

MIDDLE POMERANIAN SCIENTIFIC SOCIETY
OF THE ENVIRONMENT PROTECTION
ŚRODKOWO-POMORSKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE
OCHRONY ŚRODOWISKA

Annual Set
The Environment Protection
Volume 16. Year 2014
Part 3

Rocznik
Ochrona Środowiska
Tom 16. Rok 2014
Część 3

Koszalin, Poland 2014



MIDDLE POMERANIAN SCIENTIFIC SOCIETY
OF THE ENVIRONMENT PROTECTION

Monograph No. 2

Tadeusz Piecuch
Janusz Dąbrowski

Conceptual and Technological Project of Municipal Waste Thermal Processing Plant for the Middle Pomeranian Region

Koszalin 2014

ISSN 1506-218X

Scientific Committee – Editorial – Programming Board

Waldemar Borjaniec
(Scientific Secretary),
Tomasz Dąbrowski,
Włodzimierz Deluga,
Józef Domagała,
Zdzisław Harabin,
Jan Hehlmann,
Alexander V. Ivanov (Russia),
Renata Krzyżyńska,
Karl E. Lorber (Austria),
Lesław Macieik
(vice Secretary),

Hanna Obarska-Pempkowiak,
Janusz Pempkowiak,
Tadeusz Piecuch
(Chairman),
Jacek Piekarski
(vice Chairman),
Małgorzata Pilecka-Rapacz,
Wojciech Piotrowski
(vice Chairman),
Czesława Rosik-Dulewska,
Aleksander Szkarowski (Russia)
(vice Chairman),
Kazimierz Szymański.

Editor in Chief – Scientific Editor

Tadeusz Piecuch

Technical Editors

Janusz Dąbrowski, Tomasz Dąbrowski

Website Editor <http://ros.edu.pl>

Zdzisław Knap

Reviewers

Rafał Miłaszewski, Białystok University of Technology
University of Ecology and Management, Warsaw
Grzegorz Wielgosiński, Lodz University of Technology

Publication of Middle Pomeranian Scientific Society
of The Environment Protection
Koszalin phone +48 94 3410542, +48 94 3478524, or 609800439

Edition 500 copies, 6,1 publishing sheets, format B-5
Printed by: INTRO-DRUK, Koszalin



ŚRODKOWO-POMORSKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE
OCHRONY ŚRODOWISKA

Monografia nr 2

Tadeusz Piecuch
Janusz Dąbrowski

**Projekt koncepcyjno-technologiczny
Zakładu Termicznego
Przekształcania Odpadów
Komunalnych dla Regionu
Środkowopomorskiego**

Koszalin 2014

Komitet Naukowy – Wydawniczy – Rada Programowa

Waldemar Borjaniec
(Sekretarz Naukowy),
Tomasz Dąbrowski,
Włodzimierz Deluga,
Józef Domagała,
Zdzisław Harabin,
Jan Hehlmann,
Alexander V. Ivanov (Rosja),
Renata Krzyżyńska,
Karl E. Lorber (Austria),
Lesław Macieik
(z-ca Sekretarza),

Hanna Obarska-Pempkowiak,
Janusz Pempkowiak,
Tadeusz Piecuch
(Przewodniczący),
Jacek Piekarski
(z-ca Przewodniczącego),
Małgorzata Pilecka-Rapacz,
Wojciech Piotrowski
(z-ca Przewodniczącego),
Czesława Rosik-Dulewska,
Aleksander Szkarowski (Rosja),
(z-ca Przewodniczącego),
Kazimierz Szymański.

Redaktor Naczelny – Redaktor Naukowy

Tadeusz Piecuch

Redaktor Techniczny

Janusz Dąbrowski, Tomasz Dąbrowski

Redaktor strony internetowej <http://ros.edu.pl>

Zdzisław Knap

Recenzenci

Rafał Miłaszewski, *Politechnika Białostocka*
Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa
Grzegorz Wielgosiński, *Politechnika Łódzka*

Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa
Naukowego Ochrony Środowiska
Koszalin tel. +48 94 3410542, +48 94 3478524 lub tel. kom. 609800439

Nakład 500 egzemplarzy, ark. wyd. 6,1, format B-5
Druk: INTRO-DRUK, Koszalin

Table of Contents

1. Introduction	7
2. Basic technical and technological assumptions for MWTPP for Middle Pomeranian region	9
2.1. System of waste management	9
2.2. Selection of location	17
2.3. Basic technical assumptions	22
2.3.1. Energy analysis of municipal waste	24
2.3.2. Mass and energy balance	30
2.4. Basic technological assumptions	36
3. Proposal of MWTPP technological system for Middle Pomeranian Region	43
3.1. Node of waste pre-treatment	43
3.2. Installation for waste incineration	45
3.3. System for recovery and pressing of thermal energy	52
3.4. Installation for flue gases treatment	59
3.5. Installation for post-process wastewater treatment	72
3.6. Post-process waste management	74
3.6.1. Installation for slag revalorization	75
3.6.2. Installation for solidification and chemical stabilization of post-process waste	77
3.7. Installation for monitoring of pollutants emission	82
4. Buildings infrastructure	89
5. Economical assessment of MWTPP for Middle Pomeranian Region	99
5.1. Investment expenditure	100
5.2. Operating costs	109
5.3. Financial effects	119
6. Summary and conclusions	122
References	123

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Podstawowe założenia techniczne i technologiczne	
ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego	9
2.1. System gospodarki odpadami	9
2.2. Wybór lokalizacji	17
2.3. Podstawowe założenia techniczne	22
2.3.1. Analiza energetyczna odpadów komunalnych	24
2.3.2. Bilans masowy i energetyczny	30
2.4. Podstawowe założenia technologiczne	36
3. Propozycja układu technologicznego	
ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego	43
3.1. Węzeł przygotowania odpadów	43
3.2. Instalacja spalania odpadów	45
3.3. System odzysku i przetwarzania energii	52
3.4. Instalacja oczyszczania spalin	59
3.5. Instalacja oczyszczania ścieków poprocesowych	72
3.6. Zagospodarowanie odpadów poprocesowych	74
3.6.1. Instalacja waloryzacji żużli	75
3.6.2. Instalacja zestalania i chemicznej stabilizacji odpadów poprocesowych	77
3.7. Instalacje monitoringu emisji zanieczyszczeń	82
4. Infrastruktura budowlana	89
5. Ocena ekonomiczno-finansowa	
ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego	99
5.1. Nakłady inwestycyjne	100
5.2. Koszty eksploatacyjne	109
5.3. Wpływy finansowe	119
6. Podsumowanie i wnioski	122
Literatura	123

1. Wstęp

Zgodnie z przepisami ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku [133], termiczne przekształcanie odpadów prowadzi się wyłącznie w spalarniach lub współspalarniach odpadów. Spalarnie powinny być projektowane, budowane, wyposażane i użytkowane w sposób zapewniający osiągnięcie takiego poziomu termicznego przekształcenia, przy którym ilość i szkodliwość emisji i odpadów powstających wskutek tego procesu, byłaby jak najmniejsza.

Instalacje termicznego przekształcania odpadów, dla których wymagane jest pozwolenie zintegrowane, muszą spełniać wymagania opisane w dokumentach dotyczących najlepszych dostępnych technik BAT (Best Available Techniques) opracowanych w Europejskim Centrum BAT w Sewilli oraz w Krajowym Centrum BAT, jakie powstało w Ministerstwie Środowiska. W chwili obecnej istnieje dokument Europejskiego Centrum BAT w Sewilli zatytułowany „Draft Reference Document in Best Available Techniques for Waste Incineration” wydany w maju 2003 roku. Procedura ta obejmuje udział społeczeństwa [79].

Obecnie na terenie Polski (wrzesień 2014), budowanych jest sześć dużych zakładów termicznego przekształcania odpadów (Poznań, Szczecin, Kraków, Białystok, Konin i Bydgoszcz), o łącznej mocy przerobowej około 1 mln Mg [59]. System gospodarki odpadami, którego elementami będą wspomniane spalarnie reguluje, obowiązująca od 1 lipca 2013 roku tzw. ustawa śmieciowa, przekazująca gminom odpowiedzialność za odpady komunalne.

Nadal brak jest istniejącej instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych na terenie Regionu Środkowopomorskiego, pomimo podpisanego dnia 24.06.2010 r. porozumienia międzygminnego i inwestorów prywatnych w zakresie nawiązania współpracy dot. Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów dla Miasta i Gmin Pomorza Środkowego w Koszalinie. Spalarnia odpadów w Koszalinie jako planowana instalacja regionalna powinna obsługiwać region koszaliński i szczecinecki w zakresie przyjmowania i przetwarzania uzyskanych z mechanicznego przetwarzania odpadów komunalnych [138].

W Katedrze Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów, Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej od wielu lat prowadzone są prace badawcze i studialno-projektowe w problematyce termicznego przekształcania odpadów [12–14, 73–77]. Prowadzone w Katedrze prace mogą stanowić przykładową bazę projektu technicznego możliwości budowy takiego zakładu w Regionie Środkowopomorskim.

W niniejszej monografii przedstawiona została wstępna analiza możliwości budowy takiej spalarni w oparciu o ilości powstałych w koszalińskim regionie odpadów komunalnych z konkretną lokalizacją takiego zakładu na terenie gminy i oceną techniczną a następnie ekonomiczno-finansową ewentualnego przedsięwzięcia.

2. Podstawowe założenia techniczne i technologiczne ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego

2.1. System gospodarki odpadami

Wg Głównego Urzędu Statystycznego [161], region koszaliński (środkowopomorski) obejmuje 25 gmin, w skład których wchodzi: Będzino, Białogard (M), Białogard (W), Biesiekierz, Bobolice, Darłowo (M), Darłowo (W), Dygowo, Gościno, Karlino, Kołobrzeg (M), Kołobrzeg (W), Koszalin, Malechowo, Manowo, Mielno, Polanów, Postomino, Sianów, Siemyśl, Sławno (M), Sławno (W), Świeszyno, Tychowo, Ustronie Morskie. Na rysunku 1 przedstawiono podział administracyjny regionu koszalińskiego. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2012 roku w regionie tym zamieszkiwało 361 931 mieszkańców, z czego większa część zasiedlała obszary miejskie (w samym mieście Koszalinie – 109 343 mieszkańców). Natomiast „Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014” (KPGO) [132], informuje, że na terenie regionu istnieje jedno porozumienie międzygminne w zakresie gospodarki odpadami; jest to „Związek Gmin Pomorza Środkowego”, do którego należy 7 gmin: Będzino, Biesiekierz, Koszalin, Manowo, Mielno, Sianów i Świeszyno (stan na dzień 30.06.2011).



Rys. 1. Podział administracyjny regionu koszalińskiego [138,161]

Fig. 1. Administrative divisions of Koszalin region [138,161]

Według danych GUS w 2010 roku zebrano w regionie koszalińskim ponad 100 tys. Mg odpadów komunalnych, z czego około 88% było składowanych na składowiskach, co stanowi ponad 88 tys. Mg [161]. W wyniku rozkładu odpadów komunalnych ulegających biodegradacji na składowiskach odpadów powstaje gaz składowiskowy, w skład którego wchodzi głównie metan. Sposoby neutralizacji szkodliwego działania metanu lub jego energetycznego wykorzystania przedstawiono w pracach M. Pawłowskiej i innych [70,71].

Potwierdzenie ilości 100 tys. Mg odpadów komunalnych zebranych w regionie koszalińskim można znaleźć także w „Planie Gospodarki Odpadami dla Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2012–2017 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2018–2023” (PGOWZ), gdzie w oparciu o wskaźniki wytwarzania odpadów zawarte w KPGO 2014 [82,132] obliczono ilość wytworzonych w regionie odpadów komunalnych w 2010 r., która wynosi ponad 114 tys. Mg [138]. Szczegółowe wartości masy odpadów komunalnych wytworzonych i zebranych w regionie środkowopomorskim pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka odpadów komunalnych regionu koszalińskiego wg KPGO 2014 [132] i GUS [161]

Table 1. Characteristics of municipal waste in Koszalin Region according to National Waste Management Plan 2014 [132] and Central Statistical Office [161]

Odpady komunalne	
(obliczenia wg KPGO 2014)	
Wytworzone ogółem w 2010 r.	114 162,3 Mg
(wg GUS)	
Zebrane ogółem w 2010 r.	100 928,8 Mg
Składowane w 2010 r. (ok. 88% zebranych)	88 817,3 Mg

Zgodnie z analizą przedstawioną przez uaktualniony PGOWZ, prognozuje się, że w 2017 roku w obrębie regionu środkowopomorskiego zostanie wytworzonych około 123 296 Mg odpadów komunalnych [138]. Jednakże, po uwzględnieniu założonego poziomu selektywnego zbierania odpadów u źródła (na poziomie 20,5% w przypadku terenów wiejskich

oraz 23,2% – tereny miejskie), około 77,5% wytworzonych odpadów komunalnych, tj. ok. 95 579 Mg powinno zostać przetworzonych w instalacji do termicznego przetwarzania odpadów. Założona wydajność jest optymistyczna a nawet zawyżona (jak słusznie stwierdził w swojej recenzji prof. Wielgosiński), gdyż gwarancje tak dużych dostaw odpadów komunalnych do termicznego przekształcenia w tej spalarni będą trudne do wyegzekwowania od dostawców nawet w przypadku stosownych umów zatwierdzanych z koniecznym wyprzedzeniem.

Jak podaje PGOWZ preferowaną metodą zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych w przypadku aglomeracji obejmujących powyżej 300 tys. mieszkańców, jest termiczne przekształcanie odpadów komunalnych [138]. Ponieważ region koszaliński zamieszkuje ponad 350 tys. mieszkańców, budowa instalacji termicznego przekształcania odpadów w tej części województwa zachodniopomorskiego może się okazać przedsięwzięciem właściwym, pod warunkiem, że zostanie zapewniona właściwa wielkość strumienia zmieszanych odpadów komunalnych, jak również odpadów uzyskanych z mechanicznego przetwarzania.

Wykonawca Studium Wykonalności dla projektu „System gospodarki odpadami oraz budowa zakładu termicznego przekształcania odpadów dla miast i gmin Pomorza Środkowego” określił niezbędny strumień odpadów, który gwarantuje prawidłowe funkcjonowanie proponowanego systemu gospodarki odpadami, poprzez zanalizowanie trzech wariantów obszarów dot. regionu środkowopomorskiego:

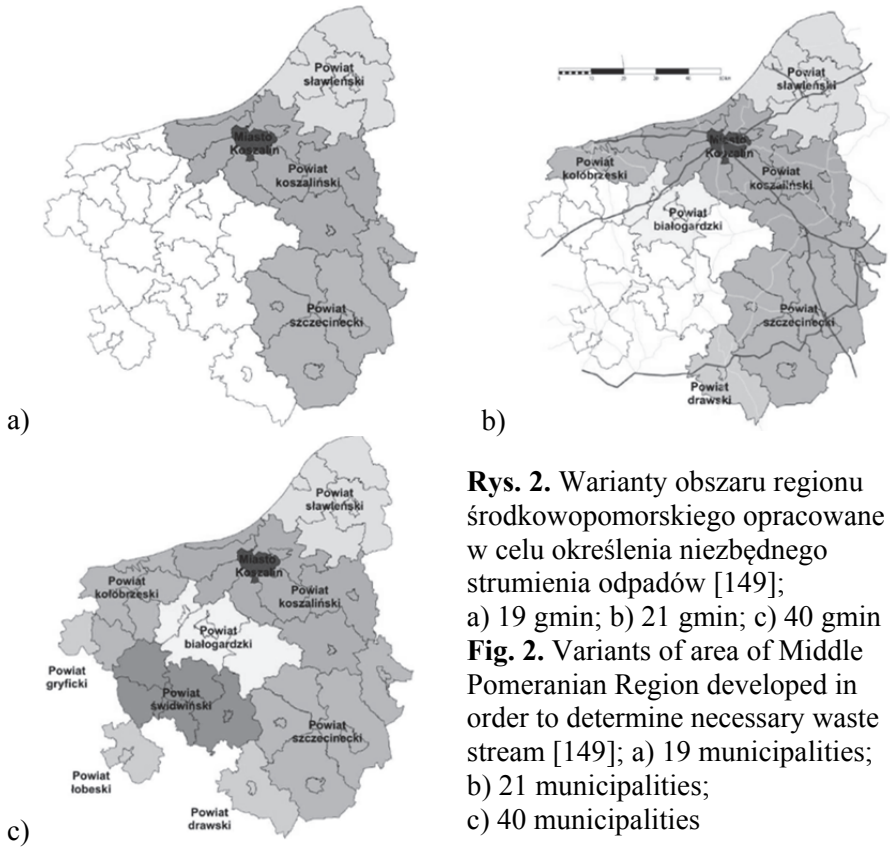
21 gmin – obszar wskazany przez miasto Koszalin,

29 gmin – obszar min. eksploatacyjnego, uzasadniającego budowę instalacji termicznego przekształcania odpadów (wg wykonawcy wspomnianego Studium Wykonalności [149]),

40 gmin – obszar całego Regionu Środkowopomorskiego (wg Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami dla woj. zachodniopomorskiego na lata 2009–2012 [138]).

Mapy powyższych obszarów opracowane przez wykonawcę Studium Wykonalności obrazuje rysunek 2.

W tabeli 2 przedstawiono danego dotyczące strumieni odpadów komunalnych do zagospodarowania, po uwzględnieniu istniejących już instalacji zagospodarowania odpadów.



Rys. 2. Warianty obszaru regionu środkowopomorskiego opracowane w celu określenia niezbędnego strumienia odpadów [149];

a) 19 gmin; b) 21 gmin; c) 40 gmin

Fig. 2. Variants of area of Middle Pomeranian Region developed in order to determine necessary waste stream [149]; a) 19 municipalities; b) 21 municipalities; c) 40 municipalities

Tabela 2. Strumień odpadów komunalnych pozostały do zagospodarowania po uwzględnieniu istniejących instalacji do przerobu odpadów [opracowanie własne na podstawie SW]

Table 2. Stream of municipal waste left for management after taking into account existing installations for waste processing [own study based on Feasibility Study]

Wariant obszaru regionu śródkowopomorskiego	lata	Ilość odpadów komunalnych, Mg					
		2013	2015	2020	2025	2030	2035
obszar 21 gmin		Odpady komunalne niesegregowane					
		43 521	40 876	38 333	40 414	44 327	46 537
		Odpady komunalne kierowane wyłącznie do składowania					
		1 866	1 861	1 827	1 776	1 742	1 701
		Odpady pochodzące z selektywnej zbiórki					
Razem		18 835	23 363	33 445	34 030	33 992	34 495
		64 222	66 101	73 605	76 219	80 061	82 733
		Odpady komunalne niesegregowane					
obszar 29 gmin		53 315	49 371	45 835	48 492	54 344	57 418
		Odpady komunalne kierowane wyłącznie do składowania					
		2 610	2 594	2 541	2 523	2 398	2 379
		Odpady pochodzące z selektywnej zbiórki					
Razem		35 457	42 025	56 439	57 127	56 729	57 370
		91 381	93 990	104 816	108 141	113 471	117 167

Tabela 2. cd.
Table 2. cont.

Wariant obszaru regionu śródkowopomorskiego	lata	Ilość odpadów komunalnych, Mg					
		2013	2015	2020	2025	2030	2035
obszar 40 gmin		Odpady komunalne niesegregowane					
		62 822	58 471	49 731	57 549	64 517	68 178
		Odpady komunalne kierowane wyłącznie do składowania					
		3 086	3 067	3 005	2 983	2 836	2 813
		Odpady pochodzące z selektywnej zbiórki					
		39 955	47 791	69 391	65 697	65 235	65 999
Razem		105 863	109 329	122 127	126 229	132 588	136 990

Analiza ilości wytwarzanych i zbieranych odpadów komunalnych w poszczególnych obszarach, wykazała, że minimalny strumień odpadów komunalnych, który uzasadniałby budowę i eksploatację zakładu termicznego przekształcania odpadów nie jest generowany tylko przez obszar wariantu 21 gmin regionu koszalińskiego. Eksploatacyjnie, minimalny strumień odpadów zapewni obszar 29 gmin, jednakże do instalacji dostarczane muszą być odpady zmieszane, niesegregowane, podczas gdy w przypadku wariantu całego obszaru regionu koszalińskiego (40 gmin), minimum zapewni frakcja wysokoenergetyczna odpadów komunalnych.

Zgodnie z zapisami w załączniku do uchwały Nr XVI/218/12 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 29 czerwca 2012 roku, w regionie koszalińskim planuje się budowę trzech stacji przeładunkowych odpadów komunalnych: na terenie gminy Kołobrzeg o maksymalnej mocy przerobowej 40 000 Mg/a odpadów, na terenie gminy Sianów o maksymalnej mocy przerobowej 90 000 Mg/a oraz w miejscowości Gwiazdowo na terenie gminy Sławno o maksymalnej mocy przerobowej 10 000 Mg/a odpadów [138]. Wśród zaplanowanych instalacji obsługujących region koszaliński widnieje budowa instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Planowaną technologią tej instalacji jest spalanie z odzyskiem energii zmieszanych odpadów komunalnych z regionu koszalińskiego oraz odpadów uzyskanych z mechanicznego przetwarzania (strumień zmieszanych odpadów komunalnych (tzw. frakcja nadsitowa) z regionu koszalińskiego oraz częściowo szczecińskiego). Planowane maksymalne moce przerobowe tej instalacji to wartość około 92 000 Mg/a odpadów.

Analizując Uchwałę Nr XXXI/416/14 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 04 lutego 2014 w sprawie zmiany wspomnianej wcześniej Uchwały dot. Planu Gospodarki Odpadami dla Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2012–2017 (PGOWZ), należy sądzić, że propozycja budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych dla regionu koszalińskiego jest nadal aktualna.

Podstawowym założeniem Studium Wykonalności dla projektu „System gospodarki odpadami oraz budowa zakładu termicznego przekształcania odpadów dla miast i gmin Pomorza Środkowego” (SW) [149] jest stworzenie zakładu przetwarzającego odpady komunalne i produkującego z nich energię elektryczną i ciepłą. Taki system gospodarki od-

padami będzie opierał się przede wszystkim na selektywnym zbieraniu, gromadzeniu oraz wywozie, takich odpadów jak [40]:

- odpady wielkogabarytowe, m.in. sprzęt elektryczny i elektroniczny,
- odpady surowcowe m.in. papier, tworzywa sztuczne, szkło białe i kolorowe, metale),
- odpady ulegające biodegradacji,
- odpady typu poremontowego,
- odpady niebezpieczne ze strumienia odpadów komunalnych.

Do ZTPOK w Koszalinie będą trafiać pozostałe odpady zmieszane wraz z odpadami balastowanymi o wysokiej wartości energetycznej, które powstały po procesach odzysku na istniejących instalacjach.

Prawidłowa praca ZTPOK w Koszalinie możliwa będzie dzięki pozyskaniu frakcji wysokoenergetycznej odpadów, którą można uzyskać poprzez rozbudowę systemu gospodarki odpadami w całym regionie środkowopomorskim. System ten powinien zaczynać się od przyjmowania oraz transportu odpadów od mieszkańców regionu, następnie odpady te powinno się poddawać selekcji i odzysku frakcji wysokoenergetycznej na terenie Stacji Przeladunkowej Odpadów Komunalnych (SPOK) i istniejących zakładów [149]. Ostatecznie frakcja ta zostanie transportowana do ZTPOK w Koszalinie, w celu unieszkodliwiania.

Autorzy SW zakładają, że pierwszym etapem wprowadzenia systemu SPOK, powinna być budowa ZTPOK w Koszalinie, wraz z zakupem samochodów dla transportu frakcji wysokoenergetycznej oraz sita mobilnego, które posłuży do tymczasowego odzysku tej frakcji z odpadów, które będą przekazywane do spalania w zakładzie termicznego przekształcania. Dzięki situ mobilnemu będzie można wydzielić frakcje wysokoenergetyczne z odpadów niesegregowanych do momentu przygotowania i uruchomienia SPOK. Do chwili uruchomienia wszystkich stacji przeladunkowych, sito mobilne będzie odgrywało rolę tymczasową. Drugi etap obejmie dalszy rozwój i modernizację systemu gospodarki odpadami w regionie środkowo-pomorskim, tj.: stacji przeladunkowych, które będą posiadały funkcję selektywnego wydzielenia frakcji wysokoenergetycznej oraz instalacji dodatkowych do przerobu odpadów wielkogabarytowych, budowlanych i magazynu odpadów niebezpiecznych [149].

Planowanym, ostatecznym etapem inwestycyjnym jest budowa stacji przeładunkowych odpadów komunalnych SPOK w miejscowościach: Jeziorki, Sianów oraz Rymań, a także rozbudowa zakładu w Wardyniu Górnym o linię sortowniczą odpadów zmieszanych [149].

2.2. Wybór lokalizacji

Aby ustalić wybór potencjalnej lokalizacji przedmiotowej inwestycji, należy brać pod uwagę następujące uwarunkowania:

- techniczno-prawne,
- ekologiczne,
- społeczno-polityczne,
- technologiczne samej instalacji.

Dlatego, aby dokonać takiego wyboru należy brać pod uwagę, m.in. następujące kryteria identyczne dla każdej potencjalnej lokalizacji pod projektowaną inwestycję:

- wymagana wielkość powierzchni i warunki brzegowe inwestycji,
- analiza charakterystyki terenu,
- analiza obecnych szlaków komunikacyjnych,
- dostępność lokalizacji dla dostawców odpadów,
- analiza dostępności sieci energetycznej i ciepłowniczej,
- społeczny odbiór inwestycji,
- analiza inwestycji pod względem ekologicznym i archeologicznym,
- konsekwencje środowiskowe wynikające z poziomu wody gruntowej.

Wymagana wielkość powierzchni analizowanego zakładu powinna zapewnić prawidłowe oraz swobodne posadowienie infrastruktury budowlanej i technicznej, dla której przepustowość docelowo określa się na około 90 tys. Mg/a.

Analizując potencjalną lokalizację inwestycji należy brać pod uwagę jej odległość od terenów zamieszkałych, przemysłowych, wypoczynkowych, drogowych i wodnych szlaków komunikacyjnych, zbiorników wodnych, ujęć wody i ich stref ochronnych, lotnisk, infrastruktury kolejowej. Np. rozpatrywana lokalizacja ZTPOK powinna znajdować się

w odległości nie mniejszej niż 200 m od granicy najbliższej zabudowy mieszkalnej.

Lokalizacja przedmiotowej inwestycji nie może być sprzeczna z przeznaczeniem, jakim określona jest w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (na podstawie przyjętego lub będącego na etapie opracowania). Należy uwzględniać zapisy jakie znajdują się w Studium Uwarunkowań i Zagospodarowania Przestrzennego oraz obecne użytkowanie terenu i przyszłe plany jego zagospodarowania.

Dodatkowo należy określić stan nawierzchni dróg potencjalnie przeznaczonych do transportu odpadów oraz aktualne i prognozowane związane z tym natężenie ruchu samochodowego, dostępność zaproponowanych lokalizacji, potrzebę modernizacji bądź rozwoju istniejących szlaków komunikacyjnych.

Analizując dostępność sieci energetycznej i sieci ciepłowniczej należy uwzględnić współpracę ze źródłami ciepła wraz z analizą skutków finansowych przystosowania systemu ciepłowniczego do współpracy z nowym źródłem.

Kryteria społeczne i ekologiczne to przede wszystkim analiza społecznego odbioru inwestycji (akceptacja społeczna, konflikty społeczne), a także sąsiedztwo obiektów o statusie dziedzictwa naturalnego i kulturowego, występowanie chronionych gatunków flory i fauny, bądź obszarów Natura 2000.

W pierwotnej wersji autorzy SW przyjęli 5 potencjalnych rodzajów lokalizacji pod budowę ZTPOK tj.:

- teren Zakładu Odzysku Odpadów w miejscowości Sianów,
- teren ciepłowni FUB przy ul. Słowiańskiej w Koszalinie,
- teren ciepłowni DPM, przy ul. Mieszka I w Koszalinie,
- teren położony w „Strefie Zorganizowanej Działalności Inwestycyjnej” w Koszalinie,
- teren w okolicy ul. Lechickiej w Koszalinie w „Specjalnej Strefie Ekonomicznej”.

Jednak z uwagi na bardzo dużą ilość protestów dotyczących lokalizacji ZTPOK (pod obywatelskim projektem mieszkańców Koszalina, którzy nie chcą w mieście spalarni odpadów, podpisało się 2 500 osób),

ostatecznie zaproponowano dwie lokalizacje dla zakładu w Koszalinie i tylko te będą brane pod uwagę. Są to następujące lokalizacje [149]:

1. Działka nr 23/13 przy ul. Słowiańskiej,
2. Działka przy ulicy H. Cegielskiego (Specjalna Strefa Ekonomiczna).

Działka nr 23/13 przy ul. Słowiańskiej to lokalizacja o powierzchni ok. 3,5 ha. Obecnie działka ta jest użytkowana przez MEC w Koszalinie. Najbliższa zabudowa mieszkaniowa zlokalizowana jest na północ w odległości około 0,35–0,40 km od planowanej lokalizacji instalacji ZTPOK. Z uwagi na to, że lokalizacja mieści się na terenie funkcjonującej ciepłowni FUB, na wyżej wymienionym terenie działki, dostępne są wszystkie media, tj. sieć wodno-kanalizacyjna, gazowa, energetyczna. Dzięki temu, iż działka inwestycyjna wyposażona jest również w magistralę ciepłowniczą, istnieje możliwość bezpośredniego podłączenia zakładu do systemu ciepłowniczego miasta. Teren inwestycyjny to rejon ul. Słowiańskiej, Połczyńskiej i Lechickiej, dlatego też posiada on dobre rozwiązania komunikacyjne.

Ostatecznie, działka przy ul. Słowackiego charakteryzuje się następującymi cechami:

- bezpośredni dostęp do sieci ciepłowniczej,
- zgodność z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, ze Studium Uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Koszalina,
- pełna infrastruktura techniczna działki.

Drugą lokalizacją rozpatrywaną pod budowę ZTPOK jest działka przy ulicy H. Cegielskiego (Specjalna Strefa Ekonomiczna), którą jest teren niezabudowany, znajdujący się na obrzeżach miasta o powierzchni około 7,0 ha. Lokalizacja terenu przy ul. H. Cegielskiego jest lokalizacją przeznaczoną dla strefy przemysłowej, posiada więc dobre rozwiązania komunikacyjne.

Lokalizacja ta charakteryzuje się następującymi cechami:

- teren produkcyjny, magazynowy, niegraniczący z zabudową mieszkalną,
- dostępność drogi dojazdowej dla dowozu odpadów,

- w pobliżu znajduje się stacja transformatorowa, co bezpośrednio wiąże się z możliwością sprzedaży energii elektrycznej.

Znalezienie odpowiedniego miejsca dla tego typu inwestycji jest procesem trudnym i długotrwałym, gdyż często dochodzi do wielu konfliktów społecznych, które muszą prowadzić do rozwiązań kompromisowych. Dlatego też, należy rozważyć wszystkie za i przeciw, np. opłacalność budowy na terenie jeszcze niezabudowanym, takim jak ul. H. Cegielskiego, czy zmodernizowanie już istniejącej infrastruktury na ul. Słowiańskiej (MEC). Znalezienie takiego rozwiązania wiąże się z analizami techniczno-ekonomicznymi, które określą sposób wybrania najkorzystniejszego wariantu.

W przedmiotowej pracy, przez jej autorów przyjęta została lokalizacja na ul. H. Cegielskiego (rysunek 3 i 4), gdzie zachodzi możliwość budowy całego ZTPOK wraz z obiektami towarzyszącymi (instalacjami). Ponieważ jest to teren produkcyjny, zaletą dodatkową jest to, iż w pobliżu nie znajdują się zabudowy mieszkalne, co daje dodatkowy atut w porównaniu z lokalizacją przy ul. Słowiańskiej, gdzie dużym zagrożeniem jest występowanie braku akceptacji ze strony społeczeństwa, gdyż zabudowa mieszkalna znajduje się w odległości około 350–400 m.

Ulokowanie ZTPOK w tym miejscu byłoby najlepszym rozwiązaniem pod względem dowozu odpadów. Dostępność drogi dojazdowej i jej usytuowanie, powoduje, że transport odpadów do miejsca ich termicznego przekształcania byłby dużo mniej uciążliwy dla środowiska.

Bardzo istotnym czynnikiem, z technicznego punktu widzenia, jest wielkość wybranego terenu pod względem możliwości lokalizacji zakładu termicznego przekształcania odpadów wraz z możliwością rozplanowania infrastruktury budowlanej i technicznej na terenie działki, koniecznej do realizacji i eksploatacji przedsięwzięcia oraz jej podłączenia i możliwości tymczasowego magazynowania na terenie zakładu odpadów poprocesowych.

Nie mniej jednak, istniejąca zabudowa przemysłowa przy ul. Słowiańskiej musiałaby być gruntownie zmodernizowana, częściowo rozebrana itd., a to też znaczne koszty i uciążliwe roboty przy rozbiórce i adaptacji – często trudniejsze od budowy od początku na nowym terenie.



Rys. 3. Przykładowa lokalizacja dla budowy ZTPOK przy ul. H. Cegielskiego w Koszalinie (opracowanie własne)

Fig. 3. Exemplary location of Municipal Waste Thermal Processing Plant (MWTPP) at H. Cegielski street in Koszalin [own study]



Rys. 4. Aktualny widok terenu lokalizacji przy ul. H. Cegielskiego w Koszalinie [źródło własne]

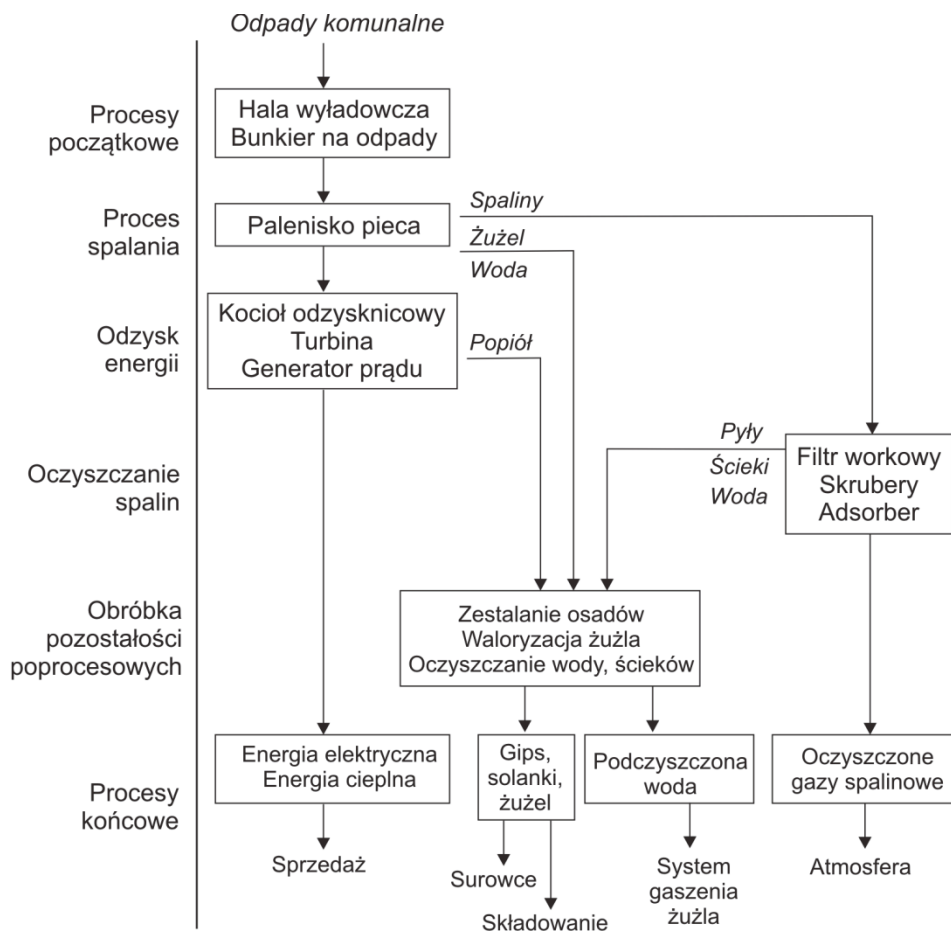
Fig. 4. Current view of location area at H. Cegielski street in Koszalin [own source]

Pod względem ekonomicznym obydwie lokalizacje różnić się będą ceną, np. nabycia działki (w przypadku lokalizacji ZTPOK przy ul. Słowiańskiej koszty nabycia działki będą uwzględniały koszty związane z likwidacją istniejących instalacji i budowli). Ważne też są koszty dostosowania instalacji do standardów sieci energetycznej oraz ciepłowniczej.

2.3. Podstawowe założenia techniczne

W proponowanym Zakładzie Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych dla Regionu Środkowopomorskiego przetwarzane będą odpady komunalne, aby ostatecznie produkować z nich energię elektryczną i ciepłą. Procesy przebiegające w tego rodzaju spalarniach można pogrupować w następujący sposób: wstępne, spalania, odzysku ciepła, oczyszczania gazów spalinowych, obróbki pozostałości poprocesowych, końcowe. Ogólny schemat technologiczny proponowanego układu zilustrowano na rysunku 5.

Analizowany zakład ze względu na specyfikę pracy pieca spalarnianego powinien pracować w systemie ciągłym 24 h/dobę, a minimalny, rzeczywisty czas pracy jednej linii termicznego przekształcania odpadów powinien wynosić około 7800 h/a.



Rys. 5. Przykładowy schemat technologiczny spalarni odpadów komunalnych
Fig. 5. Exemplary technological diagram of municipal waste incineration plant

W dalszej części pracy zostaną szczegółowo opisane wszystkie ww. modułowe procesy. Jednakże, traktując odpady komunalne jako surowiec energetyczny, należy wstępnie przeprowadzić analizę techniczną i energetyczną tych odpadów.

2.3.1. Analiza energetyczna odpadów komunalnych

Zgodnie z analizą techniczną, każda substancja paliwowa składa się z substancji palnej (organicznej) i niepalnej, która jest zbędnym balastem składającym się z wilgoci i substancji mineralnej [45,47]. Suma udziałów substancji organicznej (u), niepalnej – popiołu (a) i wilgoci (w) powinna być równa 1 [150–152,154–156]:

$$u + w + a = 1 \quad (1)$$

Istotnymi parametrami jakości paliw stałych, a więc i odpadów komunalnych są m.in.: zawartość wilgoci (W, %), popiołu (A, %) i części (substancji) lotnych (V, %) – parametr wyznaczany poprzez poddawanie termicznemu rozkładowi badanego surowca energetycznego w umownej temperaturze w atmosferze beztlenowej. Dodatkowo paliwo charakteryzuje się parametrem FC tzw. węgiel związany (ang. fixe carbon) – stała część palna w pozostałości koksowej. Ostatecznie, w odniesieniu do suchej masy paliwa, udział poszczególnych składników wyraża się zależnością:

$$V + FC + A = 100\% \quad (2)$$

Wartości tych wskaźników wyznacza się zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi m.in. oznaczania właściwości paliwowych i wyznaczania poszczególnych wyżej wymienionych parametrów [150–152, 154–156]. Właściwości energetyczne paliw stałych ocenia się przy pomocy dwóch parametrów: wartości opałowej W_d (zwaną też dolną wartością opałową) i ciepła spalania Q_s (zwanego również entalpią spalania lub górną wartością opałową W_g). Różnice obu wielkości wynikają z ich definicji [157].

Wartość opałowa W_d (MJ/kg, kJ/kmol, kJ/m³) jest ilością ciepła jaką uzyskuje się w procesie spalania całkowitego i zupełnego jednostki masy paliwa, przy czym produkty zostają ochłodzone do temperatury substratów, a zawarta w spalinach para wodna nie ulega wykropleniu [157].

Ciepło spalania Q_s (MJ/kg, kJ/kmol, kJ/m³) jest ilością ciepła powstałą w takich samych warunkach jak wartość opałowa powiększona o ciepło całkowitego wykroplenia pary wodnej zawartej w paliwie i powstałej w wyniku utleniania wodoru. Spaliny zostają bowiem ochłodzone do temperatury substratów, a powstała para wodna ulega wykropleniu. Tak więc ciepło spalania jest sumą wartości opałowej i ciepła wykroplenia pary

wodnej [157]. W literaturze specjalistycznej, określając własności surowców energetycznych, podaje się najczęściej wartość opałową W_d .

W Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z 2013 roku w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczenia odpadów do składowania [124] można znaleźć informację, że od 2013 roku nie jest możliwe składowanie odpadów, których ciepło spalania jest wyższe niż 6 MJ/kg suchej masy. Sugeruje to, że odpady komunalne o wyższych wartościach energetycznych powinno się wyłącznie termicznie utylizować. Oczywiście tak niska wartość opałowa w żadnym wypadku nie gwarantuje odpowiednio wysokiej temperatury w komorze pieca a tym bardziej w komorze dopalania (minimum 1100°C), gdzie powinna zachodzić likwidacja polichlorowanych dibenzodiodyn PCDD i dibenzofuranów PCDF.

Bazując na danych pochodzących z KPGO 2014 oraz PGOWZ 2012–2017 dla Województwa Zachodniopomorskiego [132,138] zestawiono oraz przedstawiono w tabeli 3, ilości i skład morfologiczny odpadów komunalnych wytwarzanych w gospodarstwach domowych i w obiektach infrastruktury w przeliczeniu na jednego mieszkańca w ciągu roku.

W Katedrze Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej wszelkie badania dot. termicznej utylizacji odpadów [12–14,73] rozpoczynają się wstępnym określeniem własności energetycznych i analizą techniczną badanych odpadów. Przykładowe wyniki analizy technicznej odpadów komunalnych użytych w badaniach zostały przedstawione w tabeli 4. Z analizy wyszczególnionych w tabeli 4 wartości opałowych poszczególnych frakcji odpadów komunalnych, widać wyraźnie, że najlepszymi własnościami energetycznymi charakteryzują się odpady opakowaniowe z tworzyw sztucznych, jednakże największy udział w morfologii odpadów komunalnych mają frakcje organiczne posiadające jednak bardzo niskie wartości energetyczne. Średnia procentowa wartość wszystkich składników odpadów komunalnych, wyszczególnionych w tabeli 4, równa $W_{d\text{sr}} = 16,3$ MJ/kg, wydaje się stosunkowo wysoka. Jednakże odmiany morfologiczne odpadów komunalnych znacznie różnią się pod względem własności kinetycznych (np. całkowitych czasów spalania), co w znacznym stopniu utrudnia ich termiczne przekształcanie [38]. Biorąc pod uwagę udział poszczególnych frakcji morfologicznych odpadów komunalnych, ich własności energetyczne powinny być policzone jako średnia ważona i taką wartość powinno się przyjmować w dalszych obliczeniach energetycznych.

Tabela 3. Ilość i skład morfologiczny odpadów komunalnych wytwarzanych w regionie środkowopomorskim [82,149,161]

Table 3. Amount and morphological composition of municipal waste generated in the Middle Pomeranian Region [82,149,161]

Lp.	Wydzielone frakcje morfologiczne odpadów komunalnych			Udział u_n , %
1.	Odpady zmieszane przeznaczane do termicznego przekształcenia	Odpady papierowe i tektura		12,83
2.		Opakowania wielomateriałowe – kompozyty		3,91
3.		Tworzywa sztuczne		12,97
4.		Odpady spożywcze (organiczne)		38,63
5.		Odpady tekstylne		3,38
6.		Drewno		0,70
7.		Odpady niebezpieczne, mineralne i inne		27,58
Odpady komunalne:				
	wytworzone	Ilość, Mg/a	Wartość opałowa, MJ/kg	Wilgotność, %
	zebrane	114 162,3	8,32	40,26
	składowane	100 928,8		
	(wg GUS ok. 88% zebranych)	88 817,3		75,83

Tabela 4. Zestawienie zbiorcze wyników analizy technicznej wybranych odpadów wykorzystanych do badań laboratoryjnych z zakresu termicznej utylizacji odpadów [12–14]

Table 4. Compilation of results of technical analysis of selected waste used in laboratory experiments on thermal waste utilisation [12–14]

Lp.	Fracja morfologiczna odpadów komunalnych	zawartość wilgoci W^a , %	zawartość popiołu A^a , %	zawartość części lotnych V^a , %	zawartość stałych części palnych FC , %	Wartość opałowa W_d^a , MJ/kg
1	Odpady papierowe i tektura	25,2	14,2	79,6	6,2	12,4
2	Opakowania wielomateriałowe – kompozyty	8,5	10	68,2	21,8	16,2
3	Tworzywa sztuczne	1,4	5,5	64,9	29,6	30,2
4	Odpady spożywcze (organiczne)	32,4	5,2	58,4	36,4	10,6
5	Odpady tekstylne	0,3	10,7	69,1	20,2	12,8
6	Drewno	19,4	2,1	77,8	20,1	15,4

Przy założeniu odpowiednich procentowych udziałów odpadów komunalnych w poszczególnych frakcjach morfologicznych (Tabela 3) i dysponując określonymi wartościami opałowymi tych frakcji wyliczono ogólną wartość własności energetycznych odpadów komunalnych regionu koszalińskiego według równania:

$$W_{dc} = \sum_1^n (u_n \cdot W_{dn}) \quad (3)$$

gdzie:

W_{dc} – całkowita wartość opałowa dotycząca odpadów zmieszanych przeznaczonych do termicznego przekształcenia, np. W_d ,
 u_n – udział odpadów komunalnych w poszczególnych frakcjach morfologicznych,
 W_{dn} – wartość opałowa odpadów komunalnych w poszczególnych frakcjach morfologicznych.

$$W_{dc} = u_1 \cdot W_{d2} + u_2 \cdot W_{d3} + u_3 \cdot W_{d3} + u_4 \cdot W_{d4} + u_5 \cdot W_{d5} + u_6 \cdot W_{d6}$$

gdzie:

u_1 – udział makulatury w masie odpadów, -,
 W_{d1} – wartość opałowa makulatury, MJ/kg,
 u_2 – udział odpadów kompozytowych w masie odpadów, -,
 W_{d2} – wartość opałowa odpadów kompozytowych, MJ/kg,
 u_3 – udział odpadów kompozytowych w masie odpadów, -,
 W_{d3} – wartość opałowa odpadów kompozytowych, MJ/kg,
 u_4 – udział odpadów organicznych w masie odpadów, -,
 W_{d4} – wartość opałowa odpadów organicznych, MJ/kg,
 u_5 – udział odpadów tekstylnych w masie odpadów, -,
 W_{d5} – wartość opałowa odpadów tekstylnych, MJ/kg,
 u_6 – udział odpadów drewnianych w masie odpadów, -,
 W_{d6} – wartość opałowa odpadów drewnianych, MJ/kg.

Ostateczne wyniki obliczeń dotyczących analizy technicznej odpadów komunalnych wytwarzanych w regionie środkowopomorskim przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Wartości podstawowych parametrów analizy technicznej odpadów komunalnych regionu środkowopomorskiego [opracowanie własne]

Table 5. Values of basic parameters of technical analysis of municipal waste from Middle Pomeranian Region [own study]

zawartość wilgoci W^a , %	zawartość popiołu A^a , %	zawartość części lotnych V^a , %	zawartość stałych części palnych FC , %	Wartość opałowa W_d^a , MJ/kg
19,13	7,95	69,67	22,38	10,80

Porównując te wartości z wartościami parametrów określonych w BREF, PGOWZ i SW budowy spalarni dla miasta Koszalina [149] oraz na podstawie powyższych rozważań przyjęto średnią wartość opałową odpadów komunalnych przeznaczonych do termicznego przekształcenia $W_d^a = 10,8$ MJ/kg, przy planowanej maksymalnej rocznej mocy przerobowej proponowanej instalacji równej $B = 95\,000$ Mg/a. Tadeusz Piecuch wielokrotnie zwracał uwagę [19,74–77], iż ekonomicznie uzasadnionym przerobem odpadów komunalnych, w klasycznym procesie termicznego przekształcania, jest wartość około 90–100 tys. Mg rocznie, przy założeniu absolutnego minimum na poziomie 75 tys. Mg/a.

Wyznaczona średnia wartość opałowa, kierowanych do termicznego przekształcania odpadów $W_d^a = 10,8$ MJ/kg, jest oczywiście przyjęta z założeniem, że minimalna temperatura w komorze paleniska (około 850°C) zostanie osiągnięta kosztem dostawy energii z zewnątrz – komora paleniska i dopalania musi zostać wyposażona w palniki rozruchowo-wspomagające i dodatkowo poprzez podgrzanie strumienia powietrza wtórnego z zastosowaniem upustu pary przegrzanej w instalacji odzysku energii. Przyjęta przeciętna wartość opałowa dla odpadów komunalnych z regionu środkowopomorskiego (Koszalina i przyległych miejscowości jako potencjalnych dostawców odpadów komunalnych) wynika z technicznych analiz kaloryczności poszczególnych frakcji odpadowych. Zdaniem recenzenta prof. Wielgościńskiego wartość ta jest nieco zawyżona i powinna zawierać się w granicach 7,5–8,5 MJ/kg. Nie mniej jednak, im wyższe własności energetyczne odpadów tym lepiej dla procesu spalania; a więc operator nadzorujący ten proces powinien tej wysokiej kaloryczności dopilnować np. tworząc odpowiednie mieszanki odpadów.

Analiza składu morfologicznego odpadów komunalnych świadczy o tym, że odpady z tworzyw sztucznych, a więc materiały opakowaniowe, których ilość rośnie corocznie, stanowią coraz większą część w całkowitej masie odpadów wytwarzanych nie tylko w regionie śródkowopomorskim. Procentowy wzrost udziału frakcji wysokoenergetycznej, a więc właśnie tworzywa sztuczne i papier, powoduje poprawę własności energetycznych odpadów, umożliwiając wytwarzanie większej ilości energii, co dodatkowo świadczy o tym, że termiczna utylizacja odpadów jest technologią pozwalającą w najbardziej efektywny sposób na odzyskanie energii tkwiącej w tego rodzaju odpadach.

2.3.2. Bilans masowy i energetyczny

Stopień redukcji masy odpadów komunalnych dostarczanych do planowanego zakładu można określić, przy uwzględnieniu założonej mocy przerobowej instalacji, z następującej zależności [6,35]:

$$\eta_o = (m - m_{sp})/m \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie:

η_o – stopień redukcji odpadów komunalnych, %,

m – masa odpadów komunalnych przeznaczonych do termicznego przekształcenia, Mg/a,

m_{sp} – sucha masa pozostałości po spaleniu, Mg/a.

Biorąc pod uwagę określoną wartość zawartości wilgoci w strumieniu odpadów komunalnych W^a , można obliczyć wartość suchej masy odpadów z zależności [35,89]:

$$m_s = m - (m \cdot W^a \cdot 100) \quad (5)$$

gdzie:

m_s – sucha masa strumienia odpadów, Mg/a,

m – masa odpadów komunalnych przeznaczonych do termicznego przekształcenia, Mg/a,

W^a – wilgotność odpadów, %.

Zakładając, że po spaleniu, oprócz substancji nieorganicznej, mimo wszystko zostaje jeszcze średnio 3–5% niespalonej substancji organicznej, można obliczyć ostateczną wartość suchej pozostałości m_{sp} , %, po termicznym przekształceniu strumienia odpadów komunalnych, z równania:

$$m_{sp} = m_{sn} + (0,04 \cdot m_{so}) \quad (6)$$

gdzie:

m_{sp} – sucha masa pozostałości po spaleniu, Mg/a,

m_{sn} – sucha masa nieorganiczna, Mg/a, $m_{sn} = m_s - m_{so}$

m_{so} – sucha masa organiczna (palna), Mg/a, $m_{so} = m_s \cdot U^a \cdot 100$,

U^a – zawartość substancji palnej (organicznej) w odpadach komunalnych, %, $U^a = 100 - (A^a + W^a)$.

Ostatecznie, w tabeli 6 przedstawiono obliczone wartości powyższych zależności, na podstawie których można było określić wartość redukcji strumienia zmieszanych odpadów komunalnych dostarczanych do planowanej instalacji termicznego ich przekształcania. Dodatkowo obliczono parametr $\eta_s = 100 - \eta_o$, jako procentową pozostałość po spaleniu masy odpadów komunalnych.

Tabela 6. Wartości parametrów pozwalających określić stopień redukcji odpadów komunalnych regionu środkowopomorskiego w przypadku planowanej ZTPOK w Koszalinie

Table 6. Values of parameters which enable to determine reduction level of municipal waste from Middle Pomeranian Region in case of planned MWTPP in Koszalin

U^a	zawartość substancji palnej, %	72,0
m_s	sucha masa odpadów, Mg/a	76000,0
m_{so}	sucha masa organiczna, Mg/a	54720,0
m_{sn}	sucha masa nieorganiczna, Mg/a	21280,0
m_{sp}	pozostałość po spaleniu, Mg/a	25657,6
η_o	redukcja masy odpadów, %	73,0
η_s	pozostałość po spalaniu, %	27,0

Planowane przedsięwzięcie zakłada termiczną utylizację odpadów komunalnych z odzyskiem energii. Zgodnie z Ustawą o odpadach, na podstawie Dz. U. z 2013 r. i z 2014 r. [133], proces traktowany jako proces odzysku R1 (wykorzystanie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii).

Aby określić bilans energetyczny całego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Koszalinie, należy na wstępie określić rzeczywisty czas jego pracy. Zakłada się, że ze względu na specyfikę pracy pieca spalarnianego, powinien on pracować w systemie ciągłym, 24 h/dobę, 7 dni w tygodniu. Przyjmując, że sezon grzewczy i przejściowy w Polsce to 242 dni, natomiast pozostałe 123 dni to sezon letni, należy jednak założyć pewien okres przeznaczony na przeglądy i ewentualne remonty bieżące ciągu spalarnianego (głównie czyszczenie pieca), np. około 10% czasu w sezonie grzewczym i około 8% w sezonie letnim, gdyż w tym okresie występuje zwiększenie ilości odpadów. Ostatecznie przewiduje się łączny czas pracy analizowanego zakładu 330 d/a, natomiast szczegółowe, rzeczywiste wartości przerobowe przedstawia tabela 7.

Tabela 7. Wartości parametrów wydajnościowych planowanego ZTPOK
Table 7. Values of performance parameters of planned MWTPP

Parametr		całkowity okres pracy	w sezonie grzewczym	w sezonie letnim
Założony czas pracy		24 h/d; 7 d/t		
		330 d/a 7920 h/d	217 d/a 528 h/d	113 d/a 2712 h/d
B	wydajność, Mg/a	95 000	62 470	32 530
B _d	dobowa wydajność, Mg/d	287,9		
B _h	godzinowa wydajność, Mg/h	12,0		

Wartość całkowitej energii tkwiącej w określonym strumieniu odpadów komunalnych to wartość obliczona zgodnie z zależnością [35,89,90]:

$$E = m \cdot W_d \quad (7)$$

gdzie:

E – wydajność energetyczna odpadów komunalnych, GJ/a,

m – masa odpadów komunalnych przeznaczonych do termicznego przekształcenia, Mg/a,

W_d – wartość opałowa odpadów komunalnych, MJ/kg.

Przy założonych parametrach technicznych odpadów, obliczono całkowitą E i odpowiednio godzinową E_h wydajność energetyczną a następnie wyznaczono moc energetyczną instalacji spalania odpadów komunalnych. Wartości podstawowych parametrów energetycznych proponowanej instalacji przedstawia tabela 8.

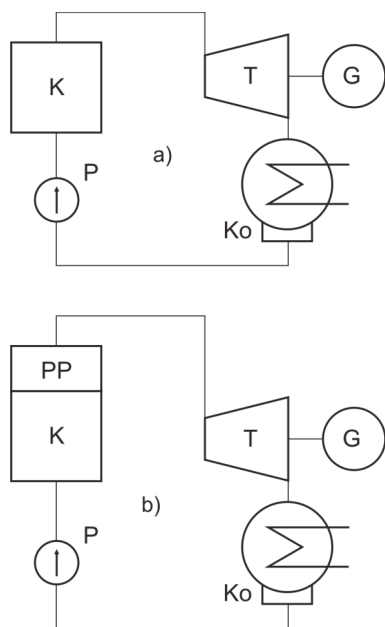
Tabela 8. Wartości parametrów energetycznych instalacji

Table 8. Values of energetic parameters of installation

Parametr		całkowity okres pracy	w sezonie grzewczym	w sezonie letnim
E	wydajność energetyczna, GJ/a	1 026 000	674 673	351 327
E_h	wydajność energetyczna, GJ/h	130		
M_a	moc energetyczna, MW _h /a	285 000	187 409	97 591
M_d	moc energetyczna, MW _d	864		
M_h	moc energetyczna, MW _h	36		

W ramach węzła technologicznego odzysku energii projektowanego zakładu przewiduje się zaprojektowanie instalacji odzysku energii jako układ ko generacyjny, umożliwiającego jednoczesne produkowanie w skojarzeniu energii ciepła użytkowego i elektrycznej. Podstawowym obiegiem cieplnym wykorzystywanym w energetyce cieplnej jest obieg bez przegrzewu pary (z użyciem pary nasyconej) Clausiusa-Rankine'a oraz z użyciem pary przegrzanej Hirna [2,58,68], których za-

sadnicze schematy połączeń urządzeń przedstawia rysunek 6 (K – kocioł parowy, PP – przegrzewacz pary T – turbina parowa, Ko – kondensator, P– pompa kondensatu, G – generator prądu el.). Według tego układu, doprowadzana do kotła parowego woda zasilająca, ogrzewa się i zamienia w parę nasyconą (obieg CR) lub przegrzaną (obieg H), której strumień jest podawany do turbiny, która przekazuje energię mechaniczną z wirnika turbiny parowej, do napędzania generatora elektrycznego. Po ekspansji para przechodzi do kondensatora, gdzie przy stałym ciśnieniu przekazuje ciepło poprzez przemianę fazową skraplania wodzie chłodzącej i zmienia się w kondensat. Woda z kondensatora (kondensat) jest przenoszona do kotła za pomocą pompy kondensatu. Cały proces pracy jest więc zamknięty [2,5–7,66].



Rys. 6. Podstawowe typy termicznych przemian czynnika roboczego;
a) Clausiusa-Rankine'a
b) Hirna [5–7,66]; opis w tekście
Fig. 6. Basic types of thermal transformations of operating medium;
a) Clausius-Rankine;
b) Hirn [5–7,66]; description in the text

W planowanej instalacji odzysku energii, w pierwszej kolejności powinna być realizowana dostawa pary przegrzanej z obydwu kotłów odzyskowych do zespołu turbogeneratora, następnie rozprężenie pary przegrzanej w turbinie kondensacyjno-upustowej i przetworzenie na energię elektryczną w zespole generatora. Zakłada się częściowe pobranie rozprężonej pary z upustów turbiny na potrzeby technologiczne insta-

lacji ZTPOK w celu podgrzania powietrza pierwotnego komory pieca i wody zasilającej oraz zasilanie odgazowyczacza i wymienników ciepła zewnętrznej sieci ciepłowniczej jako upust regulowany. Następnie zakłada się realizowanie odprowadzenia kondensatu (wody) z kondensatora chłodzonego powietrzem i powtórne skierowanie go do obiegu (zbiornika wody zasilającej) poprzez zespół podgrzewacza kondensatu i odgazowyczacza, oraz zasilanie wymienników ciepła wody powrotnej z zewnętrznego systemu ciepłowniczego oraz przesyłanie ciepłej wody do systemu ciepłowniczego, po podgrzaniu w wymiennikach.

Zgodnie z II zasadą termodynamiki tylko część energii dostarczonej do układu może zostać zamieniona na pracę [64,90,91]. Teoretycznie, wytwarzanie energii elektrycznej powinno odbywać się przy maksymalnej temperaturze czynnika roboczego podczas pobierania ciepła (w praktyce wytwarzanie pary w kotle odzyskowym odbywa się w temperaturze niższej tj. temperaturze spalin) i minimalnej temperaturze czynnika roboczego podczas oddawania ciepła (w rzeczywistości, w skraplaczu, ciepło jest oddawane w temperaturze otoczenia) [11].

W związku z powyższym, wprowadza się całkowitą sprawność wykorzystania energii (elektrycznej i cieplnej) określającą efektywność układu odzysku energii w procesie termicznej utylizacji odpadów komunalnych, którą można wyrazić następująco [89]:

$$E = \eta_c \cdot m \cdot W_d \quad (8)$$

gdzie:

E – wydajność energetyczna odpadów komunalnych, GJ/a,

η_c – sprawność całkowita,

m – masa odpadów komunalnych przeznaczonych do termicznego przekształcenia, Mg/a,

W_d – wartość opałowa odpadów komunalnych, MJ/kg.

Jak pokazują doświadczenia funkcjonujących już spalarni odpadów komunalnych w Europie, a także analiza aktualnie projektowanych instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Polsce [136,140–149], współczesna instalacja termicznego przekształcania odpadów komunalnych o wydajności np. ok. 240 000 Mg/a jest w stanie dostarczyć ok. 38,00 MW energii cieplnej oraz ok. 5–8 MW energii elektrycznej [106,107]. Według danych zawartych w wytycznych najlepszej

dostępnej techniki (BAT) z 1 Mg odpadów komunalnych można przy pracy w układzie skojarzonym uzyskać około 0,4 MWh energii elektrycznej oraz około 6,6 GJ energii cieplnej netto [136,137,141]

Zgodnie z wytycznymi BREF, powinno się zastosować takie rozwiązania powierzchni wymiany ciepła w kotłach odzyskowych, aby możliwe było osiągnięcie sprawności termicznej procesu odzysku energii na poziomie $\eta_c = 80\text{--}84\%$. Przy tak wyznaczonej wartości strat energetycznych i posługując się danymi technicznymi uzyskanymi od producentów i dostawców układów skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej [m.in. 116,163,164] można założyć, że energia użyteczna jest wytwarzana w ilości: energii elektrycznej – 18%, i energii cieplnej – 62%. Całkowity bilans energetyczny planowanego ZTPOK w Koszalinie pokazano w tabeli 9.

Parametr		całkowity okres pracy
M_c	moc cieplna, MWh/d	535,0
M_{hc}	moc cieplna, MWh	22,3
E_{dc}	wydajność cieplna, GJ/d	1928,0
M_e	moc elektryczna, MWh/d	155,0
M_{he}	moc elektryczna, MWh	6,5
E_{de}	wydajność elektryczna, GJ/d	560

Tabela 9. Bilans energetyczny analizowanej instalacji
Table 9. Energetic balance of analyzed installation

2.4. Podstawowe założenia technologiczne

Podstawową działalnością Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Koszalinie będzie działalność w zakresie unieszkodliwiania odpadów komunalnych poprzez ich termiczne przekształcanie a także prowadzony odzysk ciepła wytwarzanego w wyniku prowadzonego w tym zakładzie procesu spalania odpadów komunalnych. Odzyskana energia cieplna przekształcana będzie na energię elektryczną, która zostanie zagospodarowana na terenie inwestycji lub przy odpowiedniej wydajności pracy całego zakładu przeróbki odpadów i przy założeniu ciągłości jego pracy, powinna być odprowadzana do miejskiej sieci publicznej. Jednakże wytwarzanie energii w zakładach energetycz-

nych opalanych odpadami komunalnymi wywiera negatywny wpływ na środowisko poprzez zanieczyszczanie powietrza gazami spalinowymi, co ma miejsce również w klasycznych elektrowniach opalanych węglem kamiennym [97]. Podstawowym zadaniem nowoczesnych rozwiązań niskoemisyjnych jest zintegrowanie układu termicznego z neutralizacją gazów odlotowych z tego układu [108].

Proponowany zakład powinien być instalacją o dwóch, równoległe funkcjonujących liniach technologicznych. Każda z tych linii powinna zawierać szereg następujących po sobie węzłów technologicznych, które stanowią określone instalacje, urządzenia, w których zachodzą określone procesy. Najważniejsze z nich to: przygotowanie odpadów do unieszkodliwiania, termiczne przekształcenie tych odpadów wraz z odzyskiem energii, neutralizacja gazów spalinowych powstałych w wyniku tego procesu i ostatecznie zagospodarowanie wtórnych odpadów i oczyszczanie ścieków powstałych po procesie oczyszczaniu spalin.

Dwie linie technologiczne mogą powodować ostateczne zwiększenie kosztów eksploatacyjnych spalarni, ale należy pamiętać, że Koszalin jako miejscowość przyletniskowa (Mielno, Unieście, Łazy, Sarbinowo itp.) będzie pracować arytmicznie tj. duże obciążenie w okresie urlopowym a znacznie mniejsze w okresie pozaurlopowym, stąd w pierwszym okresie będą pracować dwie linie, natomiast w drugim tylko linia pojedyncza. Można też przyjąć wzmożone składowanie w okresie letnim i pracę tylko jednej linii technologicznej, podczas gdy w okresie dużego zapotrzebowania na energię (okres jesienno-zimowy) należy założyć ciągłą pracę dwóch linii.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy schemat blokowy układu technologicznego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Koszalinie przy ul. H. Cegielskiego (opracowanie własne).

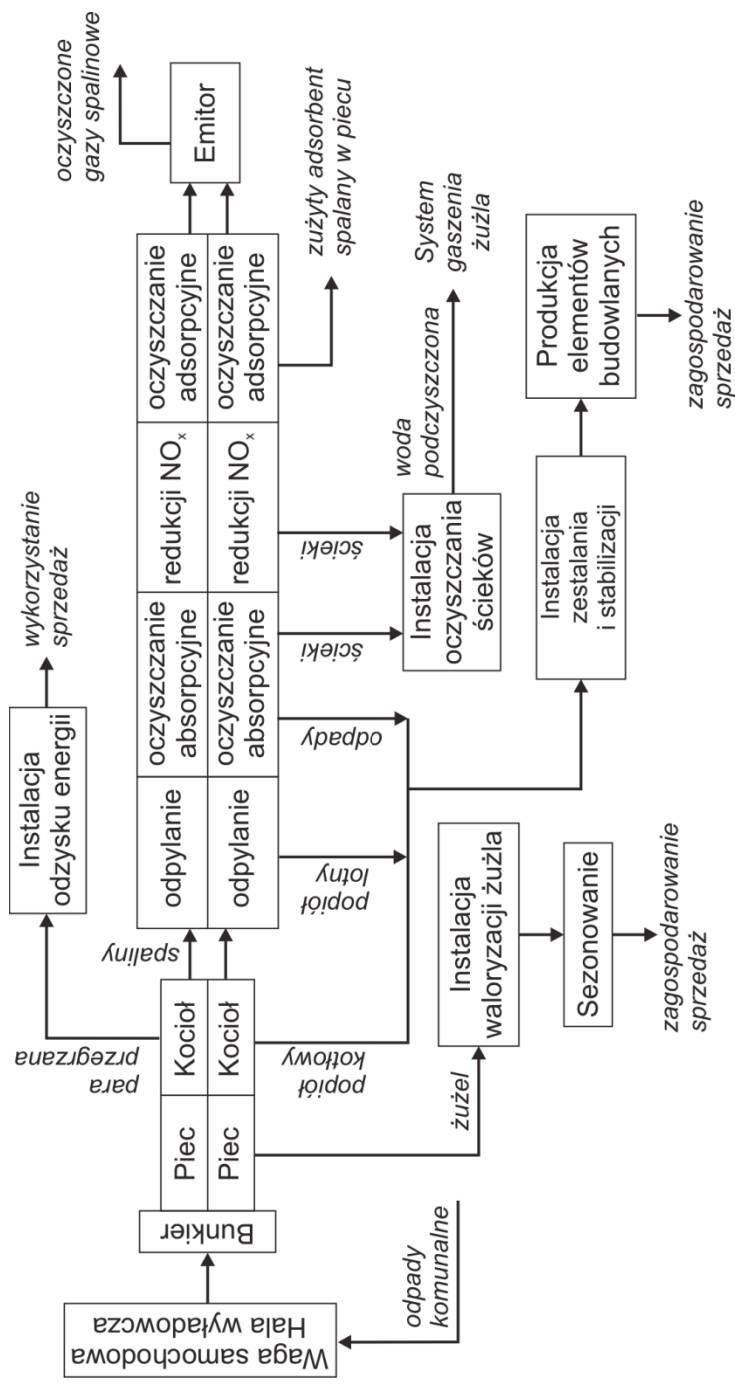
Z uwagi na to, iż urządzenia ZTPOK pracują w bardzo trudnych, wysoce termicznych warunkach, trzeba mieć na uwadze awaryjność takiego układu. Poszczególne moduły linii technologicznej pracują w układzie szeregowym i wystarczy, że jedno urządzenie ulegnie awarii i układ nie będzie spełniał swojego zadania, a zarazem linia musi także przechodzić przegląd polegający na konieczności czyszczenia układu, planowanej wymianie podzespołów urządzeń, a w szczególności oczyszczenia paleniska, wymiany sorbentów itp. Uwaga ta została przedstawiona przez

T. Piecucha w opinii do opracowania Studium Wykonalności dla projektu pt. „System gospodarki odpadami i budowa zakładu termicznego przekształcania odpadów dla miast i gmin Pomorza Środkowego”. W związku z powyższym, zgodnie z opinią T. Piecucha założony został układ dwóch niezależnych linii technologicznych spalania odpadów, odzysku ciepła i oczyszczania gazów spalinowych, a więc każda z nich będzie zbudowana z analogicznych węzłów technologicznych [75].

Inwestycja ZTPOK to przedsięwzięcie składające się z budowy następujących elementów instalacji:

- przyjmowania, magazynowania i przygotowania odpadów,
- termicznego przekształcania odpadów wraz z urządzeniami załadunku i dozowania odpadów, doprowadzania powietrza pierwotnego i wtórnego do komory spalania pieca oraz węzła dopalania gazów spalinowych,
- odzysku energii cieplnej ze spalania odpadów i przekształcania odzyskanej energii,
- oczyszczania i neutralizacji gazów spalinowych,
- waloryzacji żużli, zestalania i chemicznej stabilizacji popiołów paleniskowych i pyłów z systemu oczyszczania spalin,
- oczyszczania ścieków poprocesowych,
- monitoringu i sterowania procesowego,
- infrastruktury technicznej,
- zaplecza laboratoryjnego i socjalno-administracyjnego.

Każda linia technologiczna powinna składać się z zespołu termicznego przekształcania odpadów wraz z komorą dopalania, odzysku energii cieplnej oraz oczyszczania spalin. Pozostałe moduły powinny być wspólne dla obydwu założonych linii technologicznych.



Rys. 7. Układ technologiczny Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Koszalinie [opracowanie własne]
Fig. 7. Technological system of Municipal Waste Thermal Processing Plant in Koszalin [own study]

Technologia do termicznego przekształcania odpadów oparta będzie na spalaniu odpadów w piecu rusztowym. Obecnie, w typowych instalacjach termicznej utylizacji odpadów komunalnych, stosuje się masowe spalanie w jednym stadium, w którym proces spalania (odpadów nieprzetworzonych) realizowany jest w pojedynczym palenisku. Nowoczesnymi, europejskimi instalacjami termicznego przekształcania odpadów, wybudowanymi w ostatnich pięciu latach, są instalacje rusztowe [42]. Najbardziej efektywne jest spalanie na rusztach posuwistozwrotnych, gdyż ten rodzaj rusztów zapewnia stosunkowo najmniejszą zawartość niespalonych substancji organicznych w żużlu, przy jednoczesnym dobrym natlenieniu i wymieszaniu strefy spalania, co zapewnia niskie stężenia CO i produktów niepełnego spalania w gazach spalinowych [107].

Wybór technologii spalania z zastosowaniem pieców rusztowych, potwierdza W. Kordylewski, informując, że w spalarniach typu masowego zdecydowanie przeważają paleniska rusztowe [45]. Przyjmuje się, że dzienna wydajność takiej instalacji powinna wynosić ponad 100 Mg, a pod względem ekonomicznym, nawet powyżej 300 Mg/d. Potwierdza to Dokument Referencyjny (BREF) dla najlepszych dostępnych technik (BAT) dla spalania odpadów, w którym typowy zakres stosowania pieców z rusztami ruchomymi to zakres 120–720 Mg/d [85,137]. W tabeli 10 przedstawiono typowe zakresy wydajności kilku podstawowych technologii obróbki termicznej wg BREF.

Tabela 10. Zakresy stosowania typowych technologii obróbki termicznej [137]

Table. 10. Scope of application of typical technologies of thermal processing [137]

Technologia	Wydajność stosowania, Mg/d
Ruchome ruszty	120–720
Złoże fluidalne	36–200
Piec obrotowy	10–350
Piroliza	10–100
Gazyfikacja	250–500

Do procesu termicznego przekształcania w piecu rusztowym dostarczane będą odpady komunalne o założonej, średniej wartości kalorycznej 10,8 MJ/kg. Podczas termicznego przekształcania, uzyskana zostanie energia cieplna i pośrednio elektryczna. Instalacja zapewni pełne oczyszczenie spalin, a także umożliwi zestalenie i stabilizację popiołów i pyłów powstałych w procesie spalania. Dzięki obróbce odpadów poprocesowych, będzie możliwe ich przemysłowe zagospodarowanie. Po dokładnym oczyszczeniu spalin w instalacji oczyszczania spalin, będą one kierowane do komina, a następnie do atmosfery. Popioły pozostałe z procesu oczyszczania gazów spalinowych zostaną poddane zestaleniu i stabilizacji, a następnie skierowane na składowisko.

W instalacji oczyszczenia spalin powinny być wykorzystane następujące procesy technologiczne:

- odpylanie spalin,
- usuwanie kwaśnych związków zawartych w spalinach,
- redukcja dioksyn, furanów i rtęci,
- redukcję emisji NO_x.

Obecnie (wrzesień 2014) polska legislacja przewiduje wprowadzenie nowego rozporządzenia [119] w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody [37,166]. Nowe rozporządzenie ma zastąpić obecnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 r. [130]. Projekt realizuje przepisy prawa EU z 2010 roku [118] w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola). Rozporządzenie określi wymagania w zakresie pomiarów m.in. wielkości emisji, do prowadzenia których będą zobowiązani: prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia. Wydanie nowego aktu jest niezbędne w związku z nowelizacją art. 148 Prawa Ochrony Środowiska, której dokonano Ustawą z dnia 11 lipca 2014 r. o zmianie tej ustawy oraz niektórych innych ustaw.

Zgodnie z projektem [37,166], w stosunku do obecnie obowiązujących przepisów dotyczących referencyjnych metodyk wykonywania ciągłych i okresowych pomiarów emisji do powietrza dla instalacji spalania paliw, nowe rozporządzenie wprowadzi następujące najważniejsze zmiany związane z wyrażaniem jednostek parametrów i nazewnictwem pojęć i definicji:

- wprowadzenie pojęcia NO i NO₂ (w przeliczeniu na NO₂) zamiast obowiązującego NO (w przeliczeniu na NO₂),
- zmiana jednostki, w której należy wyrażać mierzoną wilgotność bezwzględną gazów odlotowych, z obowiązującej % obj. na kg/m³,
- doprecyzowanie i zmiana jednostki, w której należy wyrażać stopień zawilżenia gazów z obowiązującej kg/kg na kg pary wodnej/kg gazu suchego,
- w związku z wprowadzeniem jednoznacznej definicji niepewności pomiarowych wprowadzenie nowej wartości wymaganej niepewności dla ciągłych i okresowych pomiarów stężeń tlenu O₂ ($\pm 0,7\%$ obj. O₂, zamiast obowiązującej $\pm 0,4\%$ obj. O₂).
- rewizja wymaganej wartości niepewności dla pomiarów ciągłych i okresowych ciśnienia statycznego lub bezwzględnego spalin (± 10 hPa zamiast obowiązujących ± 10 Pa,
- przewiduje się również rezygnację z formuły „emitor”, zastępując go sformułowaniem „komin”.

Obowiązujące do tej pory rozporządzenie z 4 listopada 2008 roku [130] utraci moc z dniem wejścia w życie nowego rozporządzenia; ponieważ jednak, zgodnie z projektem, pomiary, które będą realizowane po dacie wejścia w życie wspomnianego aktu, będzie można zakończyć z uwzględnieniem dotychczasowych wymagań, w niniejszej pracy przewiduje się stosowanie dotychczasowych formuł, np. NO_x lub emitor.

3. Propozycja układu technologicznego ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego

Poniżej zostały opisane poszczególne węzły zaproponowanego układu technologicznego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Koszalinie, który w poprzednim rozdziale schematycznie został przedstawiony na rysunku 7.

3.1. Węzeł przygotowania odpadów

W projektowanym układzie w węźle przygotowania odpadów będą prowadzone procesy przyjmowania, magazynowania i wstępnego przygotowania odpadów komunalnych przeznaczone do termicznego przekształcenia, które będą dowożone ze Stacji Przeładunkowych Odpadów.

Cały węzeł powinien składać się z następujących zespołów:

- zespół ważenia i rejestrowania odpadów komunalnych dostarczanych do zakładu,
- hala wyładunkowa,
- bunkier odpadów wraz z całą infrastrukturą.

Planuje się, że ciąg technologiczny spalarni rozpoczyna się na stanowisku ważenia w bramie wjazdowej, gdzie następuje dwukrotne ważenie pojazdów samochodowych – przy wjeździe, wraz z przyjmowanymi odpadami oraz kontrola samochodów opuszczających teren spalarni po ich rozładowaniu. Cały system powinien być przeprowadzany automatycznie, tzn. każdy samochód wjeżdżający i wyjeżdżający zostanie zważony na wadze pomostowej a specjalistyczne oprogramowanie umożliwi pełną kontrolę i ewidencję dostarczanych odpadów komunalnych. Po rozładunku, każdy kierowca powinien otrzymać kartę magnetyczną wraz z informacją dot. stanowiska rozładunku pojazdu. Po zważeniu i zarejestrowaniu, pojazdy z odpadami powinni podjechać do hali wyładunkowej ze stanowiskami rozładowniczymi, odpowiednio zabezpieczonymi i oznakowanymi, aby nie zachodziło żadne niebezpieczeństwo związane z rozładunkiem odpadów do bunkra. Po rozładunku samochód ponownie zostanie zważony, a kierowca otrzyma potwierdzenie masy dostarczonych odpadów, co pozwoli na automatyczną rejestrację wszystkich informacji dot. ważenia, co jednocześnie upoważni kierowcę do opuszczenia terenu zakładu.

Zakłada się zastosowanie dwóch wag pomostowych. Należy zapewnić budowę dróg dojazdowych i placów manewrowych oraz sztuczne oświetlenie terenu wokół portierni, drogi wjazdowej i wyjazdowej do hali wyładunkowej oraz stanowisk wagowych umieszczonych przy portierni.

Odpady komunalne w hali wyładunkowej powinny być wyładowywane do betonowego bunkra na stanowiskach rozładunkowych. Zakłada się wybudowanie hali rozładunkowej z czterema stanowiskami rozładunkowymi. Pojemność bunkra odpadów powinna zapewnić zapas odpadów na minimum 3–4 doby nieprzerwanej pracy instalacji termicznego przekształcania odpadów, uwzględniając eksploatację założonych dwóch linii technologicznych o łącznej wydajności 12,0 Mg/h.

Dla zaprojektowanego węzła przewiduje się podział betonowego bunkra odpadów na dwa szczelne segmenty: bunkier odpadów surowych oraz bunkier odpadów po ich segregacji. Odpady komunalne w pierwszej kolejności, jako odpady surowe, powinny być w hali wyładunkowej zrzucane do pierwszego segmentu bunkra, skąd za pomocą czepaka powinny być podawane na przenośniki, którymi to powinno się kierować je na linię sortowniczą odpadów. Na tym etapie, procesu selekcji i przygotowania odpadów do ich termicznej utylizacji, planuje się proces przesiania (analiza granulometryczna), oddzielenia piasku (separacja), odzysku metali (rekuperacja elektromagnetyczna). Oddzielony piasek powinien zostać kierowany do punktu odbioru, natomiast oddzielone frakcje metaliczne powinno się gromadzić w oddzielnym kontenerze. Dodatkowo pierwszy segment bunkra odpadów powinien posiadać odpowiedni system kanalizacji i odprowadzania odcieków z przyjmowanych odpadów komunalnych na węzeł oczyszczenia ścieków poprocesowych. Pozostałe odpady należy kierować do bunkra odpadów po segregacji, z którego to, przy użyciu suwnic z czepakami, powinny być one podawane bezpośrednio na każdą z dwóch założonych linii termicznego przekształcania, poprzez lej zasypowy na ruszt komory spalania pieca.

Hala wyładunkowa powinna być budowlą zamkniętą, izolującą wszelkie prace wyładunkowe od środowiska zewnętrznego, gdyż hala wraz z bunkrem odpadów jest źródłem powstawania nieprzyjemnych odorów. Pełne zamknięcie tego węzła technologicznego powinno gwarantować redukcję przedostawania się na zewnątrz odorów i hałasu powstającego przy rozładunku pojazdów z odpadami komunalnymi, które będą wjeżdżać do zamkniętej hali, gdzie odpady będą rozładowywane

bezpośrednio do bunkra wewnątrz budynku. Wewnątrz hali wyładunkowej, jak i w obrębie bunkra z odpadami, zakłada się utrzymywanie stałej wartości podciśnienia, dzięki czemu powinno nastąpić zasysanie powietrza do wnętrza bunkra. Proponuje się zaprojektowanie instalacji pobierania powietrza z bunkra i hali wyładunku odpadów w celu wykorzystania w procesie spalania (kierowanie go wraz z powietrzem pierwotnym pod ruszt do pieca i tam dopalanie), co zagwarantuje niewydotowanie się odorów na zewnątrz instalacji.

3.2. Instalacja spalania odpadów

W skład instalacji spalania odpadów wchodzi następujące elementy analogiczne dla każdej z założonych dwóch linii technologicznych, czyli:

- urządzenie do załadunku pieca,
- piec rusztowy,
- komora dopalania.

Główne urządzenie termicznej neutralizacji i częściowej likwidacji odpadów organicznych to piec rusztowy, do którego podawane są odpady za pomocą chwytaka łupinowego do leja zasypowego odpadów znajdującego się nad przednią częścią rusztu. Lej z urządzeniem dozującym zaopatrzony jest w hydrauliczny wypychacz, wykonujący ruch posuwisto-zwrotny. W czasie rozładunku chwytaka nie powinno występować rozsypanie odpadów poza obszar leja zasypowego. Szyb załadowczy pieca powinien być wyposażony w klapę z elementem hydraulicznym, umożliwiającym jej blokadę podczas fazy rozruchu paleniska. Po otwarciu klapy odpady wsypywane są do zasypu, z którego opadają na płytę przedrusztową, z której zostaną podane do przedniej strefy paleniska mechanicznego, na którym rozpoczyna się proces termicznego przekształcania odpadów. W urządzeniu dozującym odpady komunalne na ruszt należy zastosować instalację uniemożliwiającą cofnięcie się płomienia do szybu załadowczego w trakcie procesu spalania odpadów. W szybie załadowczym należy również zainstalować czujnik niskiego poziomu odpadów.

Konstrukcja zastosowanego rusztu powinna zapewnić prawidłowy przebieg procesu spalania odpadów. Odpowiedni kształt rusztowin (typu pochylonego lub poziomego), właściwie dobrany strumień chło-

dzącego powietrza pierwotnego (zasysanego z bunkra odpadów) wprowadzanego pod rusztem do warstwy odpadów oraz regulowana prędkość ich przesuwu na ruszcie, umożliwią prawidłowy przebieg procesu spalania. Przewiduje się kierowanie powietrza wtórnego do przedniej części komory paleniskowej poprzez zasysanie go z górnej części hali, w której znajdują się kotły. Pozwoli to na podgrzanie strumienia powietrza wtórnego i jednocześnie ochłodzenie obszaru pomieszczenia znad kotłów. Powinno się zapewnić możliwość samooczyszczania się rusztowin, natomiast ich odpowiedni kształt i zapewnienie odpowiedniego sposobu wprowadzania powietrza pierwotnego powinno zapewnić minimalny unos popiołów lotnych wraz ze strumieniem gazów spalinowych powstających w wyniku spalania odpadów a także minimalną ilość najdrobniejszej frakcji popiołów paleniskowych przechodzących pod ruszt pieca. Bezpośrednio nad rusztem przewiduje się komorę dopalania, w której dzięki dodatkowemu strumieniowi powietrza wprowadzanego przez dysze umieszczone w dolnej części komory dopalania następuje dopalanie lotnych związków organicznych oraz unoszonego lotnego koksiku [48,77]. Przepisy rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów [120] określają, aby składnikiem wyposażenia instalacji był, co najmniej jeden włączający się automatycznie palnik pomocniczy do stałego utrzymywania wymaganej temperatury procesu oraz wspomaganie jego rozruchu i zatrzymania. Palnik wspomaga proces tak długo, dopóki w komorze spalania będą pozostawały nieprzekształcone odpady. Komora paleniskowa musi zostać wyposażona w palniki rozruchowo-wspomagające, umożliwiające przeprowadzenie rozruchu kotła i doprowadzenie temperatury spalin w komorze paleniskowej do min. 850°C, gdyż jest to warunkiem rozpoczęcia podawania odpadów na ruszt. Palniki wspomagające uruchomią się automatycznie, gdy temperatura spalania spadnie poniżej wspomnianej wartości temperatury gazów spalinowych. Istotny wpływ na jakość aerodynamiki spalania mają właśnie palniki poprzez ich rodzaj i sposób podawania paliwa [45]. Ocenę jakości pracy palnika umożliwia system monitoringu i sterowania, którego przykładem jest światłowodowy układ monitorowania płomienia opracowany w Katedrze Elektroniki Politechniki Lubelskiej. System ten charakteryzuje się możliwością estymacji parametrów spalania jedynie na podstawie pomiaru parametrów optycznych płomienia, bez znajomości składu spalanej paliwa opałowego [109].

Już w piecu powstają odpady paleniskowe tzw. żużel w ilości około 25% masy wsadu, który składa się głównie z substancji niepalnych, ale także około 1,5% składników niedopalonych, które powinny być zwracane do procesu termicznej utylizacji odpadów [52,78]. Jeżeli założy się, iż spalarnia ma wydajność około 95 tys. Mg przerobu odpadów organicznych, to rocznie pozostaje około 23,5 tys. Mg żużlu do zagospodarowania, który należy najlepiej poddać procesowi wydzielenia z nich metali a następnie solidyfikacji (zestaleniu) i wykorzystaniu jako materiał budowlany [78]. Ruszt pieca powinien zostać wyposażony w odżuźlacz, którego zadaniem jest odizolowanie, nawilżanie i schładzanie żużla do temperatury około 85°C. Elementem odżuźlacza jest zgarzniacz przemieszczający żużel z końcowej strefy rusztu pieca poprzez kanał zrzutowy prowadzący bezpośrednio do leja odżuźlacza i dalej grawitacyjnie do rynny schładzania żużla, gdzie następuje jego tzw. gaszenie, gdyż temperatura pozostałości z rusztu może osiągnąć wartość 600–900°C (przy niedostatecznym nadmiarze powietrza nawet 950°C) [48,51,66,72]. Schłodzony żużel powinien być przetransportowywany zakrytym przenośnikiem taśmowym na plac przyjęcia żużla, obok którego należy wyodrębnić budynek instalacji waloryzacji żużla.

Gazy spalinowe powstałe w wyniku procesu spalania w piecu rusztowym powinno się kierować do następnego węzła technologicznego, jakim jest komora dopalania spalin, która jest przedłużeniem pieca spalarnianego. Komora dopalania spalin może być traktowana jako pierwszy węzeł oczyszczania spalin ZTPOK, gdyż w komorze tej dopalane są węglowodory oraz następuje częściowa likwidacja polichlorowanych dibenzodioksyn, polichlorowanych dibenzofuranów, które znajdują się w spalinach wychodzących z pieca spalarni. Wysoka skuteczność dopalania tych związków uzyskiwana jest przy temperaturze w komorze dopalania powyżej 1200°C oraz poprzez odpowiednie wymiary komory, zapewniające czas przebywania spalin w tej komorze powyżej 2,5 s. Dlatego ważnym elementem tego węzła jest droga spalin przez komorę dopalania, która musi być odpowiednio długa, gwarantująca właściwy czas przebywania spalin w tej komorze. Koszt takiej żaroodpornej komory jest trudny do oszacowania, dlatego tworząc koncepcję jej budowy dotyczącą wszystkich szczegółów, należy rozważyć przedłużenie komory dopalania, co wiąże się z dodatkowo większymi kosztami. Wydłużenie jej przyczyni się do dłuższego przebywania spalin w komorze, co pozytywnie wpłynie na redukcję wyżej wymienionych związków [76–78].

Proces dopalania w odpowiedniej temperaturze, ciśnieniu i stężeniu tlenu powinien być kontrolowany i utrzymywany w sposób ciągły, poprzez zainstalowanie układu czujników w pobliżu ściany i w innych reprezentacyjnych punktach komory, współpracujących z dodatkowymi automatycznie uruchamianymi palnikami w komorze dopalania. W przypadku wystąpienia zakłóceń w procesie termicznego przekształcania odpadów, załadunek odpadów do pieca powinien być, poprzez odpowiedni system, automatycznie wstrzymywany.

Objętość spalin wilgotnych powstających w procesie termicznego przekształcania odpadów komunalnych jest sumą rzeczywistej objętości gazów spalinowych powstających ze spalania poszczególnych składników palnych odpadów, powiększonej o zawartość wilgoci doprowadzanej z powietrzem do spalania. Zależność, na podstawie której należy wyznaczyć objętość spalin wilgotnych, przedstawia się następująco [35, 89,90]:

$$V_{spw} = V_{sp} + V_{pw} \quad (9)$$

gdzie:

V_{spw} – objętość spalin wilgotnych, m^3/kg odpadów,

V_{sp} – rzeczywista objętość spalin suchych, m^3/kg odpadów,

V_{pw} – objętość wilgoci doprowadzanej z powietrzem do spalania, m^3/kg odpadów.

Dla uzyskania całkowitego spalania odpadów, proces ten, jak i proces dopalania spalin powinien być realizowany przy odpowiednio dużym nadmiarze tlenu w zależności do ilości stechiometrycznej (właściwa wartość współczynnika nadmiaru powietrza λ), co m.in. w konsekwencji powoduje redukcję stężeń tlenu węgla i siarki w spalinach [32,47]. Spaliny powinny więc składać z produktów spalania odpadów oraz azotu dostarczanego z powietrzem oraz tlenu z nadmiaru powietrza niewykorzystanego w procesie spalania. Rzeczywistą objętość spalin suchych określa się następująco [35,89,90]:

$$V_{sp} = V_{spt} + V_o + V_n \quad (10)$$

gdzie:

V_{sp} – rzeczywista objętość spalin suchych, m^3/kg odpadów,

V_{spt} – teoretyczna, jednostkowa objętość spalin, m^3/kg odpadów,

V_o – teoretyczna objętość tlenu w spalinach dostarczanych z nadmiarową ilością powietrza, m^3/kg odpadów,

V_n – teoretyczna objętość azotu w spalinach dostarczanych z nadmiarową ilością powietrza, m^3/kg odpadów.

Obliczenia objętości spalin powstających w procesie spalania, podobnie jak zapotrzebowania powietrza spalania, w praktyce prowadzi się uproszczonymi metodami empirycznymi [36,37,72]. W przypadku, gdy określona została wartość opałowa spalanych odpadów komunalnych oraz współczynnik nadmiaru powietrza, w obliczeniach można zastosować uproszczone następujące formuły [35,57,72]:

$$V_{spt} = 0,230 \cdot W_d + 1,393 \quad (11)$$

$$V_o = 0,21 \cdot V_p \cdot (\lambda - 1) \quad (12)$$

$$V_n = 0,79 \cdot V_p \cdot (\lambda - 1) \quad (13)$$

$$V_p = 0,245 \cdot W_d + 0,507 \quad (14)$$

$$V_{pw} = 1,602 \cdot V_p \cdot \lambda \cdot y_w \quad (15)$$

gdzie:

W_d – wartość opałowa odpadów komunalnych, MJ/kg,

V_p – teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania dla paliw stałych, m^3/kg odpadów,

λ – współczynnik nadmiaru powietrza, wielkość bezwymiarowa,

y_w – zawartość wilgoci w powietrzu, kg H_2O/kg powietrza suchego.

Ostatecznie, objętość spalin wilgotnych można wyznaczyć z następującej zależności:

$$V_{spw} = V_{spt} + V_p \cdot (\lambda - 1) + V_{pw} \quad (16)$$

Wartość współczynnika nadmiaru powietrza λ zależy przede wszystkim od rodzaju spalanych odpadów, jak i konstrukcji paleniska pieca oraz warunków jego eksploatacji. Powszechnie przyjmuje się, dla paleniska kotłowego rusztowego spalarni odpadów komunalnych wartość współczynnika $\lambda = 1,4-2,0$ [45,72]. Dodatkowo zakładając, że powietrze atmosferyczne zawiera 10 g H_2O/kg powietrza suchego i wartość opałowa odpadów komunalnych dostarczanych do planowanego zakładu wy-

nosi 10,8 MJ/kg, można określić wartość wilgoci doprowadzanej z powietrzem do spalania $V_{pw} = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$ paliwa. Następnie, przy wstępnie wyznaczonej wartości opałowej odpadów i określonych wzorach empirycznych wyznaczono objętość spalin wilgotnych $V_{spw} = 6,66 \text{ m}^3/\text{kg}$ odpadów komunalnych.

Dysponując, wcześniej określoną, wartością masowej wydajności spalarni $B_h = 12,0 \text{ Mg/h}$, można określić przepływ spalin suchych z ilości czynu [35,72]:

$$E_{sp} = V_{sp} \cdot B_h \quad (17)$$

gdzie:

E_{sp} – emisja spalin suchych, m^3/h ,

V_{sp} – objętość spalin suchych, m^3/kg odpadów,

B_h – wydajność instalacji, Mg/h .

Przy założonym czasie pracy instalacji równym 7 920 h/a wyznaczono emisję (przepływ) spalin $E_{sp} = 69\,196 \text{ m}^3/\text{h}$. Przy założeniu wartości wydajności masowej pieca pojedynczej linii technologicznej $B_{h1} = 6,0 \text{ Mg/h}$, emisja spalin z takiego pieca wynosi $E_{sp1} = 34\,598 \text{ m}^3/\text{h}$.

Rzeczywistą emisję pyłów w strumieniu spalin suchych surowych pieca pojedynczej linii $E_{pył}$, przy wstępnym założeniu unosu popiołu z paleńnika $u_{pl} = 10\%$ i zawartości popiołu w odpadach komunalnych dostarczanych do komory pieca $A^r = 8\%$, należy wyznaczyć z zależności [35]:

$$E_{pył} = E_{sp} \cdot c_{pył} \quad (18)$$

$$c_{pył} = (A^r \cdot u_{pył})/V_{sp} \quad (19)$$

gdzie:

$E_{pył}$ – emisja pyłów w spalinach suchych, kg/h ,

E_{sp} – przepływ spalin suchych, m^3/h ,

$c_{pył}$ – stężenie pyłów w spalinach surowych, kg/m^3 spalin,

A^r – zawartość popiołu w odpadach komunalnych, %,

$u_{pył}$ – unos popiołu, %.

Ostatecznie, w tabeli 11 zaprezentowano wartości przykładowych parametrów gazowych produktów spalania odpadów komunalnych dla każdego ciągu technologicznego z dwóch projektowanych linii termicznego przekształcania odpadów komunalnych.

Tabela 11. Parametry gazowych produktów spalania odpadów komunalnych
Table 11. Parameters of gaseous products from incineration of municipal waste

Parametr gazów spalinowych (1. linia techn.)		Wartość
V_{spw}	objętość spalin wilgotnych, m ³ /kg paliwa	6,66
V_{sps}	objętość spalin suchych, m ³ /kg paliwa	5,77
E_{sp}	przepływ (emisja) spalin suchych, m ³ /h	34 598
$E_{pył}$	emisja pyłów w spalinach suchych, kg/h	47 980
Graniczne emisje zanieczyszczeń gazowych (2. linie techn.)		
c_{CO}	standardowe stężenie, mg/Nm ³ (średnie dobowe)	50,0
E_{CO}	graniczna emisja, kg/h	3,5
	emisja roczna, Mg/a	27,4
c_{SO_2}	standardowe stężenie, mg/Nm ³	50,0
E_{SO_2}	graniczna emisja, kg/h	3,5
	emisja roczna, Mg/a	27,4
c_{NO_x}	standardowe stężenie, mg/Nm ³	200,0
E_{NO_x}	graniczna emisja, kg/h	13,8
	emisja roczna, Mg/a	109,6
$c_{pył}$	standardowe stężenie, mg/Nm ³	10,0
$E_{pył}$	graniczna emisja pyłów, kg/h	1,0
	emisja roczna pyłów, Mg/a	7,6

Określone prawem [118,127,128], standardy emisyjne ze spalania paliw stałych, w tym odpadów komunalnych, mogą być podstawą do wyznaczenia granicznych wartości emisji poszczególnych składników gazów spalinowych E_i . Biorąc pod uwagę wyznaczoną wartość przepływu spalin E_{sp} całej instalacji, wartości graniczne emisji zostały określone na podstawie równania:

$$E_i = E_{sp} \cdot c_i \quad (20)$$

gdzie:

E_i – graniczna emisja zanieczyszczeń gazowych, kg/h,

i – np. CO; SO₂; NO_x,

E_{sp} – emisja spalin suchych, m³/h,

c_i – normatywne stężenie zanieczyszczeń gazowych [127], mg/m³,

11% O₂, i – np. CO; SO₂; NO_x.

Przy porównywaniu wyników zmierzonej emisji zanieczyszczeń z wartościami dopuszczalnymi, określonymi w pozwoleniu oraz prawie krajowym [127], konieczne jest zwrócenie uwagi na fakt, czy wyniki pomiarów uwzględniają obowiązujące warunki odniesienia (spaliny suche w temperaturze 273 K i pod ciśnieniem 1013 hPa, przy 11% zawartości tlenu w spalinach [32,34,41,115]). Związane jest to z koniecznością określenia temperatury i ciśnienia spalin w przekroju pomiarowym emitora, a także stężenia tlenu i zawartości wilgoci w spalinach.

3.3. System odzysku i przetwarzania energii cieplnej

W każdej z zaproponowanych dwóch równoległych linii technologicznych, jeszcze nieoczyszczone gazy spalinowe po procesie dopalania będą wykorzystywane do produkcji energii cieplnej, a w konsekwencji do produkcji energii elektrycznej, poprzez kierowanie ich strumienia do instalacji wyposażonej w pojedynczy kocioł odzyskowy (odzyski-cowy) dla każdej linii technologicznej.

W zastosowaniu do odpadów komunalnych obecnie najbardziej rozpowszechniły się kotły do wytwarzania pary technologicznej (prze-grzanej) [48,51]. W kotłach tego typu najpierw wytwarzana jest para nasycona, która jest następnie podgrzewana (prze-grzewana). Mianowicie, woda kotłowa podgrzewana jest w warunkach nadciśnienia do temperatury około 130°C (temperatura pary nasyconej). W takich warunkach tworzy się mieszanina parowo-wodna, która gromadzona jest w tzw. walczakach, w których rozdzielana jest na wodę i parę, która jest następnie prze-grzewana i używana do celów technologicznych, a woda po skropleniu zwracana jest do kotła odzyskowego [7,18,48].

Do wytworzenia pary przegrzanej stosuje się układy [51,66,91]:

- z obiegiem naturalnym (pod działaniem siły ciężkości),
- wymuszonym (wspomaganiem zastosowaniem pompy cyrkulacyjnej),
- z obiegiem przepływowym (jednokrotny przepływ wody kotłowej przez układ parowo-wodny, bez zastosowania walczaka).

W przypadku termicznego przekształcania odpadów komunalnych najbardziej rozpowszechnione są układy z obiegiem naturalnym z zastosowaniem układu zintegrowanego z komorą dopalania.

Ostatecznie, w przypadku planowanej instalacji, można zastosować konstrukcję walczkową z wewnętrzną (pionową lub poziomą) linią segmentów rurowych o obiegu naturalnym. W kotle powinna być wytworzona para wodna z doprowadzanej do kotła wody zasilającej (kotłowej), uzdatnionej w punkcie demineralizacji, znajdującym się na terenie ZTPOK. Woda kotłowa to woda do celów przemysłowych, pobierana z sieci miejskiej. Według BREF produkcja pary przegrzanej powinna zapewnić następujące wartości jej parametrów:

temperatura pary, °C	– 380–440,
ciśnienie pary, MPa	– 4,0–4,5,
sprawność cieplna, %	– 75,2–84,2.

Przewiduje się, że para wodna przegrzana powinna być wytwarzana w ilości około 25 Mg/h o temperaturze około 400°C i ciśnieniu 4 MPa. Wytworzona para podawana na turbinę napędzającą generator ostatecznie wykorzystywana będzie do produkcji dodatkowej energii elektrycznej.

Biorąc pod uwagę określoną wydajność masową analizowanej spalarni i określeniu wydajności pojedynczego pieca na 6,0 Mg/h wyznaczono jego wydajność energetyczną Q_h wynoszącą około 64,8 GJ/h i moc energetyczną $M = 18,0$ MW.

Przykładowe parametry techniczne kotła odzyskowego pojedynczej linii technologicznej pokazano w tabeli 12. Natomiast rysunek 8 przedstawia schemat systemu odzysku i przetwarzania energii cieplnej zaproponowany dla projektowanej instalacji przekształcania odpadów.

Na rysunku 8 symbolicznie opisano następujące najważniejsze elementy instalacji kotła odzyskowego i systemu odzysku energii:

- 1 – podgrzewacz wody kotłowej,
- 2 – przegrzewacz pary (grodziowy i końcowy),
- 3 – podgrzewacz powietrza pierwotnego,

A1-A2 – obieg podgrzania wody kotłowej,

B1-B2 – obieg wytwarzania pary,

C1-C2 – obieg przegrzania pary,

D1-D2 – obieg powietrza pierwotnego,

pp – para przegrzana,

up – upust pary przegrzanej,

w_s – woda surowa,

w_u – woda uzdatniona,

k – kondensat pary,

w_k – woda kotłowa,

w_{msc} – woda miejskiej sieci ciepłowniczej,

p – popiół,

s – spaliny,

K – kondensator pary przegrzanej,

ZK – zbiornik kondensatu,

WC – wymiennik ciepła,

TG – turbina gazowa,

G – generator energii elektrycznej,

U – instalacja uzdatniania wody,

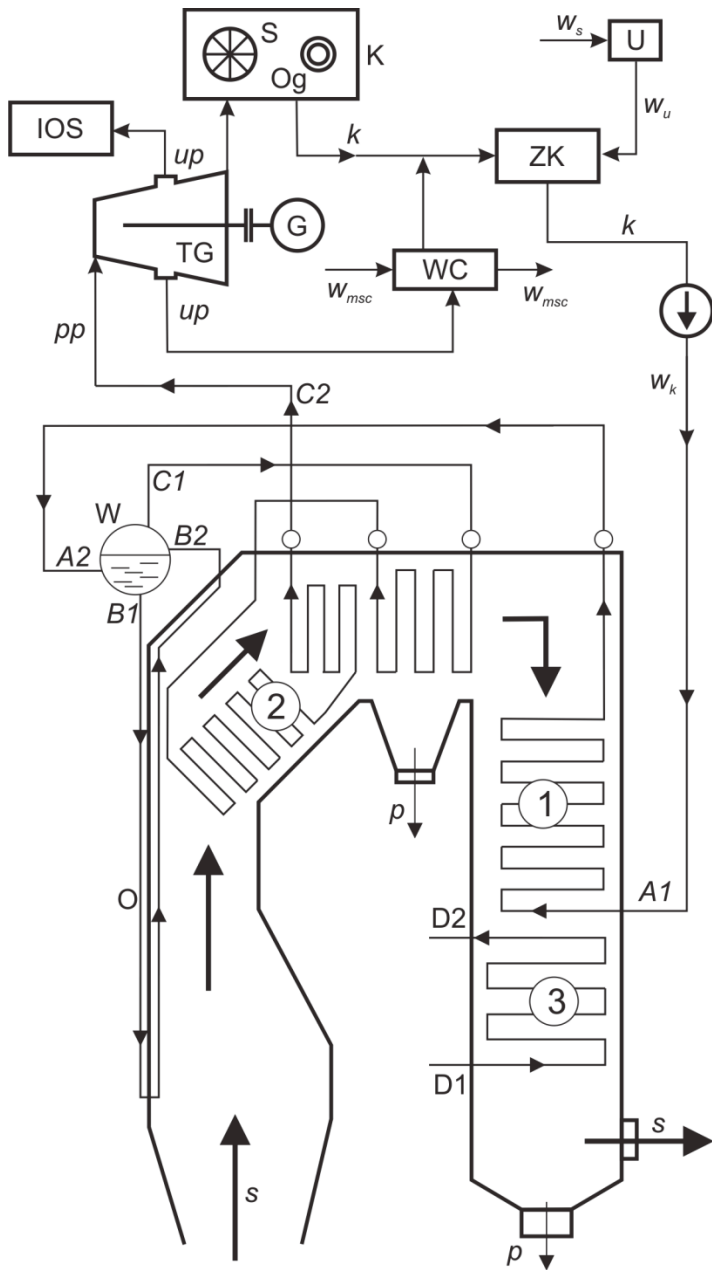
IOS – instalacja oczyszczania spalin,

Og – odgazowywacz,

S – skraplacz,

W – parownik – walczak,

O – opłomki – rury opadowe.



Rys. 8. Schemat energetyczny; opis w tekście
Fig. 8. Energy diagram; description in the text

Tabela 12. Parametry techniczne planowanej instalacji odzysku energii pojedynczej linii technologicznej

Table 12. Technical parameters of planned installation for energy recovery of single technological line

Parametr, jednostka		Wartość
B_k	wydajność pieca, Mg/h	6,00
M	moc energetyczna pieca, MW	18,00
Q_h	wydajność energetyczna, GJ/h	64,80
M_o	obliczeniowe obciążenie energetyczne, MW	14,40
η_k	sprawność kotła odzysknicowego, %	80,00
m_p	wydajność kotła odzysknicowego, Mg pary/h	26,43

Wydajność kotła odzysknicowego (przepływ pary przegrzanej) został wyznaczony na podstawie następującej formuły [35]:

$$m_p = Q_h / (i_p - i_{wz}) \quad (21)$$

gdzie:

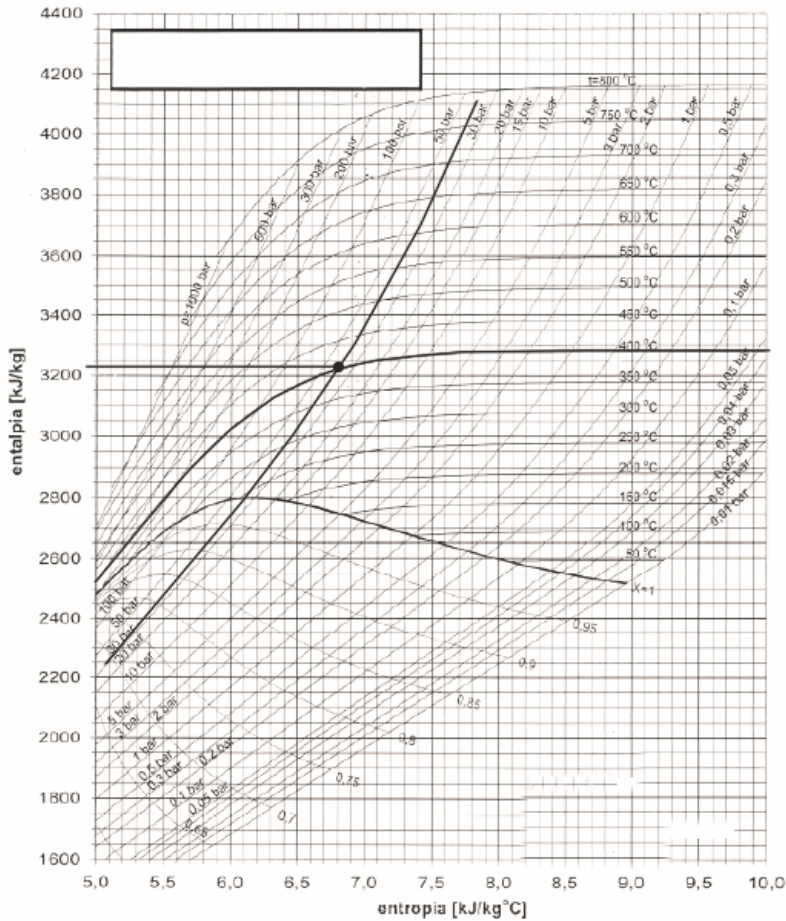
m_p – wydajność kotła odzysknicowego, Mg pary/h,

i_p – entalpia pary przegrzanej, MJ/kg; $i_p = 3,225$ MJ/kg,

i_{wz} – entalpia wody zasilającej, MJ/kg; $i_{wz} = 0,852$ MJ/kg,

Q_h – wydajność energetyczna, GJ/h.

Wartości parametru i_p , i_{wz} – entalpia pary przegrzanej i wody zasilającej określa się stosując określone wzory lub tabele parametrów pary przegrzanej. Posługiwanie się tego rodzaju tabelami, z zakresu pary wodnej, stwarza często duże trudności, dlatego dla wygody korzysta się z konkretnych wykresów. Ostatecznie wartości parametru i_p , i_{wz} zostały określone wykorzystując wykres właściwości pary wodnej w układzie entalpia właściwa – entropia właściwa (i-s), przy założonych wartościach parametrów przegrzanej pary wodnej. Wykres opracowano w oparciu o [111] i przykładowo, dla obszaru pary przegrzanej przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Wykres i-s dla obszaru pary wodnej przegrzanej [111]

Fig. 9. I-s plot for the area of superheated steam [111]

Ostatecznie określono wydajność kotła odzysknicowego o wartości $m_p = 27$ Mg pary/h. Według BREF [136,138,141], w europejskich instalacjach do termicznego przekształcania odpadów komunalnych, średnio produkowane jest około 2,8–3,0 Mg pary/Mg utylizowanych odpadów. Zależność ta potwierdza wyznaczoną wydajność produkcyjną kotła pojedynczej linii technologicznej, analizowanego zakładu dla regionu środkowopomorskiego, przy założonej wydajności około 12 Mg/h spalanych odpadów komunalnych.

Na wyjściu z turbiny para musi być skroplona (kondensowana) z zastosowaniem skraplaczy powietrznych i następnie odgazowywana z udziałem odgazowycza w celu powtórnego wykorzystania – schemat na rysunku 8. Woda odgazowana może być ponownie podawana do kotła odzyskowego przy pomocy pomp zasilających. Schłodzenie gazów spalinowych powinno nastąpić w jak najkrótszym czasie, aby nie doprowadzić do rekombinacji dibenzodioksyn i dibenzofuranów [48,110]. Konstrukcja kotła powinna być konstrukcją samonośną lub zintegrowaną z instalacją pieca, tak aby nie dochodziło do kontaktu elementów kotła z konstrukcją nośną budynku ZTPOK.

W skład segmentu energetycznego wykorzystania wytworzonej pary powinno się założyć następujące elementy:

- turbina kondensacyjno-upustowa z zespołami pomocniczymi, regulacji i sterowania,
- generator synchroniczny z zamkniętym obiegiem chłodzenia powietrznego, wzbudnicą oraz zespołem synchronizacji z siecią,
- kondensator chłodzony powietrzem, wraz z zespołem urządzeń gospodarki kondensatem i wodą zasilającą,
- zespół obudowy dźwiękochłonnej i instalacji olejowej turbozespołu oraz suwnica remontowa.

Ze względu na konieczność zasilania kotła wodą o określonych parametrach (wymagania normy PN [153]), na terenie zakładu powinno się założyć wybudowanie stacji przygotowania (uzdatniania) wody kotłowej. Stacja ta powinna składać się z następujących elementów:

- instalacja demineralizacji,
- stacja dozowania preparatów (fosforan (V) sodu, reduktory tlenu),
- zbiornik wody uzdatnionej,
- stacja pomp.

Urządzenia zespołu demineralizacji powinny działać na zasadzie odwróconej osmozy wraz z dozowaniem odczynników w celu korekty parametrów wody. Należy przewidzieć ciągły monitoring tych parametrów, a w szczególności, pomiaru zawartości tlenu. Dodatkowo, ubytki wody w obiegu parowo-wodnym powinny być uzupełniane także z tej stacji.

3.4. Instalacja oczyszczania spalin

Technologia termicznego przekształcania odpadów powinna spełniać najwyższe wymagania standardów emisyjnych narzuconych przez odpowiednie normy. Dlatego kolejną instalacją w każdej z dwóch założonych linii technologicznych jest instalacja oczyszczania i odprowadzania gazów spalinowych. Emisja szkodliwych składników gazów odlotowych powinna być ograniczona poprzez zastosowanie nowoczesnej i najbardziej zaawansowanej techniki [27,28,33,92,98,112]. Strumień schłodzonych spalin w węźle odzysku i przetwarzania energii cieplnej powinien być kierowany do następujących elementów systemu oczyszczania spalin [34,44,96,100]:

- odpylanie spalin,
- neutralizacja kwaśnych związków: HCl, HF, SO₂,
- redukcja emisji NO_x,
- redukcja emisji węglowodorów, polichlorowanych dibenzodioskyn i dibezofuranów.

W analizie zaproponowanej instalacji, w przypadku odsiarczania spalin, należy brać pod uwagę wyłącznie system mokry lub półsuchy, z pominięciem technologii suchego odsiarczania, ze względu na ostateczną dużą ilość odpadów poprodukcyjnych i niską skuteczność redukcji niepożądanych składników spalin [55,69]. W suchej metodzie węglan wapnia CaCO₃ wprowadzony do komory rozpada się na tlenek wapnia CaO i ditlenek węgla CO₂. Tlenek wapnia lub jego część ulega reakcji z ditlenkiem siarki SO₂, tworząc najpierw siarczyn, a następnie po utlenieniu siarczan wapnia [15,20,34,50]. W wyniku krótkiego czasu przebywania ziaren sorbentu w komorze spalania pieca, tylko część CaO może przereagować z ditlenkiem siarki w optymalnej temperaturze dla reakcji i dlatego gazy spalinowe unoszące tlenek wapnia, zawierające także pozostałości z procesu spalania i niezaabsorbowany SO₂, opuszczają komorę spalania [93,94,103].

Odmianą opinii przedstawiał G. Wielgoński w szeregu swoich publikacji dot. przeglądu technologii termicznego przekształcania odpadów [104–107] – podobny stopień oczyszczenia spalin, przy mniejszych kosztach budowy, można uzyskać stosując suchy system polegający na wtrysku reagenta wapniowego lub sodowego, wtrysku pylistego węgla

aktywnego, odpyleniu na filtrze tkaninowym oraz zastosowaniu niekatalitycznej selektywnej redukcji tlenków azotu (SNCR), polegającej na wprowadzeniu wody amoniakalnej lub roztworu mocznika do kotła w temperaturze 850–1050°C. Można z tą opinią polemizować, tym bardziej, że np. wg K. Horcha (firma CES-TEC, Viersen, Niemcy), sprawdzony system oczyszczania spalin to system zbudowany z układu: wieża zraszalnica z dyszami lub zraszaczami obrotowymi przystosowanymi do wody lub zawiesin, odpylacze tkaninowe, recyrkulacja produktów reakcji, wapno lub wodorowęglan sodu, reagenty adsorpcyjne: koks, aktywny węgiel lub tlenek glinu [30]. Instalacja posiada dwie wieże zraszające (absorbery), w których oczyszczane są spaliny.

Od wielu lat, na całym świecie prowadzi się badania nad możliwością redukcji SO₂ metodami adsorpcyjnymi z zastosowaniem różnych sorbentów [53,56]. W niektórych przypadkach nawet określono wysoką skuteczność oczyszczania, np. przy zastosowaniu kamienia wapiennego [56]. Jednakże stosunkowo rzadko zwraca się uwagę na dużą ilość odpadów poprodukcyjnych związanych z metodami adsorpcyjnymi.

Przykładem zastosowania absorpcyjnej metody odsiarczania spalin jest Instalacja Mokrego Odsiarczania w EC Siekierki realizowana przez firmę Rafako w 2012 roku i określana największą tego typu inwestycją realizowaną w polskich elektrociepłowniach [3]. W zaprojektowanym układzie technologicznym, substancją wiążącą ditlenek siarki jest zawieszona mączka kamienia wapiennego, a produktem reakcji jest dwuwodny siarczan wapniowy (gips), następnie wykorzystywany w przemyśle budowlanym, zastępując gips kopalny. Ciekawym rozwiązaniem zastosowanym w tej instalacji jest węzeł odwadniania powstającego w absorberze gipsu, który jest wstępnie klasyfikowany w układzie cyklonów, a następnie płukany i odwadniany z zastosowaniem dwóch filtrów próżniowych tkaninowych, o maksymalnej wydajności 70% zapotrzebowania [3].

W ramach systemu oczyszczania gazów spalinowych, dla zaproponowanego ZTPOK dla regionu środkowopomorskiego, można zastosować następujące, przykładowe warianty układów:

- odpylenie z zastosowaniem filtra workowego lub metodą elektrostatyczną,
- neutralizacja HCl, HF z zastosowaniem wodorotlenku sodu,
- odsiarczanie metodą mokrą lub półsuchą,
- redukcja NO_x selektywną metodą niekatalityczną SNCR lub SCR,

- adsorpcja dioksyn, furanów i metali ciężkich z zastosowaniem węgla aktywnego.

Ostatecznie zdecydowano się na wariant następujący

- odpylanie z zastosowaniem filtra workowego,
- neutralizacja HCl, HF z zastosowaniem wodorotlenku sodu,
- odsiarczanie metodą pólsuchą,
- redukcja NO_x selektywną metodą katalityczną SCR,
- adsorpcja dioksyn, furanów i metali ciężkich z zastosowaniem węgla aktywnego.

Jest to układ oczyszczania spalin z zastosowaniem odsiarczania na bazie mleczka wapiennego i redukcji NO_x selektywną metodą katalityczną SCR z zastosowaniem roztworu wody amoniakalnej. Zdecydowano się na redukcję emisji NO_x metodą katalityczną, gdyż w przeciwnym wypadku (zastosowanie metody niekatalitycznej) konieczne jest wtryskiwanie wodnego roztworu mocznika bezpośrednio do komory paleniskowej, co wyraźnie zmniejsza wydajność termiczną układu spalania, przez co również powoduje zmniejszenie produkcji energii, co przecież jest jednym z podstawowych zadań każdego zakładu termicznego przetwarzania odpadów. Redukcja tlenków azotu metodą niekatalityczną jest najefektywniejsza w zakresie wartości temperatur 850–1050°C, gdyż reakcja ta znacznie spowalnia poniżej tego zakresu, podczas gdy powyżej 1100°C następuje niepożądane utlenianie amoniaku do ditlenku azotu [113,114]. Dlatego też istotne jest idealne rozmieszczenie dysz wtrysku reagenta w komorze paleniska, gdyż wskazany jest równomierny rozkład temperatur w tej komorze a ograniczeniem metody niekatalitycznej jest wielkość tej komory – przy dużych wymiarach przekroju komory paleniska (a takie piece muszą być zastosowane przy planowanej wydajności spalania odpadów) może nastąpić nierównomierne wymieszanie reagenta z oczyszczanymi gazami spalinowymi.

Przykładem zastosowania metody niekatalitycznej redukcji tlenków azotu jest modernizacja w 2010 roku kotła BP-1150 w elektrowni PGE Opole SA w zakresie dotyczącym emisji NO_x, przystosowując go do pracy ze standardem emisyjnym poniżej 200 mg/m_n³. Redukcję emisji NO_x realizowano metodami pierwotnymi wspomaganymi technologiami wtórnymi niekatalitycznymi (SNCR) [4]. Realizując projekt zdecydowa-

no się na budowę specjalnego systemu, którego podstawowym zadaniem jest równomierne rozpylanie reagenta (roztworu mocznika) w całym przekroju spalin w górnej części komory paleniskowej. Jednakże zakres modernizacji obejmował również zmiany w konstrukcji kotła m.in. poprzez ingerencję w układ parowo-wodny, zmiany w dyszach powietrza wtórnego i innych zmianach. Autorzy projektu informując o przydatności zastosowanej metody (np. możliwość zmniejszenia stopnia zużycia roztworu amoniaku), jednocześnie potwierdzają wysoką skuteczność metod katalitycznych (SCR), zwracając uwagę na jednak wysokie koszty eksploatacyjne metody katalitycznej. Jednakże nie wspominają o kosztach inwestycyjnych modernizacji tej, jak sami sugerują, w pewnym sensie prototypowej instalacji [4].

Usuwanie wyższych tlenków azotu niekatalityczną metodą absorpcyjną zaproponowano w Politechnice Wrocławskiej (Włodzimierz Kordylewski i inni) [31,46], gdzie zostały przedstawione wyniki badań usuwania NO_x z zastosowaniem ozonu jako utleniacza i absorpcji wyższych tlenków azotu w roztworach wodorotlenku sodu. Wykazano, że dla zależności $X = \text{O}_3/\text{NO}_{\text{ref}} \leq 1,0$ przeważa utlenianie NO do NO_2 , który jest słabo absorbowany, natomiast dla $X \gg 1,0$ NO_2 ulega dalszemu utlenianiu do N_2O_5 , który jest już efektywnie absorbowany w skruberze. Efektywność redukcji tlenków azotu $\eta \geq 90\%$ osiągnięto przy stosunkowo dużym stosunku molowym $X = 2,75$. Są to jednak wstępne badania, gdyż przeprowadzono je w instalacji pilotowej będącej prototypem instalacji kotłowej odprowadzenia spalin i skrubera instalacji oczyszczania spalin. Autorzy tych publikacji zwracają uwagę na to, że podstawową metodą umożliwiającą ograniczenie emisji NO_x poniżej 200 mg/m^3 (przy 6% O_2) jest jednak selektywna katalityczna redukcja (SCR) [31]. Metoda jest bardzo skuteczna w usuwaniu tlenków azotu ze spalin i ma statut BAT [22,44,80,95], ale jest też kosztowna pod względem inwestycyjnym i eksploatacyjnym i komplikuje eksploatację instalacji, ponieważ proces redukcji NO_x powinien zachodzić w zakresie temperatur $350\text{--}470^\circ\text{C}$ [50,78,84], a według Vassilieva i innych [99], jest to nawet zakres $250\text{--}350^\circ\text{C}$.

Autorzy niniejszej monografii potwierdzają wspomniane temperatury warunki pracy instalacji SCR i w dalszej części rozdziału przedstawią swoją propozycję dotyczącą metody podgrzania spalin do wartości tak wysokich temperatur.

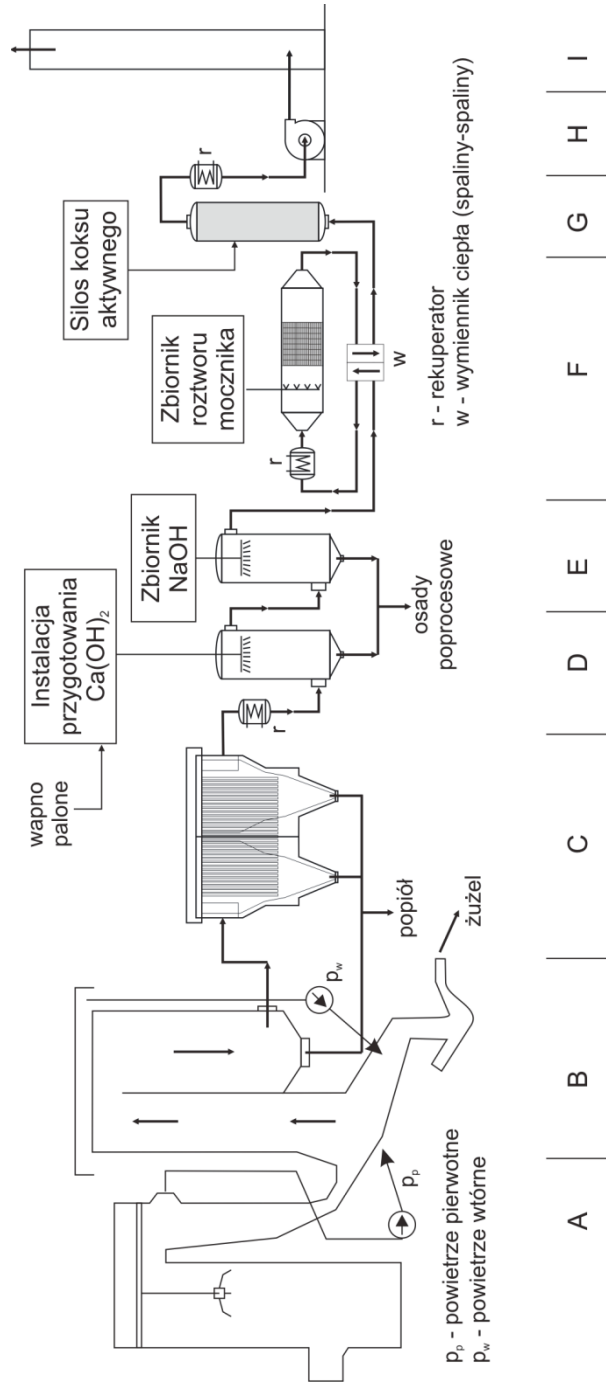
Należy też zwrócić uwagę na stosunkowo niską skuteczność redukcji NO_x metodą niekatalityczną (40–60%), podczas gdy zaletą metody SCR jest możliwość osiągnięcia stopnia redukcji nawet 90% niezależnie od obciążenia kotła [113,114].

Konieczność ograniczenia emisji tlenków azotu z kotłów energetycznych do poziomu $\leq 200 \text{ mg/m}^3$ będzie obowiązkowa w Polsce od 2016 roku. Jak podaje A. Gostomczyk [23,24], jedyną sprawdzoną w skali przemysłowej technologią, dającą gwarancję obniżenia stężenia NO_x do poziomu $200 \text{ mg NO}_2/\text{m}^3$, jest metoda katalitycznej redukcji SCR, pomimo tego, że jest to metoda generująca wysokie koszty inwestycyjne. Wadą tej technologii jest również znaczny, molowy nadmiar reduktora oraz trudności z uzyskaniem stężeń NO_2 niższych niż 200 mg/m^3 w spalinach, a także nieunikniona emisja amoniaku [23,24].

Schemat zaproponowanego układu węzłów oczyszczania spalin przedstawiono na rysunku 10. Symbole A–I oznaczają zasadnicze węzły układu technologicznego:

- A – układ załadunku odpadów komunalnych do pieca,
- B – węzeł spalania i odzysku energii,
- C – filtr workowy,
- D, E – oczyszczanie spalin metodą absorpcyjną (redukcja HCl , HF , SO_2),
- F – katalityczna redukcja NO_x ,
- G – oczyszczanie spalin metodą adsorpcyjną,
- H – główny wentylator ciągu,
- I – emitor oczyszczonych gazów spalinowych.

Pierwszym węzłem technologicznym oczyszczania spalin są, odporne na działanie wysokiej temperatury, odpylacze workowe. Kocioł odzyskowy jest wykorzystywany, nie tylko do produkcji energii elektrycznej, poprzez wytworzenie pary napędzającej turbinę, ale także pośrednio, do schłodzenia gorących spalin, tak aby nie zniszczyły odpylaczy. Odpylacze workowe budowane są na bazie teflonu, który wytrzyma temperaturę około 240°C . W związku z powyższym spaliny muszą być w węźle odzysku energii chłodzone najbezpieczniej do temperatury 200°C .



Rys. 10. Schemat oczyszczania gazów spalinowych pojedynczej linii technologicznej; opis w tekście
Fig. 10. Diagram of treatment of exhaust gases of single technological line; description in the text

Następnym węzłem technologicznym oczyszczania spalin jest dwustopniowy układ zraszaczy (absorberów) uławiających szkodliwe substancje gazowe ze spalin, przede wszystkim: chlorowódor, fluorowódor, ditlenek siarki oraz metale, głównie metale ciężkie. Spaliny kierowane do tej instalacji posiadają zwykle temperaturę 120–130°C, więc stanowią one zagrożenie dla wykładziny absorbera [62,63]. W związku z powyższym powinny być schłodzone poprzez wykorzystywanie ich ciepła, np. do podgrzewania spalin kierowanych do komina lub do podgrzewania kondensatu. Schłodzenie spalin pozwala też zmniejszyć zużycie wody dodatkowej oraz polepszy warunki procesu odsiarczania. W tym węźle jako neutralizatory i reagenty zasadniczo stosowane są wodorotlenki sodu i wapnia [34,44]. Najczęściej stosuje się na pierwszym stopniu natrysk wodorotlenku sodu w przeciwnym kierunku do ruchu spalin, z którego otrzymywane są ścieki typu solanki (chlorki, fluorki itp.), wymagające podczyszczenia w obiegu wodno-mułowym. Drugim stopniem oczyszczenia spalin jest natrysk roztworem $(Ca(OH)_2)$, również w przeciwnym kierunku do ruchu spalin. W konsekwencji powstaje głównie zawiesina gipsu, która musi być odprowadzana do obiegu wodno-ściekowego, gdzie muszą być zastosowane procesy sedymentacji, koagulacji oraz filtracji, w wyniku czego otrzyma się odwodniony siarczan wapnia, czyli gips oraz ściek mechanicznie oczyszczony (jednofazowy lub prawie jednofazowy). Powstały gips, który, niestety, nie jest gipsem czystym, bowiem zawiera różne domieszki, w tym także domieszki metali ciężkich, może być zawracany jako częściowy wsad do mieszanki betonowej w procesie solidyfikacji [76,78].

Kolejnym węzłem, do którego prowadzone są podczyszczone spaliny jest węzeł redukcji tlenków azotu NO_x (NO_2 i NO) do wolnego azotu. Zaproponowana selektywna metoda katalityczna charakteryzuje się tym, że powinno się ją przeprowadzać w temperaturze około 400–450°C. W tym celu należy ponownie poddać spaliny podgrzaniu (które wcześniej zostały schłodzone w procesie odsiarczania). Proponuje się zastosowanie parowego podgrzewacza gazów spalinowych (rekuperatora), w którym zostanie użyta para produkowana przez kocioł odzyskowy, będącym elementem wcześniejszego węzła odzysku i przetwarzania energii cieplnej. Następnie w postaci wtrysku mgły wodnego roztworu mocznika, który w wyniku określonych reakcji uwolni azot jako gaz czysty (stosowany zbiornik z zabezpieczeniem antywybuchowym). Właści-

wym medium rozpylającym jest sprężone powietrze. Zakładając funkcjonowanie instalacji przy pełnej wydajności spalania, zbiorniki magazynujące wodę amoniakalną na terenie ZTPOK powinny wystarczyć na około 14 dni nieprzerwanej pracy. Zbiorniki te powinny być usytuowane pod wiatą na otwartej przestrzeni w betonowej tacy z możliwością odpompowania ewentualnych wycieków. Nie zakłada się większej objętości zbiorników z wodą amoniakalną, tak aby nie było podstaw do zakwalifikowania zakładu jako instalacji o zwiększonym ryzyku wystąpienia awarii przemysłowej, zgodnie z Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 października 2013 roku [122].

Szczególnie ważne jest to, że reakcje neutralizacji tlenków azotu prowadzące do uwalniania wolnego azotu w temperaturze około 350°C, mogą zachodzić jedynie w obecności katalizatorów, którymi najczęściej są tlenki niektórych metali, a mianowicie wolframu, wanadu, tytanu (WO_3 , V_2O_5 , TiO_2). Zwraca się uwagę, że są to bardzo drogie, importowane surowce, natomiast zużyte katalizatory stanowią złom, czyli wtórny odpad, a więc po zużyciu muszą być odwiezione do przetopu w hucie metali kolorowych [76,78].

Po węźle redukcji tlenków azotu NO_x , a przed następnym etapem dalszego oczyszczania gazów spalinowych, musi nastąpić schłodzenie spalin, dlatego jako kolejny węzeł powinien być zaprojektowany wymiennik ciepła, gdyż gorące spaliny nie mogą być kierowane bezpośrednio do ostatniego węzła oczyszczania spalin, tj. węzła sorpcji. Spaliny trzeba schłodzić najlepiej do temperatury 100°C a nawet nieco poniżej 100°C, gdyż kierowane są do węzła sorpcji, gdzie wsadem do kolumny sorpcyjnej jest węgiel aktywny (zbyt wysoka temperatura spalin spowoduje samozapłon węgla aktywnego, a ponadto okolice temperatury 100°C to warunki najczęściej quasi optymalne dla węgla aktywnych) [78]. Oczywiście na tym węźle spaliny mają niską temperaturę, lecz na tyle wystarczającą, aby uzyskać ciepłą (gorącą) wodę i wykorzystać ją na potrzeby zakładu, np. budynku socjalne.

Węzeł sorpcji na węglu aktywnym to węzeł technologiczny, gdzie odbywa się tzw. ostateczne doczyszczanie spalin, ogólnie z par węglowodorów, a więc w tym węźle można jeszcze przechwycić pewną część znajdujących się w fazie gazowej spalin polichlorowanych dibenzodiodksyn i polichlorowanych dibezofuranów, szacując ją na około 1/3 całkowitej ilości tych niebezpiecznych związków zawartych w fazie gazowej spalin

[78]. Przy zastosowaniu nowoczesnej techniki oczyszczania spalin można przechwycić i zneutralizować około 96,6% wszystkich polichlorowanych dibezodioksyn i polichlorowanych dibezofuranów. Zatem należy zdawać sobie sprawę z faktu, że najprawdopodobniej pozostała część, a więc około 3,3% polichlorowanych dibezodioksyn i polichlorowanych dibezofuranów, będąca w fazie gazowej spalin przedostanie się niestety do środowiska [78].

Zwraca się uwagę, że potocznie określa się oczyszczanie w tym węźle technologicznym jako proces sorpcji z zastosowaniem węgla aktywnego. Częściej stosowanym sorbentem jest tzw. koks aktywny – rodzaj węgla aktywnego modyfikowanego na bazie ziarnistego węgla kamiennego lub brunatnego, poprzez karbonizację i aktywację parą wodną w temperaturze około 900°C. Koks aktywny znalazł zastosowanie przede wszystkim w końcowym etapie doczyszczania gazów i spalin pochodzących ze spalania odpadów komunalnych, poprzez usuwanie metali ciężkich (rtęć, kadm, tal), wspomniane wcześniej dioksyny i furany oraz pozostałe związki organiczne [9].

Metoda adsorpcyjna z użyciem węgla aktywnego jako sorbenta znalazła również zastosowanie jako sposób redukcji tlenków azotu w gazach spalinowych. Wielokrotnie określano eksperymentalne modele matematyczne dotyczące dynamicznej adsorpcji NO na węglu aktywnym [21,49,99].

Ostatnim węzłem technologicznym linii oczyszczania spalin powinien być system kominowy, czyli ostateczne ujście oczyszczonych spalin do atmosfery. Przewidziane jest zaprojektowanie wspólnego systemu kominowego dla dwóch linii technologicznych ZTPOK. Oczyszczone gazy spalinowe będą kierowane przez dwa wentylatory ciągu do jednego emitora i następnie bezpośrednio do atmosfery. W każdym wentylatorze następuje wzrost temperatury gazów spalinowych o kilka stopni, w zależności od spiętrzenia i jego strat. Mimo tego, należy dodatkowo zwiększyć wartość temperatury spalin, tak aby zapobiec kondensacji i korozji ścian emitora. Spaliny muszą zostać osuszone i podgrzane powyżej temperatury nasycenia zawartej w nich pary [110]. Parametry emitora określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 roku w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [128]. Podstawowym parametrem jest geometryczna wysokość emitora h , liczona od poziomu terenu, zgodna z decyzją o środowi-

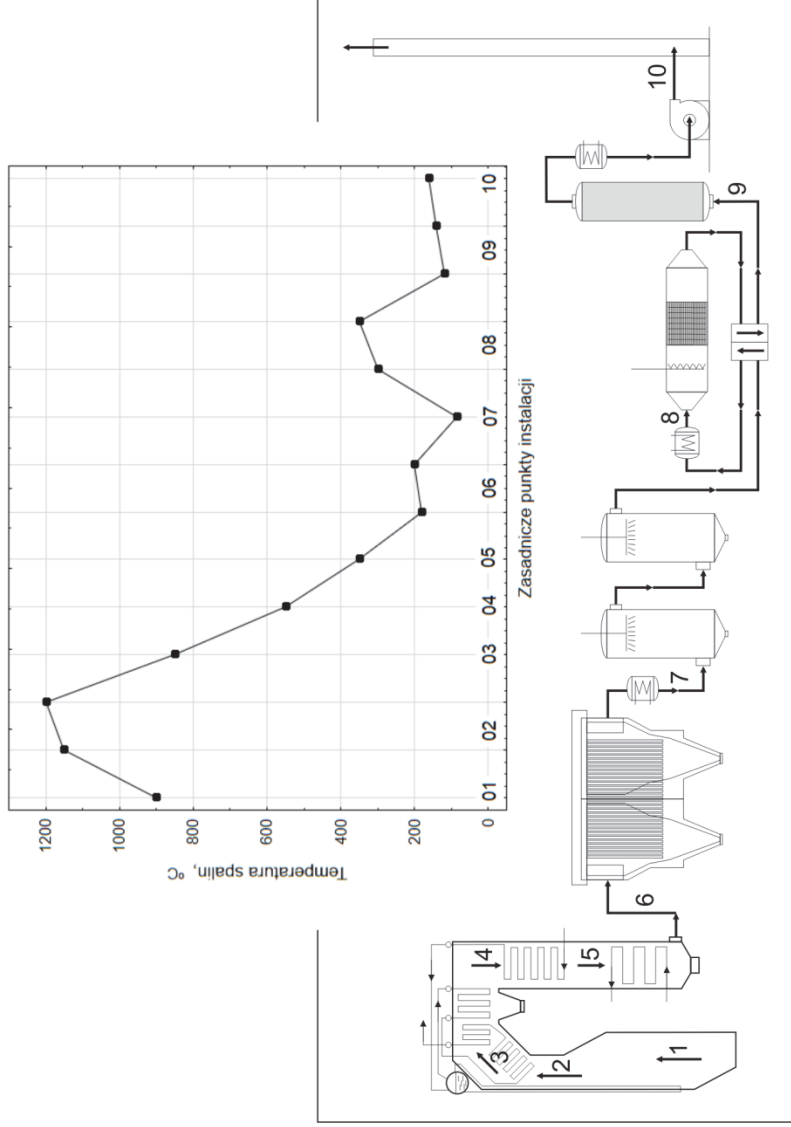
skowych uwarunkowaniach na realizację przedsięwzięcia. Wysokość geometryczna emitora jest współzależna z wysokością efektywną $H = h + \Delta h$, gdzie Δh to wyniesienie gazów odlotowych, zależne od gazów odlotowych na wylocie z emitora v , emisji ciepła Q i prędkości wiatru na wysokości wylotu z emitora u_h . Emisja ciepła Q , kJ/s, to zależność średnicy wewnętrznej wylotu emitora – d , temperatury gazów odlotowych na wylocie emitora – T i średniej temperatury powietrza T_o , opracowanej przez państwową służbę meteorologiczną. Zgodnie z metodyką referencyjną modelowania poziomów substancji w powietrzu, w obliczeniach zaleca się stosowanie róży wiatrów najbardziej odpowiedniej dla podokresów (przykładowo – zimowo-dziennej), ale dopuszcza się też stosowanie jednej róży wiatrów, (przykładowo rocznej) dla wszystkich podokresów [128].

Przedstawione węzły technologiczne oczyszczania spalin stanowią podstawowy ciąg technologiczny, tj. od chwili przyjęcia odpadów od dostawcy do ich termicznej likwidacji i utylizacji. Dodatkowo, następuje odzysk energii i co najważniejsze maksymalne oczyszczenie spalin, które zostaną odprowadzone do atmosfery nie zagrażając środowisku.

Ponieważ jednym z ważnych parametrów wpływających na wydajność oczyszczania spalin, oprócz fizycznych właściwości odczynników stosowanych w poszczególnych metodach oraz czasu kontaktu tych odczynników ze spalinami, jest ich temperatura. Na rysunku 11 przedstawiono poszczególne, powyżej omówione, zakresy temperaturowe dla zasadniczych węzłów linii technologicznej.

Należy mieć na uwadze, iż wyżej wymieniony ciąg technologiczny należy rozpatrywać jako dwie identyczne, niezależne linie technologiczne a więc węzły i urządzenia będą zdublowane, zgodnie z wcześniej przedstawionym schematem blokowym (rysunek 7). W związku z tym, koszty urządzeń i montażu należy także podwoić.

Wyraźnie pozytywnie na obniżenie kosztów nie tylko inwestycyjnych, ale przede wszystkim na obniżenie wartości jednostkowego wskaźnika kosztów eksploatacyjnych może wpłynąć fakt, że opisany układ technologiczny nie zawiera szeregu ważnych węzłów technologicznych, które powinny się pojawić w kompleksowym zakładzie termicznej utylizacji odpadów, tak jak to pokazano w pracach T. Piecucha [77,78]. Jednakże, wpłynie to negatywnie na ekologiczną jakość funkcjonowania zakładu.



Rys. 11. Rozkład temperatur spalin w wybranych węzłach ciągu technologicznego proponowanego zakładu
Fig. 11. Distribution of temperatures in selected nodes of technological system of proposed plant

Pierwszym węzłem niezaproponowanym w układzie technologicznym oczyszczania gazów spalinowych jest odpylanie spalin przy zastosowaniu odpylaczy elektrostatycznych, które charakteryzują się wysoką skutecznością oddzielania najbardziej szkodliwych cząsteczek o bardzo małej dyspersji ($0,005 \mu\text{m}$) [168,169]. Tego rodzaju filtry powinny być stosowane jako kolejny element ciągu odpylania spalin po filtrach workowych. Niestety urządzenia te są niezwykle kosztowne, co w znaczny sposób podnosi koszty eksploatacyjne. Dodatkowo autorzy publikacji [101] zwracają uwagę na fakt, że to filtry workowe poprzez zachodzącą adsorpcję rtęci gazowej na placku filtracyjnym wykazują wyższą niż odpylacze elektrostatyczne skuteczność zatrzymywania rtęci ze spalin.

Kolejnym węzłem, który nie został uwzględniony w proponowanym układzie jest węzeł eliminacji par rtęci z zastosowaniem kosztownych metali szlachetnych (platyna, srebro), co tym razem podwyższa koszty inwestycyjne. Rtęć jest zaliczana do grupy najbardziej toksycznych pierwiastków. Wielkość emisji rtęci ze spalania zależy od chemicznej formy obecności w spalinach, gdyż ma to wpływ na stopień jej redukcji w urządzeniach oczyszczających. Ze względu na systematyczne zaostrażanie przez Unię Europejską wymagań ograniczających emisje szkodliwych składników ze spalania odpadów do atmosfery (np. wycofanie rtęci z budowy wielu urządzeń powszechnego użytku jak termometry, lampy itp., wykluczyło przedostanie się rtęci do odpadów), w ostatnich latach emisja rtęci znacząco spadła, choć jej ładunek w środowisku nadal jest wysoki. Jednakże, jak podają U. Lorenz i Z. Grudziński [54], uwalnianie rtęci do środowiska zachodzi głównie przy okazji spalania węgla, który jest paliwem zawierającym pewne naturalne ilości rtęci (co stanowi 41,6% udziału w emisji rtęci), procesów przemysłowych, jak np. produkcja chloru metodą rtęciową (7,0%) czy produkcja cementu (41,2%) – dane z 2004 roku [54]. Potwierdzają to wyniki badań przedstawionych w publikacjach autorów: B. Kłojzy-Karczmarczyk i J. Mazurek [43] i Wichliński i inni [102], które wykazały, że średnia zawartość rtęci w badanych próbkach węgla kamiennych i brunatnych pobranych z polskich kopalń, wynosi około 100 ng/g. Stwierdzono również, że w wyniku procesu wzbogacania możliwe było usunięcie prawie 75% rtęci zawartej w wyjściowym paliwie. Natomiast spalanie odpadów komunalnych powoduje zwiększenie emisji całkowitej zaledwie o 0,6% [54].

Stosowanie skutecznych technologii oczyszczania spalin, np. filtrów pyłowych lub instalacji odsiarczania gazów spalinowych, powoduje znaczne zmniejszenie emisji rtęci, mimo, że nie są to technologie przeznaczone do redukcji rtęci. Jak podaje się w pracy autorów: S. Hławiczka i J. Fudała [29], w przypadku mokrych instalacji odsiarczania spalin, możliwe jest ograniczenie emisji rtęci w granicach 30–50%, podczas gdy suche metody oczyszczania spalin redukują nawet w zakresie 35–85%.

W ramach zakładu termicznego przekształcania odpadów komunalnych powinien także znajdować się węzeł technologiczny związany z procesem pirolizy, w którym likwiduje się odpady o zawartości chloru przekraczającej 0,5% (głównie odpady tworzyw sztucznych). Jednakże morfologia odpadów komunalnych świadczy o tym, że udział odpadów tworzyw sztucznych, mających bardzo wysokie wartości energetyczne [13,87], jest bardzo wysoki (około 13%). Mimo, że spalanie z zastosowaniem pieców rusztowych nie wymaga do autotermicznej pracy odpadów o wysokiej wartości opałowej, jednak ograniczenie znacznej ilości odpadów wysokoenergetycznych we wsadzie do pieców może zmniejszyć niezawodność ich pracy. Zgodnie z ramową dyrektywą Rady Europejskiej w sprawie odpadów z 2008 roku [117] warunkiem koniecznym zaliczenia termicznego przekształcania odpadów komunalnych do procesów odzysku energii jest osiągnięcie przez spalarnie określonej wartości tzw. wskaźnika efektywności energetycznej (dla nowych instalacji powyżej 0,65). Wszystkie nowe spalarnie odpadów uzyskują ten wskaźnik na poziomie 0,75–1,2. Jak podaje G. Wielgoński [107], na dzień dzisiejszy, żadna technologia pirolityczna, zgazowania czy też plazmowa nie jest w stanie zapewnić tak wysokiego wskaźnika efektywności energetycznej. Obecnie w Europie proces pirolizy stosowany jest w kontekście pirolizy zużytych opon samochodowych i odpadów tworzyw sztucznych (np. instalacje pirolizy Dagas NT i WT [159]) lub np. współspalania odpadów rolniczych [26]. Ciekłe i gazowe frakcje procesu pirolizy mogą być wykorzystane do produkcji prądu (napędzanie agregatów prądotwórczych), ciepła, pary przegrzanej (spalanie w kotłach parowych) [64,82] lub np. w przypadku pirolizy węgla brunatnego, olej pirolityczny może zostać zastosowany w procesie flotacji szlamów węglowych [25]. Proces pirolizy znalazł również zastosowanie w przypadku termicznej utylizacji biomasy (np. wielokierunkowe możliwości wykorzystania produktów szybkiej pirolizy biomasy przez firmę Dynamotive Energy Systems Cor-

poration, światowego lidera w produkcji bio-oleju [158]). M.in. w publikacji z 2014 roku G. Wielgosiński zwraca uwagę, że aktualnie w Europie istnieje tylko jedna instalacja pirolityczna (uruchomiona w 1987 roku w Burgau w Niemczech), wszystkie inne wybudowane w latach 1990–2007 zostały zamknięte [104].

3.5. Instalacja oczyszczania ścieków poprocesowych

Każdy system oczyszczenia spalin generujący duże ilości ścieków technologicznych, w postaci roztworów zanieczyszczonych kwasów i zasad. Dodatkowo, powstają ścieki z innych zespołów technologicznych, np. węzła odzysku ciepła oraz ścieki przemysłowe pochodzące z mycia urządzeń, placów itp. Wszystko to powoduje konieczność budowania na terenie zakładu oczyszczalni ścieków.

W związku z powyższym, kolejnym węzłem ciągu technologicznego powinien być obieg wodno-mułowo-ściekowy, tj. wspomniana oczyszczalnia ścieków, na którą kierować powinno się następujące strumienie ścieków technologicznych i przemysłowych:

- ścieki z technologii mokrego oczyszczania spalin,
- odmuliny z kotła odzyskowego,
- okresowe zrzuty kondensatu z obiegów grzewczych,
- ścieki z procesu oczyszczania filtrów stacji uzdatniania wody,
- odcieki z okresowego czyszczenia elementów zespołów technologicznych zakładu,
- ścieki pochodzące z mycia placów, kontenerów zakładu,
- ścieki bytowe pochodzące z budynków technologicznych i socjalnych,
- wody opadowe i roztopowe z terenu zakładu.

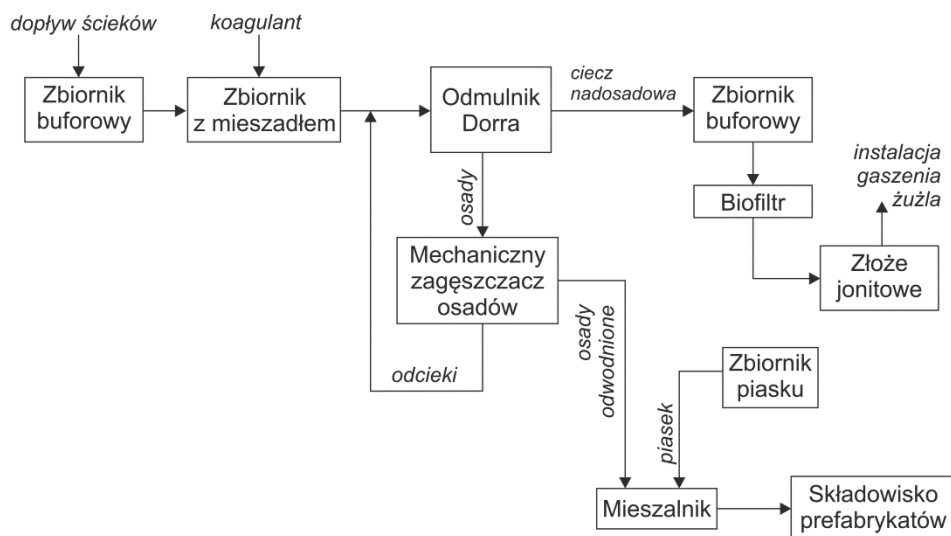
Należy zaprojektować i wybudować kanalizację technologiczną i przemysłową, z rozdziałem kanalizacji deszczowej, umożliwiającej przyjęcie całkowitej ilości wód opadowych i roztopowych z powierzchni dachów i dróg, placów manewrowych i składowych.

Strumienie ścieków technologicznych i przemysłowych powinny być wstępnie odprowadzane do osobnych zbiorników, spełniających rolę zbiorników buforowych i jednocześnie osadników wstępnych.

Elementy instalacji oczyszczania ścieków powinny pracować w sposób ciągły i być realizowane etapowo jako zespół procesów chemicznych i mechanicznych.

Z uwagi na powstawanie podczas oczyszczania spalin (po węzle uławiania gazów (chlorowodoru i fluorowodoru) przy użyciu reagenta wodorotlenku sodu), ścieków typu solanki, powinny być one oczyszczane w ramach obiegu wodno-ściekowego opartego o procesy fizykochemiczne i chemiczne (np. koagulacja, neutralizacja, itp.). Konieczne jest wybudowanie systemu, który będzie odwadniał, w trybie mechanicznym, ewentualne powstałe ścieki gipsowe, a następnie chemicznie oczyszczał. Dlatego do procesów chemicznych należy zaliczyć: neutralizację ścieków kwaśnych, koagulację i flokulację, natomiast procesy mechaniczne to sedimentacja, zagęszczanie czy odwadnianie osadów.

Przykładową modułową linię technologiczną podczyszczania ścieków poprocesowych przedstawia schemat na rysunku 12.



Rys. 12. Schemat przykładowego układu podczyszczania ścieków poprocesowych [opracowanie własne]

Fig. 12. Diagram of exemplary system for pre-treatment of post-process wastewater [own study]

Zakłada się instalację oczyszczania ścieków, składającą się z następujących elementów:

1. dopływ ścieków,
2. zbiornik buforowy przyjmujący ścieki,
3. zbiornik z mieszadłami, z dawkowaniem koagulantu,

4. odmulnik Dorra,
5. mechaniczny zagęszczacz osadu,
6. mieszalnik,
7. składowisko odpadów.

W zaproponowanej instalacji wylew z odmulnika Dorra kierowany jest do odbiornika osadów, następnie za pomocą pompy szlamowej, jest podawany na wirówkę sedymentacyjną. Odwodnione osady z wirówki kierowane są do mieszalnika a następnie składowane. Ciecz nadosadowa kierowana jest do zbiornika buforowego, następnie po przejściu przez złożę filtracyjne trafia na kolumnę jonitową złoża kationitu (np. Wofatit KPS), gdzie następuje końcowe doczyszczenie ścieków, które mogą zostać skierowane do wód środowiskowych (rysunek 12).

W przypadku takiej podczyszczalni, należy zamontować dwie pompownie odmulników Dorra, (zbiornik wylewu i przelewu, 2. pompy szlamowe i 2. pompy przelewowe).

3.6. Zagospodarowanie odpadów poprocesowych

Produktami ubocznymi procesu spalania odpadów komunalnych są stałe odpady poprocesowe w postaci pyłu lotnego, żużlu, oraz pozostałości po procesach oczyszczania spalin. Ilość tych pozostałości zależna jest od składu morfologicznego spalanych odpadów, rodzaju założonej technologii procesu termicznego przekształcania i przyjętego systemu oczyszczania spalin.

Największy udział w odpadach poprocesowych stanowi żużel oraz popiół paleniskowy [52,59,76]. Żużel jest mieszaniną pozostałości po spalaniu substancji organicznej oraz niepalnych składników odpadów, przede wszystkim metali (ferromagnetyków i metali kolorowych), lecz także zarówno metali ciężkich jak i niewielkich ilości dioksyn [10,39]. W przypadku odpadów komunalnych, przyjmuje się, że żużel stanowi około 15–25% całej masy utylizowanych tego rodzaju odpadów.

W węźle odpylaczy workowych powstają pyły, jako zróżnicowane, wtórne odpady. W węźle odsiarczania spalin za pomocą wodorotlenku wapnia, pojawiają się ścieki zawiesinowe gipsu (siarczanu wapnia) lub suchy gips w zależności od rodzaju spalanych odpadów. Te zawiesinowe ścieki należy mechanicznie odwodnić. Wówczas odzyskany gips staje się wtórnym odpadem, który trzeba zagospodarować, podobnie jak żużel, popiół i pył.

W obowiązującym w Polsce Katalogu Odpadów [129], pozostałości po spalaniu odpadów komunalnych zostały zaliczone do następujących grup odpadów: 19 01 01 – żużle i popioły paleniskowe, 19 01 02 – złom żelazny usunięty z popiołów paleniskowych, 19 01 08 – odpady z termicznego rozkładu. Wszystkie wymienione wyżej grupy odpadów nie zostały umieszczone na liście odpadów niebezpiecznych.

Natomiast popioły lotne oraz pozostałości po oczyszczaniu spalin w Katalogu Odpadów, zaliczone zostały do grup odpadów: 19 01 03 – popioły lotne, 19 01 04 – pyły z kotłów i pieców, 19 01 05 – osady z filtrowania spalin, 19 01 06 – szlasy i inne odpady o konsystencji ciekłej z oczyszczania spalin. Ten rodzaj odpadów traktowany jest jako odpady niebezpieczne.

W związku z powyższym, należy wyraźnie rozgraniczyć istotę postępowania z odpadami niebezpiecznymi będącymi wtórnymi produktami procesu spalania (popioły lotne, pyły, szlasy, pozostałości z oczyszczania gazów spalinowych) i sprawę postępowania z odpadami innymi niż niebezpieczne, które powstają w spalarniach odpadów komunalnych, takimi jak żużle. Dlatego należy zaplanować wybudowanie dodatkowych węzłów zagospodarowania tego rodzaju odpadów składających się z następujących instalacji:

- wstępnej waloryzacji żużli – produktów nietraktowanych jako odpady niebezpieczne, poprzez wydzielenie z nich metali a następnie obróbkę mechaniczną z wykorzystaniem w przemyśle jako kruszywa budowlanego/drogowego,
- solidyfikacji (zestalania) odpadów poprocesowych (pyłów lotnych z kotła i odpylania gazów spalinowych oraz ich oczyszczania) – traktowanych jako odpady niebezpieczne,
- ostatecznej chemicznej stabilizacji odpadów poprocesowych.

3.6.1. Instalacja waloryzacji żużli

Proces waloryzacji, jako jedna z bezpiecznych metod zagospodarowania żużli i popiołów paleniskowych polega na wstępnej, mechanicznej obróbce tych odpadów z wydzieleniem odpowiedniej frakcji żużla, oraz oddzieleniem z jego składu metali żelaznych i nieżelaznych. Następnym etapem waloryzacji jest wystawieniu wydzielonej frakcji żużla na działanie powietrza atmosferycznego przez okres kilku tygodni lub

nawet miesięcy. Instalacja waloryzacji żużla winna być zlokalizowana w oddzielnym budynku zakładu termicznego przekształcania odpadów. Dlatego należy założyć, że żużel, powstający w wyniku termicznego przekształcania odpadów będzie transportowany z odżuźlaczy za pomocą przenośników do zadaszonej hali przyjęcia żużli, która jest pierwszym elementem instalacji waloryzacji żużli. W trakcie transportu należy zapewnić ograniczenie ewentualnej emisji pyłów do środowiska. Następnym, z użyciem ładowarki, żużel transportowany jest do leja zasypowego instalacji sortowania i mechanicznej obróbki żużla, znajdującej się w budynku waloryzacji. Instalacja ta powinna być wyposażona w zespół urządzeń: wysortowania złomu metali żelaznych i nieżelaznych oraz obróbki i segregacji żużla na frakcje o różnej granulacji. Do urządzeń tych należy zaliczyć kruszarkę, przy pomocy której, następuje rozdrobnienie żużli, przesiewacza bębnowego, gdzie następuje segregacja żużla na dwie frakcje, które trafiają do oddzielnych separatorów magnetycznych. Złom stalowy oddzielany jest w procesie separacji elektromagnetycznej, natomiast z udziałem separatorów metali nieżelaznych, oddzielane są inne metale, które mogą być odsprzedawane do zakładów przerobczych. Na tym etapie powinno nastąpić wydzielenie z żużli części niedopalonych, które powinny trafić powrotnie do węzła termicznego przekształcania odpadów.

Po wyselekcjonowaniu metali nieżelaznych, pozostała frakcja żużli, z użyciem systemu podajników, powinna być układana w kwaterach placu sezonowania żużla. Dla potrzeb sezonowania żużla, należy przygotować zadaszony, utwardzony teren ze szczelną nawierzchnią, pokrytą geomembraną, z odwodnieniem i możliwością zbierania odcieków i wód opadowych z terenu placu sezonowania. Wielkość placu powinna być tak zaprojektowana, by zapewnić możliwość sezonowania poszczególnych frakcji żużli przez okres 3 miesięcy. Należy określić wydajność procesu waloryzacji żużli, zakładając pracę instalacji 12 h/dobę, 5 dni w tygodniu.

Ostatecznie żużle po procesie sezonowania mogą znaleźć zastosowanie w zastępstwie głównych składników materiałowych wykorzystywanych do wykonywania podbudowy dróg lokalnych, parkingów. Odpady tego typu mogą być również zastosowane jako elementy składowe przy budowie nowych kwater składowisk odpadów.

3.6.2. Instalacja zestalania i chemicznej stabilizacji odpadów poprocesowych

Celem zestalania i stabilizowania odpadów procesowych (popioły kotłowe i lotne oraz pozostałości po oczyszczaniu spalin, uznanych jako odpady niebezpieczne) jest ich przygotowanie, tak aby mogłyby one być składowane na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne [59,77,86].

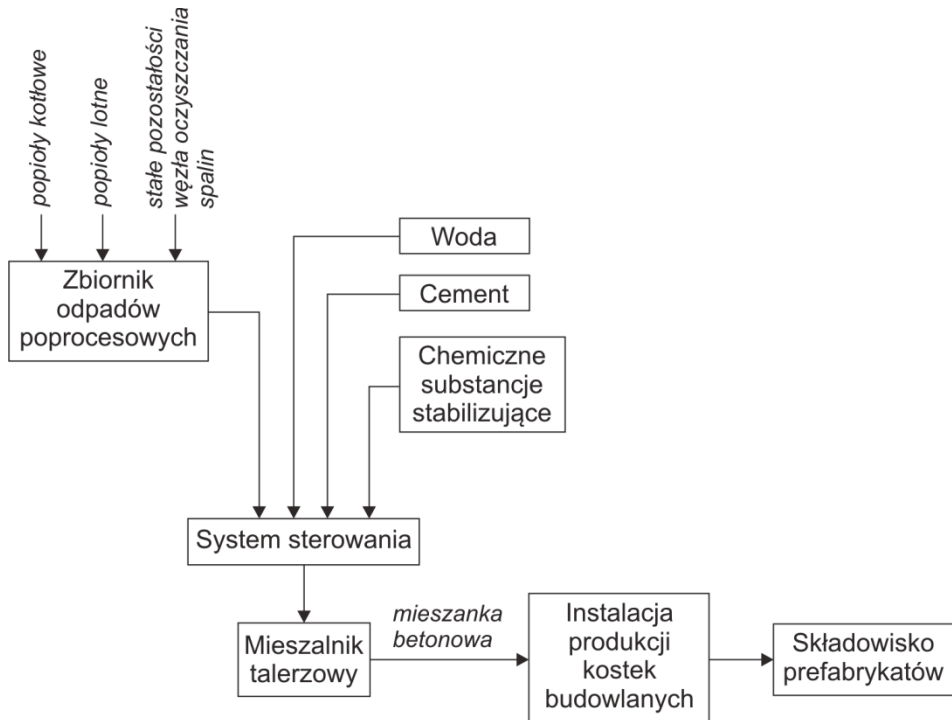
Instalacja powinna być tak zaprojektowana, aby sypkie odpady niebezpieczne, powstające w procesie termicznego przekształcania, były kierowane transportem pneumatycznym do zamkniętych zbiorników węzła solidyfikacji i chemicznego stabilizowania. Zbiorniki te powinny być zabezpieczone przed ewentualnym, niekontrolowanym wydostaniem się lotnych pozostałości. Natomiast odpady po tym procesie należy kierować do tymczasowego miejsca magazynowania pod wiatą i okresowo transportować na składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne.

Instalacja solidyfikacji powinna być zlokalizowana w oddzielnym budynku, nie będącym częścią składową głównego budynku procesowego zakładu termicznego przekształcania odpadów. Zakłada się przepustowość instalacji z uwzględnieniem tego, że jej praca będzie się przebiegać 5 dni w tygodniu i 12 h/dobę.

Schemat modułowy instalacji do zestalania odpadów poprocesowych (popioły kotłowe i lotne oraz stałe pozostałości z systemu oczyszczania spalin), przedstawia rysunek 13.

Zmieszany lotny popiół i pozostałości z oczyszczania spalin powinny być dozowane do mieszalnika, do którego należy dodawać wodę, cement oraz substancje stabilizujące. Produkty te należy składować w zbiornikach znajdujących się wyłącznie w budynku zestalania i stabilizacji. Niebezpieczne pozostałości po wymieszaniu z dodatkami w scalonej postaci za pomocą przenośnika powinny trafić do kontenera.

Zadaniem procesu zestalania i stabilizacji odpadów poprocesowych jest skuteczne związanie substancji niebezpiecznych zawartych w odpadach poprocesowych, uniemożliwiając ich wymywanie z odpadów. Konieczny jest zakup i montaż kruszarek, przesiewaczy, silosów (betoniarek) oraz form wibracyjnych do produkcji kostek brukowych. Następnie wytworzone prefabrykaty należy poddać suszeniu i to wymaga budowy hali lub odpowiedniej suszarni (dojrzewalni).



Rys. 13. Schemat węzła technologicznego zestalenia odpadów poprocesowych [opracowanie własne]

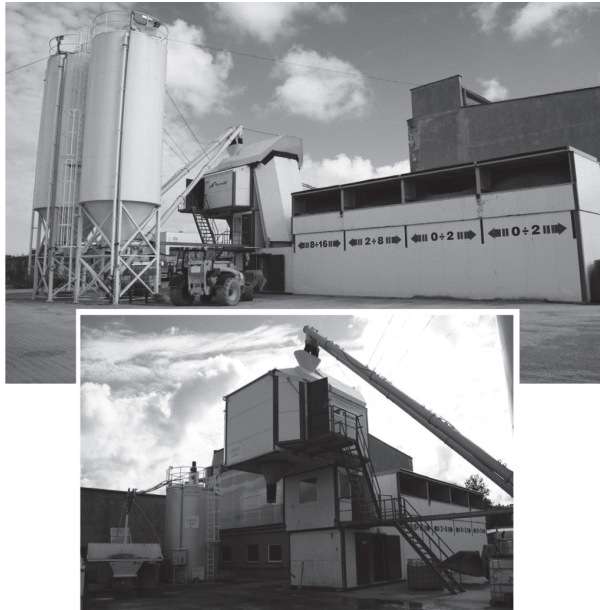
Fig. 13. Diagram of technological node for solidification of post-process waste [own study]

Na rysunku 14 przedstawiono przykładowe pracujące urządzenia poszczególnych węzłów instalacji solidyfikacji odpadów poprocesowych koszalińskiej firmy Format [165].

W składzie takiej linii do produkcji prefabrykatów można wyszczególnić następujące elementy:

- mieszarka talerzowa,
- podajniki ślimakowe,
- zbiorniki kruszyw z kłapami dozującymi,
- waga taśmowa kruszyw,
- waga do cementu,
- silosy do cementu i popiołu,

- instalacja wagowego dozowania plastyfikatorów,
- instalacja wagowego dozowania wody,
- mikrofalowa sonda wilgotności,
- system sterowania.



Rys. 14. Zdjęcia przedstawiające ciąg betoniarski firmy Format, Koszalin; opracowano na podstawie [165]

Fig. 14. Photos of concrete installation of Format company in Koszalin, based on [165]

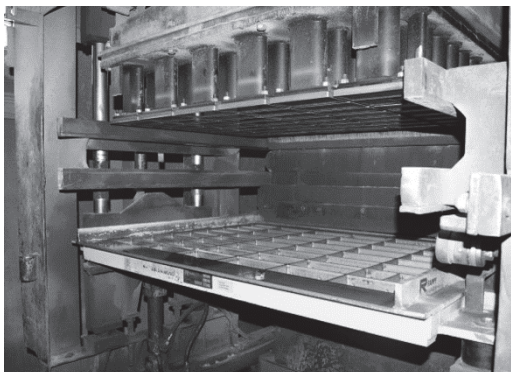
Na rysunku 15 przedstawiony został system sterowania, pozwalający na pełną automatykę procesu produkcji masy betonowej. W skład systemu sterowniczego wchodzi sterownik programowalny, szafa prądowa, komputer wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem, dzięki któremu cały proces jest kierowany z użyciem komputera, który musi być obsługiwany przez wykwalifikowanego pracownika. W systemie sterowania pokazane są wszystkie urządzenia wraz z ich parametrami, wskaźnikami przygotowanie procesu solidyfikacji do pracy. Każde urządzenie oznaczone jest odpowiednim kolorem, umożliwiającym swobodne odczytywanie parametrów oraz weryfikację procesu technologicznego.



Rys. 15. Zdjęcie przedstawiające system sterowania, opracowano na podstawie [165]

Fig. 15. Photo of control system; based on [165]

Po otrzymaniu odpowiedniej mieszanki betonowej należy kierować ją na specjalną maszynę do produkcji kostek budowlanych z przeznaczeniem do produkcji chodników, dróg itp. Przykładowa maszyna do produkcji kostek pracująca w firmie „Format” z Koszalina, została pokazana na rysunku 16. Wyprodukowane kostki betonowe, powinny być składowane w osobnym pomieszczeniu, gdzie zostaną ułożone na odpowiednich regałach, w celu ich „dojr-zewania”. Miejsce przeznaczone do magazynowania należy wyłożyć geomembraną i wyposażyć w system rynien odprowadzających do kanalizacji deszczowej, ewentualne wody opadowe oraz roztopowe. Nie przewiduje się powstawania odcieków z placu tymczasowego magazynowania.



Rys. 16. Zdjęcie przedstawiające przykład formy do produkcji kostek betonowych [165]

Fig. 16. Photo of exemplary device for production of concrete cubes [165]

Podobną metodę neutralizacji odpadów poprocesowych, z zastosowaniem własnych, oryginalnych mieszanek reagentów, zaproponowała szwajcarska firma LAB Geodur z Zug (oddział zamiejscowy niemieckiej spółki LAB GmbH ze Stuttgartu), której wyłącznym przedstawicielem na Polskę jest firma CDF – Technologie dla Środowiska s.c. z Zabrze [59, 160]. W instalacji do stabilizacji i zestalania odpadów, w zależności od zastosowanych reagentów i techniki procesu, jakość receptur mieszanek zależy od energii mieszania wprowadzonej do mieszanki w jednostce czasu i stopnia homogenizacji różnych składników mieszanek. W pierwszej fazie procesu mieszania (dzięki stosownie dobranym reagentom, kontrolowanemu pH i temperaturze procesu) dochodzi do przekształcenia związków chemicznych. W drugiej fazie dochodzi do zmiany fizycznej struktury mieszanki poprzez dodawanie odpowiednich spoiw. Procesy technologiczne zaproponowane przez firmę, prowadzone są w zamkniętej aparaturze (najczęściej w mieszarce stożkowej lub talerzowej), w temperaturze otoczenia a wszystkie materiały sypkie są transportowane i magazynowane w hermetycznych urządzeniach. Zaproponowana instalacja nie emituje zanieczyszczeń gazowych do atmosfery, a emisja pyłów jest niewielka i ogranicza się do emisji powstałej w procesach przeładunku i załadunku materiałów oraz na skutek ruchu pojazdów [59,160].

Składniki produktów określone przez producentów są łatwo rozpuszczalne. Jak podają foldery firmy Geodur, substancje monomeryczne i polimeryczne aktywizują własności wiążące dodawanych spoiw, takich jak: cement, wapno lub popioły lotne, poprzez zmianę ich napięcia powierzchniowego. Składniki produktów tworzą z substancjami szkodliwymi związki kompleksowe lub bezpośrednio molekularne. Produkt Geodur pełni jednocześnie funkcję rozpuszczalnika dla różnych komponentów mieszanki. W zależności od rodzajów zanieczyszczeń zawartych w immobilizowanym odpadzie, z reguły stosuje się dodatkowe nieorganiczne dodatki i spoiwa [162].

Dodatki chemikaliów dla każdego pojedynczego przypadku są obliczane stechiometrycznie. Odbywa się to przy wykorzystaniu programu komputerowego Geocalc® i banku danych Geodat®, gdzie znajduje się aktualnie ponad 2200 receptur dla około 700 różnych odpadów. Proces produkcyjny na instalacji może być kompleksowo zarządzany (poprzez łącze internetowe) w systemie Geosys® z wykorzystaniem wyżej wymienionej bazy danych i oprogramowania [162].

Jeżeli produkt neutralizacji odpadów poprocesowych ma być wykorzystany jako materiał budowlany, wykorzystywane są dodatkowe mechanizmy fizyczne, w szczególności: gęstość, zmiana powierzchni oraz odporność na ściskanie materiału.

W projektowanej instalacji dla regionu środkowopomorskiego sugeruje się, aby wyprodukowane kostki były odbierane przez firmy, z którymi wcześniej zostały podpisane umowy. W zależności od rodzaju wtórnych odpadów poprodukcyjnych, można je potraktować jako substytuty kostek budowlanych, tylko w niewielkim zakresie, tzn. tylko częściowo, w miejsce klasycznych surowców stanowiących wsad mieszanki betonowej, można założyć lotne popioły i pozostałości z oczyszczania spalin. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę, iż musi być także rozwiązany wcześniej problem techniczno-organizacyjny i ekonomiczny odbioru tych prefabrykatów (np. forma nakazu odbioru) przez określone instytucje na terenie województwa, które zajmują się szeroko rozumianym budownictwem w tym przede wszystkim budownictwem dróg, ulic i chodników. Należy także zaprojektować, już po uruchomieniu inwestycji, stopniową budowę nowej infrastruktury dróg z tych prefabrykatów, jak i wszelkie remonty dróg przy użyciu właśnie tych prefabrykatów.

3.7. Instalacje monitoringu emisji zanieczyszczeń

Niezbędnym elementem ciągu technologicznego są nowoczesne urządzenia technologiczne oraz instalacje do ciągłego monitoringu parametrów poszczególnych procesów technologicznych. Zakres monitoringu powinny określać Instrukcje Technologiczne zawierające, zarówno wytyczne dotyczące prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, jak i zakresu pomiarów, sposobu rejestracji parametrów charakteryzujących ten proces. Oczywiście parametry te powinny być odniesione do rodzaju i ilości odpadów przeznaczonych do termicznej utylizacji.

System monitoringu powinien zapewnić możliwość kontroli parametrów następujących węzłów technologicznych zakładu, takich jak:

- ewidencja przyjmowanych odpadów,
- emisja gazów spalinowych,
- emisja pyłów,
- emisja hałasu,
- pobór wody,
- odprowadzanie ścieków,
- ewidencja wytwarzanych odpadów.

Ewidencja przyjmowanych i wytwarzanych odpadów powinna zapewnić rejestrację rodzaju i ilości odpadów wraz z pomiarem wartości parametrów charakteryzujących te odpady, takich jak:

- gęstość,
- kaloryczność (ciepło spalania, wartość opałowa),
- wilgotność,
- zawartość popiołu.

Instalacje do spalania odpadów podlegają standardom emisyjnym w zakresie wprowadzania gazów lub pyłów do powietrza, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 roku w sprawie standardów emisyjnych z instalacji [127]. Dlatego wymagane jest prowadzenie w zakładzie ciągłego pomiaru wielkości odpowiednich parametrów i spełnienia wszystkich warunków emisyjnych. Do podstawowych parametrów należą:

- emisja pyłu,
- substancje organiczne w przeliczeniu na TOC (całkowity węgiel organiczny),
- HCl, HF,
- dioksyne i furany,
- stężenia zanieczyszczeń gazów spalinowych (po każdym węźle oczyszczania spalin): CO, CO₂, NO_x (w przeliczeniu na NO₂), SO₂,
- ciągły pomiar wymaganych parametrów spalin na wylocie z komory dopalania:
 - stężenie O₂,
 - temperatura w przekroju pomiarowym,
 - ciśnienie statyczne,
 - wilgotność bezwzględna,
 - objętościowy strumień.

Przepisy unijne nie wymagają natomiast, aby w sposób ciągły prowadzona była rejestracja czasu przebywania spalin w danej temperaturze, w komorze dopalania. Zapis ten pojawił się w rozporządzeniu Ministra Gospodarki w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów z roku 2002 [120] i został skorygowany w kolejnym rozporządzeniu Ministra Gospodarki z roku 2004 [125]. Jednakże czas przebywania spalin to parametr określany jako ilo-

raz objętości komory dopalania, w której panuje wymagana prawem temperatura 850°C lub 1100°C) i aktualnego objętościowego strumienia spalin, odniesionego do warunków panujących w komorze dopalania (temperatura i ciśnienie). W związku z powyższym, monitorując w sposób ciągły objętościowy strumień spalin, istnieje możliwość wykazania, czy spełniony jest wymagany przepisami, dopuszczalny zakres wartości tak ważnego parametru, jak czas przebywania spalin w komorze dopalania. Ponadto okresowo należy wykonywać pomiary wartości stężeń metali ciężkich.

Pomiary okresowe wielkości emisji, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2008 roku w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji [130], prowadzi się co najmniej raz na 6 miesięcy, jednakże, przez pierwszy rok eksploatacji instalacji, co najmniej raz na 3 miesiące. Wyniki pomiarów przedkłada się każdorazowo odpowiednim organom ochrony środowiska, które wydały pozwolenie emisyjne oraz WIOŚ. O niedotrzymaniu, któregośkolwiek z wyżej wymienionych warunków należy poinformować powyższe instytucje w ciągu 24 godzin.

W projekcie nowego rozporządzenia z 24 października 2012 roku w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów zakłada się również wprowadzenie przepisu o tym, że pomiary emisji metali ciężkich mogą być prowadzone raz na dwa lata, a pomiary emisji dioksyn i furanów raz na rok, w przypadku instalacji lub urządzeń do spalania lub współspalania odpadów spełniających następujące warunki:

- emisje substancji powstających ze spalania lub współspalania odpadów w żadnych okolicznościach nie będą wyższe niż 50% aktualnych standardów emisyjnych,
- prowadzący instalację może wykazać, że emisje metali ciężkich, dioksyn i furanów w żadnych okolicznościach nie będą wyższe niż 70% obowiązujących standardów emisyjnych
- w instalacji są spalane lub współspalane wyłącznie segregowane palne frakcje odpadów innych niż niebezpieczne, które nie nadają się do recyklingu.

Należy pamiętać, aby zapewnić zainstalowanie systemu umożliwiającego transmisję rejestrowanych wielkości normowanych wartości stężeń i emisji składników zanieczyszczeń, upoważnionym instytucjom oraz o prowadzeniu rejestru tych wartości na własnej stronie internetowej [130].

Równocześnie, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 roku w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów [123], dla proponowanej instalacji należy przewidzieć monitoring parametrów procesowych jako pomiary uzupełniające monitoring emisji zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery. Należy przeprowadzać ciągły pomiar parametrów procesu tj. temperatury w komorze spalania, mierzonej w pobliżu ściany wewnętrznej komory, zawartości tlenu w gazach spalinowych, podciśnienia i czasu przebywania gazów spalinowych w komorze spalania i dopalania.

Do przeprowadzania wymaganych pomiarów należy stosować urządzenia, które powinno się poddawać przeglądom technicznym minimum raz do roku oraz nie rzadziej niż raz na trzy lata przeprowadzać kalibrację tych urządzeń [123].

Zakłada się, że żużel po procesie sezonowania oraz stabilizowane odpady poprodukcyjne mogą znaleźć zastosowanie w zastępstwie głównych składników materiałowych wykorzystywanych do wykonywania podbudowy dróg lokalnych i parkingów. Dopuszcza się wykorzystanie pozostałości po termicznym przekształceniu odpadów do sporządzania mieszanek betonowych na potrzeby budownictwa, z wyłączeniem budynków przeznaczonych do stałego przebywania ludzi lub zwierząt oraz do produkcji lub magazynowania żywności. W związku z powyższym konieczne jest przeprowadzanie badań stężenia metali ciężkich w wyciągach wodnych z badania wymywalności tych metali z próbek mieszanek betonowych.

W podsumowaniu, na rysunku 17 i w tabeli 13 przedstawiono ostateczne zestawienie parametrów technicznych i modułowy schemat technologiczny proponowanego układu (oznaczenia wybranych węzłów technologicznych: P – piec, K – kocioł odzyskowy, IOdp – instalacja procesu odpylania, IOAb – instalacja oczyszczania metodą adsorpcyjną, IRNOx – instalacja redukcji NO_x, IOAd – instalacja oczyszczania metodą adsorpcyjną).

Tabela 13. Zbiorcze zestawienie orientacyjnych parametrów technologicznych procesu spalania odpadów komunalnych [opracowanie własne]

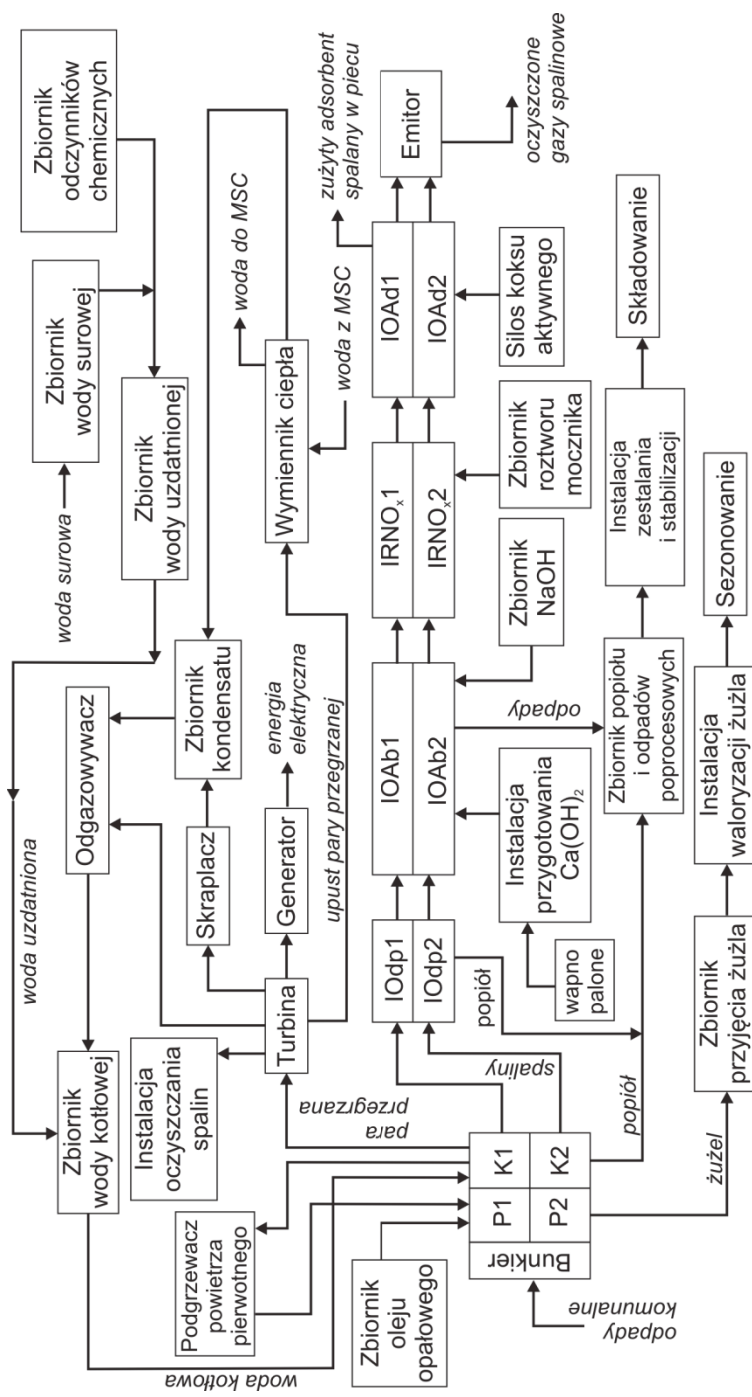
Table 13. Compilation of indicative technological parameters of incineration process of municipal waste [own study]

Parametry technologiczne odpadów komunalnych			
gęstość nasypowa, Mg/m ³			0,25
średnia wartość energetyczna, MJ/kg		W _d	10,5
unos pyłu, %		u _{pl}	10,0
max zawartość wilgoci, %		W ^a	20,0
max zawartość popiołu, %		A ^r	8,0
Parametry wydajnościowe spalarni			
ilość linii technologicznych		–	2
rzeczywisty czas pracy	h/a	–	7920,0
	d/a	–	330,0
nominalna wydajność przerobowa	Mg/h	B _h	12,0
	Mg/d	B _d	288,0
	Mg/a	B	95 000,0
wydajność energetyczna	GJ/a	Q _a	1 026 000,0
	GJ/h	E _h	130,0
moc energetyczna	MWh	M _h	36,0
	MWh/d	M _d	864,0
	MWh/a	M	285 000,0
sprawność odzysku, %	ogólna	η	80,0
	energia elektryczna	η _e	18,0
	energia cieplna	η _c	62,0
moc cieplna	MWh	M _{ch}	22,0
	MWh/d	M _{cd}	535,0
	GJ	M _c	80,0
moc elektryczna	MWh	M _{eh}	6,5,0
	MWh/d	M _{ed}	155,0
	GJ	M _e	23,0

Tabela 13. cd.

Table 13. cont.

Parametr, jednostka		Wartość
wydajność energii cieplnej, GJ/d	Q_{cd}	1928,0
wydajność energii elektrycznej, GJ/d	Q_{ed}	560,0
redukcja masy odpadów, %	η_o	73,0
wydajność węzła waloryzacji żużla, tys. Mg/a	–	23,5
wydajność węzła zestalania pozostałości, tys. Mg/a	–	6,5
Parametry wydajnościowe 1. linii technologicznej		
wydajność eksploatacyjna pieca, Mg/h	B_k	6,0
wydajność energetyczna pieca, GJ/h	Q_h	65,0
moc energetyczna pieca, MW	M	18,0
wydajność kotła odzysknicowego, Mg pary/h	m_p	27,30
Parametry gazowych produktów spalania odpadów		
objętość spalin wilgotnych, m ³ /kg paliwa	V_{spw}	7,0
objętość spalin suchych, m ³ /kg paliwa	V_{sp}	6,0
emisja (przepływ) spalin suchych, m ³ /h	E_{sp}	69196,0
stężenie pyłów w spalinach suchych, mg/m ³	$c_{pył}$	1387,0
emisja pyłów w spalinach suchych, kg/h	$E_{pył}$	95960,0
emisja spalin suchych 1. linii, m ³ /h	E_{sp1}	34598,0
emisja pyłów 1. linii technologicznej, kg/h	$E_{pył1}$	47980,0
graniczna emisja CO, kg/h	E_{CO}	3,5
roczna emisja CO, Mg/rok	E_{CO}	27,4
graniczna emisja SO ₂ , kg/h	E_{SO2}	3,5
roczna emisja SO ₂ , Mg/rok	E_{SO2}	27,4
graniczna emisja NO _x , kg/h	E_{NOx}	13,8
roczna emisja NO _x , Mg/rok	E_{NOx}	109,6
graniczna emisja pyłów, kg/h	$E_{pył}$	1,0
roczna emisja pyłów, Mg/rok	$E_{pył}$	7,6
Parametry techniczne		
temperatura spalin w komorze paleniskowej, °C	–	950,0
temperatura spalin w komorze dopalania, °C	–	1200,0
min. czas przebywania spalin w komorze dopalania, s	–	2,5
ciśnienie pary przegrzanej, MPa	–	4,0
temperatura pary przegrzanej, °C	–	400,0



Rys. 17. Modułowy układ koncepcji Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Koszalinie; opis w tekście
Fig. 17. Modular concept of Municipal Waste Thermal Processing Plant in Koszalin; description in the text

4. Infrastruktura budowlana

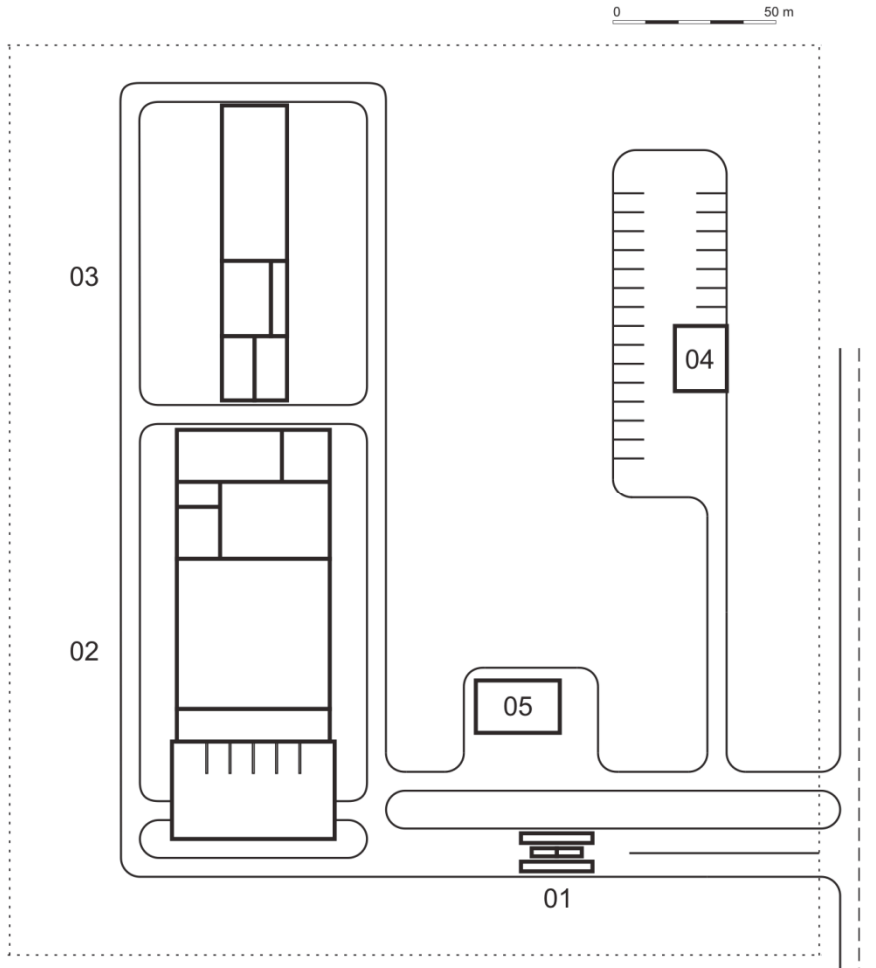
Na terenie zakładu należy wybudować następujące zasadnicze budynki, tworzące jednolitą strukturę architektoniczną, takie jak:

- portiernia wraz z punktem ważenia odpadów,
- hala rozładunkowa,
- główny budynek technologiczny,
- budynek węzła stabilizacji i solidyfikacji odpadów,
- budynek węzła waloryzacji i sezonowania żużla oraz pyłów paleniskowych,
- budynek węzła oczyszczania ścieków przemysłowych i podczyszczania wód opadowych,
- budynek socjalno-administracyjno-edukacyjny,
- hala samochodowa i serwisowa pojazdów dostarczających odpady.

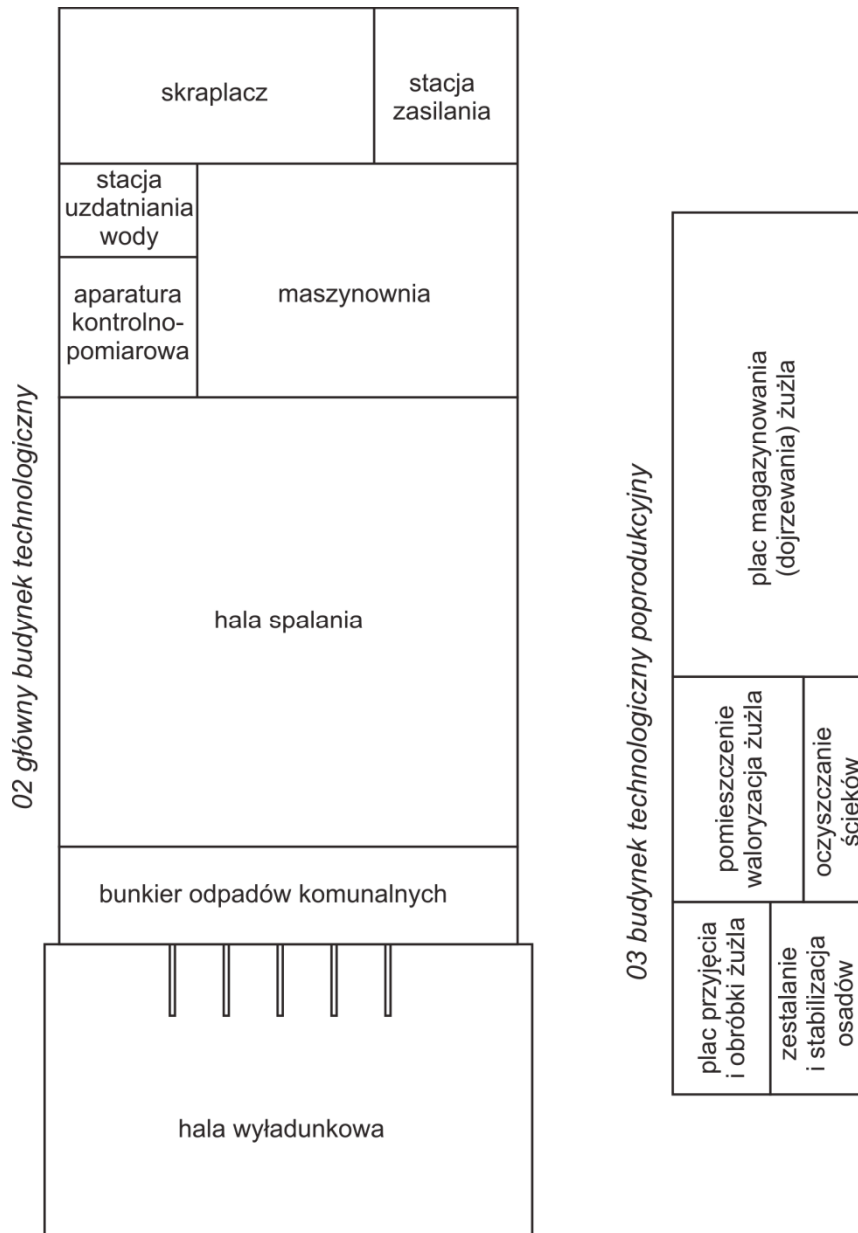
Wszystkie wyżej wymienione obiekty powinny tworzyć wspólny układ połączony systemem drogowym umożliwiającym komunikację wewnętrzną zakładu. Zaproponowany układ architektoniczny, schematycznie został pokazany na rysunku 18, jako układ następujących głównych budynków: 01 – portiernia, punkt ważenia odpadów, 02 – główny budynek technologiczny (wraz następującymi pomieszczeniami: hala wyładunkowa, bunkier odpadów komunalnych, maszynownia, pomieszczenie aparatury kontrolno-pomiarowej i instalacji elektrycznej, stacja uzdatniania wody, skraplacz, stacja zasilania), 03 – budynek technologiczny poprodukcyjny (plac przyjęcia i obróbki żużla, pomieszczenie zestalania i stabilizacji osadów, pomieszczenie waloryzacji żużla, stacja oczyszczania ścieków przemysłowych, plac magazynowania (dojrzewiania) żużla), 04 – budynek socjalno-administracyjno-edukacyjny, 05 – hala warsztatowa, przeglądów i ewentualnych napraw samochodów dostawczych wraz pomieszczeniami garażowymi. Natomiast szczegółowe rozplanowanie pomieszczeń technologicznych w głównym i poprodukcyjnym budynku (02, 03), przedstawiono na rysunku 19.

Ze względu na wydajność całej instalacji termicznej utylizacji odpadów komunalnych oraz gabaryty samochodów transportujących te odpady na teren zakładu, proponuje się zastosowanie dwóch wag pomostowych przeznaczonych do pomiarów statycznych o maksymalnej no-

śności 50 Mg każda, wraz z instalacją informatyczną i specjalistycznym oprogramowaniem. Stalowe pomosty o podstawowych wymiarach – 18,0 x 3,0 x 0,28 m wraz z dwoma dojazdami o wymiarach – 2,0 x 3,0 m i systemem ważenia, tworzą powierzchnię zabudowy około 70 m².



Rys. 18. Koncepcja zagospodarowania terenu; opis w tekście
Fig. 18. Conception of spatial development; description in the text



Rys. 19. Schematyczny układ pomieszczeń technologicznych budynku głównego i poprodukcyjnego

Fig. 19. Schematic technological floor plan of main post-production buildings

Celem dokładnego określenia ilości wwożonych odpadów przeznaczonych do spalania, podobnie jak w przypadku wywożenia odpadów technologicznych, wszystkie samochody z odpadami należy ważyć dwukrotnie na tej samej wadze (przy wjeździe i wyjeździe z zakładu).

System przyjmowania odpadów powinien zapewnić optymalny dojazd do hali wyładunkowej, zakładanej jako budowla zamknięta o wysokości 25,0 m i powierzchni zabudowy 1000,0 m². W hali załadunkowej przewiduje się 4 jednakowe stanowiska rozładunkowe z możliwością wyładunku odpadów z poziomu hali do bunkra, który jest wstępnym elementem budynku technologicznego. Główny budynek technologiczny został zaprojektowany w rzucie prostokątnym na powierzchni o wymiarach całkowitych około 47,0 × 100,0 m. Zakłada się, że budynek zostanie zaprojektowany jako konstrukcja stanowiąca układ jednonawowych ram stalowych, o układzie trapezowym. Przewiduje się, że rozpiętość ram wyniesie 46,6 m, o maksymalnej wysokości 34,0 m. Podstawowy rozstaw ram wyniesie 7,7 m. Konstrukcja budynku będzie podzielona na dwie części o długości około 62,0 m i około 38,0 m (biorąc pod uwagę przewidziany rozstaw ram). Pierwsza część powierzchni budynku zajmuje bunkier na odpady, węzeł ich spalania oraz oczyszczania gazów spalinowych powstających w wyniku procesu spalania. Pozostałą część budynku technologicznego przeznaczają się na pomieszczenia węzła odzysku energii.

Założenie budowy dwóch identycznych linii spalania odpadów powoduje to, że w przypadku awarii lub planowanego remontu jednej z nich, wymagane jest awaryjne zabezpieczenie objętości odpadów o wartości nie mniejszej niż wielkość trzech dziennych strumieni odpadów. Zgodnie z założeniami, w instalacji przekształcane będą odpady komunalne w ilości 12 Mg/h. Bunkier na odpady powinien zapewnić całkowitą pojemność, gwarantując zapas odpadów na minimum 72. godziny pracy instalacji, zakładając maksymalne obciążenie obydwu linii technologicznych. Ponieważ średnia gęstość odpadów komunalnych to wartość 0,25 Mg/m³, ostatecznie należy przewidzieć całkowitą objętość bunkra wynoszącą około 3460,0 m³. Ponieważ bunkier powinien być zagłębiony w terenie otaczającym instalację zakładu, taką by wjazd samochodów dostawczych do hali rozładunkowej mógł się odbywać z poziomu tego terenu, proponuje się wykonanie wykopu na minimalną głębokość 8,0 m. Odległość górnej powierzchni bunkra od poziomu suwnic wynosi około 30,0 m, stąd zakłada się wysokość budynku załadunku

odpadów do pieca spalarni (wraz z głębokością zagłębienia) na około 40,0 m. Zaproponowane wymiary gabarytowe tego węzła zostały przedstawione w tabeli 14.

Objętość leja zasypowego powinna zapewnić godzinową wydajność pieca. W związku z powyższym zakłada się 24,0 m³ objętości leja przy jego wysokości 5,0 m, stanowiący kanał o przekroju prostokątnym, rozszerzającym się ku dołowi. Ponieważ wstępnie założono dwie linie technologiczne, należy przewidzieć konieczność zainstalowania dwóch lejów zasypowych wraz z instalacją dwóch suwnic oraz jednej suwnicy rezerwowej.

Następnymi elementami składowymi pierwszej części budynku technologicznego ZTPOK jest hala spalania, w której zakłada się zainstalowanie pieca spalarnianego wraz z instalacją usuwania żużla i komorą dopalania, kotła odzyskowego wraz z systemem kanałów spalinowych oraz systemu oczyszczania spalin wraz z instalacjami przygotowania i dozowania odczynników absorpcyjnych i adsorbentów. Przewidywana wysokość tej części budynku technologicznego wynosi 34,0 m, natomiast przewidywana powierzchnia zabudowy wynosi około 2450,0 m². Szczegółowe, zaproponowane wymiary gabarytowe, zostały przedstawione w tabeli 14.

Para przegrzana, powstająca w kotle odzyskowym, zasila węzeł parowo-energetyczny (turbina upustowo-kondensacyjna, wymiennik ciepła, generator, skraplacze, instalacje, rurociągi) usytuowany w budynku odzysku energii, stanowiącym końcową część budynku technologicznego. Przewiduje się maksymalną wysokość tego budynku wynoszącą około 20,0 m. Zgodnie z przykładowym rozkładem pomieszczeń budynku odzysku energii, przedstawionym na rysunku 19, przewidziano podział tego budynku na maszynownię, pomieszczenie aparatury kontrolno-pomiarowej i elektrycznej, stacji uzdatniania wody kotłowej oraz skraplacze pary. Turbogenerator powinien być zamontowany w maszynowni – specjalnym pomieszczeniu uwzględniającym pracę turbiny, wytwarzającej silne wibracje, powodującej duży hałas. Fundamenty budynku powinny być odizolowane od fundamentów generatora, który należy zamontować na specjalnych amortyzatorach. W pomieszczeniu powinno się zainstalować odpowiednią suwnicę, która pozwoli na łatwy montaż i demontaż generatora, co ułatwi prace serwisowe i naprawcze. Dodat-

kowo należy również zapewnić wystarczającą wentylację pomieszczenia i zapewnić tłumienie hałasu.

Zakładana powierzchnia zabudowy wynosi około 1790,0 m², natomiast zaproponowane wymiary gabarytowe poszczególnych elementów tej części głównego budynku technologicznego zostały przedstawione w tabeli 14.

Usuwany z odżuźlacza mokry żużel, powinien być transportowany z użyciem przenośnika taśmowego do hali jego waloryzacji, z założonym przyjęciem i maksymalną wartością składowania wstępnego na wartość 0,15 m²/Mg żużla. Zakładając, że ZTPOK w Koszalinie będzie generował około 25% żużli (24 000 Mg/a) w przeliczeniu na całkowitą objętość spalanych odpadów, należy przewidzieć około 500,0 m² powierzchni zabudowy na miejsce przyjęcia żużla i budynek jego mechanicznej obróbki. Instalacja ta wraz z wydzielonym placem na magazynowanie (sezonowanie przewidziane na trzy miesiące) żużla po mechanicznej obróbce powinna być zlokalizowana w odrębnym budynku oprzewidywanej łącznej powierzchni 100,0 m². Część hali przeznaczona na sezonowanie żużla to wydzielone kwatery przedzielone ścianami o wysokości min. 4,0 m, podczas gdy wysokość całego budynku waloryzacji żużla została przewidziana na 10,0 m. Poszczególne wymiary gabarytowe budynku tego węzła technologicznego zostały przedstawione w zbiorczej tabeli 14.

Na potrzeby zestalania i stabilizacji odpadów poprocesowych należy założyć realizację dodatkowej zabudowy na przyjęcie tych odpadów o kubaturze 200,0 m³, co wynika z założenia, że ilość popiołów i pyłów paleniskowych oraz pozostałości po procesach oczyszczania spalin to około 7% ilości odpadów (około 6 600 Mg/a). Dodatkowo, obok tej hali, należy przewidzieć wybudowanie podczyszczalni ścieków przemysłowych o założonej powierzchni zabudowy na około 100,0 m².

Ponieważ przewiduje się wspólny, liniowy układ konstrukcyjny budynków waloryzacji żużla i zestalania odpadów podprocesowych, zakłada się szerokość tych konstrukcji równą 20,0 m. Tabela 14 przedstawia szczegółowe wymiary wyżej wymienionych budynków.

Oczywistym jest założenie wybudowania na terenie ZTPOK budynku administracyjno-socjalnego zapewniającego zaplecze socjalne i biura dla pracowników ZTPOK oraz pomieszczenie edukacyjne. W tym budynku powinny znajdować się, m.in. następujące pomieszczenia:

- recepcja główna,
- sekretariat,
- pomieszczenia administracyjne, sanitarne, kuchenne,
- edukacyjne: sala konferencyjna, wystawowa,
- laboratorium analityczne.

Jako budynek administracyjno-socjalny przewiduje się dwupiętrowy budynek o powierzchni zabudowy ok. 200,0 m² i wysokości min. 10,0 m.

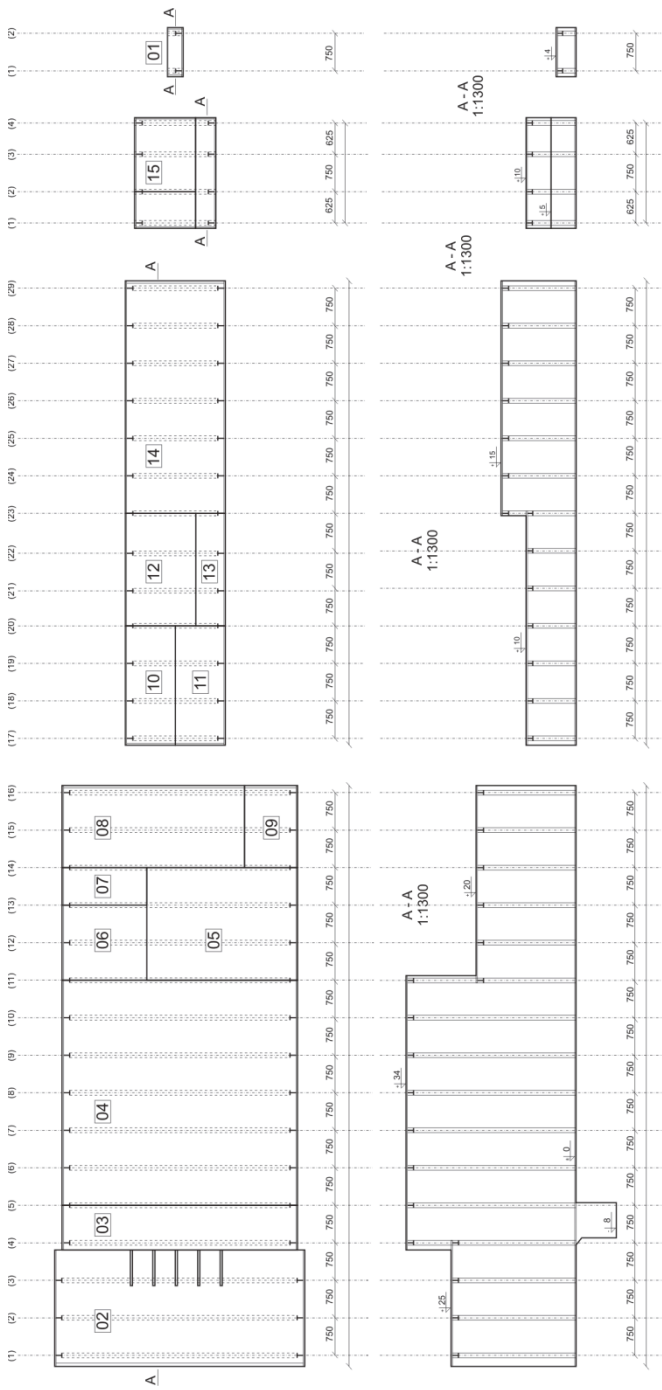
Ostateczne rozwiązania konstrukcyjne omówionych powyżej budynków technologicznych, z uwzględnieniem odpowiednich widoków, przedstawiono na rysunku 20. Poszczególne symbole oznaczają następujące pomieszczenia: 01 – portiernia, 02 – hala wyładunkowa, 03 – bunkier odpadów komunalnych, 04 – główny budynek technologiczny, 05 – maszynownia, 06 – pomieszczenie aparatury kontrolno-pomiarowej i instalacji elektrycznej, 07 – stacja uzdatniania wody, 08 – skraplacz, 09 – stacja zasilania, 10 – plac przyjęcia i obróbki żużła, 11 – pomieszczenie zestalania i stabilizacji osadów, 12 – pomieszczenie waloryzacji żużła, 13 – stacja oczyszczania ścieków przemysłowych, 14 – plac magazynowania żużła, 15 – budynek administracyjny.

Tabela 14. Zestawienie orientacyjnych parametrów obiektów budowlanych ZTPOK
Table 14. Compilation of indicative parameters of buildings of MWTPP

Rodzaj obiektu	Powierzchnia, m ²	Długość, m	Szerokość, m	Wysokość, m	Kubatura, m ³
Hala wyładunkowa	1 150,0	23,0	50,0	25,0	28 750,0
Bunkier na odpady	470,0	10,0	47,0	8,0	3 460,0
Lej zasypowy	4,8	–	–	5,0	24,0
Budynek termicznego przekształcania odpadów	4 700,0	100,0	47,0	–	–
I część budynku TPO (bez bunkra) – spalania	2 115,0	45,0	47,0	34,0	71 910,0
II część budynku TPO – odzysku energii	1 880,0	40,0	47,0	20,0	37 600,0
Maszynownia	675,0	22,5	30,0	20,0	13 500,0
Pomieszczenie AKPiA i elektryczne	255,0	15,0	17,0	20,0	5 100,0
Stacja uzdatniania wody	127,5	7,5	17,0	20,0	2 550,0
Skrapłacz	512,0	16,0	32,0	20,0	10 240,0
Stacja zasilania	240,0	16,0	15,0	20,0	4 800,0

Tabela 14. cd.
Table 14. cont.

Rodzaj obiektu	Powierzchnia, m ²	Długość, m	Szerokość, m	Wysokość, m	Kubatura, m ³
Pomieszczenie zestalania i stabilizacji odpadów	225,0	22,5	10,0	10,0	2 250,0
Pomieszczenie przyjęcia i obróbki żużla	225,0	22,5	10,0	10,0	2 250,0
Pomieszczenie waloryzacji żużla	337,5	22,5	15,0	10,0	3 375,0
Kwatery dojrzwawania żużla	900,0	20,0	45,0	15,0	13 500,0
Stacja oczyszczania ścieków	112,5	22,5	5,0	10,0	1 125,0
Budynek socjalno-administracyjno-educacyjny	320,0	20,0	16,0	10,0	3 200,0
Hala samochodowa	375,0	25,0	15,0	5,0	1 875,0
Portiernia	18,8	7,5	2,5	4,0	75,0
Wagi samochodowe wraz z dojazdem	66,0	22,0	3,0	-	-



Rys. 20. Rozwiązania konstrukcyjne głównych budynków technologicznych; opis w tekście
Fig. 20. Construction solutions of main technological buildings; description in the text

5. Ocena ekonomiczno-finansowa ZTPOK dla Regionu Środkowopomorskiego

Oceniając pod względem ekonomicznym przedsięwzięcie inwestycyjne, jakim jest budowa spalarni odpadów komunalnych, należy przede wszystkim określić możliwości jego funkcjonowania i ocenić opłacalność takiego projektu inwestycyjnego.

Podstawowym parametrem możliwości funkcjonowania każdego zakładu przemysłowego jest jednostkowy koszt eksploatacyjny – K_j . Parametr ten stanowi zależność rocznych kosztów eksploatacyjnych odniesionych do rocznej produkcji zakładu, w tym przypadku ilości przetworzonych przez ten zakład zmieszanych odpadów komunalnych. Oblicza się go według wzoru [1,60,61,74]:

$$K_j = \frac{K_e}{P} \quad (22)$$

gdzie:

K_j – jednostkowy koszt eksploatacyjny, PLN/Mg,

K_e – roczne koszty eksploatacyjne, PLN/a,

P – roczna ilość odpadów przetworzonych w zakładzie, Mg/a.

Podstawową metodą wykorzystywaną do określenia efektywności przedsięwzięcia inwestycyjnego jest wyznaczenie tzw. prostego okresu (czasu) zwrotu nakładów inwestycyjnych T_z i prostej stopy zwrotu ROI.

Parametr T_z oznacza czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację przedsięwzięcia [65]. Ogólnie, określa moment, po jakim wpływy inwestycyjne w pełni pokryją poniesione nakłady inwestycyjne. Nie jest to najważniejsza metoda dotycząca opłacalności inwestycji, ale traktując ją jako pomocniczą, można uzyskać podstawowe informacje na etapie projektowania tej inwestycji.

Sposób wyznaczania czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych określa następująca formuła [8,16,83]:

$$T_z = \frac{K_i}{Z} \quad (23)$$

gdzie:

T_z – czas zwrotu nakładów inwestycyjnych w latach,

K_i – nakłady inwestycyjne, PLN,

Z – średnia wartość zysku, $Z = P_f - K_e$, PLN/a,

P_f – średnie wpływy finansowe, PLN/a,

K_e – średnie koszty eksploatacyjne, PLN/a.

Parametr ROI informuje o średniej rentowności danego projektu inwestycyjnego. Pozwala dokonać wstępnej selekcji projektów inwestycyjnych. Na podstawie prostej stopy zwrotu do realizacji można wybrać te projekty, które generują najwyższą wartość tego parametru. Wartość prostej stopy zwrotu można przedstawić w postaci [16,61,83]:

$$\text{ROI} = 1/T_z = \frac{Z}{K_i} \cdot 100\% \quad (24)$$

Zaletami wspomnianej metody określenia efektywności przedsięwzięcia inwestycyjnego jest jej prostota i intuicyjne podejście, natomiast wadą jest to, że w analizie nie rozpatruje się strumieni funduszy występujących po okresie zwrotu nakładów inwestycyjnych. Metoda ta nie uwzględnia zmiany wartości pieniądza w czasie i zakłada, że wpływy środków pieniężnych rozkładają się w ciągu roku jednakowo (stała ich wartość w każdym miesiącu). Koniecznym warunkiem stosowania tej metody jest to, aby czas zwrotu inwestycji był krótszy od czasu eksploatacji jej urządzeń [16,61].

Ocena ekonomiczna budowy Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Koszalinie zostanie opracowana na podstawie właściwie określonych nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych tego przedsięwzięcia.

5.1. Nakłady inwestycyjne

Pierwszym krokiem w analizie finansowej jest oszacowanie wielkości całkowitych kosztów inwestycyjnych, które muszą być planowane na konkretną liczbę lat. Dlatego wstępnie należy określić tzw. horyzont czasowy przedsięwzięcia, czyli maksymalną liczbę lat objętych prognozą. Według Dyrekcji Generalnej ds. Polityki Regionalnej Komisji Europejskiej aktualnie rekomendowany horyzont czasowy dla projektów sektora energetycznego wynosi 25 lat [136].

Oszacowane koszty inwestycyjne zostały ujęte, jako koszty inwestycji (ceny bieżące):

- urządzeń, wyposażenia,
- budynków,
- zagospodarowania terenu.

W analizie wykorzystano ceny stałe i dokonano korekt o zmiany cen relatywnych, które dokonuje się przez założenie średniej rocznej stopy inflacji wynoszącej 2,0% (wartość średnia z lat 2012–2014) [161] oraz uwzględnienie czynników wzrostu lub nieznacznego spadku cen niektórych usług i niektórych kosztów operacyjnych. Wartości kosztów inwestycyjnych zarówno urządzeń, jak i wybudowania budynków oszacowano na podstawie rozeznania rynku (m.in. wywiady z producentami specjalistycznych urządzeń technologicznych i właścicielami firm budowlanych) oraz informacji zawartych w folderach reklamowych firm producenckich oraz w sieci internetowej. Koszt zakupu poszczególnych urządzeń obejmuje dodatkowo koszt infrastruktury towarzyszącej, usług inżynierskich, uruchomienia instalacji, monitoringu i aparatury kontrolno-pomiarowej. Oszacowane nakłady inwestycyjne tych urządzeń zostały pokazane w tabeli 15, z podziałem na określone w założeniach poszczególne węzły technologiczne zakładu.

Zakupienie i montaż stosownych urządzeń do obiegu wodno-mułowo-ściekowego w osobnej hali technologicznej podwyższy koszty inwestycyjne, jednak jest to bardzo ważny element procesu oczyszczania powstałych ścieków oraz osadów poprocesowych. Konieczny jest zakup i montaż kruszarek, przesiewaczy, silosów (betoniarek) oraz form wibracyjnych do produkcji prefabrykatów.

Do kosztów inwestycyjnych należy doliczyć również budowę dróg technologicznych do analizowanego ZTPOK wraz z chodnikami, ich oświetlenie a także ogólne zagospodarowanie terenu, zarówno głównej hali spalarni, jak i dodatkowych budynków np. węzła podczyszczania ścieków lub waloryzacji żużla. Prognozę kosztów inwestycyjnych dotyczących budynków i ogólnie infrastruktury przedstawia tabela 16.

Tabela 15. Szacunkowa prognoza kosztów inwestycyjnych (maszyny i urządzenia) [opracowanie własne]

Table 15. Estimated prognosis of investment costs (equipment) [own study]

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
węzeł przygotowania i załadunku odpadów			
Waga pomostowa	2	100 000	204 000
Suwnica lejnicza	2	700 000	1 428 000
System monitoringu załadunku	1	500 000	510 000
Samochód ciężarowy (siodłowy)	5	200 000	1 020 000
Ciągnik do transportu	4	170 000	693 600
węzeł spalania odpadów			
Piec rusztowy, komora dopalania, wymiennik ciepła	2	26 000 000	53 040 000
węzeł oczyszczania spalin			
Filtr workowy	2	8 000 000	16 320 000
Skruber dwustopniowy	2	6 000 000	12 240 000
Instalacja redukcji NO _x	2	7 000 000	14 280 000
Instalacja adsorpcyjna	2	5 000 000	10 200 000
Wymiennik ciepła	2	3 000 000	6 120 000
System monitoringu	2	750 000	1 530 000
węzeł podczyszczania ścieków poprodukcyjnych			
Zbiornik uśredniająco-wyrównawczy z wyposażeniem	2	1 400 000	2 856 000
Mieszadło	2	30 000	61 200
Wirówka do odwadniania osadu	1	45 000	45 900
Zgarniacz osadu	2	50 000	102 000
Instalacja PIX	1	75 000	76 500
Pompa	2	10 800	22 032

Tabela 15. cd.

Table 15. cont.

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
węzeł podczyszczania ścieków poprodukcyjnych			
Odmulnik Dorra	2	648 000	1 321 920
Instalacja pod odmulnik Dorra	2	140 000	285 600
Agregat ciśnieniowy	2	8 000	16 320
Armatura sterowania	1	400 000	408 000
węzeł zestalania odpadów poprocesowych			
Mieszarka talerzowa	1	130 000	132 600
Podajniki ślimakowe	2	9 200	18 768
Zbiorniki kruszyw 20 m ³ z klapami dozującymi	4	31 400	128 112
Waga taśmowa kruszyw	1	66 500	67 830
Waga do cementu	1	15 900	16 218
Silosy do cementu i popiołu	2	62 000	126 480
Urządzenie do wagowego dozowania plastyfikatorów	2	10 700	21 828
Urządzenie do wagowego dozowania wody	2	8 700	17 748
Mikrofalowa sonda wilgotności	1	15 000	15 300
Kabina sterownicza na platformie	1	12 800	13 056
System sterowania z komputerem	1	125 000	127 500

Tabela 15. cd.
Table 15. cont.

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
węzeł odzysku energii			
Turbina upustowa	1	36 000 000	36 720 000
Układ przygotowanie, obiegu wody kotłowej, odgazowanie	1	7 000 000	7 140 000
Stacja wyprowadzenia energii	1	3 000 000	3 060 000
AKPiA wraz z armaturą monitoringu i sterowania procesowego	1	9 000 000	9 180 000
Razem		176 493 456	

Tabela 16. Szacunkowa prognoza kosztów inwestycyjnych (budynki, infrastruktura) [opracowanie własne]

Table 16. Estimated prognosis of investment costs (buildings and infrastructure) [own study]

Nazwa	Szacunkowe koszty, PLN	
	jednostkowy	całkowity
podstawowe zabudowania		
Hala zakładu, bunkier	31 000 000	31 620 000
Hala spalarni odpadów	50 000 000	51 000 000
Komin	1 200 000	1 224 000
Budynek zagęszczenia osadów, zbiornik osadów zagęszczonych	560 000	571 200
Magazyn osadów	120 000	122 400
Portiernia	3 000 000	3 060 000
Budynki i lokale dodatkowe	3 500 000	3 570 000

Tabela 16. cd.

Table 16. cont.

Nazwa	Szacunkowe koszty, PLN	
	jednostkowy	całkowity
dodatkowa infrastruktura		
Zagospodarowanie terenu budynku głównego spalarni	1 200 000	1 224 000
Zagospodarowanie terenu budynku węzła zestalania odpadów poprocesowych	3 000 000	3 060 000
Place, chodniki, najazdy terenu ZTPO	4 000 000	4 080 000
Oświetlenie terenu zakładu (latarnie LED)	1 500	15 300
Instalacja energetyczna węzła odzysku energii	3 000 000	3 060 000
Razem	102 619 956	

Zakład termicznego przekształcania odpadów komunalnych charakteryzuje się specyficznym zakresem pracy i w związku z tym należy założyć dodatkowe koszty materiałowe związane z wyposażeniem laboratorium w specjalistyczną aparaturę i wyposażenie, szczególnie przedstawione w tabeli 17. Należy też brać pod uwagę dodatkowe koszty, związane z wyposażeniem biurowym dla każdego stanowiska pracy; szacunkowe ich wartości pokazano w tabeli 18. Koszty jednostkowe wyposażenia, zarówno laboratoryjnego, jak i biurowego określono na podstawie aktualnych cen rynkowych (w roku 2013) zawartych w katalogach firmowych i cennikach dostępnych na właściwych stronach internetowych.

Tabela 17. Zestawienie kosztów przykładowego wyposażenia laboratorium analitycznego**Table 17.** Compilation of costs of exemplary equipment of analytical laboratory

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
Stół laboratoryjny	3	5 000	15 300
Szafa odzieżowa	2	2 500	5 100
Szafa laboratoryjna	3	2 900	8 874
Szafa na odczynniki	3	2 300	7 038
Dygestorium laboratoryjne	2	5 300	10 812
Stół pod aparaturę pomiarową	3	1 500	4 590
Waga analityczna	3	8 540	26 132
Spektrometr	2	22 000	44 880
Komputer z oprogramowaniem	3	2 000	6 120
Palnik	4	170	694
Statyw ze stali nierdzewnej	7	200	1 428
Platforma rotacyjna na próbki	64	40	2 611
Miernik przepływu powietrza	2	240	490
Mieszadło magnetyczne	3	3 380	10 343
Mieszadło mechaniczne	2	5 750	11 730
Biureta automatyczna	4	315	1 285
Tryskawka szklana	5	70	357
Mikroskop biologiczny	1	4 300	4 386
Pompa próżniowa	1	1 300	1 326
Kuchenka elektryczna	1	2 500	2 550
Pipeta automatyczna	5	160	816
Kolba miarowa	15	60	918

Tabela 17. cd.**Table 17. cont.**

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
Piec muflowy	1	10 000	10 200
Łaźnia wodna	2	2 500	5 100
pH-metr stacjonarny	2	2 600	5 304
Suszarka laboratoryjna	2	5 200	10 608
Lodówka	2	4 000	8 160
Wirówka laboratoryjna	2	5 700	11 628
Termometr cyfrowy	3	260	796
Wstrząsarka do probówek	2	870	1 775
Olfaktometr	1	500 000	510 000
Spektrometr absorpcji atomowej	1	500 000	510 000
Spektrometr absorpcji atomowej do oznaczenia rtęci	1	80 000	81 600
Chromatograf gazowy	1	500 000	510 000
Razem		1 832 950	

Tabela 18. Zestawienie kosztów przykładowego wyposażenia biurowego**Table 18.** Compilation of costs of exemplary office equipment

Nazwa	Ilość, szt.	Szacunkowe koszty, PLN	
		jednostkowy	całkowity
Komputer stacjonarny	10	3 000	30 000
Drukarka	5	2 500	12 500
Kserokopiarka	2	20 000	40 000
Biurko komputerowe, krzesło, stolik	7	8 000	56 000
Szafa biurowa na dokumenty	6	5 000	30 000
Aparat telefoniczny	10	500	5 000
Notebook dostosowany do specyfikacji stanowiska	10	5 000	50 000
Razem		227 970	

Zakłada się, że realizacja inwestycji (studium wykonalności, projekt, pozwolenia, budowa) trwa 36. miesięcy. Trwająca sześć miesięcy faza rozruchu rozpocznie się w roku następnym, przy założeniu, że produkcja w tym okresie będzie równa połowie normalnej produkcji.

Ostateczny koszt inwestycji w cenach bieżących ustalono na 293 674 332 PLN, a jego podział na poszczególne lata realizacji, przedstawia tabela 19. Rozkład kosztów oszacowano zgodnie z wytycznymi studium przypadku zawartymi w Przewodniku Komisji Europejskiej do analizy kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych [136].

Tabela 19. Szacunkowa prognoza całkowitych kosztów inwestycyjnych (budynki, infrastruktura)

Table 19. Estimated prognosis of total investment costs (buildings and infrastructure)

Koszty inwestycji, tys. PLN	Razem	Czas realizacji, lata		
		1	2	3
Realizacja inwestycji	12 500	10 000	–	2 500
Budynki, infrastruktura terenowa	102 620	–	76 965	25 655
Wyposażenie, urządzenia	178 554	–	71 422	107 132
Całkowity koszt inwestycyjny	293 674	10 000	148 387	135 287

Wiarygodność oszacowania całkowitych kosztów inwestycyjnych na kwotę około 294 mln PLN, potwierdza analiza aktualnie projektowanych instalacji [142,144] a także doświadczenia instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych, które funkcjonują już w Europie. Obecne koszty inwestycyjne spalarni odpadów komunalnych kształtują w się w wysokości 700–1000 Euro/Mg (im większa spalarnia, tym mniejsze koszty jednostkowe). Na przykład, zgodnie z danymi technicznymi zaczerpniętymi z literatury [136], koszty inwestycyjne spalarni o wydajności 270 000 Mg/a ustalono w cenach bieżących na około 190 mln EUR, a np. zakładane koszty inwestycyjne projektowanej spalarni w Poznaniu (szacowana wydajność – 210 000 Mg/a), osiągają wartość 725 mln PLN [160].

5.2. Koszty eksploatacyjne

Koszty eksploatacji i utrzymania właściwie funkcjonującej instalacji termicznego przekształcania odpadów są następujące (bez podatku VAT):

- robocizna,
- amortyzacja,
- zaopatrzenie w energię i wodę pitną,
- koszty materiałowe,
- remonty bieżące,
- remonty średnie,
- usuwanie popiołu, żużlu, osadów ściekowych,
- usługi i towary pośrednie.

Koszty związane z zatrudnieniem uzależnione są od specyfiki zakładu i konieczności zatrudnienia wykwalifikowanych specjalistów wykształconych w konkretnych dziedzinach, np.: technologów inżynierii środowiska, energetyków, techników chemii analitycznej, informatyków, ekonomistów, automatyków, elektryków i mechaników.

Prawidłowe funkcjonowanie ZTPOK związane jest z zatrudnieniem osób pracujących w zespołach, schematycznie przedstawionych na rysunku 21. W sektorze administracyjnym, prawnym i finansowym przewiduje się, że zostaną zatrudnione osoby na następujących stanowiskach w odpowiednich działach (łącznie 13 etatów), czyli:

- Dyrektor Naczelny – 1 etat,
- zastępca Dyrektora ds. administracyjnych – 1 etat,
- zastępca Dyrektora ds. technicznych – 1 etat,

I. Zespół ds. administracyjno-prawnych:

- sekretarka – 1 etat,

Dział Kadr:

- kierownik – 1 etat,
- specjalista ds. administracyjnych – 1 etat,
- specjalista ds. kadr – 1 etat,
- specjalista ds. prawnych – 1 etat,

II. Zespół ds. finansowo-księgowych:

- kierownik – 1 etat,
- główna księgowa – 1 etat,

III. Zespół ds. zaopatrzenia:

- kierownik – 1 etat,
- specjaliści ds. zamówień publicznych – 1 etat,
- specjaliści ds. zaopatrzenia – 1 etat,

Dyrektor Naczelny**Z-ca ds. administracyjno-
-ekonomicznych****Z-ca ds. Technicznych****Sektor Administracyjno-
Ekonomiczny**

Dział Księgowości
Dział Kadr i Spraw Socjalnych
Dział Płac
Dział Zamówień Publicznych
Dział Zaopatrzenia

Sektor Techniczny

Dział Oczyszczania Spalin
Dział Oczyszczania Ścieków
Dział Gospodarki Odpadami Wtórnymi
Dział Energetyczny
Laboratorium
Dział Transportu
Dział Mechaniczny

Rys. 21. Schemat organizacyjny**Fig. 21.** Organization chart

Natomiast w sektorze technicznym, zakłada się zatrudnienie specjalistów w następujących zespołach (łącznie 7 etatów):

IV. Zespół ds. technicznych:

- kierownik działu – 1 etat,
- specjalista ds. technicznych – 1 etat,
- specjalista ds. dokumentacji i raportów – 1 etat.

V. Zespół ds. transportu:

- kierownik – 1 etat,
- kierowcy – 3 etaty.

Dla prawidłowej obsługi ZTPOK potrzebna jest kadra pracowników posiadających właściwe kwalifikacje dotyczące monitorowania prawidłowości procesu spalania, kontroli emisji zanieczyszczeń w dopuszczalnym zakresie, zgodnym z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie standardów emisyjnych instalacji oraz oceniania stanu technicznego wszystkich instalacji zakładu. W związku z powyższym muszą być stworzone takie działy, które będą miały przypisane obowiązki w danym zakresie tj.:

1. Dział laboratoryjny:
 - kierownik – 1 etat,
 - specjalista – 2 etaty,
2. Dział podczyszczania ścieków poprocesowych:
 - kierownik – 1 etat,
 - specjalista – 2 etaty,
 - pracownik niewykwalifikowany – 2 etaty.
3. Dział zagospodarowanie odpadów poprocesowych:
 - kierownik – 1 etat,
 - specjalista – 2 etaty,
 - pracownik niewykwalifikowany – 2 etaty.
4. Obsługa placu składowiskowego na prefabrykanty:
 - brygadzysta – 1 etat,
 - pracownik niewykwalifikowany – 2 etaty.
5. Pracownicy do obsługi wag i bram wjazdowych (portiernia):
 - brygadzysta – 1 etat,
 - pracownik do obsługi wag – 3 etaty,
 - portier – 3 etaty,
6. Dział zajmujący się obsługą magazynów:
 - magazynier – 3 etaty,
7. Dział zaplecza mechanicznego:
 - mechanik – 1 etat.

Koszt zatrudnienia osób niezbędnych do obsługi systemu został oszacowany w oparciu o rozeznanie rynku, w związku z powyższym przyjęto średnie miesięczne wynagrodzenie dla poszczególnych pracowników, przy założeniu zatrudnienia łącznie 47 osób, w tym 24 pracowników wykwalifikowanych (średnie wynagrodzenie – 1 404 tys. PLN rocznie) oraz 12 pracowników niewykwalifikowanych (średnie wynagrodze-

nie – 546 tys. PLN rocznie) przy ustalonej ogólnej realnej stopie wzrostu kosztów robocizny w wysokości 0,4% rocznie.

W tabeli 20 wyszczególniono liczbę pracowników przewidzianych do zatrudnienia i średnie miesięczne wynagrodzenie brutto. Ostatecznie przewidziano roczny (uwzględniając tzw. 13. pensję) koszt robocizny w związku z realizacją projektowanej inwestycji na kwotę łączną 3 165 500 PLN rocznie.

Tabela 20. Koszty zatrudnienia w ZTPOK w Koszalinie

Table 20. Staff costs at MWTPP in Koszalin

Pracownicy	Liczba etatów	Średnie wynagrodzenie, PLN/miesiąc brutto	Łączne wynagrodzenie, PLN/miesiąc brutto
Wykwalifikowani	24	4 500	108 000
Niewykwalifikowani	12	3 500	42 000
Zarząd i kierownictwo	11	8 500	93 500
Razem	47	5 500	243 500

Koszty inwestycyjne pośrednio rzutują na koszty eksploatacyjne w formie odpisów amortyzacyjnych. Koszty amortyzacji wyliczono z zastosowaniem metody liniowej polegającej na systematycznym rozłożeniu wartości początkowej na przewidywane lata używania danego środka trwałego, proporcjonalnie do upływu czasu w równych ratach. Ostatecznie obliczono roczny odpis amortyzacyjny odpowiednio dla części tzw. budowlanych (hala technologiczna, budynki dodatkowe wraz z infrastrukturą terenową), których przewidywana wartość inwestycyjna stanowi około 102 mln PLN, oraz urządzeń, których łączna wartość stanowi kwota około 178 mln PLN, zgodnie z zależnością:

$$A_i = N_i \cdot S_i \quad (25)$$

gdzie:

A_i – wartość amortyzacji, PLN/a,

N_i – nakłady inwestycyjne, PLN/a,

S_i – stawka amortyzacji, 1/a.

Konkretny podział wszystkich środków trwałych projektowanej spalarni na grupy amortyzacyjne przedstawiono, wraz ze wstępnie określonym, przewidywanym okresem ekonomicznej użyteczności, w tabeli 21. Zestaw ten przedstawiono na podstawie aktualnej Klasyfikacji Środków Trwałych (KŚT), która została opublikowana w Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 grudnia 2010 r. w sprawie Klasyfikacji Środków Trwałych (KŚT) [131]. Np. dla G1 – Budynki i lokale, okres ekonomicznej użyteczności wynosi 40 lat, podczas, gdy dla G7 – Środki transportu, ten okres wynosi tylko 5 lat.

Ostatecznie, biorąc pod uwagę roczną procentową stawkę amortyzacji dla konkretnych urządzeń i budynków zbiorczo zaprezentowanych w tabeli 21, koszt amortyzacji dla części budowlanej wyniósł około 4 410 226 PLN/a, a koszt amortyzacji urządzeń około 16 384 650 PLN/a. W sumie określono więc kwotę amortyzacji wszystkich środków trwałych analizowanego ZTPOK w Koszalinie na wartość równą 20 794 876 PLN/a.

Wartości kosztów zaopatrzenia w media (energię elektryczną, ciepłą i wodę) i kosztów materiałowych na etapie projektowania są trudne do oszacowania i ich określone koszty można wyznaczyć tylko w oparciu o dane pochodzące z innych opracowań porównywalnych instalacji oraz posiłkując się własnym doświadczeniem.

W przypadku kosztów zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą, przyjmuje się, że część z wytworzonej energii elektrycznej oraz ciepłej w sezonie grzewczym, będzie zaspokajała potrzeby własne ZTPOK, przy założeniu, że znaczna nadwyżka będzie kierowana do sieci miejskiej. W związku z tym, nie przewiduje się poboru ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej na potrzeby ogrzewania budynków lub inne potrzeby własne.

Przewidywane całkowite zapotrzebowanie na wodę wynosi około 37 tys. m³/a, z założeniem, że znaczącą część stanowić będzie zapotrzebowanie na cele przemysłowe, a dodatkowo, w mniejszym stopniu, na cele socjalno-bytowe lub wykorzystanie w badaniach laboratoryjnych lub na cele pomocnicze (utrzymanie zieleni, mycie urządzeń, pojazdów, kontenerów, placów).

Tabela 21. Stawki amortyzacji dla grup środków trwałych ZTPOK na podstawie KŚT [131]
Table 21. Depreciation rates for groups of fixed assets of MWTPP based on Classification of Fixed Assets [131]

Grupa i podgrupa amortyzacyjna	Łączna wartość, PLN	Okres użytkowania, lata	Stawka amortyzacji, 1/a
G1 – budynki i lokale 101 <i>budynki przemysłowe</i> 105 <i>budynki biurowe</i>	10 383 600,00	40,0	2,5
G2 – obiekty inżynierii lądowej i wodnej 201 <i>budowle na terenach spalarni odpadów</i> 220 <i>ulice i drogi</i>	92 236 356,00	22,2	4,5
G3 – kotły i maszyny energetyczne 313 <i>urządzenia do wytwarzania pary</i>	49 980 000,00	14,3	7,0
G4 – maszyny ogólnego zastosowania 450 <i>piece przemysłowe</i>	53 040 000,00	14,3	7,0
G5 – maszyny specjalistyczne 591 <i>maszyny do robót budowlanych</i>	1 632 000,00	7,1	14,0
G6 – urządzenia techniczne 654 <i>urządzenia do oczyszczania wody</i> 655 <i>urządzenia do oczyszczania gazów</i> 656 <i>urządzenia do odzulfiania</i>	58 357 056,00	10,0	10,0
G7 – środki transportu 742 <i>samochoły ciężarowe</i> 746 <i>ciągniki</i>	1 713 600,00	5,0	20,0
G8 – inne środki trwałe 800 <i>aparaty kontrolno-pomiarowe</i> 801 <i>aparaty i sprzęt laboratoryjny</i>	13 831 720,20	5,0	20,0

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. [126] dzienna norma zużycia wody na cele socjalno-bytowe w zakładzie produkcyjnym kształtuje się na poziomie 90 dm³/osobę. W związku z powyższym, wartość zapotrzebowania na wodę do celów socjalno-bytowych dla ZTPOK w Koszalinie określono przy odpowiednim założeniu czasu pracy (330 dni w roku) i zatrudnienia w zakładzie (47 etatów), na wartość około 1 400 m³ rocznie.

Natomiast zapotrzebowanie na wodę technologiczną (cele przemysłowe) i wodę z przeznaczeniem do celów laboratoryjnych określono na podstawie dokumentów BAT [137] w ilości odpowiednio: 32 000 m³/a i 500 m³/a.

Zapotrzebowanie na wodę, z wyszczególnieniem zróżnicowanych celów oraz oszacowanymi kosztami, przedstawiono w tabeli 22. Koszty zużycia wody oszacowano na podstawie taryfy zbiorowego zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków zgodnie z Uchwałą Rady Miejskiej w Koszalinie z 2013 r. [139] Zgodnie z tą Uchwałą taryfa została określona następująco: 3,06 PLN/m³ wody i 4,22 PLN/m³ ścieków.

Tabela 22. Zapotrzebowanie analizowanego zakładu na wodę
Table 22. Water demand for analysed plant

Rodzaj zapotrzebowania	Zużycie, m ³ /a	Koszt, PLN/a
Cele przemysłowe	32 000	97 920,00
Cele socjalno-bytowe	1 400	4 284,00
Laboratorium	500	1 530,00
Funkcje pomocnicze	3 200	9 792,00
Razem	37 100	113 526,00

Przewidywaną, znaczną część zużywanej wody stanowi zapotrzebowanie na cele przemysłowe. Woda pobierana na te cele z ujęcia MWiK Koszalin, powinna być transportowana do zbiornika wody surowej, którego zakładana na około 80 m³ pojemność, określona została na podstawie dokumentów referencyjnych działających instalacji [144,147,149]. Ze zbiornika wody surowej, dalej woda pobierana jest do stacji uzdatniania wody i następnie kierowana do zbiornika wody uzdatnionej o pojemności około 150 m³, skąd zazwyczaj jest wykorzystywana

do uzupełniania obiegu parowego. Przykładowo w [147,149] proponuje się, aby część pary wykorzystywać do zdmuchiwania sadzy gromadzącej się w przestrzeni kotła. Preferując oszczędność pobieranej wody, proponuje się również następujące przekierowywanie jej zużytej objętości:

- woda z płukania (oczyszczania) filtrów stacji uzdatniania wody powinna być kierowana do podczyszczalni ścieków, aby dalej uzupełniać obieg wody w systemie gaszenia żużła (schładzania żużła w odżuźlaczu pieca),
- podobnie należy postępować ze ściekami z mycia powierzchni hali wyładunkowej i budynków procesowych,
- ponieważ wymagane jest regularne odmulanie kotła w celu usuwania gromadzących się zanieczyszczeń, wodę pochodzącą z tego procesu należy kierować również do systemu gaszenia żużła,
- woda dodawana do reaktora wchodzącego w skład systemu oczyszczania spalin, po ich schłodzeniu, powinna się wyparowywać i w postaci pary wodnej zmieszanej z oczyszczonymi spalinami, usuwana będzie przez komin,
- część wody wykorzystanej do schładzania żużła także powinna wyparowywać; przy założeniu, że pozostała część wody będzie wsiąkać w żużel.

Zakłada się, że woda na cele ppoż. pobierana będzie z sieci wodociągowej lub z zamkniętego zbiornika ppoż. uzupełnianego podczyszczoną wodą opadową i roztopową terenu zakładu.

Przewiduje się, że ostateczne całkowite zapotrzebowanie na wodę w projektowanej dla Koszalina spalarni wyniesie około 37 000 m³/a, przy wyliczonych całkowitych kosztach zapotrzebowania na energię i wodę wynoszących około 114 000 PLN/a przy realnej stopie wzrostu 0,5% rocznie.

Do kosztów materiałów zaliczono przede wszystkim koszt używanych chemikaliów i paliwa technologicznego. Na koszty paliwa technologicznego składa się przede wszystkim wspomagające paliwo zużywane w instalacji spalania odpadów (lekki olej opałowy – olej napędowy lub ciężki olej opałowy – mazut) [88].

Zgodnie z wytycznymi BREF, a także po analizie istniejących projektów instalacji spalania odpadów komunalnych, oszacowano zużycie

paliwa pomocniczego na około 0,01–0,03 m³/Mg termicznie przekształcanych odpadów. Następnie koszt zużycia oleju opałowego obliczono jako iloczyn jednostkowej ceny oleju opałowego oraz jego zużycia na potrzeby instalacji. Po określeniu ceny oleju opałowego ciężkiego (tzw. odpadowego – mazut) na kwotę 2709 PLN/m³ lub 2500 PLN/Mg (wartość z dnia 01.08.2014 [167]), wyliczono dla wydajności omawianego systemu wartość zużycia paliwa wspomagającego, na kwotę 3 860 325 PLN/a.

Koszt chemikaliów i reagentów to przede wszystkim substancje chemiczne zużywane w oczyszczaniu gazów spalinowych, procesach uzdatniania wody zasilającej i kotłowej, substancje do zestalania i chemicznej stabilizacji, a także środki do oczyszczania ścieków poprocesowych.

Zgodnie z wytycznymi BREF, założono konkretne wartości rocznego zużycia poszczególnych odczynników chemicznych. Przykładowe przewidywane zapotrzebowania na wybrane substancje stosowane w poszczególnych procesach zestawiono w tabeli 23. Ceny związków chemicznych zostały przyjęte na podstawie aktualnie obowiązujących cen sprzedaży na rynku chemikaliów (foldery hurtowni odczynników chemicznych i katalogi dostępne na producenckich stronach internetowych).

Tabela 23. Zapotrzebowanie zakładu na wybrane chemikalia i reagenty

Table 23. Demand for selected chemicals and reagents at the plant

Wyszczególnienie	Sposób magazynowania	Zużycie	
		kg/Mg odpadów	Mg/a
Oczyszczanie spalin			
Koks (węgiel) aktywny	tzw. big-bag	0,4	38,0
Wodorotlenek wapnia Ca(OH) ₂	silos 2 x 30 m ³	11,0	1 045,0
25% roztwór wody amoniakalnej	zbiornik 2 x 10 m ³	3,2	304,0
Zestalanie i chemiczna stabilizacja			
Cement portlandzki	silos 2 x 60 m ³	35,0	3 325,0
Substancja stabilizująca	tzw. big-bag	0,1	9,5

Wartość rocznych kosztów zużycia odczynników chemicznych w przypadku wszystkich węzłów technologicznych, w oparciu o aktualne ceny hurtowe i wykorzystaniu innych projektów [143,144,149], określono na kwotę około 1 500 000 PLN/a. Ostatecznie, w przypadku spalarni odpadów o wydajności 95 000 Mg/a, jednostkowy koszt zużycia materiałów i wody oszacowano na wartość 5 473 851 PLN/a.

W ramach kosztów eksploatacyjnych uwzględniono również koszty napraw i remontów, jako usługi obce. Ze względu na wyznaczony wysoki współczynnik amortyzacji urządzeń, zdecydowano się nie przewidywać wysokości kosztów remontów średnich i kapitalnych. Ponieważ koszt remontów bieżących przyjmuje się najczęściej jako 2% wartości kosztów inwestycyjnych [74,77,148], (definicję remontu zawiera ujednolicone Prawo budowlane – Dz. U. z 2013 [135]), określono, że dla analizowanego projektu wartość rocznych kosztów napraw i remontów wyniesie około 3,5 mln PLN.

Zbiorcze zestawienie wyznaczonych kosztów eksploatacyjnych ukazano w tabeli 24. Ponieważ ostateczne, roczne koszty eksploatacyjne oszacowano na kwotę około 33 mln PLN/a, wyliczony wg równania (22) koszt jednostkowy eksploatacyjny K_J dla wartości wsadu do pieca równej 95 000 Mg/a wyniesie 347,42 PLN/Mg odpadów.

Tabela 24. Całkowite koszty eksploatacyjne analizowanej inwestycji

Table 24. Total operating costs of analysed investment

Wyszczególnienie	Koszty eksploatacyjne, PLN/a	Struktura kosztów, %
Koszty amortyzacji	20 794 876,00	63,00
Koszty materiałów i wody	5 473 851,00	16,58
Wynagrodzenia	3 165 500,00	9,59
Koszty remontów bieżących	3 571 088,00	10,82
Razem	33 005 315,00	100,00

Analiza struktury całkowitych kosztów eksploatacyjnych wskazuje na fakt, że zasadniczym elementem powodującym wysokie koszty eksploatacji całej instalacji, oprócz kosztów amortyzacji (co jest oczywiste), są koszty zużycia materiałów i wody.

5.3. Wpływy finansowe

W analizie efektywności budowy ZTPKO jako przedsięwzięcia inwestycyjnego, poprzez wyznaczenie prostego okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych T_z , określono wpływy finansowe wyznaczone w oparciu o następujące wielkości dochodów pochodzących z:

- utylizacji (przyjęcia do unieszkodliwiania) odpadów,
- odzysku energii elektrycznej,
- odzysku energii cieplnej,
- sprzedaży złomu i żużla.

Przychody z utylizacji odpadów (cenę utylizacji płaconą przez końcowych użytkowników) ustalono na 260 PLN/Mg niesegregowanych (zmieszanych) odpadów komunalnych (kod 20 03 01). Wartość netto została oszacowana na podstawie dostępnych cenników wysokości opłat za przyjęcie odpadów przez zakłady utylizacji odpadów. Ustalono ogólną realną stopę spadku cen utylizacji odpadów wynoszącą 0,5% rocznie.

Przychody z odzyskanej energii elektrycznej określono na 302 PLN/Mg spalonych odpadów komunalnych (zakłada się sprzedawanie odzyskanej energii po cenie 0,56 PLN/kWh – taryfa G1; sierpień 2014). Założono ogólną realną stopę wzrostu tej ceny wynoszącą 0,6% rocznie.

Natomiast odzyskana energia cieplna przy funkcjonującej spalarni, daje przychody wynoszące 196 PLN/Mg spalonych odpadów komunalnych, przy oszacowaniu ceny energii cieplnej 29,27 PLN/GJ; założono realną stopę wzrostu tej ceny wynoszącą 0,7% rocznie.

Ponieważ wcześniej założono, że planowana instalacja do termicznej utylizacji odpadów umożliwia odzysk elementów złomu żelaznego i nieżelaznego, można przyjąć, że odzyskany złom może być sprzedawany odbiorcom zewnętrznym przy ustalonej cenie na podstawie średnich cen obowiązujących na rynku zbytu złomu. Szacuje się, że żużel stanowi 25% ogólnej masy spalanych odpadów komunalnych a zawartość metali żelaznych można ocenić na 10% ogólnej masy powstałego żużla (zgodnie z [52] ze spalania 1 Mg odpadów powstaje 220–250 kg żużla, a odzysk metali żelaznych stanowi 20 kg/Mg stałych odpadów komunalnych). W związku z tym, masę złomu odzyskanego po mechanicznej obróbce żużla w węźle waloryzacji żużla (kod odpadu 19 01 02)

określono na wartość 1 900 Mg/a, natomiast roczne wpływy finansowe z tego tytułu zostały obliczone na wartość 1 045 000 PLN/a, przy założeniu średniej ceny skupu złomu żelaznego na kwotę 0,55 PLN/kg (sierpień 2014). Ostateczne zestawienie rocznych wpływów finansowych dla analizowanej inwestycji przedstawiono w tabeli 25.

Tabela 25. Wpływy finansowe
Table 25. Financial incomes

	Cena sprzedaży	Wpływy	
		PLN/a	PLN/Mg
Odzysk energii elektrycznej,	0,56 PLN/kWh	28 728 000	302,00
Odzysk energii cieplnej	29,27 PLN/GJ	18 619 232	196,00
Wpływy z utylizacji odpadów	260,00 PLN/Mg	24 700 000	260,00
Sprzedaż odzyskanego złomu	550,00 PLN/Mg	1 045 000	550,00

Instalację termicznego przekształcania odpadów, jeszcze niedawno można było również traktować jako źródło energii odnawialnej, dając możliwość uzyskania tzw. zielonych certyfikatów – specjalnych zaświadczeń potwierdzających wytworzenie energii w odnawialnym źródle energii, jako mechanizm wsparcia wytwarzania energii elektrycznej z tego rodzaju źródeł. Na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii [121] można było założyć, iż 42% z wytworzonej energii elektrycznej będzie stanowić tzw. ekologiczna energia elektryczna. Ustawa ta została jednak uznana za uchyloną, co wynikało z ustawy z dnia 12 stycznia 2007 r. [134].

Aby w Polsce sprawnie wykorzystywać zielone certyfikaty, konieczne jest wdrożenie dodatkowych uzupełnień, przede wszystkim w sferze prawnej. Sprzedaż praw majątkowych do „Świadectw pochodzenia energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych” (ŚP), stanowi główny strumień przychodów wytwórców tego rodzaju energii elektrycznej. Zgodnie z polskim Prawem energetycznym, prawa majątkowe wynikające ze ŚP stanowią towar giełdowy [17,67]. Podczas posiedzenia Sejmu

w dniu 22 lipca 2014 odbyło się pierwsze czytanie rządowego projektu nowej ustawy o odnawialnych źródłach energii OZE, która całkowicie zmienia system wsparcia. Zakładane w niej przepisy przewidują, że prawa nabyte do tzw. zielonych certyfikatów, zachowają tylko te instalacje spalarniane, które rozpoczną produkcję energii elektrycznej przed wejściem nowego prawa w życie (rozdział 4. zapisany w projekcie ustawy OZE). Sejm skierował projekt ustawy do Komisji Nadzwyczajnej do spraw energetyki i surowców energetycznych w celu dalszego rozpatrzenia. Ponieważ efekt prac komisji nad projektem w formie sprawozdania nie został jeszcze określony (wrzesień 2014), autorzy monografii nie zdecydowali się ocenić sprzedaż zielonych certyfikatów jako kolejną formę wpływów finansowych analizowanego ZTPOK dla regionu środkowopomorskiego.

Zwraca się uwagę, że jedną z form określenia wyższych przychodów będzie przede wszystkim odpowiednie zarządzanie w zakresie opłat za przyjęcie odpadów komunalnych, co stanowi około 34% ogółu średnich wpływów finansowych, wyznaczonych na wartość około 73 mln PLN/a. Dla tak określonych wpływów finansowych i wyliczeniu ostatecznych rocznych zysków z przedsięwzięcia na kwotę około 40 mln PLN, z zależności (23) wyznaczono prosty okres zwrotu pierwotnie zaangażowanych nakładów inwestycyjnych $T_z = 7,33$ lat oraz przy użyciu zależności (24) prostą stopę zwrotu $ROI = 13,64\%$. Wyznaczona w ten sposób ogólna rentowność analizowanej inwestycji, wynosząca około 14%, oznacza, że każda złotówka nakładów inwestycyjnych termicznej utylizacji odpadów komunalnych w planowanym zakładzie generuje średniorocznie 14 groszy zysku netto.

6. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonej w niniejszej monografii analizy proponowanej koncepcji technologii Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych dla miasta Koszalina i powiatu koszalińskiego, można sformułować pewne ogólne wnioski:

1. budowa zakładu o przyjętej rocznej wydajności wynoszącej 95 tys. Mg/a jest inwestycją niezbędną, konieczną a jej budowa jest uzasadniona,
2. zaproponowany układ technologiczny nie zawiera kilku węzłów technologicznych tj. węzła uławiaczy elektrostatycznych, wydzielonego węzła pochłaniania par rtęci oraz węzła pirolizy i plazmy, co wydatnie obniżyło koszty inwestycyjne,
3. przy założeniu przyjętych oszczędności inwestycyjnych, tj. braku węzłów technologicznych wyszczególnionych we wniosku drugim, całkowity koszt inwestycyjny stanowi kwotę około 293,6 mln PLN,
4. jednostkowy koszt eksploatacyjny stanowi kwotę około 347,0 PLN/Mg przekształcanych odpadów komunalnych, także przy założeniu oszczędności inwestycyjnych, co rzutowało na obniżenie podstawowego składnika kosztów eksploatacyjnych, jakim jest wartość amortyzacji,
5. opracowana monografia może stanowić pełne wytyczne do zlecenia opracowania projektu technologicznego; może być także wykorzystana przy podejmowaniu decyzji o budowie Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych dla regionu środkowopomorskiego oraz przy procedurze wyboru ewentualnego partnera dla realizacji tego projektu.

Literatura

1. **Augusewicz A., Breńko T., Kozłowska A., Miłaszewski R., Karolinczak B., Werner-Juszczak A., Winiarek P.:** *Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska*. Civil and Environmental Engineering, 3, 17–23 (2012).
2. **Badur J.:** *Pięć wykładów ze współczesnej termomechaniki płynów*. Skrypt Instytutu Maszyn Przepływowych. Gdańsk 2005.
3. **Bartoszek A., Obląg L.:** *Instalacja mokrego odsiarczania spalin w EC Siekierki*. 11. Konferencja Naukowo-Techniczna POL-EMIS 2012. Ochrona powietrza atmosferycznego. Sienna – Czarna Góra, 13–16 czerwca 2012.
4. **Błasiak W., Żmuda R, Kinal E.:** *Efekty rocznej pracy kotła BP-1150 w PGE Elektrownia Opole SA po wyposażeniu go w instalacje usuwania NO_x – ROFA i Rotamix*. 11. Konferencja Naukowo-Techniczna POL-EMIS 2012. Ochrona powietrza atmosferycznego. Sienna – Czarna Góra, 13–16 czerwca 2012.
5. **Bohdal T., Charun H., Czapp M.:** *Urządzenia Chłodnicze Sprężarkowe, Parowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2003.
6. **Bohdal T., Charun H., Ewretowska Z., Majka K., Sławecki J.:** *Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki płynów*. Wyd. Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 1997.
7. **Chmielniak T.:** *Obiegi termodynamiczne turbin ciepłych*. Wydawnictwo Ossolineum. Wrocław 1988.
8. **Czekaj J., Dreszer Z.:** *Zarządzanie finansami przedsiębiorstw – podstawy teorii*. PWN. Warszawa 2005.
9. **Czepirski L.:** *Ocena możliwości stosowania adsorbentów węglowych (węgiel aktywny, koks aktywny, koks) w filtrach adsorpcyjnych do usuwania z powietrza związków organicznych i odorów*. Ekspertyza. Zleceniodawca: Starostwo Powiatowe, Międzyrzecz. Wykonawca: AGH Kraków. Towarzystwo Badania Przemian Środowiska. Kraków 2009.
10. **Czop M., Kajda-Szcześniak M.:** *Environmental Impact of Straw Based Fuel Combustion*. Archives of Environmental Protection vol. 39 no. 4. 71–80 (2013).
11. **Ćwiężek M.:** *Uwarunkowania techniczne i ekonomiczne skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła*. Wydawnictwo Górnictwo i Środowisko. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2003.
12. **Dąbrowski J., Dąbrowski T., Piecuch T.:** *Laboratory Studies on the Effectiveness of NO_x Reduction by Selective Catalytic Reduction SCR Method*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 301–313 (2013).

13. **Dąbrowski J., Piecuch T.:** *Badania laboratoryjne nad możliwością współspalania wybranych grup odpadów tworzyw sztucznych wraz z osadami ściekowymi.* Polityka Energetyczna. Tom 14, Zeszyt 1. 213–236, Kraków 2011.
14. **Dąbrowski J., Piecuch T.:** *Badania laboratoryjne nad możliwością współspalania osadów ściekowych wraz z odpadami gumowymi.* Inżynieria Ekologiczna. Nr 25. 55–66, Warszawa 2011.
15. **Dou B., Pan W., Jin Q., Wanga W, Li Y.:** *Prediction of SO₂ removal efficiency for wet Flue Gas Desulfurization.* Energy Conversion and Management 50. 2547–2553 (2009).
16. **Dynus M.:** *Okres zwrotu jako jedna z metod oceny opłacalności przedsięwzięć inwestycyjnych.* Materiały konferencyjne „Działania ekonomiczne podmiotów rynkowych”. Pr. zbior. Red. D. Kopycińska. Katedra Mikroekonomii Uniwersytetu Szczecińskiego. 120–128. Szczecin 2007.
17. **Flakowicz M.:** *Przewrotny rynek zielonych certyfikatów.* Czysta Energia. 4. (2013).
18. **Fodemski T. R.:** *Pomiary ciepłne Część I Podstawowe pomiary ciepłne.* WNT. Warszawa 2007.
19. **Gawłowski S., Listowska-Gawłowska R., Piecuch T.:** *Uwarunkowania i prognoza bezpieczeństwa energetycznego Polski na lata 2010–2110.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 10, 127–176 (2012).
20. **Głomba M.:** *Oczyszczanie gazów odlotowych w poziomych skrubkach natryskowych.* Prace nauk. Inst. Inż. Ochr. Środ. PWroc. nr 78 ser. Monografie nr 45, Wrocław 2005.
21. **Gomez-Garcia M.A., Pitchon V., Kiennemann A.:** *Pollution by nitrogen oxides: an approach to NO_x abatement by using sorbing catalytic materials.* Environment International. 31. 445–467 (2005).
22. **Goo J.H., Irfan M.F., Kim S.D., Hong S.Ch.:** *Effects of NO₂ and SO₂ on selective catalytic reduction of nitrogen oxides by ammonia.* Chemosphere. 67, 718–723 (2007).
23. **Gostomczyk A.:** *Termiczna utylizacja, czy spalanie odpadów?* Nowa Energia. 1/2009.
24. **Gostomczyk M.A., Kordylewski W.:** *Usuwanie NO_x w instalacji odsiarczania spalin.* w: Nowe technologie spalania i oczyszczania spalin. Praca zbiorowa Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. 359–367. Gliwice 2010.
25. **Guziurek M., Zechner V., Fecko P.:** *Application of Brown Coal Pyrolytic Oils in Black Coal Slurry Flotation.* Mineral Resources Management (Gospodarka Surowcami Mineralnymi), IGSMiE PAN, Vol. 29, issue 2. 51–67 (2013).

26. **Halwachs M., Kern S., Hofbauer H., Kampichler G.:** *Pyrolytic Pre-treatment Process for Co-Firing Agricultural Residues*. 10. DepoTech-Konferenz. Leoben 3–5 November 2010.
27. **Hehlmann J., Pietrasik E., Kujawska E., Bania D.:** *Aparat hybrydowy ze złożem ziarnistym w instalacji spalania odpadów*. Rocznik Ochrona Środowiska. (Annual Set The Environment Protection), 11, 282–297, (2009).
28. **Hehlmann J., Skórzak B.:** *Absorpcja fluorowodoru w absorberze z wypełnieniem komórkowym*. Przemysł Chemiczny 10/2012.
29. **Hławiczka S., Fudała J.:** *Główne kategorie źródeł emisji metali ciężkich do powietrza w Polsce, II. Emisja rtęci*. Ochrona powietrza i problemy odpadów. 2, 238, 53–63 (2007).
30. **Horch K.:** *Kryteria projektowe dla spalarni odpadów w oparciu o wieloletnią praktykę w planowaniu i eksploatacji*. VI Międzynarodowa Konferencja Termiczne przekształcanie odpadów – od planów do realizacji. Szczecin – Kopenhaga, 19–22 październik 2009.
31. **Jakubiak M., Kordylewski W.:** *Wpływ wybranych czynników na efektywność usuwania NO_x z gazów metodą ozonowania*. 11. Konferencja Naukowo-Techniczna POL-EMIS 2012. Ochrona powietrza atmosferycznego. Sienna – Czarna Góra, 13–16 czerwca 2012.
32. **Jarosiński J.:** *Techniki czystego spalania*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1996.
33. **Jøns E., Felsvang K., Madhok R.:** *Limestone spray drying absorption for SO_2 control*. EPA/EPRI 10th symposium on FGD, November 1986.
34. **Juda J. Chróściel S.:** *Ochrona powietrza atmosferycznego*. WNT. Warszawa 1979.
35. **Juraszka B., Dąbrowski T.:** *Podstawy ochrony atmosfery*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2010.
36. **Juszczak M.:** *Evaluation of CO, NO, NO_x and Dust Concentration Values in Flue Gas from Thermal Conversion of Straw Ballots*. Vol. 12 nr 4, 1–14 (2010).
37. **Juszczak M.:** *Experimental study of CO, C_xH_y , NO, NO_x and dust concentrations from a heat station supplied with rape cakes*. Archives of Waste Management and Environmental Protection. Vol. 13, Nr 1, 39–50 (2011).
38. **Kantorek M., Karcz H., Komorowski W., Wierzbicki K.:** *Wybrane problemy unieszkodliwiania odpadów komunalnych z zawartością biomasę*. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 3/2011, 153–162.
39. **Karcz H., Kozakiewicz A., Kantorek M., Dziugan P., Wierzbicki K.:** *Utylizacja odpadów komunalnych w energetycznych kotłach rusztowych nieekologiczną technologią utylizacji termicznej*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 51, 2012.

40. **Kempa E.S.:** *Gospodarka odpadami miejskimi*. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1983.
41. **Kirsek S., Studencka J.:** *Standardy emisji zanieczyszczeń do powietrza z procesów energetycznych spalania paliw – analiza zmian*. Czasopismo Techniczne. Środowisko. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Zeszyt 2. 2009.
42. **Klimek P.:** *Ocena potencjału energetycznego odpadów komunalnych w zależności od zastosowanej technologii ich utylizacji*. Nafta-Gaz, nr 12, 909–914 (2013).
43. **Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J.:** *Studies of mercury content in selected coal seams of the Upper Silesian Coal Basin*. Mineral Resources Management (Gospodarka Surowcami Mineralnymi), IGSMiE PAN, Vol. 29, issue 4. 95–105 (2013).
44. **Koniecznyński J.:** *Ochrona powietrza przed szkodliwymi gazami*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2004.
45. **Kordylewski W. i inni:** *Spalanie i paliwa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2008.
46. **Kordylewski W., Jakubiak M., Hardy T.:** *Pilot Plant Studies on NO_x Removal Via NO Ozonation and Absorption* Archives of Environmental Protection. Volume 39, Issue 3, 93–106 (2013).
47. **Kowalewicz A.:** *Podstawy procesów spalania*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2000.
48. **Kruczek S.:** *Kotły parowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2001.
49. **Kuboňová L., Obalová L., Vlach O., Troppová I., Kalousek J.:** Modeling of NO adsorption in fixed bed on activated carbon. Chemical and Process Engineering. 32 (4), 367–377 (2011).
50. **Kuropka J.:** *Oczyszczanie gazów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2000.
51. **Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F.:** *Elektrownie*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1997.
52. **Lepinette C.:** *Żużle z termicznego przekształcania stałych odpadów komunalnych*. Prezentacja w Ministerstwie Środowiska. Veolia Environmental Services. Warszawa 26 październik 2011.
53. **Liu Ch-F., Shih Sh-M., Lin R-B.:** *Kinetics of the reaction of Ca(OH)₂/fly ash sorbent with SO₂ at low temperatures*. Chemical Engineering Science 57. 93–104 (2002).
54. **Lorenz U., Grudziński Z.:** *Zawartość rtęci jako potencjalny czynnik ograniczający wartość użytkową węgla kamiennego i brunatnego*. Górnictwo i Geoinżynieria Rok 31 Zeszyt 3/1. 335–349 (2007).

55. **Łowkis J.M., Jagiello R., Kaczmarcki K.K., Surowiec M.:** *Termiczna utylizacja odpadów przemysłowych i jej oddziaływanie na środowisko.* Ochrona Środowiska. 3–4 (54–55). 57–64 (1994).
56. **Ma X., Kaneko T., Tashimo T., Yoshida T., Kato K.:** *Use of limestone for SO₂ removal from flue gas in the semidry FGD process with a powder-particle spouted bed.* Chemical Engineering Science 55. 4643–4652 (2000).
57. **Mieszkowski M.:** (red. praca zbiorowa). *Pomiary cieplne i energetyczne.* Wydanie II. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1985.
58. **Mikielewicz D., Mikielewicz J.:** *Mikrosiłownie – nowe zastosowanie czynników chłodniczych.* Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna 3/2008.
59. **Mikuła J.:** *Innowacyjne metody zagospodarowania odpadów poprocesowych ze spalania odpadów.* I Ogólnopolski Kongres Recyklingu. Warszawa 13–14 marca 2013.
60. **Miłaszewski R.:** *Ekonomia ochrony wód powierzchniowych.* Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Białystok (2003).
61. **Miłaszewski R.:** *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 11. 339–353 (2009).
62. **Mokrosz W.:** *Ekologiczne aspekty oczyszczania spalin ze spalarni odpadów komunalnych i przemysłowych.* 10. Konferencja Naukowo-Techniczna POL-EMIS 2010. Polanica-Zdrój, 16–19 czerwca 2010.
63. **Mokrosz W.:** *Możliwości optymalizacja skruberów natryskowych stosowanych do odsiarczania spalin emitowanych z procesów spalania paliw i odpadów.* VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Ochrona powietrza w teorii i praktyce” Zakopane 16–18 październik 2008 r.
64. **Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.:** *Procesy termiczne utylizacji odpadów.* Wyd. Politechniki Śląskiej. Wydanie II. Gliwice 2012.
65. **Najser J., Ochodek T., Chłond R.:** *Charakter pracy instalacji służącej do zgazowania biomasy a aspekty ekonomiczne procesu generacji energii elektrycznej.* Rynek Energii Tom 6. Lublin 2009.
66. **Nehrebecki L.:** *Elektrownie cieplne,* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1974.
67. **Nowak B.:** *Dylematy efektywności ekonomicznej przedsięwzięć termicznego przekształcania odpadów komunalnych.* Polityka Energetyczna Tom 16, Zeszyt 4. (2013).
68. **Ochęduszek S.:** *Teoria maszyn cieplnych.* Tom II. Polskie Wydawnictwo Techniczne PWT. 1961.

69. **Oleniacz R.:** *Ocena skuteczności działania suchego systemu oczyszczania spalin ze spalania odpadów medycznych opartego na wtrysku sorbentu wapniowo-węglowego*. VI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle” Kazimierz Dolny 23–25 czerwiec 2008.
70. **Pawłowska M., Siepak J.:** *Enhancement of methanogenesis at a municipal landfill site by addition of sewage sludge*. Environmental Engineering Science, 23(4), 673–679 (2006).
71. **Pawłowska M., Stępniewski W.:** *Biochemical reduction of methane emission from landfills*. Environmental Engineering Science, Vol. 23, No 4, 666–672 (2006).
72. **Piech J.:** *Procesy cieplne w piecach*. Rozdział w: *Piece ceramiczne*. Wydanie II. Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne AGH, Kraków 2001.
73. **Piecuch T., Dąbrowski J., Dąbrowski T.:** *Laboratory Investigations on Possibility of Thermal Utilisation of Post-production Waste Polyester*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection). 11. 88–101 (2009).
74. **Piecuch T., Dąbrowski J., Lewandowski M.:** *Projekt koncepcyjny budowy Zakładu Termicznej Utylizacji Odpadów dla Powiatu Drawskiego*. Materiały Budowlane 11 (495) Warszawa 2013.
75. **Piecuch T.:** *Opinia do opracowania Studium Wykonalności dla projektu pt. „System gospodarki odpadami i budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów dla miast i gmin Pomorza Środkowego”* Koszalin 2009.
76. **Piecuch T., Dąbrowski J.:** *Projekt koncepcyjny budowy Zakładu Termicznej Utylizacji Odpadów dla Gminy Polczyn-Zdrój*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection). 16. 196–222 (2014).
77. **Piecuch T.:** *Koncepcja kompleksowego rozwiązania gospodarki odpadami w skali Województwa Zachodniopomorskiego*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 21 Seria: Inżynieria Środowiska. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2003, 79–113.
78. **Piecuch T.:** *Zarys metod termicznej utylizacji odpadów*. Podręcznik Politechniki Koszalińskiej. 396. Koszalin 2006.
79. **Pikoń K.:** *Najlepsza Dostępna Technika (BAT), a polityka zrównoważonego rozwoju*. Archives of Waste Management and Environmental Protection (Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska). Vol. 3. 37–44 (2006).
80. **Qi Q., Yang R.T.:** *Performance and kinetics study for low-temperature SCR of NO with NH₃ over MnO_x-CeO₂ catalyst*. Journal of Catalysis. 217. 434–441 (2003).

81. **Recknagel H., Sprenger E., Hönnmann W., Schramek E. R.:** *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. R. Oldenburg Verlag, München, 1994, wyd. polskie: Ogrzewanie + klimatyzacja, EWFE, Gdańsk 1994.
82. **Redes M.:** *Energetyczne wykorzystanie odpadów komunalnych na przykładzie Zakładu Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów w Szczecinie*. Konferencja nt. „Energia z biomasy wizytówką Województwa Zachodniopomorskiego”. Urząd Marszałkowski Województwa Zachodniopomorskiego. Szczecin 2009.
83. **Rutkowski A.:** *Zarządzanie finansami*. PWE. Warszawa 2003.
84. **Sjövall H., Olsson L., Fridell E., Blint R.J.:** *Selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ over Cu-ZSM-5 – The effect of changing the gas composition*. Applied Catalysis B: Environmental. 64. 180–188 (2006).
85. **Smurzyńska J.:** *Termiczne przekształcanie osadów ściekowych w świetle dokumentów referencyjnych BAT*. 24 Konferencja Beneficjentów FS Warszawa, 28–29 czerwiec 2006.
86. **Sokołowski J., Kosowski K., Kwiatkowski J.:** *Wykorzystanie odpadów i oczyszczanie spalin z zanieczyszczeń*. Energetyka. Nr 1 (583) 2003.
87. **Stelmachowski M.:** *Termiczna degradacja odpadów polimerów. w: Energia z odpadów*. (redakcja: Zarzycki R.) PAN, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska. Łódź 2008.
88. **Surygała J.:** (red. praca zbiorowa). *Ropa naftowa: właściwości, przetwarzanie, produkty*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2006.
89. **Szafran R.:** *Zbiór zadań z podstaw procesów energetycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wydanie II. Wrocław 1998.
90. **Szargut J., Guzik A., Górniak H.:** *Zadania z termodynamiki technicznej*. Wyd. Politechniki Śląskiej. Wydanie V. Gliwice 2013.
91. **Szargut J., Ziębiak A.:** *Podstawy energetyki cieplnej*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1998.
92. **Sztyma-Horwat M., Styszko L.:** *Emisja tlenku azotu NO_x ze spalania biomasy wierzbowej*. Rocznik Ochrona Środowiska. (Annual Set The Environment Protection). 13. 787–800 (2011).
93. **Szymanek A.:** *Kamień wapienny jako sorbent SO₂, cz. II. Skład chemiczny warunkujący własności sorpcyjne*. Ochrona powietrza i problemy odpadów 39, 117–122 (2005).
94. **Szymanek A.:** *Odsiarczanie spalin aktywowanymi odpadami wapniowymi*. Prace naukowe Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej nr 86 seria Monografie nr 51. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
95. **Thogersen J.R., Jensen-Holm H.:** *SCR-DENOX Trends 2009*. VGB PowerTech. 35. 4/2010.

96. **Tomeczek J., Rozpondek M., Gradoń B.:** *Redukcja emisji zanieczyszczeń z procesów konwersji paliw i odpadów*. Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice 2009.
97. **Urban S., Dzikuć M.:** *Wpływ na środowisko wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach opalanych węglem kamiennym*. *Ekonomia i Środowisko* numer 2 (45) Białystok 2013.
98. **Vainio E., Yrjas P., Zevenhoven M., Brink A., Laurén T., Hupa M., Kajolinna T., Vesala H.:** *The fate of chlorine, sulfur, and potassium during co-combustion of bark, sludge, and solid recovered fuel in an industrial scale BFB boiler*. *Fuel Processing Technology* 105. 59–68 (2013).
99. **Vassilev S.V., Braekman-Danheuc C., Moliner R., Suelves I., Lazano M.J., Thiemann T.:** *Low cost catalytic sorbent for NO_x reduction. 1. Preparation and characterization of coal char impregnated with model vanadium components and petroleum coke ash*. *Fuel* 81. 1281–1296 (2002).
100. **Warych J.:** *Procesy oczyszczania gazów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999.
101. **Werner G., Głowacki E.:** *Metody badawcze emisji rtęci z sektora energetycznego*. *Energetyka*. Nr 4 (706) 2013.
102. **Wichliński M., Kobyłecki R., Bis Z.:** *The Investigation of Mercury Contents in Polish Coal Samples*. *Archives of Environmental Protection*. Volume 39, Issue 2, 141–150 (2013).
103. **Wieczorek-Ciurowa K.:** *Fizykochemia siarczanowania wapienia*. Inżynieria i technologia chemiczne, Monografia 191, Politechnika Krakowska, Kraków 1995.
104. **Wielgościński G., Skalska K.:** *Przegląd technologii ograniczania emisji tlenków azotu*. Wydawnictwo Nowa Energia 4/2014.
105. **Wielgościński G.:** *Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów*. III Konferencja „Termiczne Przekształcanie Odpadów Komunalnych – aspekty prawne, realizacja inwestycji, finansowanie, technologie” 23–24 lutego 2011 Kraków. Wydawnictwo Nowa Energia 1/2011.
106. **Wielgościński G.:** *Spalanie odpadów*. w: *Energia z odpadów*. (redakcja: Zarzycki R.) PAN, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska. Łódź 2008.
107. **Wielgościński G.:** *Wybór technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych*. IV Ogólnopolska Konferencja „Termiczne Przekształcanie Odpadów Komunalnych – technologie, realizacja inwestycji, finansowanie”. 23–24 luty 2012 Kraków. Wydawnictwo Nowa Energia 1/2012.

108. **Winnicki T., Tużnik P.:** *Bezemisyjne technologie przetwarzania stałych odpadów komunalnych – najkrótsza droga spełnienia trudnych wymogów unijnych.* Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury (Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture) Jceea, t. XXX, z. 60 (3/13), 223–237 (2013).
109. **Wójcik W., Kotyra A., Smolarz A., Gromaszek K.:** *Nowoczesne metody monitoringu i sterowania procesem spalania paliw stałych w celu zmniejszenia jego oddziaływania na środowisko naturalne.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1559–1576 (2011).
110. **Wójs K., Tietze T., Szulc P., Polko K.:** *Odzysk i wykorzystanie ciepła odpadowego spalin wylotowych.* Systemy, technologie i urządzenia energetyczne: praca zbiorowa. Tom 1. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
111. **Wukalowicz M.P.:** *Tablice termodynamicznych właściwości wody i pary wodnej.* Moskwa 1963.
112. **Yu J.J., Cheng J., Ma Ch.Y., Wang H.L., Li L.D., Hao Z.P., Xu Z.P.:** *NO_x decomposition, storage and reduction over novel mixed oxide catalysts derived from hydrotalcite-like compounds.* Journal of Colloid and Interface Science, 333, 423–430 (2009).
113. **Zamorowski K.:** *Available denitrification technologies of flue gas coming from the domestic power industry boilers.* Energetyka. Nr 4. 340–346 (2013).
114. **Zamorowski K.:** *Dostępne technologie odazotowania spalin z kotłów energetyki krajowej.* Energetyka. Nr 4 (706) 2013.
115. **Zwoździak J., Walawska B.:** *Źródła oraz metodyka szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń.* Chemik. Vol. 61. Nr 3. Rok 2008.
116. **Żarczyński P., Strugała A., Sobolewski A., Kaczmarek W.:** *Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej procesu koksowania przez wdrożenie operacji podsuszania wsadu.* Mineral Resources Management (Gospodarka Surowcami Mineralnymi), IGSMiE PAN, Vol. 29, issue 4. 151–165 (2013).

Akta prawne

117. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej w sprawie odpadów 2008/98/UE z dnia 19 listopada 2008 r.
118. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej w sprawie emisji przemysłowych 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r.

119. Projekt rozporządzenia w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody. Ministerstwo Środowiska 15 lipiec 2014.
120. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 2002 Nr 37, poz. 339).
121. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. z 2005 r. Nr 261 poz. 2187).
122. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 października 2013 r. w sprawie rodzajów i ilości substancji niebezpiecznych, których znajdowanie się w zakładzie decyduje o zaliczeniu go do zakładu o zwiększonym ryzyku albo zakładu o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej (Dz.U. 2013 nr 0 poz. 1479 2014.02.15).
123. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. Nr 37, poz. 339, z późn. zm.).
124. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38. 2013.01.11.)
125. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 2004 r. Nr 1, poz. 2).
126. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. 2002 nr 8 poz. 70).
127. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. 2011 nr 95 poz. 558 2011.05.25).
128. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2010 nr 16 poz. 87).
129. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. (Dz. U. 2001 nr 112 poz. 1206.; Dz. U. 2010 nr 185 poz. 1243).
130. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. Nr 206, poz. 1291).

131. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 grudnia 2010 r. w sprawie Klasyfikacji Środków Trwałych (KŚT) (Dz. U. nr 242, poz. 1622).
132. Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014” (Monitor Polski Nr 101, poz. 1183).
133. Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012. (opracowano na podstawie Dz. U. z 2013 r. poz. 21, 888, 1238, z 2014 r. poz. 695.).
134. Ustawa z dnia 12 stycznia 2007 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne, ustawy – Prawo ochrony środowiska oraz ustawy o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2007 r. Nr 21, poz. 124, z 2014 r. poz. 490).
135. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. (Dz. U. z 2013 r. poz. 1409, z 2014 r. poz. 40, 768, 822.).
136. *Analiza kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Przewodnik (Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny). Guide to Cost Benefit Analysis of Major Projects.* Raport końcowy przedłożony przez TRT Trasporti e Territorio oraz CSIL Centre for Industrial Studies. 16 czerwiec 2008.
137. *Best Practice Municipal Waste Management Integrated Pollution Prevention and Control.* Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration. (BAT) – European Commission, Brussels, August 2006. Wersja polska. Wydawca: Stowarzyszenie Technologii Ekologicznych SILESIA. Opole 2010.
138. *Plan Gospodarki Odpadami dla Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2012–2017 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2018–2023.* Załącznik do Uchwały XVI/218/12 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 29 czerwca 2012 roku. Urząd Marszałkowski Województwa Zachodniopomorskiego. Szczecin 2012.
139. Uchwała Nr XXXVII/ 571/2013 Rady Miejskiej w Koszalinie z dnia 21 listopada 2013 r.
140. *Wytyczne dla sporządzenia przeglądów ekologicznych spalarni i współspalarni odpadów (wg stanu prawnego na dzień 15 grudnia 2008 r.).* Ministerstwo Środowiska, Departament Gospodarki Odpadami. Warszawa, grudzień 2008.
141. *Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Powstawania Zanieczyszczeń (IPPC).* Dokument Referencyjny dla najlepszych dostępnych technik spalania odpadów. Komisja Europejska. Sewilla – Hiszpania, sierpień 2006.

Dokumenty dot. wybranych przedsięwzięć budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów w Polsce

142. Decyzja 766 OS/2013. Pozwolenie zintegrowane dla instalacji do termicznego przekształcenia odpadów – spalarni odpadów zlokalizowanej w Dąbrowie Górniczej. Marszałek Województwa Śląskiego. Katowice 29 marzec 2013.
143. Projekt budowy zakładu termicznego przetwarzania frakcji energetycznej odpadów komunalnych dla woj. pomorskiego – System gospodarki odpadami dla metropolii trójmiejskiej. Gdańsk 2010.
144. Projekt Zakładu Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Koninie. Informacja o projekcie i jego realizacji. Konin czerwiec 2013.
145. Raport o oddziaływaniu na środowisko dla przedsięwzięcia pt: Budowa Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Białymstoku. Białystok 2011.
146. Raport o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia Budowa Zakładu Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów dla Szczecińskiego Obszaru Metropolitalnego Szczecin – Ostrów Grabowski. Szczecin, wrzesień/grudzień 2009.
147. Raport o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia pn. Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPOK) w Rudzie Śląskiej dla Górnośląskiego Związku Metropolitalnego. Katowice maj 2010.
148. Studium wykonalności Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych dla Bydgosko-Toruńskiego Obszaru Metropolitalnego. Bydgoszcz lipiec 2009.
149. Studium Wykonalności dla projektu FS „System gospodarki odpadami oraz budowa zakładu termicznego przekształcania odpadów dla miast i gmin Pomorza Środkowego. Warszawa, czerwiec 2010.

Normy

150. PN-80/G-04511 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości wilgoci.
151. PN-80/G-04512 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową.
152. PN-93/Z-15008.02 Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.
153. PN-EN 12952-12 Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze – Część 12: Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i wody kotłowej.
154. PN-G-04516:1998 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową.

155. PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie popiołu.
156. PN-ISO 1213-2:1999 Paliwa stałe. Pobieranie, przygotowanie i analiza próbek.
157. PN-ISO 1928:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.

Domeny internetowe

158. <http://dynamotive.com/>
159. <http://reduto.com>
160. <http://spalarnie-odpadow.pl/>
161. <http://stat.gov.pl> – portal GUS
162. <http://www.cdfmf.pl>
163. <http://www.pnec.org.pl/pl/>
164. <http://www.ekolbrno.cz/>
165. www.format.koszalin.pl/
166. www.legislacja.rcl.gov.pl
167. www.olej.opalowy.pl
168. <http://instalfilter.pl>
169. <http://filtrowent.com.pl>

Conceptual and Technological Project of Municipal Waste Thermal Processing Plant for the Middle Pomeranian Region

Abstract

The subject of the monograph are the most important organizational, technological, economic and financial conditions of construction of a municipal waste incineration plant for the Middle Pomeranian region. The aim of the study was to analyze the possibility of building of such incineration plant on the basis of the amount of municipal waste generated in Koszalin region and with the specific location of this plant in the municipality.

The basic activity of the proposed plant in Koszalin should be disposal of such type of waste using thermal treatment and recovery of heat generated in the process. Recovered energy should be transformed into electrical energy and next used in the plant or, at suitable performance of the entire waste processing plant and assuming continuity of its operation, channel it to the municipal network.

The study made by the authors of the monograph proves that plant of assumed annual capacity of 95 thousand Mg/a is a required, necessary investment and its building is reasonable.

First part of the monograph presents analysis of the division of the West Pomeranian region into regions of waste management, assumed in the regional waste management plan. Waste stream generated in those regions was characterized. Energy parameters and morphological composition were given.

Next selection of potential location of the plant was determined. Environmental social and technological conditions of the plant were taken into account. Finally, authors of the monograph adopted location at H. Cegielski street in Koszalin, because it is a industrial area with suitable access road and no residential buildings in the vicinity. The size of the selected area allows construction of waste incineration plant with building and technical infrastructure and temporary storage of post-process waste in the area.

In the next part of the monograph authors analyzed the available technologies of municipal waste thermal processing, clearly opting for a classic grate incineration plant with wet flue gas cleaning system. Authors proposed particular technical and technological solutions supported by relevant balance calculations for such technological system. Proposed technological system does not contain several nodes, such as: electrostatic precipitator, dedicated mercury vapour absorption, pyrolysis and plasma processes, which significantly reduced investment costs.

A particular building infrastructure system, specifying basic buildings, forming a unified architectural structure was also proposed.

The last part of the study is a economic and financial assessment of planned investment. Possibilities of its functioning were determined. Cost-effectiveness of such investment project was evaluated. Evaluation was conducted through determination of investment expenditures, operating costs and compilation of expected financial incomes. Assuming investment savings, ie. the lack of certain technological nodes, the total cost of the investment is approximately 293.6 million PLN. Unit operating cost is approximately 347.0 PLN/Mg of processed municipal waste, also assuming the investment savings, which influenced the reduction of basic component of operating costs, which is the value of depreciation.

The monograph is concluded with a short compilation of obtained results.

Presented monograph may be a full guidance to commission the development of technological project. It can also be used for decision making process of building of MWTPP for Middle Pomeranian region and at the selection of possible partner for this project.