

Opracowanie dokumentacji technicznej dotyczącej analizy przepływu ciepła dla bieżącej struktury STUO oraz bloku ko- generacji w Oczyszczalni Ście- ków Płaszów

opracowany dla:

**Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodo-
ciągów i Kanalizacji S. A.**

z siedzibą w Krakowie (30-106)

przy ul. Senatorskiej 1

 **EXERGON**

Wykonawca pracy:

Dr inż. Grzegorz Nowak

Mgr inż. Dawid Mańkowski

Zarząd EXERGON Sp. z o.o.:

Dr inż. Marcin Liszka, Prezes

Dr inż. Krzysztof Hoinka, Wiceprezes

Dr inż. Grzegorz Szapajko, Wiceprezes

EXERGON

Firma Exergon Sp. z o.o. wywodzi się ze środowiska naukowego Politechniki Śląskiej. Działa w obszarze energetyki i powiązanych gałęzi gospodarki, świadcząc m.in. usługi obliczeniowe, doradcze, opracowując studia wykonalności/biznesplany oraz tworząc dedykowane aplikacje komputerowe.

Firma dysponuje zespołem specjalistów, doświadczonych w pracach wykonywanych na rzecz odbiorców instytucjonalnych i przemysłowych.

Exergon Sp. z o. o.
ul. Konarskiego 18c
44-100 Gliwice
+48 794 904 200
biuro@exergon.pl

NIP 6312650389
REGON 243336660
KRS 0000472241

X Wydział Gospodarczy Sądu
Rejonowego w Gliwicach
Kapitał zakładowy Spółki 5000 zł
Rachunek bankowy: ING Bank Śląski
50 1050 1298 1000 0091 3839 6495

Więcej informacji: www.exergon.pl

Zastrzeżenia:

Niniejsza praca została sporządzona z najwyższą starannością, niemniej jednak z konieczności część poruszanych w niej problemów zostało przeanalizowanych z zastosowaniem określonych uogólnień oraz danych wejściowych opisanych w niniejszym raporcie. Zastosowanie innych metod badawczych może przyczynić się do uzyskania dokładniejszych wyników. EXERGON Sp. z o.o. nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek straty powstałe w wyniku czynności podjętych lub zaniechanych na podstawie wyników niniejszej prac.

Spis treści

1 Podstawa, cel i zakres pracy	4
2 Informacje przekazane przez Zamawiającego	5
3 Analiza energetyczna	11
3.1 Dane wejściowe	11
3.2 Opis modelowania w programie Thermoflex	13
3.3 Obliczenia cieplne	18
3.4 Badanie jednorodności rozkładów temperatur w poszczególnych elementach instalacji ...	32
3.4.1 Pomiary termowizyjne	32
3.4.2 Charakterystyka urządzenia pomiarowego	32
3.4.3 Opis kampanii pomiarowej	33
3.4.4 Wyniki pomiarów termowizyjnych	33
3.5 Oszacowanie współczynników przenikania ciepła oraz ilości traconego ciepła	38
3.6 Wyznaczenie sprawności elementów instalacji	43
4 Podsumowanie i wnioski	46
5 Załączniki	48
Załącznik 1 Wyniki szczegółowe modelu symulacyjnego	49
Załącznik 2 Szczegółowe wyniki modelowania wymiennika W2	57
Załącznik 3 Specyfikacja urządzenia pomiarowego	58

1

Podstawa, cel i zakres pracy

Podstawą realizacji pracy jest umowa nr RE160105 z dnia 15.03.2016 na wykonanie „Opracowania dokumentacji technicznej dotyczącej analizy przepływu ciepła dla bieżącej struktury STUO oraz bloku kogeneracji w Oczyszczalni Ścieków Płaszów”.

Głównym celem prac było wykonanie bilansów materiałowych oraz cieplnych dla obiektów kogeneracji oraz STUO. W ramach analizy wykonano bilans pierwiastkowy oraz cieplny procesów spalania dla obiektów kogeneracji oraz STUO. Określono wykorzystanie energii dostarczonej wraz z paliwem w poszczególnych urządzeniach obiektu, a także określono elementy charakteryzujące się największą energochłonnością.

Na podstawie przekazanej dokumentacji, przeprowadzonych wizji lokalnych oraz zrealizowanych badań termowizyjnych określono rozkład temperatur na głównych elementach instalacji pod względem możliwości występowania największych strat ciepła. Określono zastępcze współczynniki przenikania ciepła dla głównych rurociągów (na podstawie dokumentacji) z określeniem strat ciepła (spadku temperatury) na nich występujących.

W ramach analizy określono także sprawności głównych elementów układu kogeneracji, jak i układu STUO. Obliczenia oparto na pozyskanej dokumentacji technicznej oraz wykonanym modelu symulacyjnym instalacji.

Na podstawie wykonanych obliczeń oraz symulacji wykonano zbiorcze wykresy Sankeya dla każdej z instalacji.

2

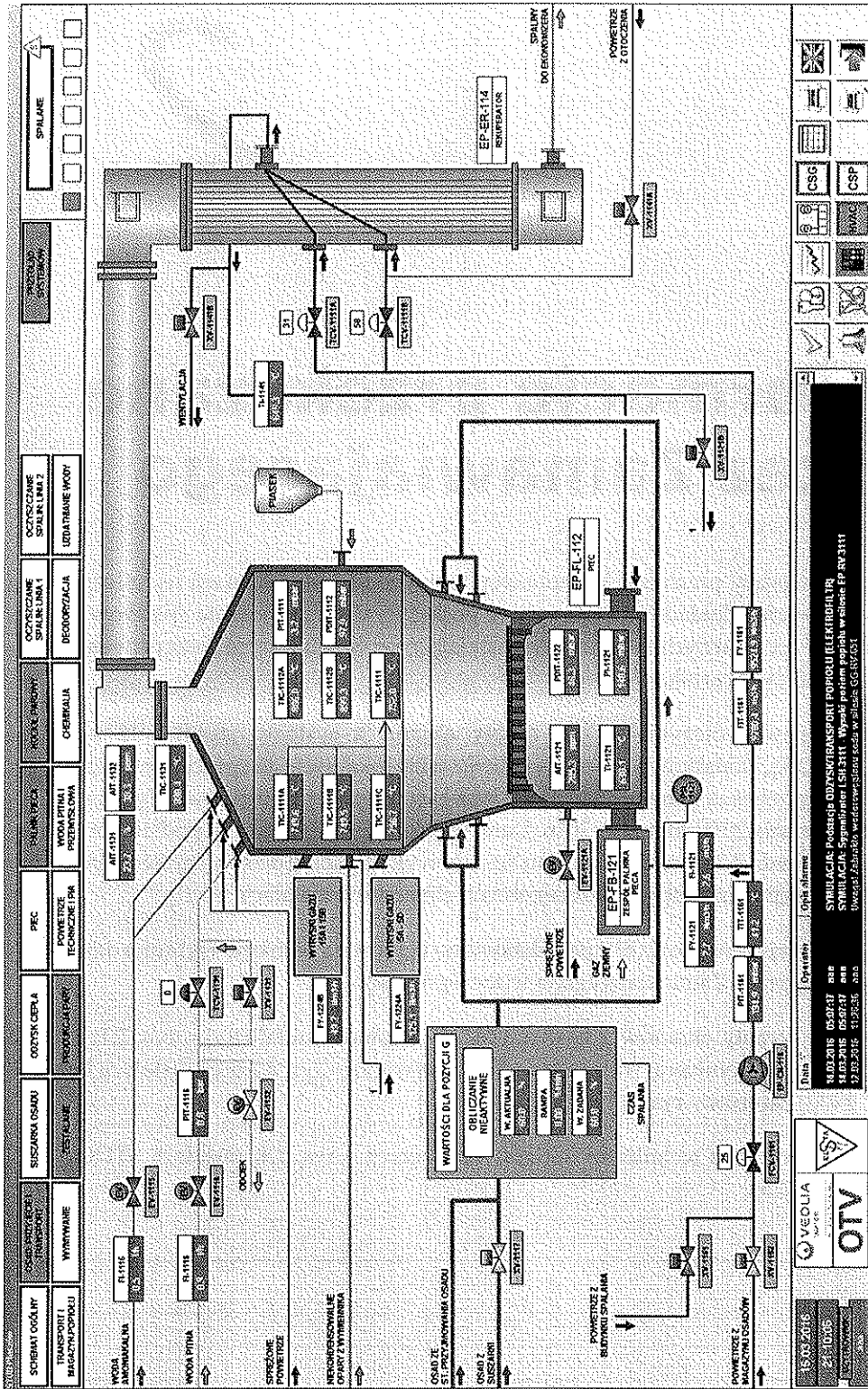
Informacje przekazane przez Zamawiającego

Zamawiający przekazał Wykonawcy kopię części dokumentacji technicznej oraz budowlanej Zakładów. Materiały te posłużyły do wyznaczenia spadków temperatury na głównych rurociągach instalacji oraz do obliczenia zastępczych współczynników przenikania ciepła.

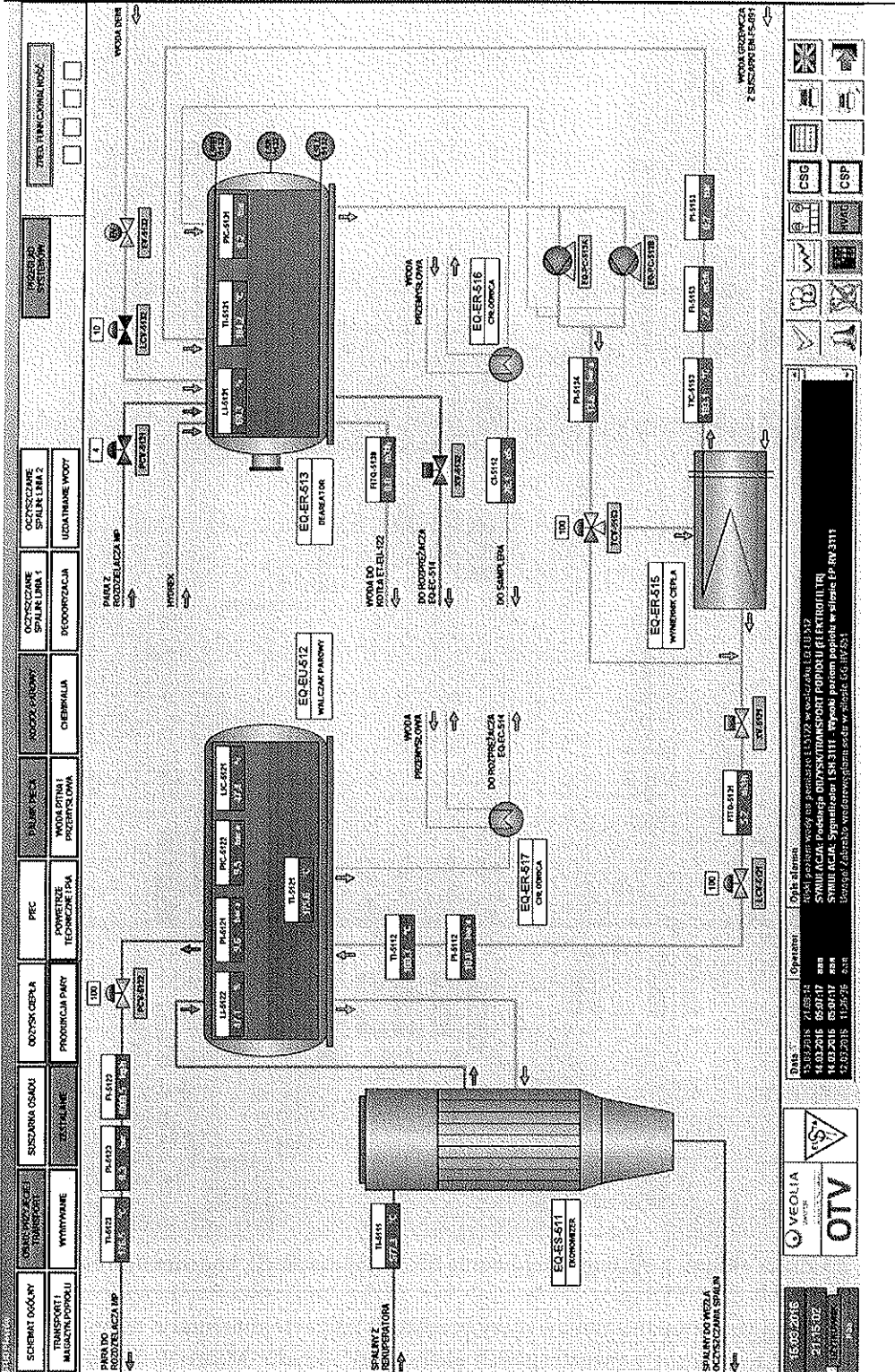
Wykonawca otrzymał także zrzuty ekranu z systemu sterowania układów (SCADA). Dodatkowo, w czasie jednej z wizji lokalnych, za zgodą Zamawiającego, zostały zebrane dane archiwalne z systemu sterowania obiektów. Wybrano okres od stycznia 2016 do marca 2016. Dane te oraz dane uzyskane na podstawie analizy dokumentacji technicznej układu zostały wykorzystane do sporządzenia bilansów substancji oraz energii poszczególnych elementów instalacji.

W dalszej części rozdziału przedstawiono w formie rysunków wybrane dane przekazane przez Zamawiającego, a w szczególności:

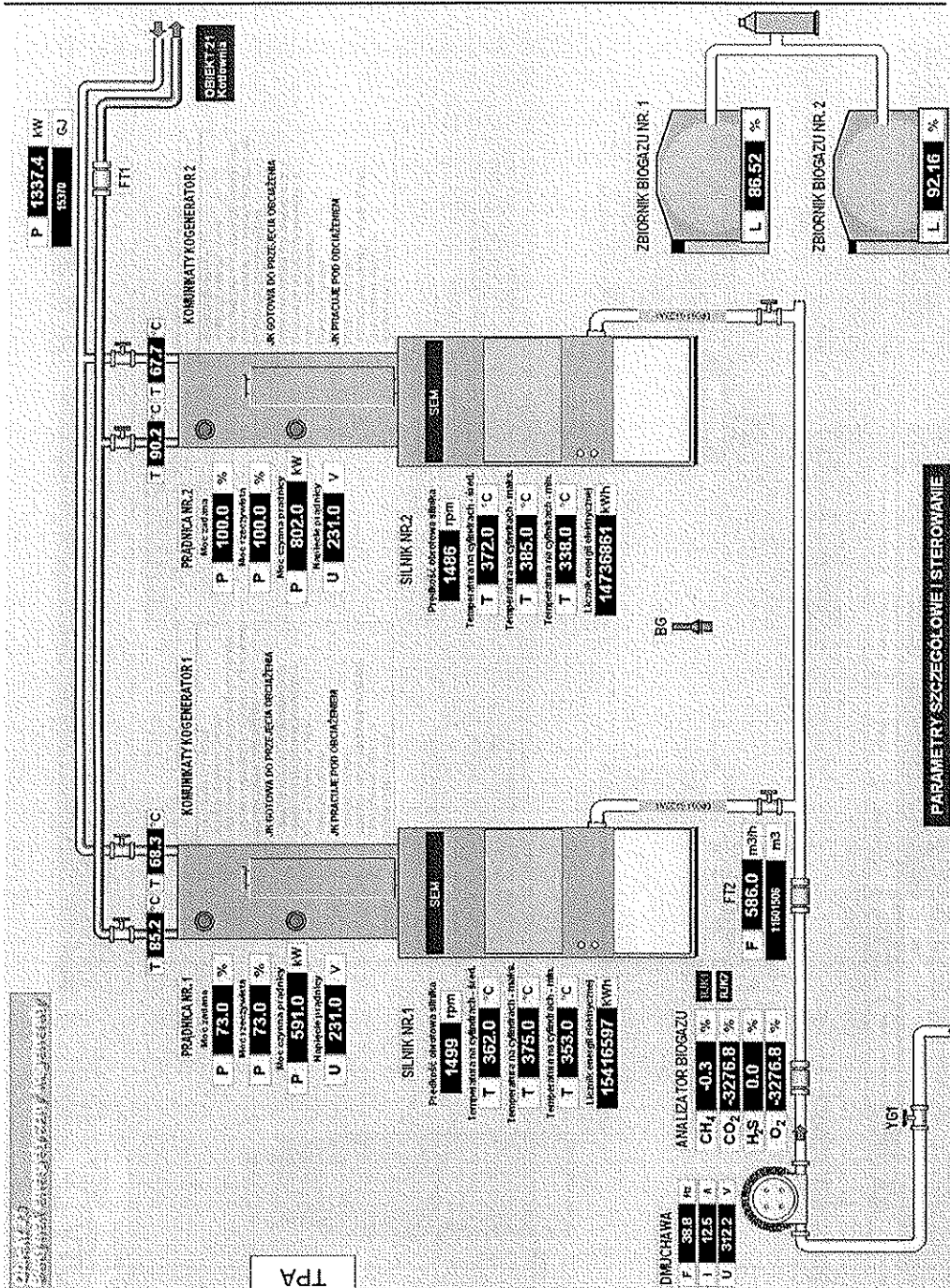
- zrzuty ekranów z systemu SCADA (pieca fluidalnego – rys. 2.1, układu ekonomizera, walczaka i odgazowycza – rys. 2.2 oraz instalacji kogeneratorów – rys. 2.3),
- rysunki techniczne (układu kogeneracji – rys. 2.4, instalacji STUO – rys. 2.5).



Rys. 2.1 Zrzut ekranu z systemu sterowania SKADA, piec fluidalny

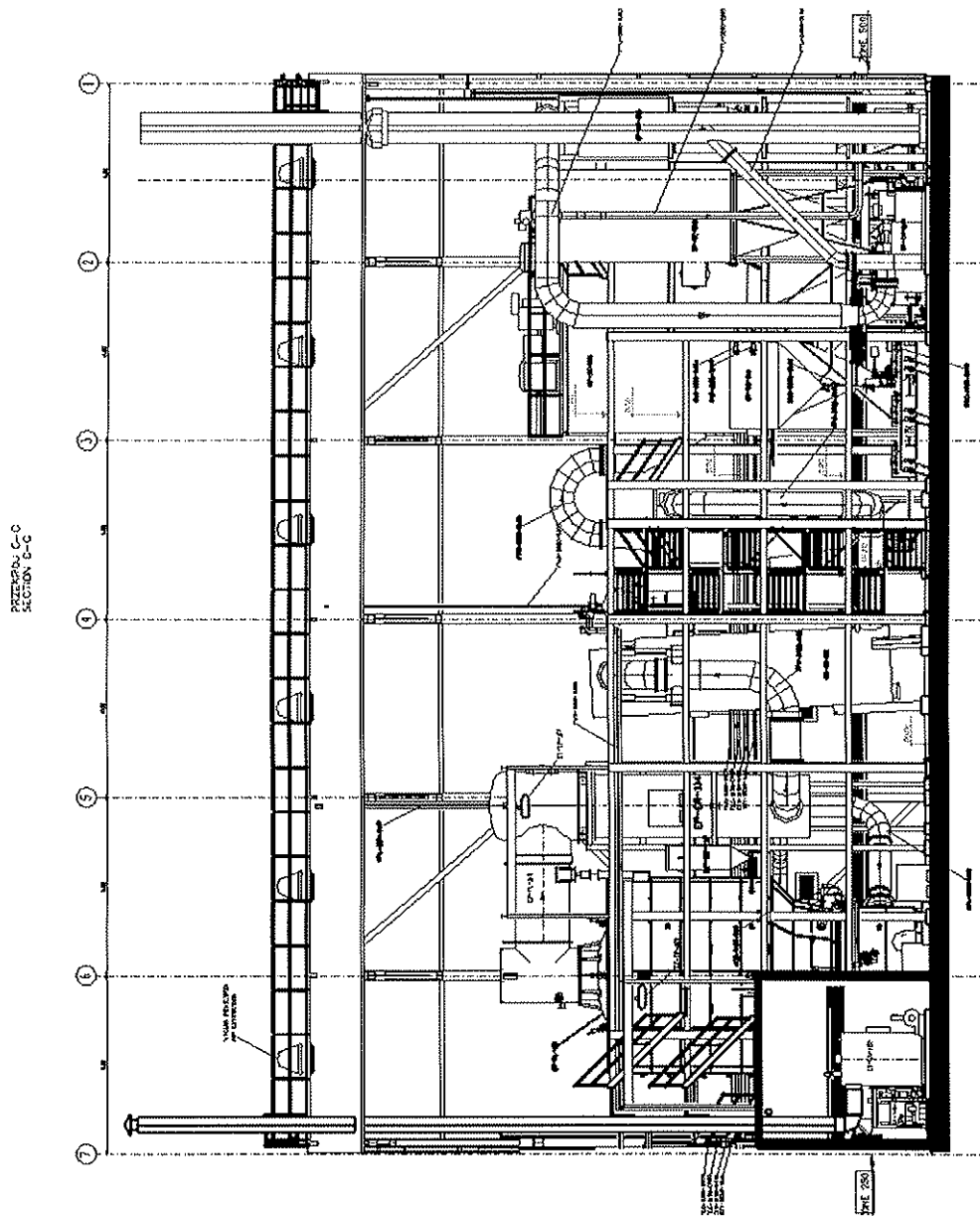


Rys 2.2 Zrzut ekranu z systemu sterowania SKADA, ekonomizer, walczak oraz odgazywacz



Rys. 2.3 Zrzut ekranu z systemu sterowania SKADA, instalacja kogeneratorów.

Jak wcześniej wspomniano zamawiający przekazał także dokumentację techniczną w tym rysunki techniczne najważniejszych elementów układu. Materiały te pozwoliły na przeprowadzenie obliczeń spadków temperatur na głównych rurociągach instalacji oraz zastępczych współczynników przenikania ciepła. Przykładowe rysunku techniczne prezentowane są na rysunkach 2.4 oraz 2.5



Rys. 2.5 Rysunek techniczny instalacji STUO.

3

Analiza energetyczna

Realizacja pracy rozpoczęła się od wizji lokalnej obiektów i instalacji objętych analizą. Na jej podstawie oraz w oparciu o dane i dokumenty przekazane przez Zamawiającego sporządzona została inwentaryzacja urządzeń wchodzących w skład analizowanych instalacji.

Zgodnie z zapisami umowy oraz SIWZ analiza obejmowała ocenę termodynamiczną, czyli weryfikację bilansu substancji i energii procesu dla analizowanych instalacji. Modele symulacyjne urządzeń układów wykonane zostały na podstawie analizy otrzymanej dokumentacji oraz informacji uzyskanych od obsługi instalacji. Danymi wejściowymi do analizy były informacje o parametrach urządzeń, strumieniach substancji i energii przecinających osłonę kontrolną instalacji. Narzędziami wykorzystywanymi do modelowania symulacyjnego było oprogramowanie Thermoflex oraz Engineering Equation Solver (EES). W oprogramowaniu tym utworzono modele symulacyjne oparte o bilanse substancji oraz energii poszczególnych elementów instalacji.

3.1 Dane wejściowe

Jak wspomniano wcześniej analizę rozpoczęto od inwentaryzacji oraz analizy przekazanej dokumentacji pod względem dostępności parametrów termicznych (temperatura, ciśnienie) oraz przepływowych w poszczególnych punktach analizowanych układów. Główne dane wejściowe do modelowania symulacyjnego prezentowane są w tabelach 3.1-3.4. W tabelach 3.1 oraz 3.2 prezentowane są parametry paliwa przyjęte do obliczeń zaś w tabelach 3.3 oraz 3.4 prezentowane są główne założenia do obliczeń termodynamicznych poszczególnych instalacji. Skład biogazu został przyjęty na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego. Skład substancji suchej osadu ściekowego został przyjęty na podstawie składu dedykowanego dla osadów ściekowych w programie Thermoflex, następnie skład został przeliczony dla podanej przez Zamawiającego zawartości substancji suchej ok 26 %.

Analiza energetyczna**Tabela 3.1** Parametry biogazu oraz gazu ziemnego

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość	
			Biogaz	Gaz ziemny
1	N ₂	%	0,1	3,65
2	CO ₂	%	34	0,34
3	CH ₄	%	65,8	87
4	C ₂ H ₄	%	0	8,46
5	C ₂ H ₆	%	0	0,03
6	O ₂	%	0,1	0,07
7	H ₂	%	0	0,36
8	CO	%	0	0,09
9	LHV	kJ/kg	20 653	46 280

Tabela 3.2 Parametry osadu ściekowego

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
			Osady ściekowe
1	Wartość opałowa	kJ/kg	1293
2	Zawartość popiołu	%	8,32
3	Zawartość wilgoci	%	74
4	Zawartość siarki	%	0,325
5	Zawartość węgla	%	7,358
6	Zawartość wodoru	%	1,058
7	Zawartość azotu	%	0,7696
8	Zawartość tlenu	%	8,151
9	Zawartość chloru	%	0,0182

Analiza energetyczna

Tabela 3.3 Podstawowe założenia do modelowania układu kogeneracji.

Parametr	Jednostka	Wartość
Moc elektryczna silnika gazowego	kW	800
Temperatura spalin na wlocie do wymiennika woda-spaliny	°C	451
Temperatura wody grzewczej na wlocie do układu	°C	70
Temperatura wody grzewczej na wylocie z układu	°C	90
Strumień powietrza do spalania	Kg/s	1,149
Liczba pracujących jednostek	-	2

Tabela 3.4 Podstawowe założenia do modelowania układu STUO.

Parametr	Jednostka	Wartość
Temperatura spalin na wlocie do wymiennika powietrze-spaliny	°C	878
Temperatura spalin na wlocie do ekonomizera	°C	570
Temperatura produkowanej pary	°C	178
Ciśnienie produkowanej pary	bar	9,5
Strumień produkowanej pary	kg/s	1,26
Strumień pary wykorzystywanej w suszarce	kg/s	0,82
Temperatura wody ciepłowniczej na wlocie do instalacji	°C	69,1
Temperatura wody ciepłowniczej na wylocie z instalacji	°C	75

3.2 Opis modelowania w programie Thermoflex

Modelowanie symulacyjne zostało przeprowadzone za pomocą oprogramowania *Thermoflex*. Jest to aplikacja pozwalająca na tworzenie fizykalnych modeli układów szeroko rozumianej energetyki oraz układów chemicznych (model silnika spalinowego z kotłem odzyskowym przedstawiono na rysunku 3.1). Do ich budowy używa się komponentów, dostępnych w bibliotekach programu. Komponentami są poszczególne elementy układów takie jak np. turbina parowa (obieg parowodny turbiny parowej przedstawiono na rysunku 3.2), komora spalania kotła wymiennik ciepła czy pompy.

Pierwszym krokiem w budowie modelu jest wybór komponentów, a następnie stworzenie struktury układu przez ich właściwe połączenie. Po sprawdzeniu przez program poprawności połączeń elementów możliwa jest edycja danych wejściowych do modelu układu. Wejściami w programie są parametry komponentów, jak również dane na temat strumieni czynników wchodzących lub wychodzących z modelowanego układu. W programie można tworzyć modele w trybie

Analiza energetyczna

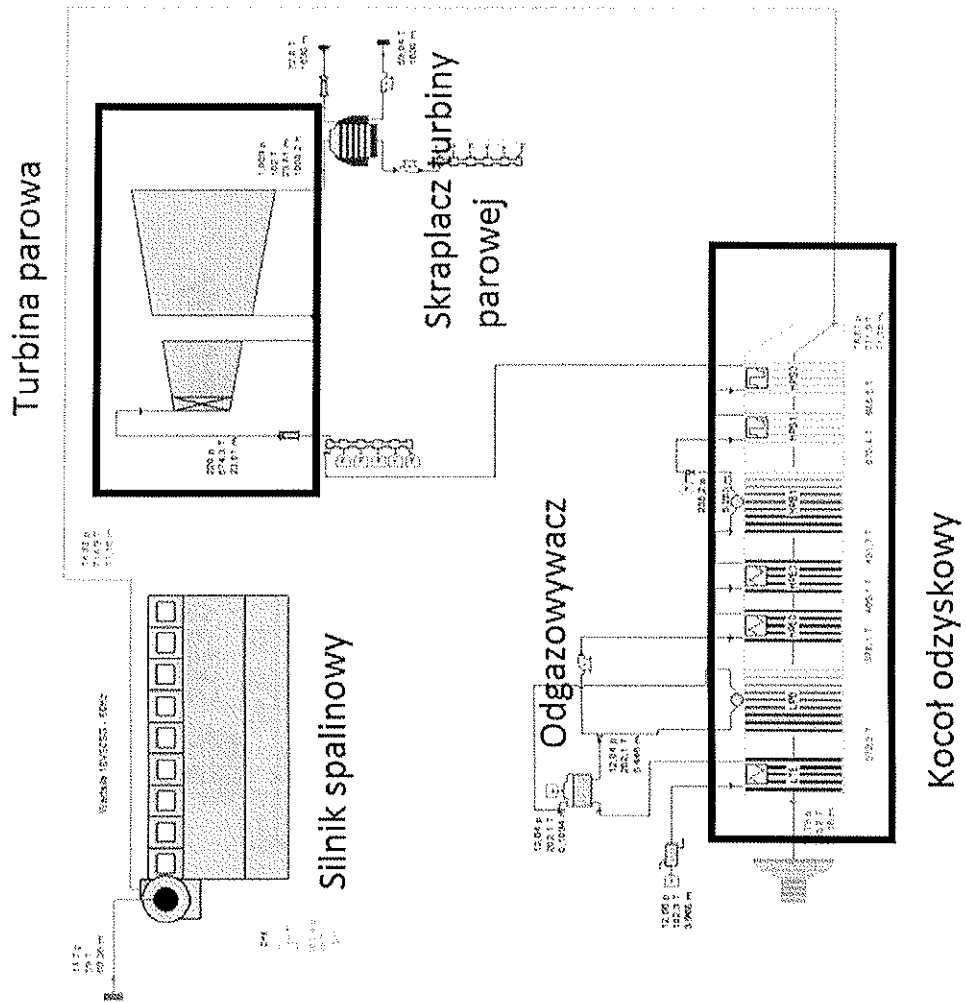
projektowania design lub w trybie pracy *off-design* (model wymiennika ciepła przedstawiono na rysunku 3.3).

Rysunki 3.1 – 3.3 są rysunkami poglądowymi modeli wykonanych w programie Thermoflex, przedstawione one zostały w celu przedstawienia możliwości wykorzystanego oprogramowania.

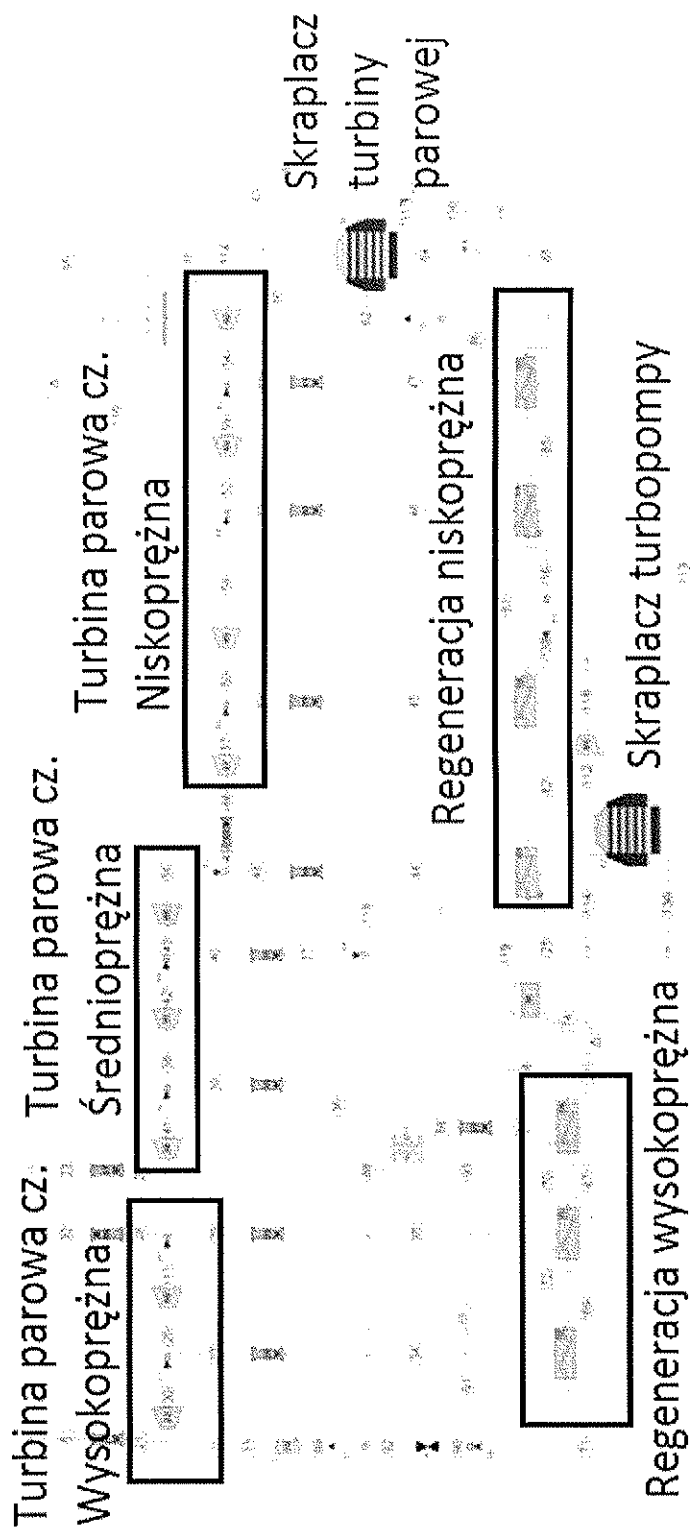
Oprogramowanie *Thermoflex* pozwala na symulowanie pracy układów zarówno nowo budowanych jak i już istniejących. Umożliwia ono w stosunkowo łatwy sposób zweryfikować ilościowo jak i jakościowo wpływ wprowadzenia modyfikacji na pracę całego układu. Cecha ta jest szczególnie przydatna w przypadku wprowadzenia modyfikacji w już istniejącym układzie, gdzie w prowadzonej analizie konieczne jest uwzględnienie zmiany charakterystyki pracy urządzeń współpracujących z nowym elementem. W wyniku przeprowadzonej analizy wytypowano modyfikacje układu, które pozwoliłyby podnieść sprawność działania układu. Propozycje przedstawione są we wnioskach do analizy.

Program *Thermoflex* posiada także szereg dodatków tj. pętla optymalizacyjna, wewnętrzna kontrola błędów czy możliwość integracji oprogramowania z arkuszem kalkulacyjnym *MS Excel*, co pozwala w łatwy sposób prowadzić obliczenia dla zestawu danych.

W ramach wykonywanej pracy zostały utworzone modele w trybie *design*, w których dla danych wejściowych przekazanych przez Zamawiającego dobrano parametry termodynamiczne, a następnie geometrię poszczególnych elementów układu.



Rysunek 3.1 Model silnika spalinowego z kotłem odzyskowym.



Rysunek 3.2 Model obiegu parowo-wodnego.