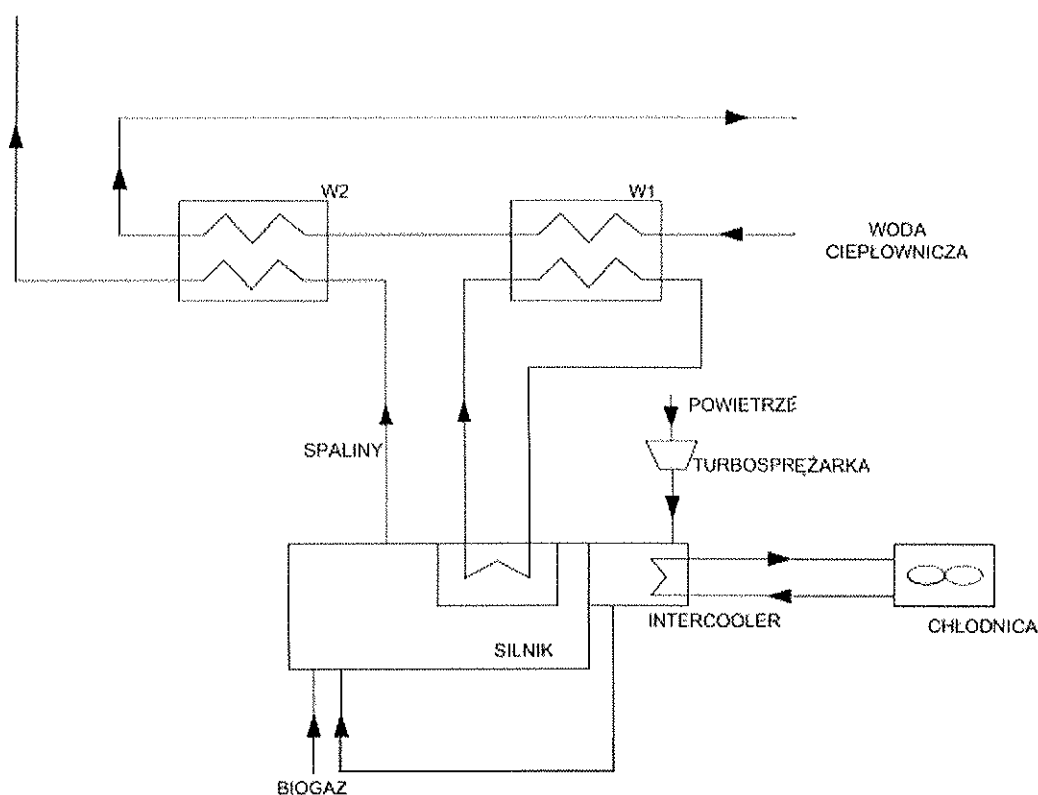


3.3 Obliczenia cieplne

3.3.1 Kogeneracja

Niedoskonałość procesów termodynamicznych oraz uwarunkowania technologiczne są głównymi powodami strat energii podczas działania instalacji. W oparciu o otrzymane od Zamawiającego dane scharakteryzowano paliwo, a także sporządzono bilans energetyczny całej instalacji oraz poszczególnych modułów. Główne założenia prezentowane są w podrozdziale 3.1. Elementy instalacji objęte bilansem przedstawiono na rysunku 3.4



Rysunek 3.4 Schemat układu kogeneracyjnego – najważniejsze elementy

Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie Thermoflex opisane w podrozdziale 3.2 Wyniki obliczeń zostały zwalidowane w oparciu o dokumentację techniczną dostarczoną przez producentów. Wyznaczone wartości zestawiono w tabeli 3.5. Celem zobrazowania wielkości poszczególnych strat i efektów sporządzono wykres Sankey'a (rysunek 3.5). Analizę przeprowadzono w jednostkach mocy (kW). W analizowanej instalacji kogeneracyjnej efekty użyteczne to:

- Energia elektryczna – energia elektryczna mierzona na zaciskach generatora, pomniejszona o wartość konieczną do pokrycia potrzeb własnych np. napędów wentylatorów i pomp;

Analiza energetyczna

- Ciepło użyteczne – przekazywane do obiegu wody ciepłowniczej w dwóch wymiennikach ciepła; w pierwszym woda ciepłownicza podgrzewana jest roztworem glikolowym, który chłodzi płaszcz silnika oraz olej silnikowy; w drugim wymienniku następuje przekazanie ciepła wodzie ciepłowniczej przez gorące spaliny opuszczające silnik;

Istotne straty energii przedstawiono poniżej:

- Straty ciepła radiacyjnego silnika i generatora – spowodowane podwyższoną temperaturą tych urządzeń (w odniesieniu do otoczenia) podczas nominalnej pracy.
- Strata elektryczna w generatorze – generatory tej klasy i mocy są w stanie przetworzyć energię mechaniczną na wale w energię elektryczną ze sprawnością około 97%.
- Strata ciepła w rurociągach – mimo dobrej izolacji cieplnej nie da się całkowicie wyeliminować strat ciepła w rurociągach. Straty te mają jednak bardzo niewielki wpływ na sprawność całej instalacji. Metodyka obliczeń tych strat znajduje się w podrozdziale 3.5.
- Strata wylotowa fizyczna spalin – spowodowana jest podwyższoną temperaturą spalin kierowanych do komina. Jej całkowite ograniczenie jest niemożliwe z powodów technologicznych
- Strata ciepła w wymiennikach – analogicznie jak w przypadku rurociągów.
- Strata ciepła w intercoolerze – powstaje poprzez konieczność schłodzenia powietrza za turbosprężarką. Ciepło to najczęściej nie jest wykorzystywane użytecznie ze względu na relatywnie niski poziom temperatury.

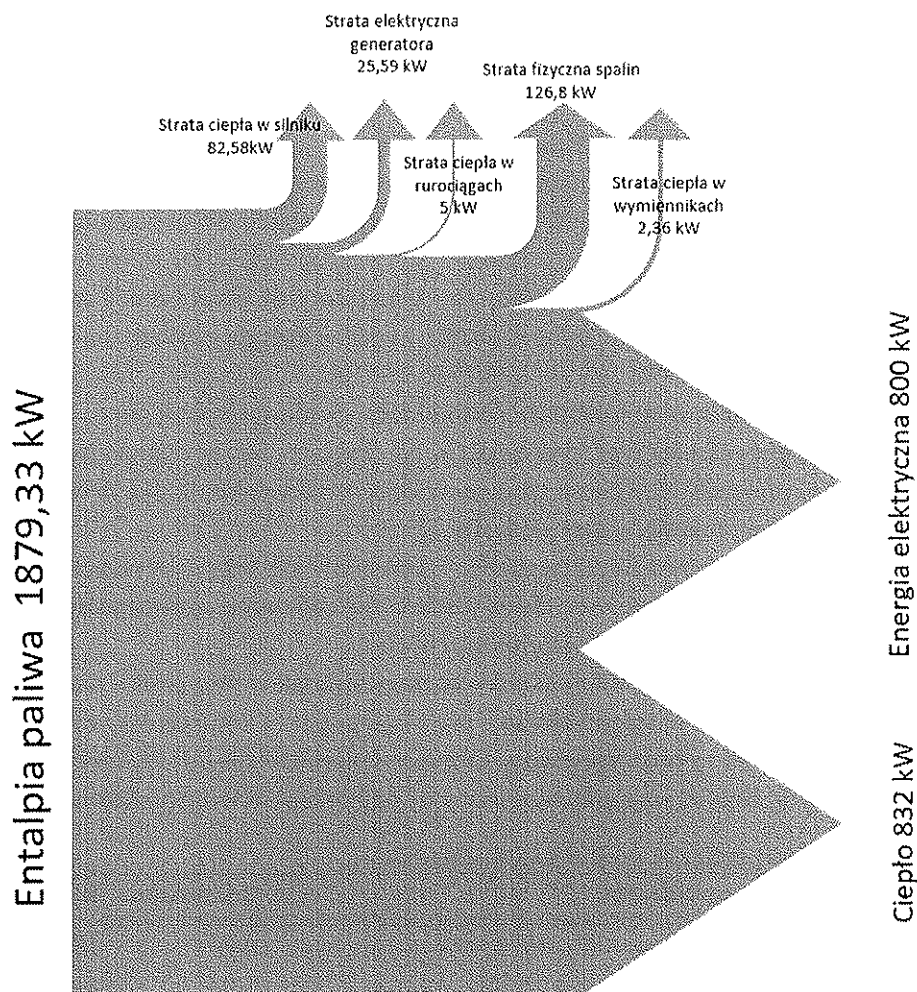
Tabela 3.5 Wyniki obliczeń strat ciepła w układzie.

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna biogazu	kW	1879,3
Ciepło użyteczne	kW	832
Energia elektryczna netto	kW	800
Radiacyjne straty ciepła (silnik, generator)	kW	82,58
Strata elektryczna w generatorze	kW	25,59
Strata ciepła w rurociągach	kW	5
Strata wylotowa fizyczna spalin	kW	126,8
Strata ciepła w wymiennikach	kW	2,36

Szczegółowe wyniki modelowania symulacyjnego znajdują się w załączniku 1 do niniejszego opracowania. Punkty w tabeli odpowiadają punktom prezentowanym na schemacie. Dla lepszego zobrazowania wyników modelowanych układów w tabeli 3.6 zastawiono najważniejsze wyniki obliczeń termodynamicznych. Wyniki prezentowane w tabelach 3.5 oraz 3.6 a także na rysunku 3.5

Analiza energetyczna

odpowiadają wynikom dla jednego pracującego silnika. Druga jednostka pracuje w sposób bliźniaczy. Szczegółowe wyniki modelowania wymiennika W2 prezentowane są w Załączniku 2.



Rysunek 3.5 Wykres Sankey'a dla instalacji kogeneracji

Tabela 3.6 Główne wyniki modelowania układu kogeneracji.

Parametr	Jednostka	Wartość
Strumień paliwa gazowego	kg/s	0,091
Temperatura spalin na wylocie z wymiennika woda-spaliny	°C	120,6
Strumień wody grzewczej	kg/s	9,9
Podziałka rurek w wymienniku W2	mm	23x19,9
Powierzchnia wymiany ciepła wymiennika W2	m ²	19,8
Strumień roztworu Glikolu	kg/s	15,2

Analiza energetyczna

Zamawiający przekazał także dane dotyczące pracy układu w zaniżeniu mocy. Wyniki obliczeń znajdują się w tabeli 3.7, zaś wykres Sankey'a dla układu pracującego w zaniżeniu znajduje się na rysunku 3.6. Wyniki modelowania strat ciepła prezentowane są w tabeli 3.8.

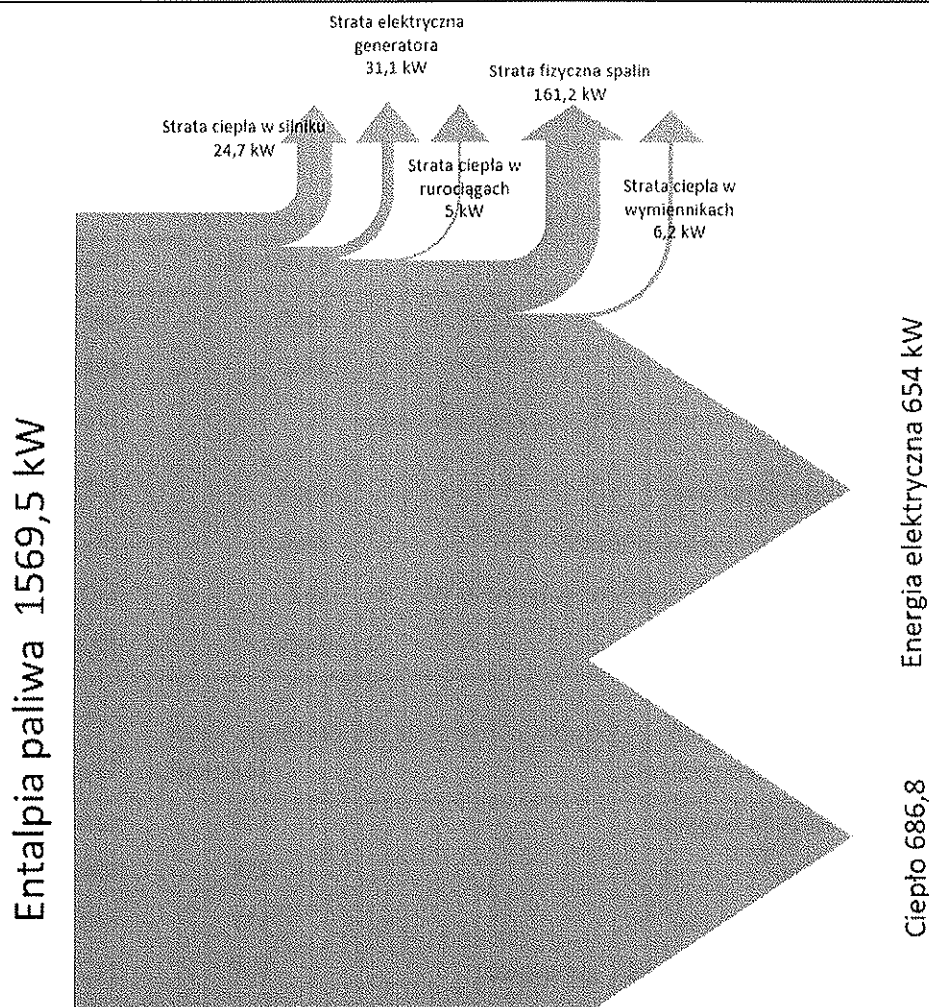
Tabela 3.7 Główne wyniki modelowania układu kogeneracji w zaniżeniu mocy.

Parametr	Jednostka	Wartość
Strumień paliwa gazowego	kg/s	0,076
Moc silnika gazowego	kW	654
Temperatura spalin na wylocie z wymiennika woda-spaliny	°C	170
Strumień wody grzewczej	kg/s	6,75
Podziałka rurek w wymienniku W2	Mm	23x19,9
Powierzchnia wymiany ciepła wymiennika W2	m ²	19,8
Strumień roztworu Glikolu	kg/s	12,1

Tabela 3.8 Wyniki obliczeń strat ciepła w układzie dla zaniżenia mocy.

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna biogazu	kW	1569,5
Ciepło użyteczne	kW	686,8
Energia elektryczna netto	kW	654
Radiacyjne straty ciepła (silnik, generator)	kW	24,7
Strata elektryczna w generatorze	kW	31,1
Strata ciepła w rurociągach	kW	5
Strata wylotowa fizyczna spalin	kW	161,2
Strata ciepła w wymiennikach	kW	6,2

Analiza energetyczna



Rysunek 3.6 Wykres Sankey'a dla instalacji kogeneracji dla zniżenia mocy.

Szczegółowe wyniki obliczeń modelowania symulacyjnego prezentowane są w załączniku 1 do niniejszego raportu.

W uzgodnieniu z zamawiającym przeprowadzono także obliczenia pracy układu w przypadku wyłączonego wymiennika W2. Wyniki obliczeń znajdują się w tabeli 3.9, zaś wykres Sankey'a dla układu pracującego w przypadku wyłączenia wymiennika W2 znajduje się na rysunku 3.7. Wyniki modelowania strat ciepła prezentowane są w tabeli 3.10.

Tabela 3.7 Główne wyniki modelowania układu kogeneracji w przypadku wyłączenia wymiennika W2.

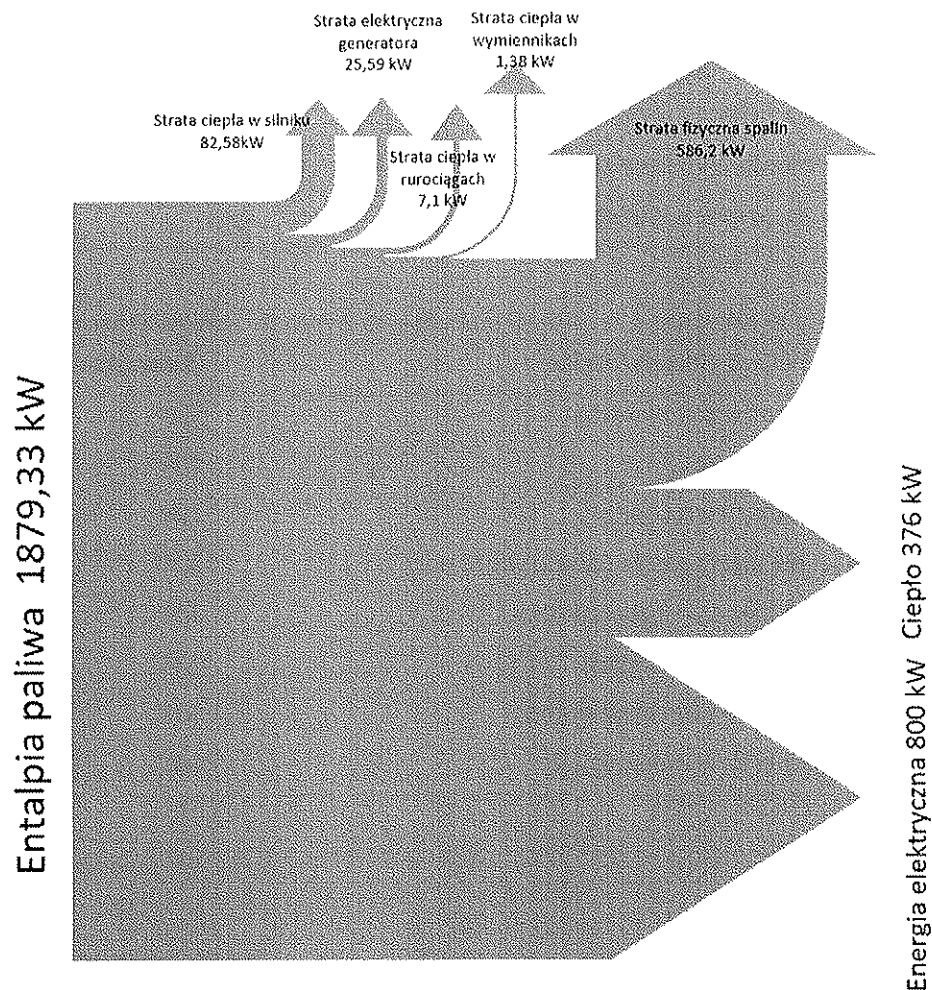
Parametr	Jednostka	Wartość
Strumień paliwa gazowego	kg/s	0,091
Moc silnika gazowego	kW	800

Analiza energetyczna

Temperatura spalin na wylocie z wymiennika woda- spaliny	°C	451
Strumień wody grzewczej	kg/s	9,9
Podziałka rurek w wymienniku W2	Mm	23x19,9
Powierzchnia wymiany ciepła wymiennika W2	m ²	19,8
Strumień roztworu Glikolu	kg/s	15,2

Tabela 3.8 Wyniki obliczeń strat ciepła w układzie dla przypadku wyłączenia wymiennika W2..

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna biogazu	kW	1879,33
Ciepło użyteczne	kW	376
Energia elektryczna netto	kW	800
Radiacyjne straty ciepła (silnik, generator)	kW	82,58
Strata elektryczna w generatorze	kW	25,59
Strata ciepła w rurociągach	kW	7,1
Strata wylotowa fizyczna spalin	kW	586,2
Strata ciepła w wymiennikach	kW	1,86

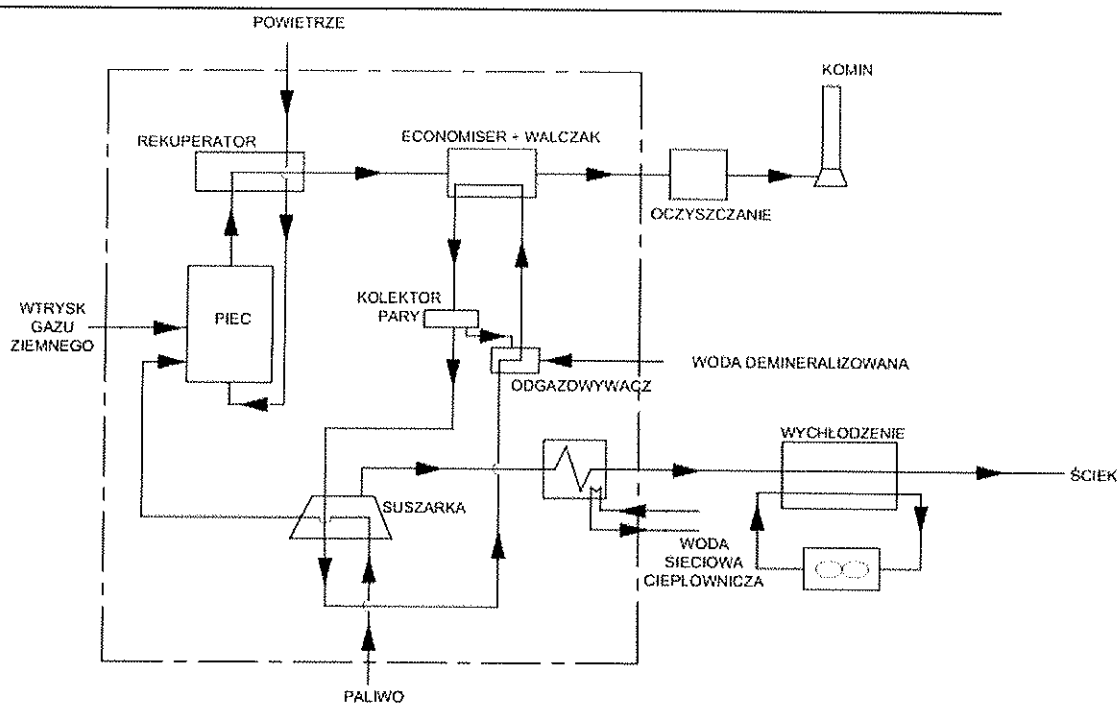


Rysunek 3.7 Wykres Sankey'a dla instalacji kogeneracji dla przypadku wyłączenia wymiennika W2.

3.3.2 Stacja Termicznej Utylizacji Odpadów

W niniejszym rozdziale dokonano obliczeń cieplnych mających na celu charakterystykę najistotniejszych rozchodów i strat ciepła w instalacji STUO. W oparciu o literaturowe dane dotyczące energii chemicznej paliwa oraz o informacje dotyczące instalacji przekazane przez Zamawiającego określono ilościowe straty ciepła podczas konwersji energii zachodzącej w procesie.

Podczas prowadzenia obliczeń bilansowych kluczowym aspektem działania jest określenie odpowiedniej osłony bilansowej instalacji. Dla analizy całego procesu osłona bilansowa przedstawiona jest linią przerywaną na rysunku 3.8 W przedstawionym ujęciu niewyeksponowane są niektóre elementy procesu zachodzące wewnątrz osłony kontrolnej.



Rysunek 3.8 Schemat poglądowy STUO – najważniejsze elementy.

Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie Thermoflex opisane w podrozdziale 3.2. Wyniki obliczeń zostały zwalidowane w oparciu o dokumentację techniczną dostarczoną przez producentów. Wyznaczone wartości zestawiono w tabeli 3.9. Celem zobrazowania wielkości poszczególnych strat i efektów sporządzono wykres Sankey'a (rysunek 3.9).

W przedstawionym ujęciu bilansowym jedynym efektem użytecznym jest ciepło przekazywane do wodnej sieci ciepłowniczej w węźle kondensacji. Jego wartość podyktowana jest chwilowym zapotrzebowaniem na ciepło Zakładu.

Analizowane straty energii przedstawiono poniżej:

- Strata ciepła do otoczenia z pieca – spowodowana jest podwyższoną temperaturą ścian urządzenia podczas nominalnej pracy.
- Strata ciepła w rurociągach – strata ciepła do otoczenia na powierzchni rurociągów wewnątrz osłony kontrolnej. Dzięki poprawnej izolacji straty te mają znikomy wpływ na sprawność cieplną całej instalacji. Metodyka obliczeń tych strat znajduje się w podrozdziale 3.5. Przybliżone wartości strat na poszczególnych rurociągach omówiono w podrozdziale 3.5.
- Strata ciepła w wymiennikach – związana z niedoskonałą izolacją dużych urządzeń wymiany ciepła tj. suszarka, rekuperator, economizer.
- Strata wylotowa fizyczna spalin – spowodowana jest podwyższoną temperaturą spalin kierowanych do modułu oczyszczania spalin. Jej całkowite ograniczenie jest niemożliwe z powodów technologicznych.

Analiza energetyczna

- Strata wylotowa chemiczna spalin – spowodowana jest obecnością w spalinach substancji palnych jak np. tlenek węgla.
- Strata wylotowa w popiele – spowodowana podwyższoną temperaturą popiołu dennego oraz popiołu zawartego w spalinach. W obliczeniach strat w popiele przyjęto ciepło właściwe popiołu na poziomie 0,8 kJ/kgK.
- Strata ciepła w węźle kondensacji – strata związana z koniecznością skondensowania oraz wychłodzenia zawilgoconego gazu odparowywanego w suszarce, a także części strumienia pary, który w danym momencie pracy instalacji nie może być użytecznie wykorzystana. Ciepło odbierane jest przez zewnętrzny obieg chłodzenia.
- Strata wylotowa ścieków – związana z podwyższoną w stosunku do warunków odniesienia temperaturą wyprowadzanych do kanalizacji ścieków.

Tabela 3.9 Wyniki analizy strat ciepła w instalacji.

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna osadów	kW	3250,6
Energia chemiczna gazu ziemnego	kW	1804,9
Energia odzyskana z kondensacji oparów z suszarki	kW	1510
Ciepło przekazywane do sieci ciepłowniczej	kW	452,4
Strata ciepła do otoczenia z pieca	kW	2685,1
Strata ciepła do otoczenia w tym w rurociągach oraz wymiennikach	kW	88,9
Strata wylotowa fizyczna spalin	kW	1230,2
Strata wylotowa w popiele	kW	72,7
Strata wylotowa ścieków	kW	216,8

Szczegółowe wyniki modelowania symulacyjnego znajdują się w załączniku 1 do niniejszego opracowania. Punkty w tabeli odpowiadają punktom prezentowanym na schemacie. Dla lepszego zobrazowania wyników modelowanych układu w tabeli 3.10 zastawiono najważniejsze wyniki obliczeń termodynamicznych.

Tabela 3.10 Główne wyniki modelowania układu STUO.

Parametr	Jednostka	Wartość
Strumień gazu ziemnego	kg/s	0,0387
Temperatura spalin na wylocie ekonomizera	°C	199,5
Strumień osadu ściekowego na osłonie bilansowej	kg/s	2,5

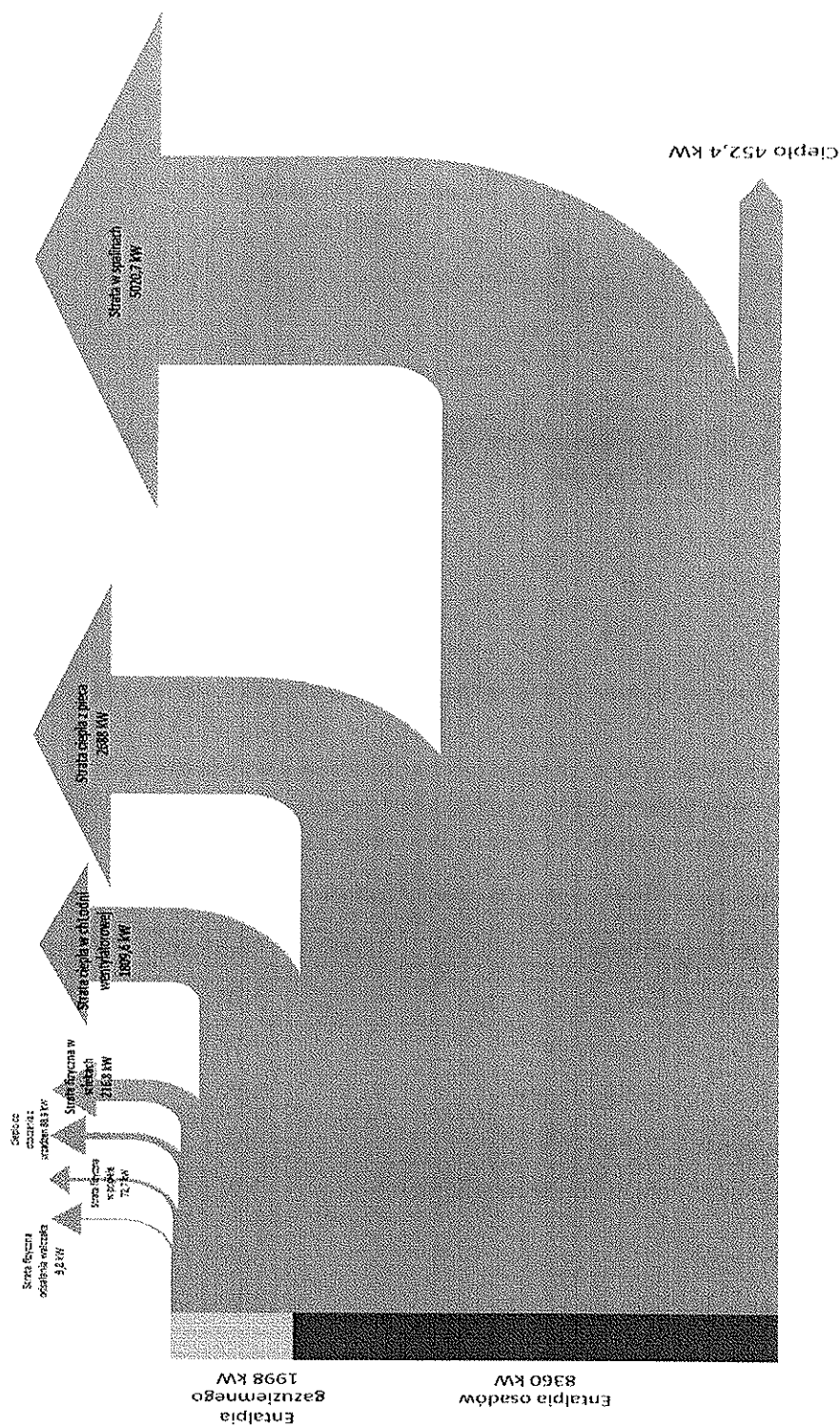
Analiza energetyczna

Strumień osadu ściekowego na wlocie do pieca fluidalnego	kg/s	1,9
Strumień powietrza do spalania	kg/s	3,8
Strumień wody w obiegu chłodniczym	kg	18,55
Strumień ścieków	kg/s	0,93
Strumień pary do odgazowacza	kg/s	0,13

Ze względu na wykroplenie części oparów z suszarki oraz produkowanej pary w układzie podgrzewania wody ciepłowniczej Straty ciepła oraz wykres Sankey'a sporządzono dodatkowo przy założeniu do obliczeń entalpi ciepła spalania zamiast wartości opałowej paliw. Wyniki obliczeń oraz wykres Sankey'a prezentowane są w tabeli 3.11 oraz na rysunku 3.10

Tabela 3.11 Wyniki analizy strat ciepła w instalacji STUO dla obliczeń w oparciu o ciepło spalania HHV.

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna osadów	kW	8360
Energia chemiczna gazu ziemnego	kW	1998
Ciepło przekazywane do sieci ciepłowniczej	kW	452,4
Strata ciepła do otoczenia z pieca	kW	2688,1
Strata ciepła do otoczenia w tym w rurociągach oraz wymiennikach	kW	88,9
Strata wylotowa spalin	kW	5020,7
Strata wylotowa w popiele	kW	72,7
Strata wylotowa ścieków	kW	216,8

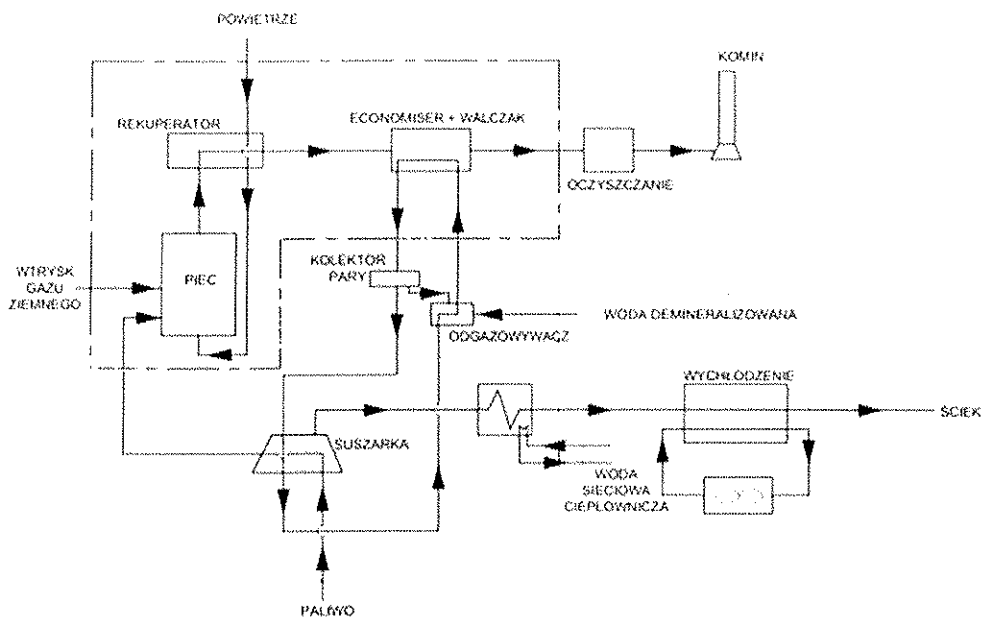


Rysunek 3.10 Wykres Sankey'a dla instalacji STUO w oparciu ciepło spalania HHV.

W celu lepszego zobrazowania pracy układu STUO oraz zbilansowania tego układu bilanse energii oraz bilans materiałowy wyznaczono dla dodatkowej

Analiza energetyczna

osłony bilansowej. Schemat z zaznaczoną osłoną prezentowany jest na rysunku 3.11.



Rysunek 3.11 Schemat poglądowy STUO – najważniejsze elementy dla nowej osłony bilansowej.

Dla elementów znajdujących się w osłonie bilansowej wyznaczono straty ciepła oraz wykonano wykres Sankey'a. Obliczenia oparto o wartość opałową. Wyniki zaprezentowano w tabeli 3.12 oraz na rysunku 3.12

Tabela 3.12 Wyniki analizy strat ciepła w instalacji STUO dla obliczeń w oparciu nową osłonę bilansową

Wsad/Efekt użyteczny/Strata	Jednostka	Wartość
Energia chemiczna osadów	kW	5053
Energia chemiczna gazu ziemnego	kW	1804
Ciepło przekazane do produkcji pary	kW	2788
Strata ciepła w piecu	kW	2688
Strata ciepła do otoczenia w tym w rurociągach oraz wymiennikach	kW	71,2
Strata wylotowa spalin	kW	1230
Strata wylotowa w popiele	kW	72,7