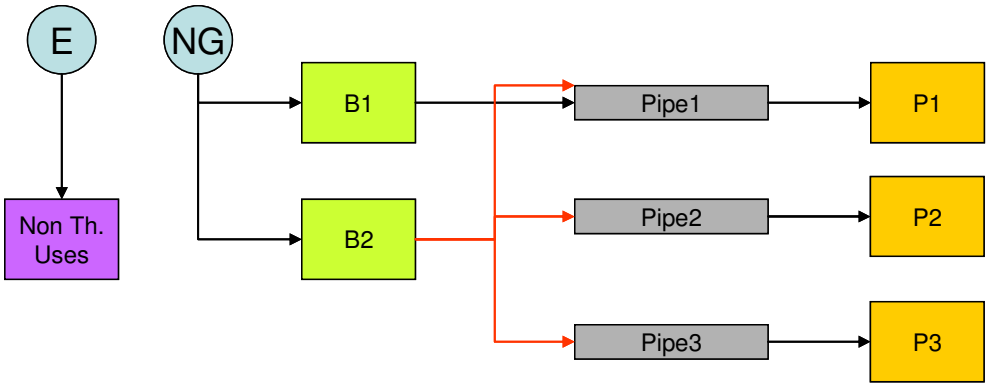
Jest to także proces cykliczny. W tym wypadku każdy z cykli trwa 1 h. Każdego dnia mamy do czynienia z czteroma cyklami od godziny 12:00 do 18:00. Energia cieplna jest konieczna by podnieść temperaturę wody z początkowych 10°C do wymaganych przez proces 90°C. 50% mleka wytworzonego w procesie pasteryzacji jest przeznaczanych do produkcji sera typu mozzarella (po procesie koagulacji). Zakładając, że ze 100 litrów mleka i 26 litrów wody można uzyskać 13 kg sera, proces wymaga dziennie 200 m^3 pasteryzowanego mleka oraz 50 m^3 wody o temperaturze 90°C. Odprowadzane ścieki mają temperaturę 70°C, podczas gdy przepływ stanowi 80% dziennego zapotrzebowania, tj. 40 m^3.

Dostarczanie energii cieplnej i jej dystrybucja

Wykres 41 ilustruje schemat instalacji ciepłowniczej oraz sposób dystrybucji energii cieplnej. System składa się z dwóch kotłów zasilanych gazem ziemnym i trzech niezależnych rurociągów po jednym dla każdego z procesów.

Kocioł B1 (moc nominalna 3 MW) obsługuje tylko proces pasteryzacji (P1). Średnia sprawność kotła wynosi 80%, średni wskaźnik wykorzystania wynosi 80% przy nominalnym zużyciu gazu ziemnego wynoszącym 377 m^3/h. Kocioł B1 pracuje 6 godz. dziennie od godziny 5:00 do 11:00.

Kocioł B2 (moc nominalna 2 MW) obsługuje wszystkie trzy procesy: pasteryzacji (P1), koagulacji (P2) oraz wirowania (P3). Średnia sprawność kotła wynosi 88%, średni wskaźnik wykorzystania wynosi 58% przy nominalnym zużyciu gazu ziemnego wynoszącym 230 m^3/h. Kocioł B1 pracuje 8 godzin dziennie od godziny 10:00 do 18:00.



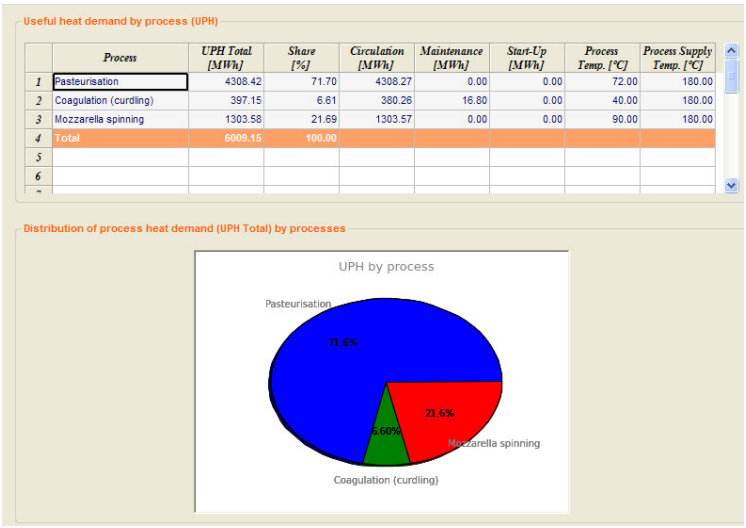
Wykres 41: Schemat blokowy systemu ciepłowniczego w mleczarni i dystrybucji energii cieplnej.

Nośnikiem energii jest para niskociśnieniowa o temperaturze 140°C. Długość instalacji rurociągowej „1" wynosi 200 m (w jedną stronę, a instalacje rurociągowe „2" i „3" mają długość 300 m).

Na podstawie rachunków za energię roczne zużycie paliwa (w tym wypadku to gaz ziemny) wynosi 805 000 m^3. Końcowe zużycie energii do zastosowań cieplnych wynosi 8 000 MWh. Koszt paliwa wynosi €30/MWh, a całkowity koszt gazu ziemnego zamyka się sumą €250 000 rocznie.

Energia elektryczna wykorzystywana jest wyłącznie do zastosowań nie mających związku z potrzebami cieplnymi, a jej konsumpcja wynosi rocznie ok. 4 000 MWh: w tym 3 000 MWh konieczne jest do zasilania urządzeń, a 1 000 MWh na oświetlenie.

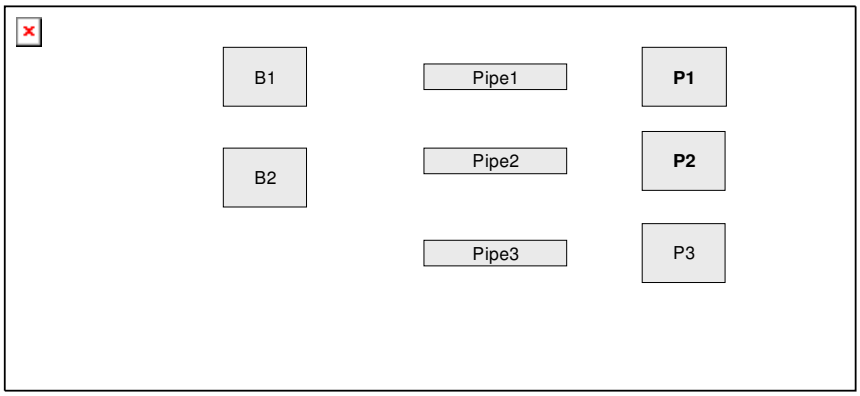
Podział zużycia energii za pomocą oprogramowania EINSTEIN.



	Process	UPH Total [MWh]	Share [%]	Circulation [MWh]	Maintenance [MWh]	Start-Up [MWh]	Process Temp. [°C]	Process Supply Temp. [°C]
1	Pasteurisation	4308.42	71.70	4308.27	0.00	0.00	72.00	180.00
2	Coagulation (curdling)	397.15	6.61	380.26	16.80	0.00	40.00	180.00
3	Mozzarella spinning	1303.58	21.69	1303.57	0.00	0.00	90.00	180.00
4	Total	6009.15	100.00					
5								
6								

Wykres 42: Podział zużycia energii cieplnej w modelu mleczarni (przykład "EINSTEIN Audit Guide 42 Base Case").

Jeśli tylko dane są prawidłowo wprowadzone w odpowiedni moduł programu EINSTEIN można otrzymać podział zużycia energii zilustrowany na wykresie powyżej (Wykres 42). Główne przepływy energii zobrazowano na Wykresie 43.



Wykres 43: przepływy energii w systemie (base case).

Wykrywanie konfliktów danych

Tak jak już wspomniano wcześniej (w rozdziale 2) jedną z pierwszych czynności podczas weryfikacji danych jest sprawdzenie ich spójności, a także sprawdzenie, czy dane sobie wzajemnie nie przeczą. Problem objaśnimy na dwóch przykładach.

Konflikty dwóch danych bezpośrednio odnoszących się do tej samej wielkości

Prostym przykładem konfliktu danych to pomyłka w jednostkach (np. użycie kWh zamiast of MWh). W naszym przykładzie całkowite zużycie energii wynosi 8000 MWh i odpowiada zużyciu gazu ziemnego o objętości 805.000 m^3. Jeśli użytkownik omyłkowo wprowadzi 8000 *kWh* zamiast 8000 *MWh*, błąd ten zostanie łatwo wykryty przez program EINSTEIN (Wykres 44).

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	FECFuel [<>FECFuel1]	Fuel[1]	total own fuel consumption (LCV)
2	8000.00	+/- 1.00%	FECFuel;
3	8001700.00	+/- 0.00%	MFuelYear;
4			

Wykres 44: Komunikat błędu programu EINSTEIN w związku ze sprzecznymi danymi dotyczącymi zużycia paliwa (przykład projekt "EINSTEIN Audit Guide 42 1a").

Ogólne konflikty systemu danych

Niestety, nie wszystkie konflikty danych są tak proste do wykrycia. Czasem do wykrycia błędnych danych konieczne jest obliczenie bilansu energetycznego, oceny prędkości przepływów, poziomów temperatur itp. W drugim przykładzie założymy wyższe całkowite zużycie paliwa niż suma całego zapotrzebowania na energie cieplną (z uwzględnieniem racjonalnych poziomów strat w dystrybucji czy przy przemianie).

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	USH[2] [<>USH-Matrix]	USH[-]	Useful Supply Heat by equipment
2	4364810.54	+/- 2.27%	FuelConsum; ExcessAirRatio; TExhaustGas; TEnvEq; HPerYearEq; PartLoad; 1; HCGTEfficiency; FECFuel; FEOFuel
3	2367340.66	+/- 35.45%	dUAPipe; TotLengthDistPipe; DTForwLoss2; HPerYearPipe; 1; UPHProc[1][1]; QOpProc; QEvapProc; QLoss; NDays
4	USH [<>USH]	USH[-]	Useful Supply Heat for industry (total)
5	6645209.52	+/- 6.50%	FuelConsum; ExcessAirRatio; TExhaustGas; TEnvEq; HPerYearEq; PartLoad; 1; HCGTEfficiency; FECFuel; FEOFuel
6	8000969.68	+/- 2.02%	FuelConsum: ExcessAirRatio: TExhaustGas: TEnvEq: HPerDayEq: NDaysEq: PartLoad: 1: HCGTEfficiencv: FECFuel

Wykres 45: Komunikat błędu programu EINSTEIN w związku ze sprzecznymi danymi dotyczącymi balansu energetycznego (przykład projekt "EINSTEIN Audit Guide 42 1a").

Uzupełnianie danych w programie EINSTEIN

W tym przykładzie, do programu wprowadzono kompletny zestaw informacji, co oznacza, że dla określenia niektórych parametrów dostępne są nawet dane nadmiarowe (co, jak widać, może prowadzić konfliktów).
Ale tak, jak już można było zauważyć wcześniej, EINSTEIN to inteligentne narzędzie i nie potrzebuje wszystkich danych by wiedzieć jak je wykorzystać. Program brakujące dane jest w stanie samodzielnie uzupełnić. Jednakże, dane estymowane lub wyliczone na podstawie algorytmów, nieuchronnie obarczone są pewnym marginesem błędu, który jest pokazywany w oknach kontroli skośnej, przed ich zaakceptowaniem.

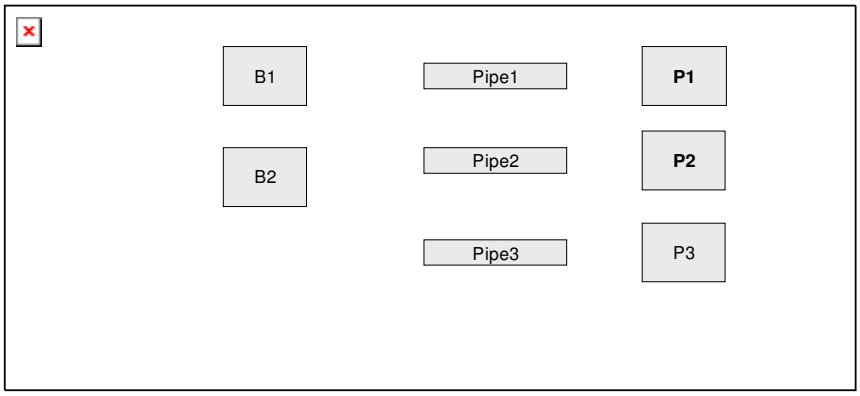
Należy zdecydować, czy wskazywany margines jest przez nas akceptowalny czy nie i czy może prowadzić do osiągnięcia zakładanych celów.
W sekcji tej będziemy omawiać jak, za pomocą modułu sprawdzania spójności danych oprogramowania EINSTEIN, uzupełnić brakujące dane.

Zużycie energii cieplnej jest znane tylko głównym procesom technologicznym

Bardzo częstym przypadkiem jest sytuacja, w której zużycie energii cieplnej jest znane tylko dla podstawowych procesów technologicznych, a wiele innych mniejszych, pobocznych procesów posiada nie ustalone zapotrzebowanie na ciepło. Aby zilustrować powyższą sytuację zmodyfikujemy nasz zestaw danych w taki sposób, by zużycie energii cieplnej procesu „2" (tj. procesu koagulacji) pozostało nie znane:

- zapotrzebowanie na energię cieplną procesu technologicznego (konieczną do utrzymania temperatury procesu) jest nieznane. Oznacza to, że wartość Q_{UPHm} może przyjąć – nawet bardzo wysoką – wartość.
- obciążenie kotła B2 pozostaje nie znane. Oznacza to, że także moc oddawana przez kocioł B2 pozostaje nie znana. Jednak w tym wypadku całkowita moc oddawana przez urządzenie jest *ograniczona* mocą nominalną kotła (ta wartość jest znana) oraz jego czasem pracy.

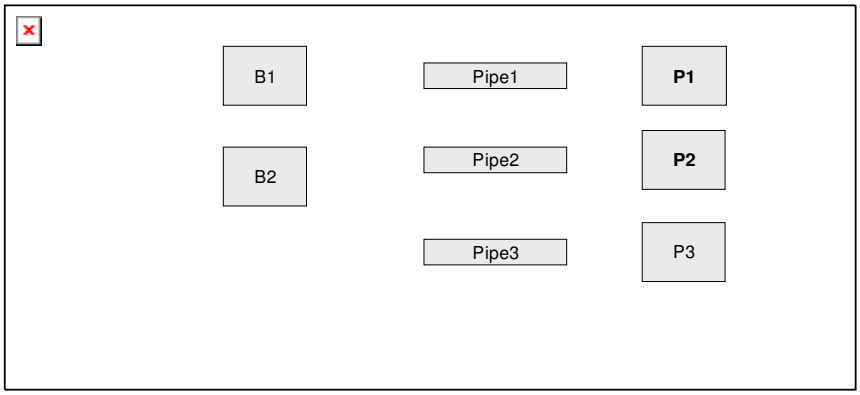
Sytuacja jest nieokreślona. Nie można znaleźć dokładnego rozwiązania problemu, gdyż także straty ciepła występujące w instalacji rurociągowej procesu technologicznego są nieznane. Problem jednak można zawęzić. Jako, że całkowite zużycie energii jest znane, oprogramowanie EINSTEIN może oszacować brakujący parametr przez różnicę. W tym wypadku, zapotrzebowanie na energię procesu „2" szacowane jest na 680 MWh z dokładnością ± 50 %. Margines błędu wynika z niepewności co do strat w instalacji rurociągowej wykorzystywanej w tym procesie.



Wykres 46: Punkt początkowy: nieznane zużycie przez poboczne procesy technologiczne (przykład "EINSTEIN Audit Guide 42 2a").

Nie jest znane całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną

Problem staje się bardziej nieokreślony, jeśli nie posiadamy danych dotyczących całkowitego zapotrzebowania na energię oraz, tak jak w poprzednim przypadku, także zapotrzebowania na energię procesu „2". Także tutaj jednak, problem można zawęzić, jako, że moc nominalna kotła „2" narzuca absolutne maksimum.
Teraz określenie zapotrzebowania na energie cieplną procesu „2" może być szacowane tylko bardzo nieprecyzyjnie tj. w granicach 2000 MWh ± 90 %. Oznacza to bardzo wysoki margines błędu zapotrzebowania na energię cieplną w przypadku procesu „2", z wartościami mieszczącymi się w przedziale od 200 MWh do 3800 MWh.
Jednak błąd szacunku w całkowitym zapotrzebowaniu na energię cieplną (*USH*) jest znacznie niższy (8080 MWh ± 32 %). Oznacza to, że nawet w przypadku, gdy zapotrzebowanie na ciepło jednego z procesów pozostaje nieznane, można z grubsza ocenić całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną.



Wykres 47: Punkt początkowy: całkowite zużycie energii cieplnej oraz zużycie przez procesy poboczne technologiczne jest nieznane (przykład “EINSTEIN Audit Guide 42 2a”).

Nie są znane całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną oraz dane techniczne kotła

Problem staje się całkowicie nie rozwiązywalny jeśli dodatkowo nie znamy danych technicznych kotła. W tym przypadku nie można problemu zawęzić w rozsądny sposób. (Przykład z "EINSTEIN Audit Guide 42 2b")

Wykorzystywanie estymacji danych

W niektórych przypadkach otrzymywane wyniki, np. dotyczące podanych wyżej przykładów, można poprawić przez szacowanie brakujących danych bazując na wiedzy inżynieryjnej i własnym doświadczeniu.
W naszych przykładach można na przykład założyć, że:

- straty ciepła, a zatem i wymagania związane z utrzymanie żądanej temperatury procesu koagulacji biorąc pod uwagę standardowe współczynniki utraty ciepła oraz wielkość kadzi, w której odbywa się ten proces.

- można przyjąć, że obciążenie kotła leży w przedziale węższym niż 0%-100%, ponieważ w praktyce takie wartości są niezwykle rzadko spotykane.

Szacowanie danych, po wybraniu odpowiedniej opcji w programie EINSTEIN odbywa się automatycznie i w przypadku 2b zapotrzebowanie na energię cieplną procesu koagulacji (proces „2") może zostać oszacowane z dużą dokładnością na 396 MWh. Jedynie zapotrzebowanie na energię cieplną konieczną do utrzymania stałej temperatury procesu pozostaje w dużej mierze nieokreślone (ze względu na niepewność co do wielkości współczynnika utraty ciepła oraz powierzchni samej kadzi), ale szacowany jest na Q_{UPHc} = 15 ± 100 %. Ze względu jednak na to, że stanowi to niewielki ułamek całkowitego zapotrzebowania tego procesu na energię cieplną, margines błędu można przyjąć na poziomie $Q_{UPH,}$ czyli 5 %.

Odzyskiwanie ciepła: przykład mleczarni

Model mleczarni stanowić będzie także przykład praktycznego wykorzystania modułu wykonującego obliczenia dotyczące możliwości odzyskiwania ciepła odpadowego.
W module tym, dane dotyczące procesów technologicznych są przekształcane w tzw. *strumienie energii* (*energy streams*), które mogą być zarówno zimne (gdzie wymagane jest podniesienie ich temperatury) lub gorące (zatem takie, które mogą być schłodzone i wykorzystane jako źródło energii cieplnej). Strumienie te są następnie porównywane za pomocą odpowiednich algorytmów matematycznych, a następnie moduł proponuje sposób rozmieszczenia wymienników ciepła, tak by zmaksymalizować możliwości odzyskiwania energii cieplnej.

Tabela przepływów oraz opis procesów

Rozpatrujemy model mleczarni, gdzie procesami technologicznymi wymagającymi największej ilości energii są fermentacja i odparowywanie serwatki koniecznej do produkcji sproszkowanej serwatki. Wykres 13 przedstawia procesy technologiczne w tabeli przepływów. Zimne mleko jest najpierw pasteryzowane i przechowywane. Podczas produkcji sera, mleko zostaje wstępnie podgrzane i dodane to kadzi fermentacyjnej. Potem dodawana jest także woda o temperaturze 65°C. Dodatkowo, do kadzi fermentacyjnej, dodawana jest energia cieplna z zewnątrz. W procesie tym serwatka jest wytrącana i po dodatkowych czynnościach związanych z jej oczyszczaniem, chłodzona jest z początkowej temperatury (ok. 45°C) do temperatury przechowywania. W przypadku procesu odparowywania, serwatka jest najpierw ogrzewana zewnętrznie, a następnie odparowywana w parowniku. W procesie tym serwatka jest suszona z wstępnego poziomu zawartości masy suchej na poziomie 6% do poziomu 60%, zatem masa serwatki po opuszczeniu parownika stanowi 1/10 masy początkowej. Największe zasoby ciepła odpadowego w tym procesie stanowi gorący kondensat powstający przy odparowywaniu zbierany w temp. 75°C (objętość 162 m^3 dziennie) oraz ciepła woda uzyskana z odparowywania (140 m^3). Po odparowaniu koncentrat serwatki jest suszony w suszarce rozpyłowej.
Ze względu na fakt, że proces pasteryzacji jest już dość dobrze przystosowany do odzyskiwania ciepła, największe zyski energetyczne można uzyskać poprzez procesy fermentacji i odparowywania. Z tego względu tylko te procesy zostały uwzględnione w rozważaniach opisanych niżej.
W przypadku prób odzysku ciepła konieczne jest także uwzględnienie harmonogramów pracy poszczególnych strumieni. W tym przypadku przyjmujemy, że:

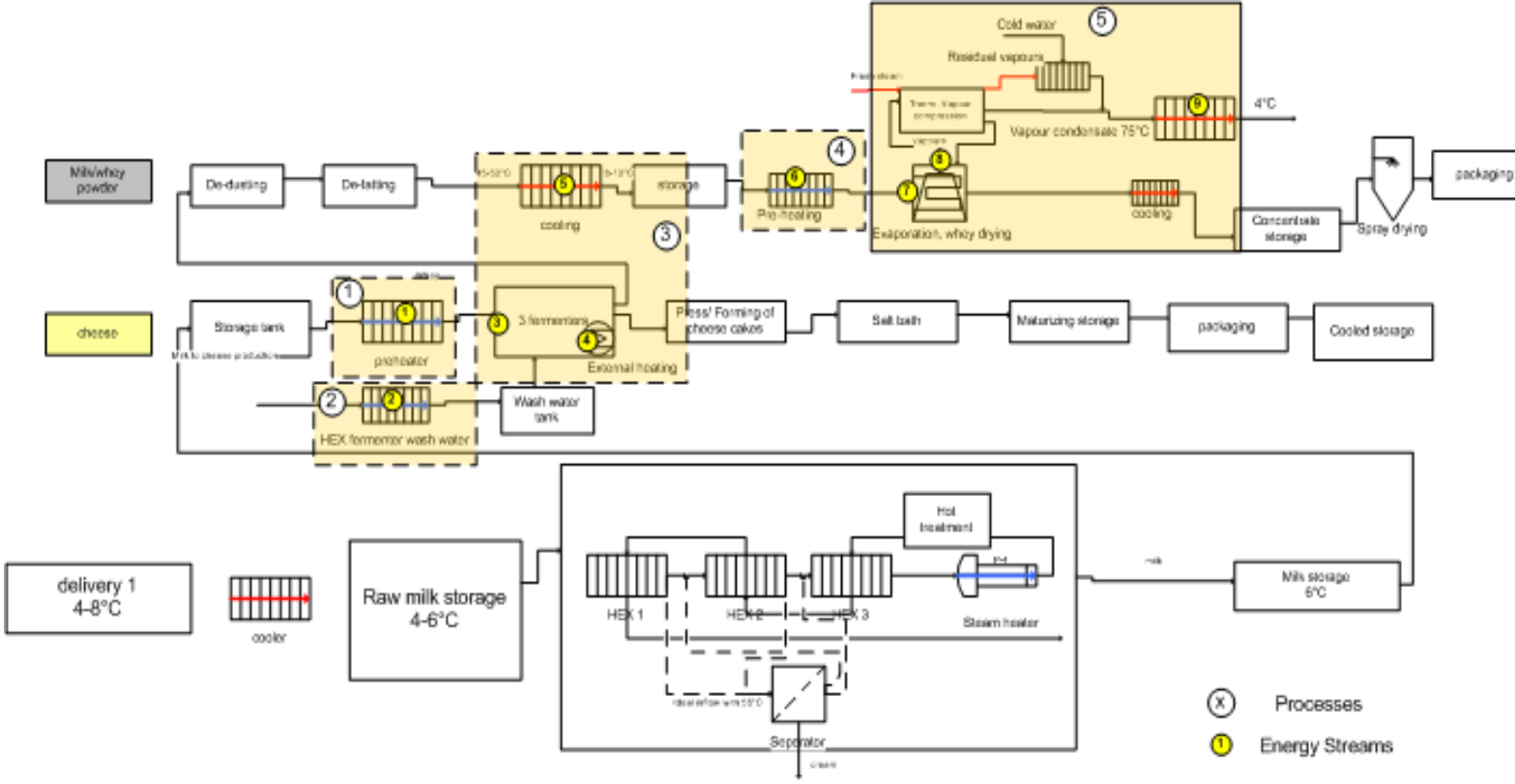
- Fermentacja: 10 cykli dziennie, każdy trwa 2 godziny, 5 dni w tygodniu
  Podgrzewanie wstępne mleka: 45 min przed rozpoczęciem każdego cyklu
  Woda: 20 min w czasie każdego z cykli

- Odparowywanie: proces ciągły. 14 godzin dziennie, 5 dni w tygodniu

Wprowadzenie danych dotyczących procesów technologicznych w module EINSTEIN

W programie EINSTEIN w module wprowadzania danych definiujemy zatem następujące procesy (Tabela 15):

Proces	Typ procesu	Strumień procesu wejście	Ciepło odpadowe	Moc dostarczana w czasie trwania cyklu
Mleko, ogrzewanie wstępne	cykl	mleko, 6°C - 32°C 180 m^3 dziennie 10 cykli po 30 min	Brak (mleko wprowadzane do kadzi)	brak
Woda, ogrzewanie wstępne	cykl	woda, 10 - 65°C 18 m^3 dziennie 10 cykli a 20 min	Brak (woda wprowadzana do kadzi)	brak
Kadź fermentacyjna	cykl	mleko, 32°C - 45°C 180 m^3 dziennie 10 cykli a 48 min	Serwatka temp. 45°C, chłodzona do 8°C ~ 170 m^3 dziennie	200 kW
Serwatka, podgrzewanie wstępne	ciągły	serwatka, 8°C - 80°C 180 m^3 dziennie	Brak (gorąca serwatka wprowadzana do parownika)	brak



Odparowywanie	ciągły	serwatka, 80℃ t-100℃ 180 m³ dziennie	Gorący kondensat 75℃, 400 m³ dziennie	2 400 kW

Schemat 9: Schemat technologiczny przepływu sera i serwatki w proszku w produkcyjnym przedsiębiorstwie mleczarskim

Odzyskiwanie ciepła: obliczenia

Obliczenia dotyczące możliwości odzysku ciepła przekształcają informacje dotyczące procesów technologicznych w tzw. *strumienie energii* (Tabela 16)
Tabela 16. Uzyskane w wyniku obliczeń strumienie energii :

Strumień Nr.	Nazwa	opis	Temperatura początkowa ℃	Temperatura końcowa ℃	Ciepło/ Zimno	entalpia kW	Godz. pracy h/a
1	Mleko, ogrzanie wstępne		6	32	zimno	1362	1040
2	Ser, woda płuczkowa		10	65	zimno	576	520
3	Kadź fermentacyjna, rozruch	Heating milk from 32 to 45℃	32	45	zimno	681	1040
4	Kadź fermentacyjna w czasie pracy	Utrzymanie temp. 45℃	45	50 (temp. ustawiona o 5℃ wyżej na straty)	zimno	200	5200
5	Kadź fermentacyjna, ciepło odpadowe	Gorąca serwatka	45	8	ciepło	-388	5200
6	Serwatka, w czasie podgrzania wstępnego		8	80	zimno	1077	3640
7	Odparowywanie serwatki, podgrzewanie ciągłe	Dalsze ogrzewanie do 100℃	80	100	zimno	299	3640
8	Odparowywanie serwatki praca ciągła	Odparowywanie przy 100℃	100	100	zimno	2200	3640
9	Odparowywanie serwatki , ciepło odpadowe	Gorąca woda wytworzona w parowniku	75	4	ciepło	-2355	3640
10	Gazy wylotowe kotła, ciepło jawne	Ciepło odpadowe z gazów wylotowych kotła do temp. kondensacji	140	58	ciepło	-170	5200

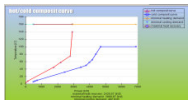
Ciepło utajnione gazów wylotowych kotła w tym przykładzie jest pomijane ze względów na prostotę prezentowanego przykładu.

Zgodnie z metodologią przyjętą w czasie audytu oraz zasadą „*unikaj zamiast odzyskiwać*", konieczne jest wstępnie wprowadzenie oszczędności oraz optymalizacji poprzez nowe, energooszczędne technologie. W tym przykładzie należy rozważyć możliwość zmniejszenia zużycia energii w procesie odparowywania poprzez wprowadzenie takich technik odparowywania jak odwrotna osmoza czy odparowywanie próżniowe. Zmniejszenie zużycia energii cieplnej prowadzi nie uchronnie do zmniejszenia ilości dostępnego ciepła odpadowego, ale rozpatrując proces jako całość uzyskujemy wymierne oszczędności. Zmiany technologii są oczywiście uzależnione od własności danego procesu technologicznego oraz od chęci przedsiębiorstwa do praktycznego wprowadzania proponowanych technologii.

Krzywe ciepła i zimna z włączeniem wektorów entalpii/temperatury wszystkich zimnych strumieni (krzywa zimna) oraz wszystkich ciepłych strumieni (krzywa ciepła) pozwalają ocenić ogólne możliwości wymiany ciepła.

Duże ilości energii cieplnej wykorzystywanej przez proces odparowywania są doskonale uwidocznione na krzywej zimnej. Jednak istnieją ciągle duże rezerwy dostępnej energii cieplnej oraz odpowiednia ilość zimnych strumieni, które mogą być ogrzane. Na krzywej zimnej pokrywająca się przestrzeń wskazuje na

teoretyczne możliwości wymiany cieplnej w zakresie temp. do 40℃. Z punktu widzenia termodynamiki maksymalnie wymienić można 2400 kW. Temperatura pinczu znajduje się pomiędzy 8℃ a 18℃.



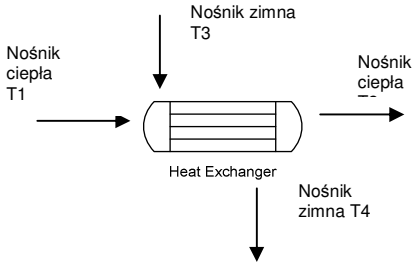
Wykres 49: Krzywe ciepła i zimna opisanego wyżej procesu (ΔT_{min} = 10 K)

Wyniki

Algorytm wyliczający możliwe wymienniki ciepła bierze pod uwagę takie kryteria jak odpowiednią temperaturę dla odzysku ciepła odpadowego, dostępność strumieni, dokonując optymalizacji ich wykorzystania tak by uzyskać maksymalne oszczędności zużycia energii. Przed zapoznaniem się z wynikami w tabeli 17 należy pamiętać, że kryteria termodynamiczne dla sieci wymienników ciepła są wyliczone oddzielnie dla wymienników pracujących powyżej i poniżej pinczu temperaturowego (tabela 17).

Tabela 7. Proponowane wymienniki ciepła

wymiennik	moc	strumień ciepły	t1 ℃	t2 ℃	strumień zimny	t3 ℃	t4 ℃	wymagane magazynowanie m³
newhx nr.0	230	5, kadź, ciepło odpadowe	45	20	2, ser, woda płuczkowa	10	32	5,5
newhx nr.1	200	8, odparowanie serwatki, ciepło odpadowe	75	69	4, kadź podczas pracy	45	50	28,5
newhx nr.2	1257	8, odparowanie serwatki, ciepło odpadowe	69	30	1, mleko podgrzanie wstępne	8	32	5,7
newhx nr.3	18	5, kadź, ciepło odpadowe	20	18	6, serwatka, podgrzewanie wstępne	8	9	3,4
newhx nr.4	149	8, odparowanie serwatki, ciepło odpadowe	30	25	6, serwatka podgrzewanie wstępne	9	20	29,17
newhx nr.5	64	8, odparowanie serwatki, ciepło odpadowe	19	16	1, mleko podgrzewanie wstępne	6	7	9,3
newhx nr.6	41	5, kadź, ciepło odpadowe	18	13,5	1, , mleko podgrzewanie wstępne	7	8	



Obliczanie objętości magazynów energii

Objętość magazynów energii może zostać wyliczona za pomocą oprogramowania EINSTEIN, jednak ich dokładność zależy od harmonogramów pracy procesów technologicznych.

Dla łatwego wprowadzania koniecznych danych w pierwszej wersji program EINSTEIN nie wymaga od użytkownika podawania dokładnych harmonogramów pracy procesów technologicznych. Program rozkłada czas działania procesów technologicznych i ich cykli równo w ciągu całego dnia. Z tych względów wyniki obliczeń proponowanych pojemności magazynów energii cieplnej może być traktowana jedynie w przybliżeniu i musi być poddana ponownemu modelowaniu na kolejnym etapie projektowania. W tym miejscu powinno się także rozważyć wykorzystanie jednego centralnego magazynu energii.

Wymienniki ciepła

Jest oczywiste, że ciepło odpadowe procesu odparowania powinno być zintegrowane z układem dostarczania energii. Program EINSTEIN proponuje wykorzystanie następujących wymienników: NewHX Nr.1, NewHX Nr.2, NewHX Nr.4, NewHX Nr.5.

Z punktu widzenia egzergii, rozsądnie jest wykorzystać tą energie cieplną (temp. 75°C) wstępnie do ogrzania wody koniecznej dla pracy kadzi fermentacyjnej (obecnie wykorzystywana jest para). Technicznie osiągamy ten cel przez zastosowanie dwupłaszczowego systemu ogrzewania wody.

Odparowywanie jest procesem ciągłym jednak czas pracy parownika (14 godzin dziennie) jest krótszy niż czas pracy kadzi fermentacyjnej (20 godzin/dzień). Zatem w tej sytuacji konieczne staje się magazynowanie energii zawartej w gorącej wodzie.

Następnie proponowane jest wykorzystanie kondensatu do podgrzania mleka do temperatury 32°C. Wstępne podgrzewanie mleka wymaga dość dużej energii, ze względu na fakt, że podgrzewanie jest procesem cyklicznym. Jednak wykorzystanie do tego celu wody, może te wymagania zaspokoić w całości. Zatem magazyn konieczny jest tylko wówczas gdy gorąca woda nie jest dostępna (w czasie gdy parownik nie pracuje).

Woda pochodząca z parownika jest już schłodzona do 30°C. Tylko w czasie, gdy nie pracuje kadź fermentacyjna i/lub nie występuje wstępne podgrzewanie mleka jej temperatura jest wyższa. Pozostała moc (powyżej pinczu temperaturowego) wykorzystywana jest do wstępnego podgrzewania serwatki przed procesem jej odparowywania.

Wymiennik Nr. 5 odpowiada za dostarczanie mleka poniżej temperatury pinczu.

Gorąca serwatka opuszczająca kadź fermentacyjną jest kolejnym strumieniem energii, który należy zagospodarować w systemie wymiany ciepła. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to interesujące, ponieważ serwatka musi zostać schłodzona przed jej magazynowaniem. Proponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie serwatki do wstępnego ogrzania wody płuczkowej sera do temp. 32°C. Woda płuczkowa dodawana jest w czasie pracy kadzi fermentacyjnej, zatem konieczny będzie niewielki magazyn energii. Wymiana ciepła może zostać uzyskana poprzez nośnik energii (w tym wypadku możliwa jest woda), która oziębia się w wyniku ogrzewania serwatki, a następnie przekazuje energię wodzie płuczkowej koniecznej do fermentacji.

Kolejny niewielki wymiennik ciepła proponowany jest do ostatecznego wykorzystania energii cieplnej zmagazynowanej w serwatce, lecz jego moc oraz stopień podniesienia temperatury jest już niewielki. Jednak, jako, że przepływ wody płuczkowej jest znacznie krótszy niż sam proces schładzania serwatki, można rozważyć możliwość wyprodukowania dodatkowo ciepłej wody (np. o temp. 40°C) do celów takich jak np. mycie.

Jak widać, program EINSTEIN pozwala stworzyć wstępny projekt sieci wymiany ciepła nastawionej na możliwie najwyższą oszczędność energii. Propozycje podawane przez program należy dokładnie przeanalizować ze względów praktycznych i możliwości technicznych, biorąc także pod uwagę aspekty takie jak dostępność miejsca, fizycznego oddalenie kolejnych strumieni energii oraz kwestie związane np. z higieną. Opracowanie rozsądnego systemu w dużej mierze zależy od dostępności bogatego zestawu danych.

Wykres 10: Wynik modułu odzysku ciepła w programie EINSTEIN

xxx Wykres należy zrewidować. W krzywej mieszanki gorącej pojawia się dziwne załamanie, choć krzywa powinna przebiegać bez takich zmian xxx

Nomenklatura

Skróty i akronimy

BCR wskaźnik korzyści -koszty
CF przepływu pieniężne
CST temperatura głównego punktu zasilania
CHP kogeneracja
EHD równoważne zapotrzebowanie na ciepło
EEI wskaźnik efektywności energetycznej
EX wydatek netto projektu
FEC łączne ostateczne zużycie energii
FET ostateczne zużycie energii dla celów cieplnych
IRR wewnętrzna stopa zwrotu
LCV niska wartość opałowa
NPV wartość bieżąca netto
PBP okres zwrotu inwestycji
PEC łączne pierwotne zużycie energii
PET pierwotne zużycie energii dla celów cieplnych
PSW podgrzewanie wody doprowadzanej
PT τemperatura technologiczna
QHX odzyskane ciepło odpadowe; przepływ ciepła przez wymienniki ciepła
QWH dostępne ciepło odpadowe
ST Temperatura doprowadzana
UPH/C – Użytkowe ciepło/zimno technologiczne
USH/C – Użytkowe ciepło/zimno doprowadzone

Symbole

A obszar
c_p jednostkowa pojemność cieplna
d stopa dyskontowa przedsiębiorstwa
E energia
f współczynnik przeliczeniowy
h entalpia jednostkowa
m masa
N liczba (np. paliw)
Q ciepło
$\dot{Q}$ natężenie przepływu ciepła
q_m natężenie przepływu masy
r realna stopa procentowa finansowania zewnętrznego
S oszczędności z projektu
T temperatura
t czas
U globalny współczynnik przenikania ciepła
η – efektywność

Oznakowanie

c – obieg, kondensat
cs – główny punkt zasilania
e – efektywny/wydajny
el – elektryczny
elgen – energia elektryczna samo-generowana
env – środowisko
eq – urządzenia
ESources – źródła energii
f – ostateczny
fuels – paliwa
fw – woda zasilająca
HX – odzysk ciepła, wymiennik ciepła
i – wlot, wlotowy/wejściowy, wskaźnik dot. źródła energii (typ paliwa, energia elektryczna)
j – wskaźnik dot. urządzeń termicznych
L – ciepło utajone (stosowane w tematach parowania (+), kondensacji (-), endotermiczny i egzotermicznych reakcji chemicznych)
o – wylot, wylotowy
op – operacyjny/eksploatacyjny
p – proces
pi – wejście do procesu
pir – wejście do procesu po odzysku ciepła
po – wyjście z procesu
por – wyjście do procesu po odzysku ciepła
pt – cel/target procesu
PE – pierwotna energia
PS – zaopatrzenie procesu
m – konserwacja
min – minimum
ref – odniesienia/odnośnik
ret – powrotny
s – rozruch
tch – termiczne napędzany agregat wody lodowej
w – odpadowy

Załącznik: Kwestionariusz podstawowy programu EINSTEIN