

# PODRĘCZNIK PLANOWANIA ROZWOJU WYKORZYSTANIA BIOMASY W CIEPŁOWNICTWIE



QM Holzheizwerke to **system zarządzania jakością** dla systemów ogrzewania wykorzystujących biomasę. **Moc tych systemów waha się od około 100 kW w górę i jest ukierunkowana na zaopatrzenie** w ciepło poszczególnych budynków lub lokalnych sieci ciepłowniczych. Ten system zarządzania jakością koncentruje się na profesjonalnym projektowaniu, planowaniu i realizacji systemów wytwarzania ciepła i sieci ciepłowniczych. Ważnymi kryteriami jakościowymi są wysoka niezawodność działania, precyzyjne sterowanie, niska emisja spalin oraz ekonomiczna eksploatacja całego systemu.

Ten system zarządzania jakością został początkowo opracowany w Szwajcarii w 1998 roku. W 2004 roku powstała międzynarodowa **grupa robocza QM Holzheizwerke (Quality Management for Biomass District Heating Plants - QM for Biomass DH Plants)** w celu wspólnego oferowania standardów jakości dla ciepłowni na biomasę.

Ten **podręcznik planowania opisuje proces projektowania** i pokazuje, w jaki sposób cele jakościowe dla ciepłowni i sieci ciepłowniczej można osiągnąć poprzez profesjonalne planowanie i realizację.

Podręcznik planowania jest częścią **serii publikacji QM Holzheizwerke**, z których do tej pory opublikowano następujące tomy:

Tom 1: Q-Guidelines (z Q-planem)  
ISBN 978-3-937441-91-7.

Tom 2: Standardowe schematy hydrauliczne - Część I  
ISBN 978-3-937441-92-4.

Tom 3: Przykładowy przetarg na kotły na biomasę  
(Wersja szwajcarska na jeden kocioł na biomasę)  
ISBN 978-3-937441-87-0.

Tom 3: Przykładowy przetarg na kotły na biomasę  
(Wersja szwajcarska na dwa kotły na biomasę)  
ISBN 978-3-937441-88-7.

Tom 4: Podręcznik planowania  
ISBN 978-3-937441-96-2.

Tom 5: Standardowe schematy hydrauliczne - Część II  
ISBN 978-3-937441-95-6.

Serię publikacji można uzyskać bezpośrednio na stronie internetowej grupy roboczej QM Holzheizwerke ([www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)). Inne dokumenty, narzędzia programowe i często zadawane pytania, a także informacje na temat bieżących wydarzeń w temacie energii z biomasy można również znaleźć na tej stronie internetowej. Niektóre tomy serii zostały przetłumaczone na język angielski, włoski i częściowo inne języki przy wsparciu projektu EU-Interreg ENTRAIN (dostępnego bezpłatnie, zob. [www.qm-biomass-dh-plants.com](http://www.qm-biomass-dh-plants.com)).



Seria publikacji QM Holzheizwerke Tom 4

Opracowany przez Grupę Roboczą ds. Zarządzania  
Jakością Dla Ciepłowni Na Biomase

# **Podręcznik planowania**

Opracowany przez Grupę Roboczą  
ds. Zarządzania Jakością Dla  
Ciepłowni Na Biomase

**3 edycja**

**C.A.R.M.E.N. e.V. Straubing 2022**

**Przetłumaczono przy wsparciu projektu  
CE-INTERREG-ENTRAIN**

## Grupa Robocza QM ds. Instalacji Ciepłowniczych na Biomase

Dla Szwajcarii:  
Holzenergie Schweiz przy wsparciu finansowym  
Szwajcarskiego Federalnego Urzędu Ds. Energii  
[www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)  
[www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch)

Dla Austrii:  
AEE INTEC - Instytut Zrównoważonych Technologii  
[www.klimaaktiv.at/qmheizwerke](http://www.klimaaktiv.at/qmheizwerke)

Dla Niemiec:  
Badenia-Wirtembergia: HFR - Uniwersytet Stosowanych  
Nauk Leśnych w Rottenburgu  
Bawaria: C.A.R.M.E.N. e.V.  
[www.qmholzheizwerke.de](http://www.qmholzheizwerke.de)

Dla Włoch:  
APE FVG - Agenzia per l'Energia del Friuli-Wenecja  
Julijska  
[www.ape.fvg.it](http://www.ape.fvg.it)

Międzynarodowy:  
Zarządzanie jakością w ciepłowniach na biomase  
[www.qm-biomass-dh-plants.com](http://www.qm-biomass-dh-plants.com)

Strony te zawierają informacje i publikacje na temat wykorzystania biomasy do dostaw ciepła. Narzędzia programowe można również pobrać stąd.

© Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke 2004 - 2022.  
(Grupa Robocza QM ds. Instalacji DH na Biomase)  
Fragmenty mogą być przedrukowywane pod warunkiem podania źródła.

QM Holzheizwerke®  
jest zastrzeżonym znakiem towarowym.

## Zespół grupy roboczej

Jürgen Good (Kierownictwo), Verenum AG, Szwajcaria  
Stefan Thalmann, Verenum AG, Szwajcaria

Daniel Binggeli, Szwajcarski Federalny Urząd Ds. Energii, CH

Andres Jenni, ardens GmbH, Szwajcaria

Andreas Keel, Holzenergie Schweiz, CH

Patrik Küttel, DM Energieberatung AG, Szwajcaria

Harald Schrammel, AEE INTEC, AT  
Sabrina Metz, AEE INTEC, AT  
Christian Ramerstorfer, AEE INTEC, AT

Gilbert Krapf, C.A.R.M.E.N. e.V., DE

## Zespół autorów trzeciej edycji

Jürgen Good (Kierownictwo), Verenum AG  
Stefan Thalmann, Verenum AG  
Thomas Nussbaumer, Verenum AG  
Andreas Keel, Holzenergie Schweiz  
Andres Jenni, ardens GmbH  
Patrik Küttel, DM Energieberatung AG  
Harald Schrammel, AEE INTEC  
Sabrina Metz, AEE INTEC  
Christian Ramerstorfer, AEE INTEC  
Jakob Binder, AEE INTEC  
Gilbert Krapf, C.A.R.M.E.N. e.V.  
Niels Alter, C.A.R.M.E.N. e.V.  
Christian Letalik, C.A.R.M.E.N. e.V.  
Harald Thorwarth, HFR  
**Johanna Eichermüller, HFR**

## Były zespół autorów (pierwsza i druga edycja)

Jürgen Good (Koordynacja), Verenum AG  
Friedrich Biedermann, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
Ruedi Bühler, Umwelt und Energie  
Helmut Bunk, Klimaschutz- und Energieagentur (KEA-BW)  
Thomas Deines, Ministerium für Ernährung und Ländlichen  
Raum Baden Württemberg  
Hans Rudolf Gabathuler, Gabathuler Beratung GmbH  
Alfred Hammerschmid, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
Andres Jenni, ardens GmbH  
Gilbert Krapf, C.A.R.M.E.N. e.V.  
Thomas Nussbaumer, Verenum AG  
Ingwald Obernberger, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH  
Bernhard Pex, C.A.R.M.E.N. e.V.

Niels Alter, C.A.R.M.E.N. e.V., DE  
Christian Leuchtweis, C.A.R.M.E.N. e.V., DE

Christian Rakos, Energie Verwertungsagentur E.V.A.

Harald Thorwarth, HFR, DE  
Johanna Eichermüller, HFR, DE

Matteo Mazzolini, APE FVG, IT

**Zespół tłumaczy:** Connie Dolin, Christian Ramerstorfer, Harald Schrammel

ISBN 3-937441-90-5 Seria publikacji QM Holzheizwerke

Tom 4: Podręcznik planowania



# Słowo wstępu

W imieniu Szwajcarskiego Federalnego Urzędu Ds. Energii i kilku szwajcarskich kantonów szwajcarski system zarządzania jakością (QM) dla większych instalacji ciepłowniczych na biomasę (DH) został opracowany przez szwajcarskich ekspertów w 1998 r., a następnie rozbudowany i sukcesywnie przekształcany w QS-Holzheizung. Na tej podstawie w 2004 r. przedstawiciele Szwajcarii, Austrii, Badenii-Wirtembergii, Bawarii, Nadrenii-Palatynatu (już nieczynnych), a od 2020 r. także Włoch połączyli siły, tworząc **grupę roboczą QM Holzheizwerke** w celu wspólnego tworzenia standardów jakości dla ciepłowni na biomasę i oferowania ich pod nazwą QM Holzheizwerke. Nacisk kładziony jest na profesjonalne projektowanie, planowanie i wykonanie ciepłowni i sieci ciepłowniczych. Ważnymi kryteriami jakości są wysokie bezpieczeństwo pracy, precyzyjna kontrola, dobre właściwości higieniczne powietrza i ekonomiczna logistyka paliwa. Celem jest wydajna, niskoemisyjna i ekonomiczna eksploatacja całego zakładu.

QM Holzheizwerke (QM for Biomass DH Plants) jest przeznaczony do systemów ogrzewania ciepłej wody i ciepłej wody na bazie biomasy (zrębki drzewne, kora, wióry, pelety itp.) **w zakresie mocy od około 100 kW w górę w celu** dostarczania ciepła do poszczególnych budynków lub lokalnych i lokalnych i lokalnych sieci ciepłowniczych. Instalacje do wytwarzania energii elektrycznej nie są brane pod uwagę, ale zaleca się rozważenie QM dla instalacji DH biomasy analogicznie lub w miarę możliwości również dla takich elektrowni.

**Niniejszy Podręcznik Planowania jest częścią serii publikacji QM Holzheizwerke.** Wyjaśnia proces projektu i pokazuje, w jaki sposób można osiągnąć cele jakościowe dla ciepłowni i sieci ciepłowniczej poprzez profesjonalne planowanie i realizację. Jest on skierowany w szczególności do inwestorów, operatorów zakładów i planistów, ale także dostarcza ważnych podstawowych informacji na potrzeby szkoleń i dalszej edukacji, badań i rozwoju, a także agencji finansujących i decydentów w polityce i administracji. Podręcznik planowania jest podzielony na cztery części i dodatkowy dodatek. W pierwszej, wprowadzającej części, wyjaśniono podstawowe pomysły na racjonalne wykorzystanie energii w rozumieniu QM dla elektrowni DH na biomasę oraz pierwsze etapy rozwoju projektu. Część druga obejmuje techniczne i ekonomiczne podstawy planowania, budowy i eksploatacji instalacji DH na biomasę. Trzecia część opisuje krok po kroku proces planowania aż do uruchomienia i odbioru instalacji. Wreszcie, czwarta część zawiera know-how w zakresie eksploatacji, zarządzania, optymalizacji i modernizacji zakładów. W dodatku podsumowano dalsze informacje, obliczenia i pomoce, a najważniejsze terminy techniczne wyjaśniono w glosariuszu.

Aby uwzględnić ciągły rozwój technologii i know-how, 3. wydanie Podręcznika Planowania zostało całkowicie zmienione, zaktualizowane i uzupełnione przez zespół grupy roboczej QM Holzheizwerke. Podstawą do tego jest obecny stan techniki. Obecnie pojawiające się "nowe koncepcje systemowe", takie jak systemy wielokotłowe z urządzeniami w seriach, kondensacja spalin w połączeniu z pompami ciepła lub interakcja elektrowni DH z biomasą z różnymi innymi centralnie lub rozproszonymi zintegrowanymi odnawialnymi źródłami ciepła (słoneczna energia cieplna, energia geotermalna, ciepło odpadowe, pompy ciepła itp.).

W celu zwiększenia czytelności i umożliwienia szerszego, również międzynarodowego zastosowania, preferowano ogólnie obowiązujące sformułowania, a sekcje informacyjne i tekstowe specyficzne dla danego kraju zostały w dużej mierze pominięte. W miarę możliwości Podręcznik planowania odnosi się do obowiązujących na szczeblu międzynarodowym norm i wytycznych. Normy, przepisy ustawowe i wykonawcze dotyczące poszczególnych krajów nie są wyraźnie przywoływane. Są one częścią załącznika (dla Szwajcarii, Austrii i Niemiec).

Różne przedziały cenowe w różnych krajach mogą być brane pod uwagę jedynie w ograniczonym zakresie w przypadku **informacji o kosztach**. W tym miejscu należy przestrzegać szczegółowych wyjaśnień dotyczących ilustracji i informacji oraz, w razie potrzeby, sprawdzić i dostosować przedział cenowy zgodnie z warunkami krajowymi.

Treść tego Podręcznika Planowania została opracowana zgodnie z naszą najlepszą wiedzą i poprawiona z należytą starannością. Niemniej jednak autorzy nie mogą ponosić żadnej odpowiedzialności ani gwarancji za kompletność, aktualność, poprawność i jakość dostarczonych informacji. Podręcznik planowania nie zastępuje szczegółowego i specyficznego dla projektu planowania przez specjalistów oraz badania i zgodności z obowiązującymi normami i przepisami prawnymi. Roszczenia z tytułu odpowiedzialności wobec autorów związane z szkodami materialnymi lub niematerialnymi wynikającymi z korzystania z Podręcznika planowania są wykluczone.



**Zespół autorów grupy roboczej QM Holzheizwerke pragnie podziękować pierwszym autorom Podręcznika Planowania, na których cennej i kompleksowej pracy opiera się obecne nowe wydanie. Ponadto chcielibyśmy podziękować wielu ekspertom z branży za ich cenne informacje zwrotne i aktywny udział w trakcie procesu konsultacji.**

**Szczególne podziękowania należą się również pionierom grupy roboczej QM Holzheizwerke Ruedi Bühler, Hansowi Rudolfowi Gabathulerowi i Franzowi Promitzerowi za ich zaangażowanie w rozwój i ustanowienie standardów jakości dla ciepłowni na biomasę.**

**Edycja i nowe wydanie QM Holzheizwerke Planning Handbook było możliwe dzięki wsparciu finansowemu i kadrowemu następujących instytucji, za które chcielibyśmy również wyrazić nasze szczerze podziękowania!**

- Schweizer Bundesamt für Energie
- Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie im Rahmen der Klimaschutzinitiative klimaaktiv
- C.A.R.M.E.N. e.V., Bayern
- Holzenergie-Fachverband Badenia-Wirtembergia e.V.

Grupa robocza QM Holzheizwerke, 28 stycznia 2022 r.

# Przegląd

<b>CZĘŚĆ 1 – RACJONALNE WYKORZYSTANIE ENERGII.....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>1</b>	<b>BIOMASA JAKO ŹRÓDŁO ENERGII .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ W CIEPŁOWNIACH OPALANYCH BIOMASĄ.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>3</b>	<b>ROZWÓJ PROJEKTU .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>CZĘŚĆ 2 - PODSTAWY .....</b>		<b>33</b>
<b>4</b>	<b>ENERGIA Z BIOMASY .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ CIEPŁA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>6</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z MAGAZYNOWANIEM PALIWA, JEGO TRANSPORTEM I USUWANIEM POPIOŁU.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>7</b>	<b>ASPEKTY HYDRAULICZNE ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ CIEPŁA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>8</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z DYSTRYBUCJĄ CIEPŁA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>9</b>	<b>POPIOŁ .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>10</b>	<b>EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNE.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>CZĘŚĆ 3 – PROCESY PLANOWANIA.....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>11</b>	<b>SZACOWANIE ZAPOTRZEBOWANIA I ODPOWIEDNI WYBÓR SYSTEMU.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>12</b>	<b>PROJEKTOWANIE DYSTRYBUCJI CIEPŁA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>13</b>	<b>WYBÓR SYSTEMU WYTWARZANIA CIEPŁA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>14</b>	<b>PROJEKTOWANIE MAGAZYNÓW PALIWA, TRANSPORTU PALIWA ORAZ USUWANIA POPIOŁU .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>15</b>	<b>WYKONANIE I ODBIÓR SYSTEMU KOTŁÓW ZASILANYCH BIOMASĄ.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>CZĘŚĆ 4 – EKSPLOATACJA I ZARZĄDZANIE .....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>16</b>	<b>OPTYMALIZACJA OPERACYJNA PO ODBIORZE.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>17</b>	<b>EKSPLOATACJA I KONSERWACJA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>18</b>	<b>OPTYMALIZACJA I MODERNIZACJA ISTNIEJĄCYCH ZAKŁADÓW .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>ZAŁĄCZNIKI.....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>

<b>19</b>	<b>REGULACJE</b> .....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>20</b>	<b>ISTOTNE WYLICZENIA I PRZELICZENIA</b>	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>21</b>	<b>SŁOWNICZEK</b> .....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>22</b>	<b>LITERATURA</b> .....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

# Spis treści

## CZĘŚĆ 1 – RACJONALNE WYKORZYSTANIE ENERGII.....ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

### 1 BIOMASA JAKO ŹRÓDŁO ENERGII ..... 18

#### 1.1 Wprowadzenie..... 18

#### 1.2 Znaczenie energii pochodzącej z biomasy..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 1.2.1 Pochodzenie..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 1.2.2 Wykorzystanie..... 18

#### 1.3 Rola energii z biomasy w systemie energetycznym .... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 1.3.1 Znaczenie międzynarodowych porównań..... 20

##### 1.3.2 Potencjał przyszłych systemów energetycznych..... 20

#### 1.4 Promowanie środków wspierających wykorzystanie energii z biomasy..... Errore. Il segnalibro non è definito.

### 2 ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ W CIEPŁOWNIACH OPALANYCH BIOMASĄ....ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

#### 2.1 Pochodzenie i cele ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 2.2 Dlaczego wprowadzać zarządzanie jakością w ciepłowniach opalanych biomasą? .... 23

#### 2.3 StandardQM®..... 24

##### 2.3.1 Najważniejsi uczestnicy projektu..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 2.3.2 Zadania i obowiązki..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 2.3.3 Planowanie procesów z kamieniami milowymi ..... 25

##### 2.3.4 Plan QM ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 2.3.5 Wytyczne QM ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 2.3.6 Narzędzia dla panistów ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 2.4 Mini system QM ..... 27

##### 2.4.1 Zakres zastosowania..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 2.4.2 Procedura..... 27

##### 2.4.3 Dokumenty i narzędzia ..... 27

### 3 ROZWÓJ PROJEKTU .....ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

#### 3.1 Od pomysłu do kilowatogodzin ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 3.2 Sudium wykonalności ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.2.1 Lokalizacja centralnej ciepłowni i magazynu ciepła..... 30

##### 3.2.2 Wymogi w zakresie planowania przestrzennego ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.2.3 Dostępność paliwa ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.2.4 Siatka przyłączy i zainteresowanie przyłączeniami ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.2.5 Ogólna koncepcja..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.2.6 Koszty inwestycyjne i koszty produkcji ciepła..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 3.3 Inne aspekty..... Errore. Il segnalibro non è definito.

##### 3.3.1 Finansowanie ..... 31

##### 3.3.2 Operator ..... 31

##### 3.3.3 Czynniki sukcesu i “przeszkody” ..... Errore. Il segnalibro non è definito.

### CZĘŚĆ 2 - PODSTAWY ..... 33

### 4 ENERGIA Z BIOMASY ..... 34

#### 4.1 Wprowadzenie..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 4.2 Podstawowy skład paliw drzewnych..... Errore. Il segnalibro non è definito.

#### 4.3 Stany referencyjne..... Errore. Il segnalibro non è definito.

<b>4.4</b>	<b>Istotne parametry</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.4.1	Zawartość wody i wilgości .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.4.2	Zawartość popiołu .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.4.3	Wartość kaloryczna netto i brutto .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.4.4	Specyfikacje objętości.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>4.5</b>	<b>Zasilanie paliwem automatycznych systemów wypalania drewna</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.5.1	Przegląd .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.5.2	Sortymenty drewna.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.5.3	Przygotowanie paliwa.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.5.4	Parametry jakości.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.5.5	Strategie zaopatrzenia w paliwo .....	49
<b>4.6</b>	<b>Analistyka</b> .....	<b>49</b>
<b>4.7</b>	<b>Umowa na dostawę paliwa i fakturowanie</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.7.1	Umowa na dostawę paliwa .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.7.2	Fakturowanie według objętości.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.7.3	Fakturowanie według wagi .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.7.4	Fakturowanie według ilości wytworzonego ciepła .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ CIEPŁA</b> .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>5.1</b>	<b>Obszary zastosowania</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.2</b>	<b>Podstawy spalania</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.3</b>	<b>Technologie spalania</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.1	Przegląd .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.2	Stacjonarne systemy spalania.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.3	Spalanie w kotłach fluidalnych.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.4	Spalanie pyłu .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.4</b>	<b>Transfer ciepła w sekcji kotłowej</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.5</b>	<b>Automatyczne oczyszczanie kotła</b> .....	<b>58</b>
<b>5.6</b>	<b>Emisje</b> .....	<b>59</b>
<b>5.7</b>	<b>Podstawowe środki redukcji emisji</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.8</b>	<b>Dodatkowe środki redukcji emisji</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.8.1	Odpylanie .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.8.2	Odazowtowanie.....	63
<b>5.9</b>	<b>Odzysk ciepła with z ekonomizerem i kondensacją spain</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>5.10</b>	<b>Technologia sterowania procesem</b> .....	<b>65</b>
5.10.1	Podstawy .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.10.2	Wymagania odnośnie urządzeń pomiarowych i pozyskiwania danych.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.10.3	Planowanie i wykonanie .....	69
<b>6</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z MAGAZYNOWANIEM PALIWA, JEGO TRANSPORTEM I USUWANIEM POPIOŁU</b> .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>6.1</b>	<b>Uwagi wstępne</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>6.2</b>	<b>Magazynowanie paliwa</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>6.3</b>	<b>Napełnianie silosów i magazynów</b> .....	<b>73</b>
6.3.1	Napełnianie silosów zrębków drzewnych .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.3.2	Napełnianie i zarządzanie magazynami .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.3.3	Napełnianie silosów wiórów drzewnych.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.3.4	Napełnianie magazynów pelet .....	Errore. Il segnalibro non è definito.

<b>6.4</b>	<b>Systemy rozładowania .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
6.4.1	Systemy rozładowania dla wszystkich paliw .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
6.4.2	Specjalne systemy rozładowania .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>6.5</b>	<b>Systemy przenośnikowe.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>6.6</b>	<b>Napełnianie kotła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>6.7</b>	<b>Ochrona przeciwogniowa w systemach przenośnikowych.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>6.8</b>	<b>Usuwanie popiołów.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7</b>	<b>ASPEKTY HYDRAULICZNE ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ CIEPŁA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>7.1</b>	<b>Podstawy hydrauliki.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7.2</b>	<b>Sterowanie obiegiem kotła.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.2.1	Zawory sterujące obiegiem kotła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.2.2	Obejścia w obiegu kotła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7.3</b>	<b>Pompy .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.3.1	Rodzaje pomp.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.3.2	Konstrukcje pomp.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.3.3	Pompa kotłowa o kontrolowanej prędkości .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.3.4	Pewność operacyjna i redundancja pomy kotłowej .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7.4</b>	<b>Miernik ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.4.1	Cechy licznika ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.4.2	Wymagania dotyczące indywidualnych metod pomiaru przepływu.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.4.3	Instalacja mierników ciepła.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.4.4	Wpływ na autorytet zaworu .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7.5</b>	<b>Magazynowanie ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.5.1	Magazynowanie ciepła w systemie ciepłowniczym.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.5.2	Integracja hydrauliczna magazynu ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>7.6</b>	<b>Pytania dotyczące hydrauliki systemów ciepłowniczych.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.6.1	Jakość wody .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
7.6.2	Zapobieganie niewłaściwej cyrkulacji .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8</b>	<b>KOMPONENTY CIEPŁOWNI ZWIĄZANE Z DYSTRYBUCJĄ CIEPŁA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>8.1</b>	<b>Przegląd .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.2</b>	<b>Systemy rur .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.3</b>	<b>Połączenia.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.4</b>	<b>Monitoring wycieków .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.5</b>	<b>Transmisja danych i komunikacja.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.6</b>	<b>Struktura sieci.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.7</b>	<b>Metody i sytuacje instalacyjne .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.8</b>	<b>Jakość wody w sieciach ciepłowniczych .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>8.9</b>	<b>Transfer ciepła.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
8.9.1	Podłączenie użytkowników .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
8.9.2	Wymogi dotyczące transferu ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>9</b>	<b>POPIÓŁ .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>9.1</b>	<b>Akumulacja popiołu.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>9.2</b>	<b>Frakcje popiołu .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>9.3</b>	<b>Skład popiołu .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>9.4</b>	<b>Usuwanie i recykling .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
9.4.1	Sytuacja w Szwajcarii .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

9.4.2	Sytuacja w Niemczech .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
9.4.3	Sytuacja w Austrii.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10</b>	<b>EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>10.1</b>	<b>Kwestie związane z efektywnością ekonomiczną ciepłowni opalanych biomasą</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.2</b>	<b>Obowiązki .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.3</b>	<b>Struktura kosztów ciepłowni opalanych biomasą.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.4</b>	<b>Kalkulacja efektywności ekonomicznej .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.4.1	Wprowadzenie.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.4.2	Kalkulacja kosztów produkcji ciepła metodą annuitetową.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.4.3	Metoda wartości bieżącej netto (NPV) i wewnętrznej stopy zwrotu z inwestycji (IRR)	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.4.4	Porównanie wariantów .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.4.5	Analiza wrażliwości.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.5</b>	<b>Struktura taryfowa sprzedaży ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.6</b>	<b>Plan biznesowy .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.6.1	Struktura i zawartość .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.6.2	Zabudżetowany bilans i oświadczenie o dochodzie .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.7</b>	<b>Narzędzie wyliczania opłacalności.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>10.8</b>	<b>Szacowanie kosztów inwestycyjnych .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>CZĘŚĆ 3 – PROCESY PLANOWANIA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>	
<b>11</b>	<b>SZACOWANIE ZAPOTRZEBOWANIA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>11.1</b>	<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>11.2</b>	<b>Analiza zapotrzebowania na ciepło .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11.2.1	Nowe budynki .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11.2.2	Istniejące budynki .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11.2.3	Powierzchnia budynków .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>11.3</b>	<b>Zapotrzebowanie na ciepło całego systemu .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11.3.1	Określenie wymaganej mocy cieplnej.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11.3.2	Zapotrzebowanie na moc cieplną pokazane jako charakterystyka obciążeń	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>11.4</b>	<b>Analiza źródeł ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>11.5</b>	<b>Integracja z procesami projektowania ciepłowni opalanych biomasą z wykorzystaniem systemu QM.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>12</b>	<b>PROJEKTOWANIE DYSTRYBUCJI CIEPŁA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>12.1</b>	<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>12.2</b>	<b>Najważniejsze liczby i terminy.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.1	Potencjalny obszar zaopatrzenia.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.2	Gęstość zapotrzebowania na ciepło .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.3	Kluczowi odbiorcy .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.4	Poziom rozwoju .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.5	Wskaźnik konkurencyjności.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.6	Gęstość połączeń.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.7	Specyficzne koszty inwestycyjne.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.8	Straty dystrybucyjne.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.2.9	Odstępstwo od kryteriów efektywności.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>12.3</b>	<b>Procedura projektowa .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>12.4</b>	<b>Wymiarowanie rur .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.4.1	Wytyczne dotyczące wymiarowania .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
12.4.2	Procedura wymiarowania .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

12.4.3	Metody kalkulacji .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>12.5</b>	<b>Rozwój technologii sieci ciepłowniczych .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13</b>	<b>WYBÓR SYSTEMU WYTWARZANIA CIEPŁA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>13.1</b>	<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.2</b>	<b>Porównanie z innymi źródłami ciepła (względny ekologiczny) .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.2.1	Przegląd .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.2.2	Przykłady .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.3</b>	<b>Ogólne wymogi i definicje najważniejszych terminów .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.4</b>	<b>Jakość paliwa i system spalania.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.5</b>	<b>Wybór i projektowanie systemu wytwarzania ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.1	Podstawowe zmienne wpływające na funkcjonowanie systemów ciepłowniczych bazujących na spalaniu biomasy .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.1.1	Wpływ całkowitej wymaganej mocy cieplnej .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.1.2	Określenie całkowitej wymaganej mocy kotłów .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.1.3	Rozdział całkowitej wymaganej mocy kotłów pomiędzy mniejsze i większe kotły na biomasę .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2	Opis podstawowych zmiennych .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2.1	Monowalentne systemy ciepłownicze opalane biomasą ze zbiornikiem magazynującym o mocy 100 - 500 kW .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2.2	Biwalentne systemy ciepłownicze opalane biomasą ze zbiornikiem magazynującym o mocy 100 to 1,000 kW .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2.3	Monowalentne systemy ciepłownicze opalane biomasą ze zbiornikiem magazynującym o mocy 501 to 1,000 kW .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2.4	Monowalentne systemy ciepłownicze opalane biomasą ze zbiornikiem magazynującym o mocy $\geq 1,000$ kW .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.2.5	Biwalentne systemy ciepłownicze opalane biomasą ze zbiornikiem magazynującym o mocy $\geq 1,000$ kW .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.3	Procedura projektowania systemów biwalentnych .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.4	Wybór systemów zapłonu .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.5	Wymiarowanie magazynów ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.5.6	Zapotrzebowanie na paliwo .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.6</b>	<b>Dalsze zmienne dotyczące systemów ciepłowniczych .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.6.1	Systemy wielokotłowe ze standardowym wyposażeniem .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.6.2	Dodatkowy kocioł na biomasę opalany wysokiej jakości paliwem do wykorzystania w okresie letnim .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.6.3	Kogeneracja .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.7</b>	<b>Komplementarne źródła ciepła i systemy wytwarzania ciepła .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.1	Uwagi ogólne .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.2	Odzysk ciepła ze spalin .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.2.1	Uwagi ogólne .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.2.2	Ekonomizer .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.2.3	Kondensacja spalin .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.2.4	Odzysk ciepła ze spalni w sieciach niskotemperaturowych .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3	Pompy ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3.1	Informacje ogólne .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3.2	Efektywność energetyczna systemów pomp ciepła .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3.3	Integracja hydrauliczna systemów pomp ciepła w okresie letnim .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3.4	Pompy ciepła a kondensacja spalin .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.3.5	Odzysk ciepła z kondensacją spalin w systemach dystrybucji chłodu .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.4	Energia słoneczna .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.4.1	Cele .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.7.4.2	Wykorzystanie solarnych systemów termalnych w systemach ciepłowniczych .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

definito.



13.7.4.3	Zdecentralizowane solarne systemy termalne zainstalowane u konsumentów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7.4.4	Połączenie fotowoltaiki z pompą ciepła .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7.5	Wykorzystanie ciepła odpadowego .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7.5.1	Uwagi wstępne.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7.5.2	Bezpośrednie wykorzystanie ciepła odpadowego .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.7.5.3	Pośrednie wykorzystanie ciepła odpadowego z zastosowaniem pompy ciepła .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>13.8</b>	<b>Dostarczenie ciepła procesowego .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>13.9</b>	<b>Projekt poszczególnych komponentów systemu .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.9.1	Wybór technologii strącania pyłów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.9.2	Wybór technologii redukcji emisji tlenków azotu.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.9.3	Wybór dodatkowych komponentów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>13.10</b>	<b>Projekt centralnej ciepłowni .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
13.10.1	Centralna ciepłownia.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.1.1	Projektowanie ciepłowni, wymagania przestrzenne .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.1.2	Integracja hydrauliczna systemu kotłów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.1.3	Wentylacja kotłowni .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.1.4	Wymiarowanie systemu wentylacji.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.2	Magazyn ciepła i ciepłownia z prefabrykowanych elementów ....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.3	Pomocnicze zapotrzebowanie na ciepło .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.4	Komin, kocioł.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.4.1	Wymiarowanie wysokości komina .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.4.2	Wymiarowanie przekroju komina .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.4.3	Budowa komina.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.4.4	Dysze do pomiaru emisji.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
13.10.5	Ochrona przed hałasem.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>14</b>	<b>PROJEKTOWANIE MAGAZYNÓW PALIWA, TRANSPORTU PALIWA ORAZ USUWANIA POPIOŁU .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>14.1</b>	<b>Uwagi ogólne .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>14.2</b>	<b>Wybór i wymiarowanie magazynów paliwa .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
14.2.1	Rodzaje magazynów paliwa .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.2	Wymiarowanie .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.3	Projektowanie silosów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.4	Wentylacja silosów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.5	Projektowanie magazynów.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.6	Zewnętrzne magazyny .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.7	Spontaniczne spalanie i utrata materiału .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.8	Projektowanie silosów na zrębki drzewnie .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.2.9	Projektowanie magazynów peletów.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>14.3</b>	<b>Wybór i wymiarowanie instalacji do rozładunku paliwa.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
14.3.1	Uwagi ogólne .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.3.2	Transport paliwa .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.3.3	Rozładunek paliwa.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.3.4	Systemy przenośnikowe .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
14.3.5	Ładowanie kotła.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>14.4</b>	<b>Wybór i wymiarowanie instalacji do odprowadzania popiołów.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>15</b>	<b>WYKONANIE I ODBIÓR SYSTEMU KOTŁÓW ZASILANYCH BIOMASĄ.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>15.1</b>	<b>Ogólne wymagania i definicje najważniejszych terminów.....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>15.2</b>	<b>Nadzór nad budową .....</b>	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

15.3	Punkty krytyczne w fazie budowy .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
15.4	Odbiór i rozruch .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
15.4.1	Przygotowanie do rozruchu, zimny rozruch.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
15.4.2	Gorący rozruch .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
15.5	Odbiór .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>CZĘŚĆ 4 – EKSPLOATACJA I ZARZĄDZANIE .....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
16	<b>OPTIMALIZACJA OPERACYJNA PO ODBIORZE.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
16.1	Przyczyny i cele.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
16.2	Wymagania i obowiązki.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
16.3	Przetwarzanie i ocena danych .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
16.4	Wdrażanie .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17	<b>EKSPLOATACJA I KONSERWACJA.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
17.1	Organizacja przedsięwzięcia .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.2	Eksploracja techniczna .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.3	Konserwacja .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.3.1	Uwagi ogólne .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.3.2	Obsługa i nadzór .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.3.3	Naprawy i usprawnienia .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.4	Bezpieczeństwo użytkowania .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
17.5	Ubezpieczenie.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18	<b>OPTIMALIZACJA FUNKCJONOWANIA I MODERNIZACJA ISTNIEJĄCYCH CIEPŁOWNI .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
18.1	Wyjaśnienia .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2	Optimalizacja funkcjonowania istniejących ciepłowni.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.1	Procedury.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.2	Analiza status quo jeżeli chodzi o aspekty technologiczne i ekonomiczne.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.3	Ocena wyników analizy .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.4	Środki optymalizacji funkcjonowania ciepłowni .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.4.1	Środki przekrojowe .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.4.2	Środki mające na celu zwiększenie przychodów .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.2.4.3	Pozostałe środki.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.3	Modernizacja istniejących ciepłowni.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.3.1	Wprowadzenie.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.3.2	Procedura modernizacji .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
18.3.3	Sytuacja, w której modernizacja nie jest możliwa .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
<b>ZAŁĄCZNIKI.....</b>		<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
19	<b>REGULACJE.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
20	<b>ISTOTNE WYLICZENIA I PRZELICZENIA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
20.1	Współczynnik nadmiaru powietrza Lambda.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.2	Konwersja z ppm na mg/m <sup>3</sup> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.3	Referencyjna zawartość tlenu .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.4	Konwersja z mg/m <sup>3</sup> na mg/MJ .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.5	Konwersja z wilgotnych na suche spaliny.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.6	Określenie nominalnej mocy cieplnej.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.7	Określenie natężenia masowego przepływu .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.8	Określenie objętości spalin .....	Errore. Il segnalibro non è definito.

20.9	Określenie przepływu spalin.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.10	Określenie masowego przepływu NO <sub>x</sub> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.11	Określenie efektywności spalania.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.12	Określenie rocznej efektywności.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
20.13	Wspólne jednostki i przeliczenia.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
21	SŁOWNICZEK.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
22	LITERATURA .....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

# **Część 1 – Racjonalne wykorzystanie energii**

# 1 Biomasa jako źródło energii

## 1.1 Wprowadzenie

Lasy to cenne ekosystemy – stanowią zarówno siedliska roślin i zwierząt, jak i miejsca chronione, miejsca rekreacji oraz źródło zasobów. Dodatkowo, lasy pochłaniają CO<sub>2</sub>, a wykorzystanie drewna jako surowca energetycznego wnosi dodatkowy wkład w redukcję emisji gazów cieplarnianych. Leśnictwo i przemysł drzewny stanowią dla Europy Środkowej ważne sektory gospodarki i kształtują nasz krajobraz kulturowy. Ważne, aby rozwijały się one w sposób zrównoważony i w harmonii naturą. Tylko w ten sposób możemy odnieść za ich pomocą długoterminowe korzyści ekologiczne, ekonomiczne i społeczne.

Drewno jest jednym z najważniejszych odnawialnych surowców. Jego właściwości sprawiają, że jest ono idealne dla wielu zastosowań: budowy budynków, produkcji papieru czy przedmiotów codziennego użytku – pełni ono kluczową rolę w inżynierii i projektowaniu.

### Dlaczego energia z biomasy?

#### Zalety ekonomiczne

- Dywersyfikacja źródeł energii
- Niezależność w czasach kryzysu
- Zwiększona gwarancja dostaw
- Przychody dla przemysłu leśnego i drzewnego
- Regionalna wartość dodana i tworzenie miejsc pracy

#### Zalety środowiskowe

- Odnawialne i neutralne dla klimatu źródło energii
- Wysoka efektywność i niski poziom emisji
- Krótkie i nieobciążone ryzykiem trasy transportowe
- Łatwe przygotowanie i magazynowanie
- Dostępne w każdym momencie
- Kompatybilne z innymi dostępnymi regionalnie odnawialnymi źródłami energii

#### Komfort związany z systemami ciepłowniczymi opalanyymi biomasą

- Sprawdzona technologia z gwarantowanymi dostawami paliwa
- Brak konieczności konserwacji instalacji i niskie zapotrzebowanie na przestrzeń ze strony odbiorców

Od tysięcy lat drewno było wykorzystywane do ogrzewania, gotowania, w rzemiośle, do wytwarzania pary itd. W ostatnich dekadach drewno w postaci zrębków czy peletów drzewnych nabiera też dużego znaczenia jako źródło energii w indywidualnych i miejskich systemach ciepłowniczych. Mając na uwadze konieczność ochrony zasobów, a także zagospodarowania

odpadów, do ich produkcji wykorzystywane są głównie biomasa oraz produkty uboczne przetwarzania drewna, które inaczej zostałyby zutylizowane. Podczas spalania drewna nie powstaje dodatkowy CO<sub>2</sub>, gdyż do atmosfery uwalniany jest tylko ten, który jest magazynowany w trakcie wzrostu roślin.

## 1.2 Znaczenie energii z biomasy

### 1.2.1 Pochodzenie

Zapotrzebowanie na drewno UE i jej poszczególnych państw członkowskich jest pokrywane głównie przez nasze lasy, a w mniejszym stopniu przez drewno odpadowe z recyklingu i import drewna. Przemysłowa obróbka drewna ma miejsce głównie w tartakach, przemyśle tekturowym i papierniczym oraz takich branżach jak stolarstwo i produkcja mebli itp.). Zaspokojenie zapotrzebowania na drewno w tych sektorach ma priorytet przed zaspokojeniem zapotrzebowania na drewno w energetyce. Biomasa jest pozyskiwana z drewna osłabionego, zniszczonego (np. w wyniku wichur czy przez korniki) i odpadowego, lecz także drewno pochodzące z plantacji o krótkiej rotacji lub małych (prywatnych) lasów. Na pozostały udział drewna wykorzystywanego do celów energetycznych składają się skrawki drewna nieznaidujące zastosowania w przemyśle (kora, obrzynki, trociny, zrębki, nawet ług z produkcji pulpy). Ogólnie, około 60% drewna w UE wykorzystywane jest na cele energetyczne. Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1** daje obraz przepływu drewna na terenie UE w 215 r. Dla zrównoważonego zaopatrzenia w energię, ważne jest wykorzystanie regionalnego drewna transportowanego na możliwie krótkie dystanse. Odpowiednio, dostępność i pochodzenie drewna będą zależały od regionalnych warunków ramowych i łańcuchów dostaw.

### 1.2.2 Wykorzystanie

Ogrzewanie odpowiada za ponad 50 % zapotrzebowania na energię w UE. W ramach sektora ciepłownictwa, gospodarstwa domowe i przemysł odpowiadają za ok. 40 % zużycia ciepła każde, a reszta jest zużywana przez sektor usług, rolnictwa i pozostałe sektory. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Energia pochodząca z biomasy odgrywa kluczową rolę w transformacji energetycznej – zwłaszcza w sektorze produkcji ciepła. Wzrasta też zainteresowanie wykorzystaniem drewna i innej biomasy stałej do produkcji energii elektrycznej, paliw i produktów chemicznych. Około 17 % zapotrzebowania na energię w UE jest pokrywane za pomocą odnawialnych źródeł (Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2**). Tu udział bioenergii, w tym energii pochodzącej z drewna, upraw energetycznych i odpadów biologicznych, sięga około 60%. Większość bioenergii jest wykorzystywana do produkcji ciepła (74.6 %). Pozostała

część jest wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej i paliw.

Do **produkcji ciepła** w domach jednorodzinnych i wielorodzinnych zwykle wykorzystywane są ręcznie ładowane instalacje spalania (wykorzystujące szczapy drewna, brykiety drzewne itp.) lub automatyczne kotły na pelety lub zrębki drzewne. Wielu producentów ma w ofercie najnowsze, wypróbowane i przetestowane technologie spalania i kotły charakteryzujące się wysoką efektywnością i niskim poziomem emisji. Część budynków jest też podłączona do lokalnych systemów ciepłowniczych, w skład których wchodzi: ciepłownia opalana biomasą, sieć ciepłownicza oraz węzeł ciepły. Systemy takie mogą zaopatrywać budynki – począwszy od kilku budynków po całe dzielnice i miasta - w ciepło, ciepłą wodę oraz ciepło procesowe. Ciepło powstaje w wyniku spalania zrębków drzewnych, kory itp. we w pełni zautomatyzowanych systemach kotłowych, zaadaptowanych do wykorzystywanego rodzaju paliwa. Indywidualne kotły na biomasę są wykorzystywane także w dużych zakładach do wytwarzania ciepła procesowego i pary na cele przemysłowe, a także – w przypadku systemów kogeneracyjnych – do wytwarzania w skojarzeniu zarówno ciepła jak i energii elektrycznej. Odpady z przemysłu przetwórstwa drewna (np. trociny, ług) często są zagospodarowywane termicznie na miejscu. Nadwyżka wyprodukowanej energii elektrycznej i ciepła może natomiast zostać wprowadzona do istniejących sieci.

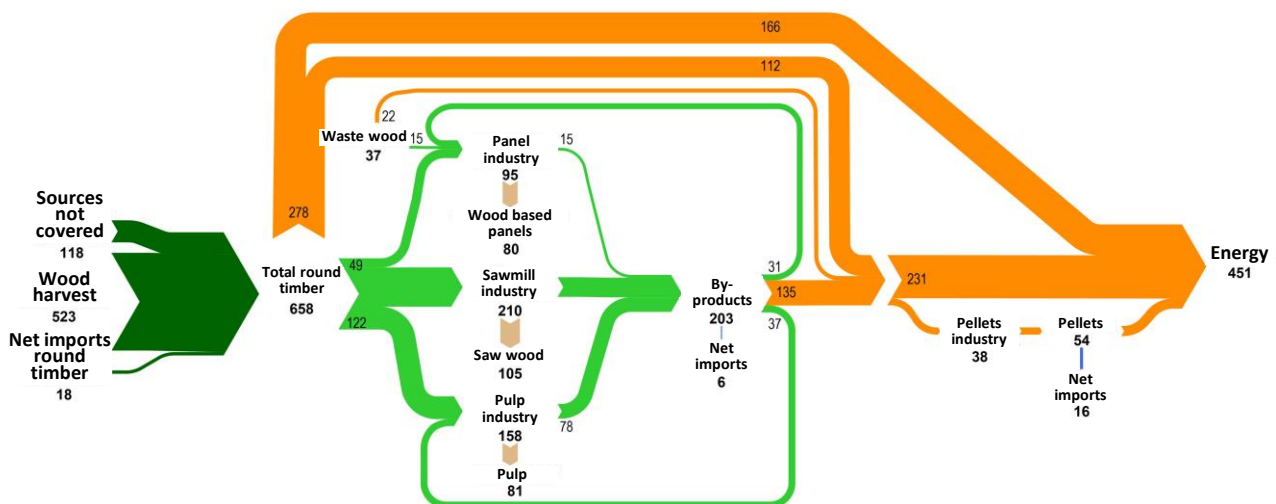
**Energię elektryczną** można wytwarzać z biomasy w procesie spalania (turbiny parowe, układy ORC) lub

gazyfikacji (silniki gazowe). Podczas gdy wytwarzanie energii elektrycznej projektowano głównie w większych zakładach (od 400 kW wzwyż), do wprowadzenia na rynek gotowe są także instalacje zgazowania biomasy przeznaczone dla małej i mikroenergetyki. Ich funkcjonowanie przynosi jednak korzyści ekologiczne i ekonomiczne jedynie wówczas, gdy ciepło wytwarzane w procesie produkcji energii elektrycznej jest zagospodarowywane.

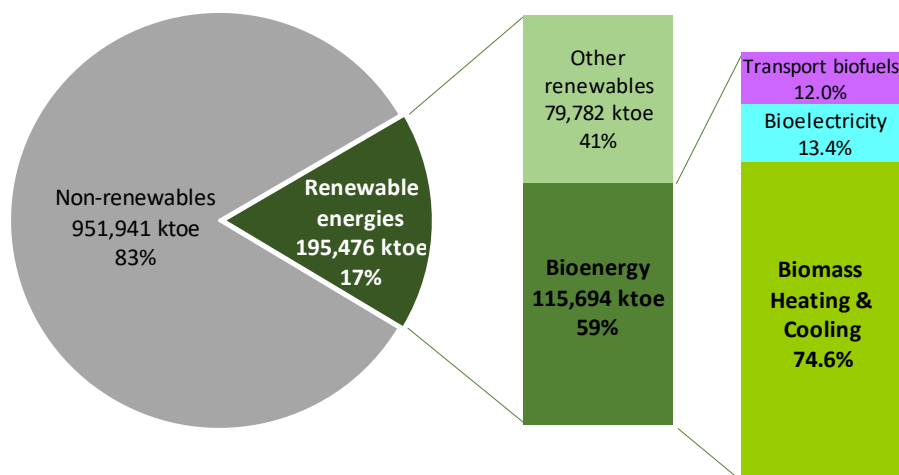
Gaz pochodzący ze zgazowania biomasy może być wykorzystywany nie tylko do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła, ale także do produkcji paliw i innych chemikaliów lub wprowadzany do sieci gazu ziemnego w postaci przetworzonej. W zależności od koncepcji instalacji i sposobu jej działania, z biomasy oprócz biogazu mogą być wytwarzane także węgiel drzewny lub olej pirolityczny (jako użyteczne produkty uboczne) lub biowęgiel (jako pochłaniacz CO<sub>2</sub>).

Whatever the product range and configuration of current and future biomass utilisation plants, heat will always be a by-product that must be taken advantage of to ensure that plants operate in a resource-saving and efficient manner.

Niezależnie od asortymentu produktów i konfiguracji obecnych i przyszłych zakładów utylizacji biomasy, ciepło zawsze będzie produktem ubocznym, który należy zagospodarować, aby zapewnić, zasobooszczędne i wydajne działanie zakładu.



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1** Diagram pokazujący przepływ drewna w sektorze leśnym w 28 krajach UE wyrażony w milionach pozyskanych metrów sześciennych surowca (2015); podstawowe dane wykorzystane do przygotowania wykresu pochodzą ze źródeł (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2** Udział odnawialnych źródeł energii w unijnym zapotrzebowaniu na energię wyrażony w kilotonach ekwiwalentu ropy (ktoe) i procentach, jak również rozkład wykorzystania bioenergii (2016); podstawowe dane wykorzystane do przygotowania wykresu pochodzą ze źródła **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

### 1.3 Rola energii pochodzącej z biomasy w systemie energetycznym

### 1.4 Znaczenie międzynarodowych porównań

W 2017 r. globalne średnie zużycie energii pierwotnej wyniosło ok 60 kWh na dzień na osobę. W krajach UE, w 2018 r., wartość ta była znacząco wyższa wynosząc 100 kWh na dzień na osobę (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** - **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**). Choć w ostatnich latach udział odnawialnych źródeł energii stale się zwiększał, nadal

około 85 % całkowitego zaopatrzenia w energię pochodzi ze źródeł nieodnawialnych (Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1**). W większości krajów biomasa ma największy udział w produkcji energii odnawialnej. Odgrywa ona ważną rolę w procesie transformacji energetyki, w tym zwłaszcza sektora ciepłownictwa, w kierunku wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii, gdyż jej właściwości są najbardziej zbliżone do właściwości paliw kopalnych (wysoka gęstość cieplna, łatwość magazynowania, elastyczność). W ramach UE największym udziałem bioenergii w produkcji energii w stosunku do liczby mieszkańców mogą pochwalić się Finlandia, Szwecja, Łotwa, Estonia i Austria [4].

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1** Udział poszczególnych źródeł energii w całkowitym zaopatrzeniu w energię na świecie **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**, w UE i w wybranych krajach (2018) **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**; dane dla Szwajcarii pochodzą ze źródła **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

\* Łączna wartość dla energii wiatrowej, słonecznej i pozostałych odnawialnych źródeł energii

Całkowite dostawy ciepła 2018	Świat	EU-28	EN	AT	CH	IT
Łącznie [TWh]	166,098	18,742	3,543	386	304	1,781
Nieodnawialne źródła energii	86.2 %	85.0 %	85.9 %	69.9 %	78.8 %	80.9 %
Odnawialne źródła energii	13.8 %	15.0 %	14.1 %	30.1 %	21.2 %	19.1 %
Bioenergia	9.3 %	9.0 %	8.5 %	16.7 %	7.4 %	8.7 %
Biomasa stała (w tym drewno)	-	6.2 %	4.0 %	13.9 %	3.8 %	5.6 %
Energia wody	2.5 %	1.9 %	0.5 %	9.8 %	12.3 %	2.7 %
Energia wiatru		2.0 %	3.1 %	1.6 %	0.04 %	1.0 %
Energia słoneczna	2.0 %*	0.9 %	1.5 %	0.9 %	0.9 %	1.4 %
Pozostałe źródła energii		1.2 %	0.5 %	1.1 %	0.6 %	5.2 %

Energia z biomasy odgrywa szczególną rolę nie tylko ze względów technicznych, ale i ekonomicznych. Podczas gdy pozostałe źródła energii (wiatr, słońce, woda, ciepło otoczenia, energia geotermalna) można wykorzystywać bezpośrednio i bezpłatnie, zapewnienie dostaw biomasy wymaga dodatkowych działań, takich jak uprawa, zbiór, przetwarzanie i transport. Dłuższe łańcuchy dostaw tworzą stałe miejsca pracy w regionie. Biorąc pod uwagę globalne dane dotyczące wpływu wykorzystania odnawialnych źródeł energii na miejsca pracy, produkcja energii z biomasy stałej plasuje się na szóstym miejscu z 787 000 miejsc pracy stworzonymi w 2018 r. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** Dla tego samego roku na terenie UE produkcja energii z biomasy plasuje się w rankingu na pierwszym miejscu z 360 600 wygenerowanymi miejscami pracy (na 1,5 miliona wszystkich miejsc pracy w sektorze odnawialnych źródeł energii) oraz obrotami w wysokości 31,8 miliardów euro **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

### 1.4.1 Potencjał przyszłych systemów energetycznych

Wiele badań i strategii energetycznych uważa bioenergię bioenergy (stałą, ciepłą i gazową) za najważniejszy substytut paliw kopalnych. Jest tak głównie z uwagi na jej zawartość energetyczną, możliwości magazynowania i elastyczność dostaw, jak również ogólną możliwość zastosowania w warunkach lokalnych. Z dzisiejszej perspektywy nie wydaje się prawdopodobne, aby biomasa była w stanie całkowicie zaspokoić światowe zapotrzebowanie na energię nie wchodząc w konflikt z innymi priorytetami, takimi jak zachowanie bioróżnorodności, zapewnienie zrównoważonego rozwoju oraz zaspokojenie zapotrzebowania na teren, wodę i żywność. Niezależnie od tego, biomasa będzie stanowić podstawę naszych przyszłych dostaw energii. Aktualnie ogólna produkcja energii z bioenergii wynosi około 15 447 TWh/rok (co odpowiada 9,3 % całkowitego zaopatrzenia w ciepło, zobacz Tabela **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**). Według bazujących na istniejącej literaturze badań porównawczych przeprowadzonych przez Faaij i innych al **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**, globalny potencjał bioenergii szacuje się dla 2050 r. na maksymalnym poziomie 139 000 TWh/rok, podczas gdy zapotrzebowanie na energię również wzrosło do tego czasu do około 222 000 - 417,000 TWh/rok. Potencjał europejski jest natomiast szacowany dla 2050 r. na maksymalnym poziomie 8 300 TWh/rok. Wartości te należy jednak traktować jako indykatywne i mogą się one różnić w zależności od regionalnej dostępności.

Nawet jeżeli w przyszłości drewno będzie w większym stopniu wykorzystywane do produkcji paliwa, gazu drzewnego czy surowców chemicznych (kluczowym słowem jest tu "biogospodarka"), biomasa pozostanie zasadniczym odnawialnym źródłem energii elektrycznej i ciepłej. Z uwagi jednak na to, iż nie wystarczy jej do

pełnego zaopatrzenia w energię odnawialną, należy dużą uwagę poświęcić budowie efektywnych ciepłowni biomasowych oraz zasobooszczędnemu, zrównoważonemu wykorzystaniu biomasy jako źródła energii. W przypadku zakładów kogeneracyjnych, produkujących równolegle energię elektryczną i ciepło, niezbędne jest całkowite zagospodarowanie wytwarzanego ciepła.

Aby zapewnić zaopatrzenie w energię ciepłą w całości bazującą na odnawialnych źródłach energii, należy przyrzeć się także innym dostępnym źródłom (energia słoneczna, geotermalna, ciepło odpadowe oraz ciepło otoczenia z wykorzystaniem/bez wykorzystania pomp ciepła). Ciepłownie opalane biomasą oraz lokalne sieci ciepłownicze stanowią idealny punkt wyjścia dla integracji tych źródeł ciepła i zapewnienia ich wykorzystania. Z uwagi na to, iż w każdym przypadku prowadzi to do bardziej złożonych konfiguracji system ciepłowniczego oraz interakcji pomiędzy poszczególnymi źródłami ciepła, szczególnie istotne jest zwrócenie uwagi na odpowiednie ich rozplanowanie z uwzględnieniem wymagań poszczególnych jednostek produkcyjnych oraz ich wydajnej i niskoemisyjnej interakcji.

## 1.5 Promowanie środków wspierających wytwarzanie energii z biomasy

Aby wspierać przejście na całkowicie bazujące na odnawialnych źródłach zaopatrzenie w energię i skompensować niekorzystne warunki ramowe (np. brak lub zbyt niskie ceny CO<sub>2</sub> prices), w wielu krajach promowane są zakłady produkcyjne bazujące na biomasie. Do najczęściej stosowanych na terenie UE środków wsparcia należą **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.:**

- Dotacje inwestycyjne (bezzwrotne dotacje, kredyty, pożyczki i umorzenia)
- Taryfy gwarantowane (ustalone ceny)
- Premie gwarantowane (narzuty na ceny rynkowe, dotacje do kosztów operacyjnych)
- Zwolnienia z podatku lub ulgi podatkowe
- Zwroty z podatku
- Regulacje prawne (np. handel uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>, cele w zakresie udziału energii z OZE, ceny emisji CO<sub>2</sub>)

W sektorze energii elektrycznej stosowane są głównie taryfy gwarantowane i premie gwarantowane, ale coraz częściej także płatności jednorazowe, podczas gdy w sektorze ciepłowniczym dominują dotacje inwestycyjne. Natomiast zachęty podatkowe są stosowane raczej rzadziej. Od czasu porozumienia klimatycznego z Paryża z 2015 r. coraz częściej przyjmowane są również wymogi prawne dotyczące promowania energii odnawialnej. Obejmują one stopniowe wycofywanie oleju opałowego, gazu ziemnego i węgla lub wymagania dotyczące udziału energii odnawialnej w budownictwie mieszkaniowym. W



sumie w 2018 r. sektor bioenergii otrzymał około 14 mld euro wsparcia od UE i jej państw członkowskich (łącznie 73 mld euro na odnawialne źródła energii) [13]. Około 8 proc. całkowitego finansowania UE na energię przeznacza się na biomasę, a nadal ponad 30 proc. (czyli 50 mld euro) przeznacza się na paliwa kopalne.

W zależności od kraju zapewnione jest finansowanie na budowę, rozbudowę i optymalizację lub modernizację ciepłowni na biomasę oraz związanych z nimi lokalnych i lokalnych sieci ciepłowniczych, a także na indywidualne komercyjne i prywatne instalacje biomasy. Stopy finansowania dotacji inwestycyjnych często mieszczą się w przedziale od 20 do 40 %. Wspólne wymogi w zakresie finansowania ze szczególnym uwzględnieniem sektora ciepłowniczego to:

- Minimalny udział odnawialnych źródeł energii w całym systemie
- Sprawność kotła, sieci ciepłowniczej i całego systemu (np. poziomy odniesienia dla sprawności kotła, strat dystrybucji ciepła)
- Wystarczająca gęstość przyłączenia sieci dystrybucyjnej
- Maksymalna dopuszczalna temperatura powrotu
- Minimalna oszczędność CO<sub>2</sub>
- Bardziej rygorystyczne wymagania emisyjne niż przewidziane przez prawo
- Zmiana źródła energii z kopalnego na odnawialne
- Połączenie z renowacją ciepłą budynku
- Zarządzanie jakością w ciepłowniach opalanych biomasą ([www.qm-biomass-dh-plants.com](http://www.qm-biomass-dh-plants.com))
- Inne wymogi dotyczące zapewnienie jakości

Aktualne i szczegółowe informacje na temat możliwości finansowania i procedur finansowania należy uzyskać od odpowiednich krajowych i regionalnych agencji finansujących.

Wprowadzenie krajowych/międzynarodowych cen CO<sub>2</sub>, wdrożonych już w poszczególnych krajach, jest skutecznym uzupełnieniem i alternatywą dla dotacji, aby przyspieszyć przejście na zrównoważone odnawialne dostawy ciepła oparte na biomase i innych odnawialnych źródłach energii.

## 2 Zarządzanie jakością w ciepłowniach opalanych biomasą

### 2.1 Pochodzenie i cele

Szwajcaria, Badenia-Wirtembergia, Bawaria i Austria wspólnie stworzyły standardy jakości dla instalacji DH na biomasę i od 2004 roku oferują je pod nazwą "QM Holzheizwerke". Nacisk kładziony jest na profesjonalne zaprojektowanie, planowanie i wykonanie ciepłowni i sieci ciepłowniczej. Ważnymi kryteriami jakości są wysokie bezpieczeństwo pracy, precyzyjna kontrola, dobre właściwości higieniczne powietrza i ekonomiczna logistyka paliwa. Celem jest energooszczędna, przyjazna dla środowiska i ekonomiczna eksploatacja całego zakładu.

System QM dla instalacji ciepłowniczych wykorzystujących biomasę to system zarządzania jakością zapewniający odpowiednie zdefiniowanie i kontrolę jakości ograniczonym czasowo projekcie, w który zaangażowanych jest kilka firm.

### 2.2 Dlaczego zarządzanie jakością w ciepłowniach opalanych biomasą?

Systemy ogrzewania drewnem, zwłaszcza te z sieciami ciepłowniczymi, są przedsięwzięciami długoterminowymi o wysokich kosztach inwestycyjnych i długich okresach amortyzacji. Ryzyko jest odpowiednio wysokie. Często trudno jest przewidzieć rozwój popytu, ponieważ działalność budowlana - zarówno w nowych budynkach, jak i w sektorze remontowym - podlega silnym wahaniom. Prognozy dotyczące przyszłej sytuacji energetycznej, która obecnie przechodzi zmianę w kierunku odnawialnego, wolnego od paliw kopalnych wytwarzania ciepła, są równie trudne.

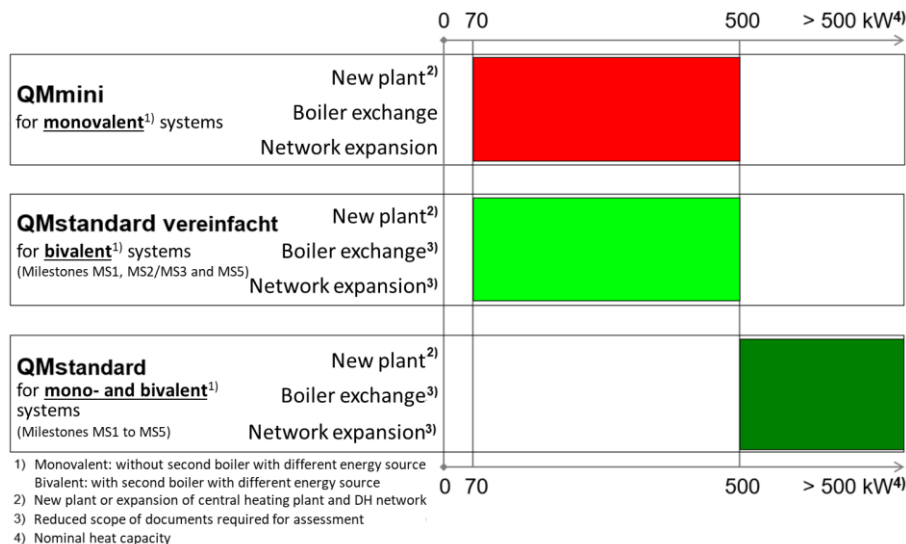
Profesjonalne zarządzanie projektami jest zatem niezbędnym warunkiem pomyślnej realizacji i eksploatacji większej ciepłowni opalanej drewnem z siecią ciepłowniczą. Integralnymi elementami

zarządzania projektami są zarządzanie jakością, określone w formie dokumentu, w którym określone są wymagania jakościowe i obowiązki (plan Q) oraz ocena opłacalności ekonomicznej, na przykład za pomocą biznesplanu, przed realizacją zakładu. Gwarantuje to, że budowane są instalacje, które osiągają wysoką roczną wydajność przy niskich kosztach inwestycji, mogą być eksploatowane przy niskich kosztach konserwacji i emisji oraz oferują wysoki poziom bezpieczeństwa dostaw.

W związku z tym QM dla instalacji ciepłowniczych na biomasę jest idealny do uzyskania dostępu do połączeń z dotacjami dla ciepłowni na biomasę i sieci ciepłowniczych. Jedynie ukierunkowane powiązanie dotacji z wymogami jakościowymi zapewnia ukierunkowane na cel i długoterminowe zrównoważone wykorzystanie dotacji. Na przykład w Austrii stosowanie QM dla elektrowni DH na biomasę jest obowiązkowe w celu otrzymania dotacji inwestycyjnych. Stosowanie QM dla elektrowni DH na biomasę w połączeniu z dotacjami zostało opisane przez Trybunał Obrachunkowy UE jako "szczególnie godna polecenia procedura" [14].

QM dla instalacji DH na biomasę zapewnia różne procedury zapewnienia jakości (rysunek 2.1), które można wykorzystać do budowy nowej ciepłowni, sieci ciepłowniczej, wymiany kotłów w ciepłowni lub rozbudowy sieci ciepłowniczej, w zależności od wielkości i złożoności:

- **QMstandard®**  
Standardowa procedura obejmuje cały proces planowania i wdrażania z pięcioma kamieniami milowymi (MS1 do MS5).
- **Uproszczona wersja QMstandard®**  
Pod pewnymi warunkami uproszczona wersja zawiera tylko trzy z pięciu kamieni milowych w ramach planowania i realizacji. Przy wymianie kotła na biomasę lub rozbudowie sieci ciepłowniczej można również zastosować uproszczone wymagania w ramach poszczególnych kamieni milowych.
- **QMmini®**  
Ta znacznie uproszczona procedura przebiega w dwóch fazach i może być stosowana tylko w systemach bez dodatkowego kotła kopalnego w określonym zakresie mocy zgodnie z rysunkiem 2.1.



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato...**  
QMmini® w Szwajcarii.

Zakres zastosowań QMstandard® i

Na podstawie wartości empirycznych QM dla instalacji DH na biomasę zdefiniowano wymagania jakościowe (Q-requirements). Najważniejsze z nich związane są z oceną zapotrzebowania i odpowiednim doбором systemu, projektem wytwarzania ciepła i sieci ciepłowniczej, asortymentem paliw i optymalizacją operacyjną.

Wdrożenie systematycznej optymalizacji operacyjnej po uruchomieniu instalacji jest integralną, obowiązkową częścią zapewnienia jakości za pomocą QM dla instalacji DH na biomasę. W pierwszym roku eksploatacji najważniejsze dane eksploatacyjne muszą być rejestrowane i oceniane dla różnych stanów pracy. Stanowią one podstawę do udowodnienia, czy zakład spełnia uzgodnione wymagania jakościowe (Q-requirements) (zob. rozdział 16).

## 2.3 QMstandard®

### 2.3.1 Najważniejsi uczestnicy projektu

Najważniejsze osoby zaangażowane w zapewnienie jakości za pomocą procedury QM dla instalacji DH biomasy to:

- Klient lub upoważniony przedstawiciel określa standard jakości i jest odpowiedzialny za opłacalność ekonomiczną projektu
- Kierownik ds. Jakości (Q-manager) zapewnia, że system zarządzania jakością "QM dla instalacji DH biomasy" jest zdefiniowany, wdrożony i utrzymywany. W tym celu Q-manager doradza właścicielowi budynku i głównemu planiście. Działania obejmują planowanie jakości, kontrole jakości i kontrolę jakości.
- Główny planista odpowiada przed klientem za jakość całego systemu (ciepłownia na biomasę i sieć ciepłownicza) w zakresie usług planistycznych określonych w umowie inżynierskiej. Główny planista musi być wyznaczony do planowania projektu zgodnie z QM dla instalacji DH biomasy.

### 2.3.2 Zadania i obowiązki

W zwykłym toku projektu następujące zadania są wykonywane przez klienta lub przedstawiciela klienta:

- Wyznaczenie Q-managera i uruchomienie głównego planisty.
- Utworzenie QM dla instalacji DH biomasy - tak wcześnie, jak to możliwe.
- Organizacja projektu z jasnymi strukturami organizacyjnymi oraz precyzyjnie określonymi obowiązkami i kompetencjami we wszystkich obszarach zadań.
- Regulacja organizacji i formy prawnej sponsorowania (spółki operacyjnej) ciepłowni opalanej drewnem.
- Dowód opłacalności ekonomicznej, na przykład za pomocą biznesplanu.
- Zabezpieczenie finansowania.
- Zatwierdzenie dokumentów złożonych przez uczestników projektu.
- Uzyskanie niezbędnych oficjalnych zezwoleń i praw tranzytowych.

Zadania kierownika ds. jakości obejmują:

- Wszystkie prace administracyjne związane z montażem instalacji ciepłowniczej opalanej biomasą: stworzenie systemu QM we współpracy z klientem i głównym planistą, organizacja niezbędnych spotkań, przygotowanie dokumentów wymaganych przez QM dla Instalacji DH Biomasy.
- Planowanie jakości: Jednoznaczne określenie wymagań jakościowych w planie jakości (Q-plan) we współpracy z klientem i głównym planistą; zapewnienie, że wymagania Q wymienione w planie Q są zgodne z uznanymi zasadami technologii.
- Kontrola jakości: Sprawdź na każdym etapie, czy wszystkie dokumenty i dane są dostępne i czy wymagania jakościowe uzgodnione w planie Q mieszczą się w uzgodnionej tolerancji.

- Kontrola jakości: Upewnij się, że odchylenia jakości są identyfikowane i korygowane w odpowiednim czasie; jeśli zostaną zidentyfikowane odchylenia jakości, Q-manager musi współpracować z klientem i głównym planistą w celu znalezienia rozwiązań.

Q-manager nie ponosi żadnej odpowiedzialności prawnej za zrealizowany system. Jest to odpowiedzialność głównego planisty i producentów w zakresie ich zleceń i ostatecznej odpowiedzialności wobec właściciela budynku.

Główny planista odpowiada przed klientem za jakość ciepłowni na biomasę w zakresie usług planistycznych określonych w umowie inżynierskiej. Wymagana jakość jest określona w Q-Plan QM dla instalacji DH biomasy w sześciu podobszarach:

- Ocena zapotrzebowania i odpowiedni dobór systemu
- Sieć ciepłownicza
- Wytwarzanie ciepła
- Dokumentacja zakładu
- Akceptacja
- Optymalizacja operacyjna

### 2.3.3 Proces planowania z kamieniami milowymi

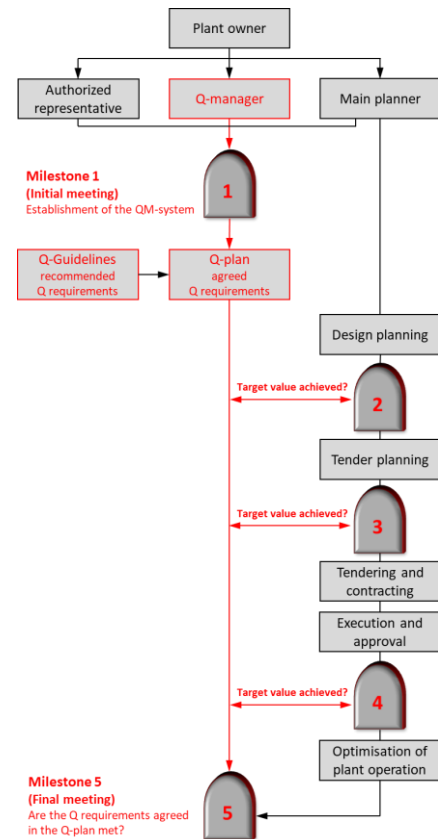
Rysunek 2.2 przedstawia przegląd procesu QM dla instalacji DH na biomasę i etapów planowania. Procedura i etapy planowania są szczegółowo opisane w wytycznych dotyczących jakości (Q-Guidelines) (patrz rozdział 2.3.4 i [15]).

Kierownik ds. jakości jest powoływany przez klienta i przejmuje odpowiedzialność za wdrożenie QM w ciepłowni. Główny planista jest również wyznaczany przez klienta i jest odpowiedzialny za ogólne planowanie zakładu. Razem rejestrują wymagania jakościowe w głównym dokumencie planu Q (kamień milowy MS1). Proces planowania podzielony jest na pięć faz projektu. QM dla instalacji DH na biomasę jest już ustalony na wstępnym etapie badań z kamieniem milowym 1, tak aby planowanie jakości (planowanie Q) mogło rozpocząć się tak wcześnie, jak to możliwe. Kamienie milowe 2, 3 i 4 są następnie wykorzystywane do kontroli jakości (Q-checks) i kontroli jakości (Q-control) w trakcie trwania projektu. Gwarantuje to, że odchylenia jakości są wykrywane i korygowane na czas.

Q-manager jest powoływany przez klienta i przejmuje odpowiedzialność za wdrożenie QM dla Biomass DH Plants. Główny planista jest również wyznaczany przez klienta i jest odpowiedzialny za ogólne planowanie zakładu. Razem rejestrują wymagania jakościowe w głównym dokumencie planu Q (kamień milowy MS1). Proces planowania podzielony jest na pięć faz projektu. QM dla instalacji DH na biomasę jest już ustalony na wstępnym etapie badań z kamieniem milowym 1, tak aby planowanie jakości (planowanie Q) mogło rozpocząć się tak wcześnie, jak to możliwe. Kamienie milowe 2, 3 i 4 są następnie wykorzystywane do kontroli jakości (Q-checks) i kontroli jakości (Q-control) w trakcie trwania projektu.

Gwarantuje to, że odchylenia jakości są wykrywane i korygowane na czas. Zakończenie QM dla instalacji DH na biomasę jest kamieniem milowym 5 po co najmniej roku optymalizacji operacyjnej.

Szczegółowo, procedurę i stosowanie QM dla instalacji ciepłowniczych wykorzystujących biomasę można dostosować do warunków ramowych panujących w poszczególnych krajach, tak aby zapewnić zgodność z odpowiednimi zwyczajowymi procedurami planowania i finansowania. Może to oznaczać np. dostosowanie obszarów zastosowania i oznaczeń QMstandard, jego uproszczonej wersji, QMmini czy dostosowanie lub uzupełnienie poszczególnych dokumentów czy kryteriów jakościowych. Dostosowania specyficzne dla danego kraju nie zostały tutaj szczegółowo omówione. Odpowiednie krajowe punkty kontaktowe QM dla elektrowni DH na biomasę mogą dostarczyć bardziej szczegółowych informacji.



Wykres Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.4 Proces wdrażania systemu QM w ciepłowniach opalanych biomasą

### 2.3.4 Plan zarządzania jakością

Systemy QM dla instalacji ciepłowniczych na biomasę powinny wymagać jak najmniejszej liczby dokumentów i wysiłku administracyjnego. Centralnym dokumentem jest plan zarządzania jakością, składający się z dwóch części:

- głównego dokumentu, który jest tworzony podczas ustanawiania QM dla instalacji ciepłowniczej na

biomasę w kroku milowym 1. W tym przypadku wymagania jakościowe i obowiązki są uzgadniane i definiowane na podstawie konkretnego projektu przed realizacją instalacji.

- dodatkowego dokumentu z tabelą EXCEL, która jest tworzona po osiągnięciu każdego kolejnego kamienia milowego. Dokument uzupełniający służy do kontroli jakości i kontroli jakości w trakcie trwania projektu.

### 2.3.5 Wytyczne zarządzania jakością

Integralną częścią planu zarządzania jakością są wytyczne zarządzania jakością [15]. Opisują one proces zarządzania jakością w ciepłowniach na biomasę. Ponadto szczegółowo opisuje wymagania jakościowe, które muszą być spełnione dzisiaj przy planowaniu i budowie ciepłowni opalanej drewnem z siecią ciepłowniczą. Wytyczna i plan QM (główny dokument) mają tę samą strukturę, dzięki czemu oba dokumenty mogą być używane równolegle w bardzo prosty i praktyczny sposób:

- A. Uczestnicy projektu
- B. Ustanowienie QM dla ciepłowni na biomasę
- C. Harmonogram projektu z kamieniami milowymi
- D. Usługi świadczone przez klienta
- E. Usługi i wymagania zarządzania jakością
- F. Główny planista
- G. Definicja paliwa

Załączniki do wytycznych zawierają dalsze informacje

- Specyficzne regulacje dla Austrii
- Maksymalne prędkości przepływu dla przewodów kapilarnych
- Grafiki:
  - Straty ciepła jako funkcja gęstości przyłączenia
  - Specyficzne koszty wytwarzania ciepła
  - Specyficzne koszty dystrybucji ciepła
- Wymagania jakościowe dotyczące wytwarzania ciepła (przegląd tabelaryczny)
- Minimalne dzienne obciążenie cieplne przy pracy przy niskim obciążeniu
- Listy kontrolne dla kroków milowych MS1 - MS5 zgodnie ze standardem zarządzania jakością. Dalsze listy kontrolne dla wymiany kotła i rozwoju sieci.
- Główny dokument i dokumenty dodatkowe planu zarządzania jakością (próbka)

### 2.3.6 Narzędzia dla planistów

System zarządzania jakością obejmuje też narzędzia dla planistów. Najważniejsze z nich to:

- **Standardowe schematy hydrauliczne:** Zbiór sprawdzonych koncepcji rozwiązań dla wariantów wytwarzania ciepła. Zawierają one szczegółowe dokumenty, takie jak schematy podstawowe z oznaczeniem i położeniem punktów pomiarowych, hydrauliczna konstrukcja obwodów kotła,

funkcjonalny opis różnych obwodów sterujących ze schematem sterowania, lista punktów pomiarowych do optymalizacji pracy i specyfikacje do rejestracji danych. Zawierają również informacje na temat konstrukcji kapilary i sterowania pompami kapilarnymi. Dokumenty Word dla poszczególnych standardowych schematów hydraulicznych są dostępne dla planisty, które są wypełniane i dostosowywane zgodnie z projektem.

- **Przykładowy przetarg** na systemy z jednym lub dwoma kotłami na biomasę: Planista może użyć dokumentu Word jako szablonu przetargu, który zawiera istotne elementy przetargu i który można uzupełnić i dostosować zgodnie z projektem.
- **Podręcznik planowania:** Niniejszy podręcznik zawiera szczegółowy opis procesu planowania i najnowocześniejszych elektrowni DH na biomasę z sieciami ciepłowniczymi. Ponadto opisuje wymagania dotyczące optymalnej eksploatacji i zapewnia podstawową wiedzę na temat wszystkich ważnych aspektów planowania i najważniejszych elementów instalacji.
- **Listy kontrolne** dla kamieni milowych MS1 do MS5 zgodnie z QMstandard (Q-Guidelines [15]): Opisują one dokumenty, które należy przedłożyć dla danego etapu. Listy kontrolne dla nowych instalacji, wymiany kotłów i rozbudowy sieci.
- **Narzędzie Excel do oceny zapotrzebowania i odpowiedniego wyboru systemu:** W narzędziu podstawowe dane klienta (roczne zapotrzebowanie na ciepło, zapotrzebowanie na moc, obszar odniesienia energii) są sprawdzane pod kątem wiarygodności. Określono warunki klimatyczne lokalizacji zakładu oraz długość i straty ciepła rurociągu ciepłowniczego. Na tej podstawie narzędzie umożliwia wstępne zaprojektowanie wytwarzania i dystrybucji ciepła na początku projektu oraz sprawdza zgodność z najważniejszymi wymaganiami Q. W miarę postępu planowania dane są aktualizowane w kolejnych etapach (zob. rozdział 11).
- **Narzędzie Excel "Erneuerung Holzenergieanlagen"** (renowacja ciepłowni na biomasę): Narzędzie konsultacyjne "Erneuerung Holzenergieanlagen" jest plikiem Excel [16]. Najważniejsze dane specyficzne dla systemu do oceny można wprowadzić tutaj. Po wprowadzeniu danych użytkownik otrzymuje przybliżoną analizę poprzez automatyczną ocenę danych za pomocą testów porównawczych. Za pomocą narzędzia możliwe jest wydawanie zaleceń i odwoływanie się do dalszych narzędzi i informacji. Jest on swobodnie dostępny dla planistów, konsultantów i operatorów instalacji.
- **Narzędzie Excel Obliczanie rentowności ekonomicznej:** To narzędzie służy do tworzenia bilansu budżetowego i rachunku zysków i strat budżetowych w okresie eksploatacji zakładu wynoszącym 25 lat. Narzędzie to można wykorzystać do określenia modeli taryfowych i rozwoju kosztów w czasie trwania projektu, wąskich gardeł ekonomicznych i powodzenia projektu na wczesnym etapie (zob. rozdział 10).

- Najczęściej zadawane pytania: Grupa robocza ds. zarządzania jakością w odniesieniu do elektrowni DH na biomasę udostępnia na swojej stronie internetowej dalsze szczegółowe informacje na temat częstych pytań technicznych [17].

Zapewnienie jakości za pomocą systemu zarządzania jakością dla instalacji ciepłowniczej na biomasę wymaga wymiany i stałej aktualizacji informacji i dokumentów w trakcie projektu. W najprostszym przypadku można to zrobić za pomocą poczty elektronicznej i papieru. Pomocną alternatywą może być proste rozwiązanie w chmurze ze znormalizowaną strukturą folderów i określonymi prawami dostępu, w których zapisywane są dokumenty projektu związane z systemem QM.

#### **Baza danych jako narzędzie procesu projektowego**

W Austrii, ze względu na dużą liczbę projektów QM, opracowano bazę danych z interfejsem internetowym do obsługi całego procesu QM. Zapewnia to wszystkim uczestnikom projektu, a także federalnym i prowincjonalnym agencjom finansującym dostęp do tych samych informacji i dokumentów:

- Centralny punkt dostępowy dla wszystkich uczestników projektu (klient, firmy planistyczne, Q-managerowie, agencje finansujące, zarządzanie QM wyższego szczebla)
- Określone prawa dostępu dla poszczególnych projektów
- Przydział ról i konkretnych uprawnień zgodnie z wytycznymi QM dla klienta, głównego planisty i kierownika ds. jakości.
- Kompletne mapowanie i dokumentowanie procesu QM w tym. formatowanie tylko do odczytu po zakończeniu etapu
- Funkcję przesyłania i pobierania wszystkich dokumentów
- Automatyczne powiadomienia o ukończeniu etapu
- Przesyłanie i automatyczną ocenę rocznych raportów operacyjnych
- Wyższą ocenę postępu jakościowego zarejestrowanych elektrowni ciepłych i sieci ciepłowniczych na biomasę
- Bezpośredni link do przetwarzania finansowania
- Ważne źródło danych dla agencji finansujących, organów politycznych i administracyjnych

lub więcej kotłami na biomasę. QMmini można również zastosować do istniejących systemów, np. przy wymianie istniejącego kotła na biomasę lub przy rozbudowie istniejącej sieci ciepłowniczej.

Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**3 pokazuje zakres zastosowania i ograniczenie między QMmini i QMstandard.

### **2.4.2 Procedura**

QMmini message. QMmini działa w dwóch fazach. W fazie 1 projekt instalacji jest poddawany przeglądowi w formie projektu QMmini. W fazie 2, analogicznej do etapu MS5, różne dokumenty i informacje na temat zachowania operacyjnego zakładu są analizowane i rejestrowane w końcowym komunikacie QMmini.

### **2.4.3 Dokumenty i narzędzia**

QMmini zapewnia następujące narzędzia dla planistów i instalatorów w Szwajcarii do pobrania:

- Procedura projektu dla wsparcia jakości QMmini
- Wytyczne dotyczące wsparcia jakości QMmini
- Formularz projektu QMmini z przykładem (oparty na Excelu).

W Austrii podobna procedura dla "lokalnych systemów grzewczych" o mocy poniżej 400 kW jest oferowana pod pojęciem qm:kompakt.

## **2.4 Mini QM**

### **2.4.1 Zakres zastosowań**

QMmini został opracowany jako uzupełnienie QMstandard dla systemów w zakresie mocy od około 100 kW do 500 kW i jest oferowany od 2011 roku. Aby móc łatwiej osiągnąć te same cele jakościowe, zakres zastosowania jest nie tylko ograniczony pod względem wydajności, ale także ograniczony do prostych systemów z instalacjami monowalentnymi, tj. instalacjami z jednym

## 3 Rozwój projektu

### 3.1 Od pomysłu do kilowatogodziny

Każdy projekt budowy bądź rozwoju system ciepłowniczego opalanego biomasą zaczyna się od pomysłu, na co wpływ może mieć wiele czynników wyzwalających:

- Dobre przykłady
- Cele polityki klimatycznej
- Nadchodząca wymiana systemów grzewczych bazujących na paliwach kopalnych (np. w budynkach publicznych)
- Problemy ze sprzedażą paliw z biomasy niskiej jakości
- Mandat polityczny
- Wymogi planowania przestrzennego (np. główny plan energetyczny)
- Stowarzyszenia handlowe, agencje energetyczne, biura planowania

Doświadczenie pokazuje, że droga "od pomysłu do kilowatogodziny ciepła lub elektryczności" jest długa, a często tylko kilka pomysłów skutkuje bezpośrednio budową zakładu. Czasami pomysł wymaga kilku prób, aż nadejdzie czas na realizację projektu. Wyzwanie polega na tym, aby na wczesnym etapie mieć prostą koncepcję, która umożliwi podjęcie decyzji pomiędzy dalszym rozwojem a porzuceniem projektu. Jeśli następnie

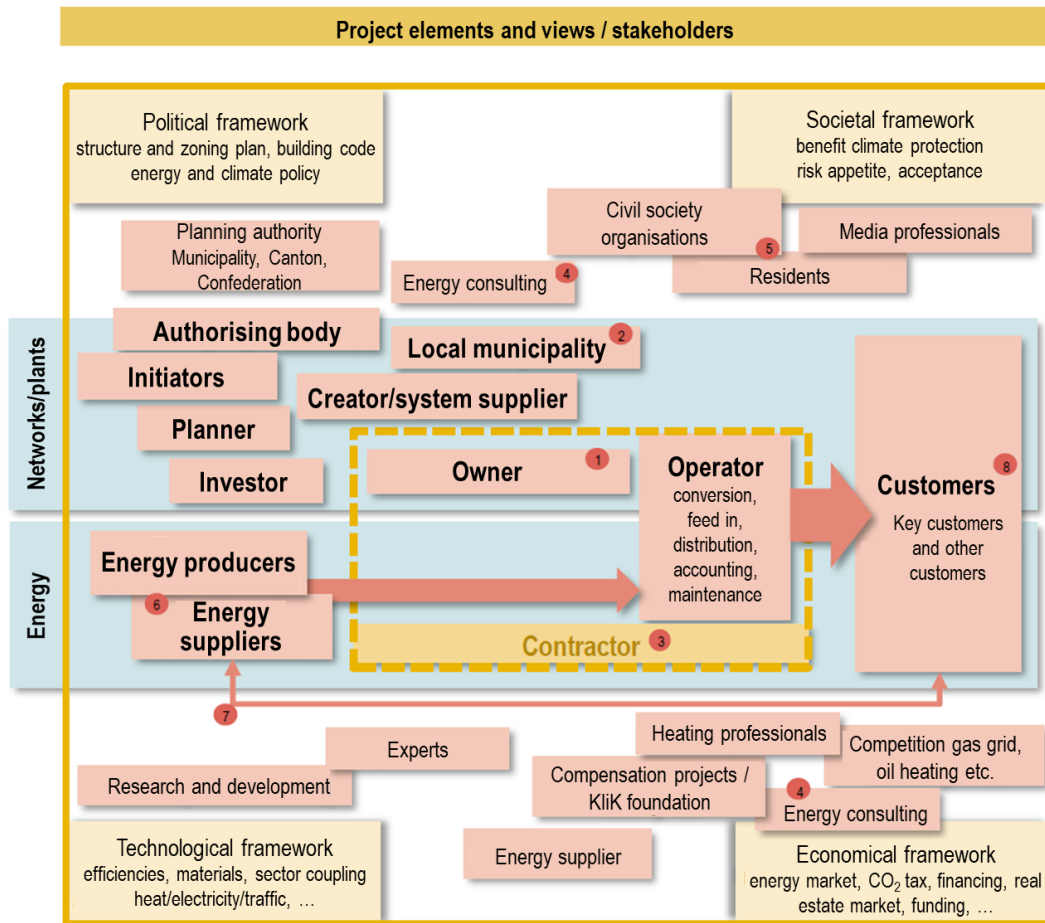
zostanie podjęta decyzja na rzecz dalszego rozwoju projektu, rozpoczyna się złożona faza planowania. Wyzwaniem jest tutaj pomyślnie ukończenie ścieżki bez późniejszego porzucania projektu. Przegląd procesu opracowywania projektu zgodnie z QM dla instalacji DH na biomasę można znaleźć w wytycznych zarządzania jakością [15].

Pomiędzy pomysłem a uruchomieniem zakładu nacisk kładziony jest na dyskusję i odpowiadanie na pytania techniczne i ekonomiczne. Szczególnie we wczesnej fazie projektu zawsze jednak chodzi o aspekty nietechniczne. Każdy duży projekt ciepłownictwa na biomasę uruchamia procesy interpersonalne. Niezależnie od tego, czy chodzi o założenie spółki operacyjnej, czy o pozyskanie odbiorców ciepła. Procesy te mogą być czasami tak samo trudne i decydujące dla powodzenia projektu, jak wybór odpowiedniej technologii instalacji.

Wczesna faza projektu ma kluczowe znaczenie dla ustanowienia QM dla instalacji DH na biomasę. Im wcześniej standardy i zalecenia QM dla instalacji DH na biomasę zostaną włączone do projektu, tym łatwiejsze będzie ich późniejsze wdrożenie.

Różne osoby i zainteresowane strony są zaangażowane w rozwój projektu dotyczącego sieci ciepłowniczych z biomasy (zob. rys. 3.1). Mają nie tylko odmienne zainteresowania, ale także różne perspektywy i oczekiwania. Kluczowe znaczenie ma ich konstruktywne połączenie.





Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5**  
 interesariuszy **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

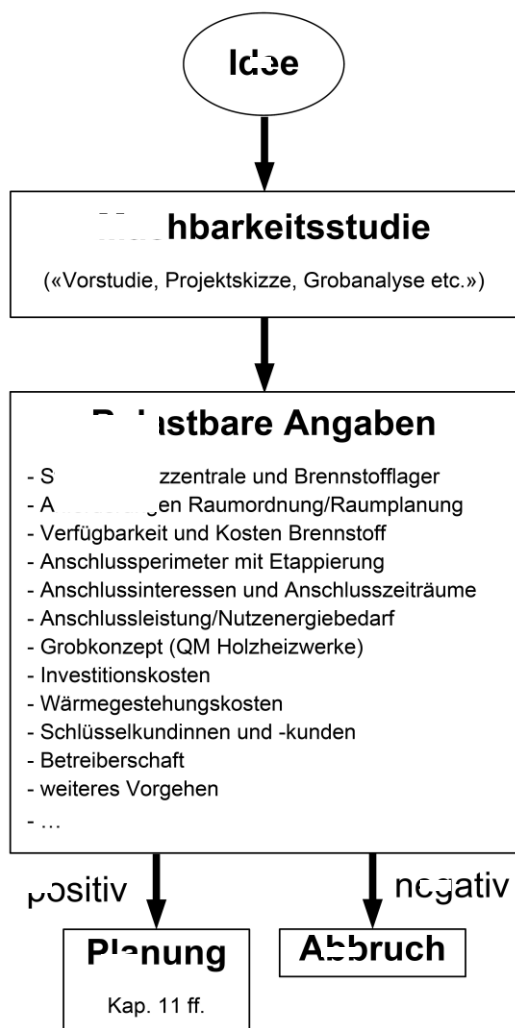
Elementy projektu i perspektywa różnych

### 3.2 Studium wykonalności

Podstawą do podjęcia podstawowej decyzji o tym, czy pomysł należy realizować, czy odrzucić, jest zazwyczaj studium wykonalności (inne terminy to wstępne badanie, przybliżona analiza, wstępne planowanie, przygotowanie projektu i planowania itp.). Studium wykonalności służy stworzeniu wiarygodnej podstawy do podjęcia decyzji o realizacji projektu.

Ponieważ ciepłownie na biomasę są długoterminowymi projektami infrastrukturalnymi o wysokiej inwestycji początkowej, studium wykonalności ma ogromne znaczenie i powinno być odpowiednio przygotowane kompleksowo i przez ekspertów. Nie obejmuje szczegółowego ani wdrożeniowego planowania i w żaden sposób nie może go zastąpić.





Rysunek Error. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.6 Integracja stadium wykonalności w procesie projektowym

Studium wykonalności jest zwykle przeprowadzane nadal bez firmy operacyjnej (sponsoring) i bez gwarancji projektu. Dlatego jego finansowanie jest często wyzwaniem. Jeśli gminy lub firmy energetyczne są zaangażowane w pomysł projektu, czasami przejmują finansowanie. Istnieje również możliwość skorzystania z tanich konsultantów ze stowarzyszeń zawodowych, agencji energetycznych itp. w celu wsparcia wczesnej fazy rozwoju projektu. Czasami biura planistyczne są inicjatorami pomysłu na projekt i dokonują zaliczek. W zależności od warunków ramowych specyficznych dla danego kraju, możliwy jest również udział lub finansowanie przez rząd federalny, kraje związkowe/kantony lub inne agencje w finansowaniu.

Rysunek 3.2 pokazuje, które kwestie należy wyjaśnić w studium wykonalności, aby decyzja była możliwa. Muszą one jednak być zawsze definiowane indywidualnie dla każdego przypadku. Rozwój projektu i późniejszy proces planowania może być wsparty towarzyszącą analizą ryzyka, aby móc zidentyfikować i rozważyć potencjalne zagrożenia na wczesnym etapie.

### 3.2.1 Lokalizacja centralnej ciepłowni i magazynu ciepła

Ze względu na intensywną działalność budowlaną i rozbudowę terenów mieszkalnych coraz trudniej jest znaleźć odpowiednie lokalizacje dla ciepłowni i magazynów paliwa. Idealnymi lokalizacjami są zatem obszary handlowe i przemysłowe, istniejące centra rozbudowy lub połączenie dwóch lub więcej istniejących ciepłowni. Dla akceptacji dalszego rozwoju projektu korzystne jest, jeśli kilka lokalizacji zostanie ocenionych w ramach studium wykonalności. Ocena możliwych lokalizacji ciepłowni i magazynu paliwa jest zatem jednym z pierwszych i najważniejszych zadań w kontekście rozwoju projektu i powinna zostać rozwiązana jak najszybciej. Dziś należy pamiętać, że coraz więcej mieszkańców korzysta z prawa do odwołania się od decyzji. Im większa ma być roślina, tym ważniejszy jest ten aspekt. Jeśli nie można znaleźć żadnej strony, wyjaśnienie innych pytań może stać się nieaktualne. Najważniejszymi kryteriami oceny terenu są:

- Warunki przestrzenne i istniejąca infrastruktura (elektryczność, woda, ścieki, telekomunikacja itp.)
- Odpowiedni dostęp do dostawy paliwa (np. unikanie dostępu przez obszary mieszkalne, boiska szkolne itp.).
- Bezpieczeństwo dostaw paliwa i materiałów eksploatacyjnych
- Topografia (np. niekorzystna u podnóża zamieszkałych zboczy)
- Kierunek wiatru
- Własność
- Bliskość obszaru zaopatrzenia (unikanie długich rur ciepłowniczych)

### 3.2.2 Wymagania dotyczące planowania przestrzennego

W ramach oceny terenu należy również zbadać zgodność planowanego terenu z krajowymi i specyficznymi dla danego kraju warunkami ramowymi planowania przestrzennego. Tereny w strefie rolniczej lub lesie wymagają procedur zatwierdzania i zmiany zagospodarowania przestrzennego specyficznych dla danego kraju. Czas potrzebny na to musi być brany pod uwagę przy opracowywaniu projektu.

### 3.2.3 Dostępność paliwa

Regionalność jest ważnym argumentem za rozwojem projektów ciepłowniczych z biomasy. W związku z tym na wczesnym etapie należy wyjaśnić regionalną dostępność paliw i bezpieczeństwo dostaw. Obejmuje to w szczególności jakość i koszty. Często wskazane jest podpisanie umów przedwstępnych z potencjalnymi dostawcami paliw. W przypadku dużych instalacji DH na biomasę zaleca się sprawdzenie podaży paliwa (zob. rozdział 4).

### 3.2.4 Granice system i zainteresowanie podłączeniem

Za pomocą gęstości pozyskiwania ciepła lub gęstości przyłączeniowej (patrz rozdział 12) można łatwo zdefiniować początkowy, tymczasowy obwód połączenia. Idealnie byłoby, gdyby było to zgrupowane wokół uznanych dużych odbiorców zainteresowanych połączeniem (kluczowi klienci), którzy tworzą ramy sieci ciepłowniczej. Zainteresowanie wśród kluczowych klientów jest określane za pomocą ankiety, jeśli nie jest jeszcze znane. Najważniejsze informacje to:

- Ogólne zainteresowanie przyłączeniem
- Szacowany czas przyłączenie
- Średnie wcześniejsze zapotrzebowanie na ciepło końcowe
- Wiek istniejącego system ciepłowniczego
- Plany w zakresie budowy lub renowacji budynków

Pytanie o zainteresowanie podłączeniem jest początkowo zadawane bez określania wiążących cen ogrzewania, ponieważ można je szczegółowo określić dopiero po osiągnięciu przez projekt określonego etapu rozwoju. Odpowiedzi są zatem niewiążące i mało wiarygodne. Decyzja o przyłączeniu zależy przede wszystkim od kosztów produkcji ciepła. Są one określane przez liczbę właściwości do podłączenia, a także podłączone obciążenie i datę połączenia. Dlatego kluczowi klienci są niezwykle ważni. Szczegółowa procedura jest również wymieniona w Podręczniku planowania sieci ciepłowniczych [19].

Wyniki badania mogą być wykorzystane do określenia początkowych wartości referencyjnych dla przyłączonego obciążenia i zapotrzebowania na energię oraz do sporządzenia wstępnej oceny zapotrzebowania (zob. rozdział 11).

### 3.2.5 Wstępna koncepcja

Wskazane jest sporządzenie wstępnego projektu koncepcji dla zakładu na bardzo wczesnym etapie. Gwarantuje to, że z jednej strony normy i wymagania QM dla instalacji BIOMASY DH, az drugiej strony odpowiednie regulacje prawne (np. Kontrola zanieczyszczenia powietrza, usuwanie popiołu) są brane pod uwagę od samego początku.

### 3.2.6 Koszty inwestycyjne i koszty produkcji ciepła

Koszty inwestycji i produkcji ciepła szacowane są na podstawie notowań, doświadczenia i wartości referencyjnych. Koszty produkcji ciepła umożliwiają uzasadnienie niewiążących interesów przyłączeniowych zarejestrowanych w pierwszym badaniu zapotrzebowania na ciepło kosztami w celu ponownego zapytania o zainteresowanie potencjalnych odbiorców ciepła.

Pouczające spotkanie z potencjalnymi klientami okazuje się dobrym pomysłem. Osoby biorące udział w ankiecie, oczekują następnie informacji o jej wynikach. Jednocześnie takie wydarzenia służą pozyskaniu dodatkowych klientów.

Koszty ciepła powinny być już podane w formie trzyczęściowej taryfy za ciepło (zob. rozdział 10.5) i porównane z kosztami innych rodzajów ogrzewania.

## 3.3 Inne aspekty

### 3.3.1 Finansowanie

Inwestycje są często finansowane z jednorazowych opłat przyłączeniowych, ze środków własnych, dotacji i pożyczek. Najlepiej byłoby, gdyby około 25% kosztów inwestycji pokrywały jednorazowe opłaty przyłączeniowe. W przypadku wsparcia finansowego ze strony sektora publicznego warunki kredytów bankowych stają się znacznie korzystniejsze. Interesujące może być również finansowanie za pośrednictwem fundacji providentowych (np. funduszy emerytalnych), "zielonych" lub zrównoważonych form inwestycji (fundusze, obligacje itp.) lub modeli partycypacji obywatelskiej.

### 3.3.2 Operator

Zasadniczo następujące podmioty są predystynowane do tego, by zostać operatorami:

- Firmy prywatne
  - Jeden właściciel
  - Partnerstwo (np. spółka cywilna)
  - Korporacja (sp. spółka z ograniczoną odpowiedzialnością)
  - Spółdzielnia
- Przedsiębiorstwa publiczne
  - Przedsiębiorstwo niepodlegające prawu prywatnemu (np. własna działalność gospodarcza gminy)
  - Przedsiębiorstwo podlegające prawu prywatnemu (np. publiczna spółka z ograniczoną odpowiedzialnością)

Najbardziej odpowiednia forma przedsiębiorstwa zależy od różnych czynników (finansowanie, struktura klientów, rola sektora publicznego itp.) i musi być zawsze wyjaśniana indywidualnie dla każdego przypadku. Jeśli nie jest możliwe utworzenie oddzielnej spółki operacyjnej, zawarcie umowy jest dodatkową alternatywą.

### 3.3.3 Czynniki sukcesu i hamulce

Najważniejszymi czynnikami sukcesu we wczesnej fazie rozwoju projektu są, zgodnie z raportem "Sozioökonomische Aspekte thermischer Netze" [18]:

- Opracowanie profesjonalnego projektu i studium wykonalności
- Rozważenie aspektów społeczno-ekonomicznych
- Identyfikacja i klasyfikacja interesariuszy pod względem motywacji, zakresu działania i mechanizmów decyzyjnych
- Wczesne wyjaśnienie obowiązków
- Przekazanie jasnych punktów odniesienia od samego początku (np. wartości docelowe gęstości połączeń, kosztów produkcji ciepła, wymaganego postępu w zakresie przyłączenia itp.).
- Kluczowi klienci
- Wizyty u istniejących, podobnych przykładów przez władze, mieszkańców i inne zainteresowane strony
- Osoba, która prowadzi projekt krok po kroku
- Rozbudowa siedziby i sieci ciepłowniczej
- Wsparcie ze strony organów publicznych
- Podkreślanie korzyści dla lasu (kibice) Wczesne, przejrzyste informacje
- Podkreślanie korzyści płynących z biomasy: odnawialnej, neutralnej pod względem emisji CO<sub>2</sub> i przyjaznej dla klimatu, wartości regionalnej i innych

Najważniejsze "przeszkody" we wczesnej fazie rozwoju projektu to, według raportu "Risiken bei thermischen Netzen" [20]: Insufficient or delayed information

- Przeszacowanie potencjału przyłączeniowego
- Zastrzeżenia i reklamacje
- Presja czasu (roboty drogowe, kluczowi klienci itp.)
- Redukcja do jednego aspektu (np. emisja drobnych pyłów)
- Strach przed uzależnieniem
- Komunikacja złych przykładów
- Negatywna prasa

## Część 2 - Podstawy

## 4 Energia z biomasy

### 4.1 Wprowadzenie

Jakość paliwa jest istotnym aspektem ciepłowni na biomasę. Nie tylko koszty paliwa, ale także jakość użytego drewna ma wpływ na koszty eksploatacji i konserwacji, a także wydajność zakładu i wytwarzanie zanieczyszczeń powietrza. Parametry jakościowe są zatem coraz ważniejszymi punktami w umowach na dostawy pomiędzy firmami prowadzącymi zakłady a dostawcami paliw.

Oprócz wpływów antropogenicznych (np. zanieczyszczenie materiałem mineralnym, takim jak żwir czy gleba z magazynów), o jakości biomasy decydują głównie naturalne parametry. Naturalnie określony skład paliwa wpływa na trzy istotne aspekty pracy ciepłowni na biomasę. Wartość opałowa netto (NCV) [MJ/kg] jest w dużej mierze określana przez palne składniki drewna, węgiel i wodór. Zmniejsza się wraz ze wzrostem zawartości wody i popiołu. Zawartość i skład popiołu wpływają na procesy zanieczyszczenia i żużlowania oraz korozję, a tym samym mają wpływ na koszty konserwacji.

Emisje tlenków azotu i pyłów są bezpośrednio związane z jakością paliwa. Inne składniki spalin (np. CO<sub>2</sub> lub CO) nie zależą bezpośrednio od zastosowanego paliwa [21]. Poniższy rozdział ma na celu umożliwienie operatorom instalacji oceny jakości paliwa.

### 4.2 Podstawowy skład paliw drzewnych

Drewno jako paliwo składa się głównie z głównych pierwiastków węgla, wodoru i tlenu (tabela 4.1). W zależności od rodzaju paliwa azot i siarka mogą również występować w stężeniach > 1 %. Wartość opałowa jest zasadniczo określana przez zawartość węgla i wodoru. Tlen związany w paliwie wspomaga proces utleniania. Siarka przyczynia się do wartości opałowej paliwa i jest utleniana do SO<sub>2</sub> lub SO<sub>3</sub>. Po spaleniu może dalej reagować, tworząc inne związki. Tlenki siarki (SO<sub>x</sub>) są niepożądanymi składnikami emisji, ponieważ zanieczyszczają powietrze. Azot związany w paliwie jest istotnym czynnikiem w powstawaniu niepożądanych emisji tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) dla systemów opalania drewnem.

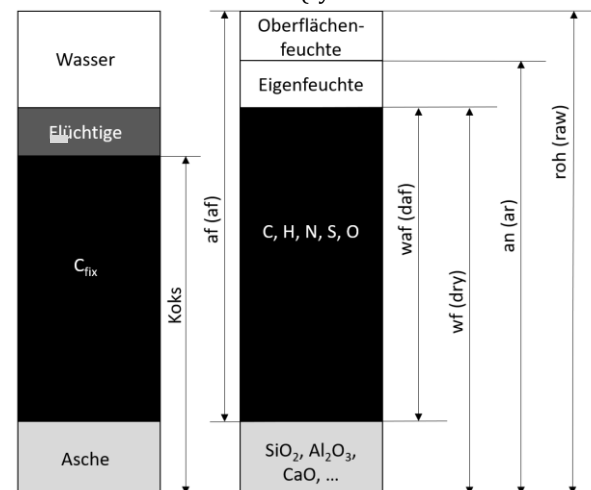
Elementami drugorzędnymi są decydujące formy popiołu. Zawartość popiołu w paliwie wpływa na wartość opałową i w połączeniu z technologią zakładową ma wpływ na emisję pyłów. Ponadto zawartość popiołu i skład popiołu są istotnymi zmiennymi wpływającymi na zanieczyszczenie i żużlowanie rośliny. Szczególną uwagę zwraca się na pierwiastki potas, sód, chlor i siarkę. Dwa pierwiastki potas i sód przyczyniają się do obniżenia temperatury mięknięcia popiołu. Wpływają na procesy korozyjne, zanieczyszczające (np. na rurach

wymienników ciepła) i żużlowe spowodowane powstawaniem chlorków alkalicznych. Niepożądane związki, takie jak chlorowodór (HCl) oraz dioksyny i furany (PCDD/F) mogą powstawać z chloru związanego w paliwie. Związki chloru i siarki mają działanie korozyjne.

Pierwiastki śladowe znajdują się w paliwach drzewnych głównie w postaci metali ciężkich, które są wchłaniane ze środowiska podczas wzrostu drzew. Mogą one być obecne w paliwach w bardzo różnych stężeniach i mieć działanie toksyczne. Po spaleniu metale ciężkie (które są parowane w spalinach) skraplają się lub ad/absorbują na popiele, z nielicznymi wyjątkami. Są one zatem wiązane w popiele i mogą być usuwane z naturalnego cyklu (np. poprzez składowanie lub przetwarzanie). W przypadku paliw drzewnych metale ciężkie wpływają na jakość popiołu, zwłaszcza w odniesieniu do ich możliwości recyklingu (zob. rozdział 9).

### 4.3 Stany referencyjne

Biogeniczne paliwa stałe składają się z substancji palnych i niepalnych. Składniki niepalne obejmują składniki wody i popiołu paliwa, podczas gdy składnik organiczny uwalnia energię w procesach utleniania. Podczas gdy materia organiczna, a także zawartość minerałów i popiołu zwykle mieszczą się w pewnym zakresie wartości w zależności od warunków terenowych i gatunków drewna, zawartość wody może się znacznie różnić. Aby móc porównywać analizy paliwa, zdefiniowano stany odniesienia



Rysunek **Errone.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato..7 Stany referencyjne

paliw kopalnych.  
surowy: raw stan surowy  
an (ar): analiza wilgoci  
wf (dry): bezwodny  
af (af): bezpopiołowy  
waf (daf): bezwodny i bezpopiołowy

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**..2

Podstawowy skład paliw drzewnych

Kategoria	Główne pierwiastki	Drugorzędowe pierwiastki	
Pierwiastki:	Węgiel C Tlen O Wodór H Azot N	Fosfor P Potas K Sód Na Siarka S Wapń Ca Silikon Si Magnez Mg Chlor Cl	Bor B Miedź Cu Żelazo Fe Mangan Mn Cynk Zn Ołów Pb Chrom Cr Arsen JS Kadm Cd Inne pierwiastki
Skala:	> 1 % lub > 10,000 mg/kg	0.01 - 1 % resp. 100 - 10,000 mg/kg	< 0.01 % resp. < 100 mg/kg
Wpływ na:	Zawartość energii	Jakość/zachowanie popiołu, emisje, korozje	Zagospodarowanie popiołu, emisję

Na przykład wartość opałowa netto próbki paliwa w stanie bezwodnym wynosi  $NCV_{wf} = 19$  MJ/kg. Po dostarczeniu do ciepłowni ta sama próbka w stanie surowym miałaby wartość opałową netto  $NCV_{raw} = 8,2$  MJ/kg przy zawartości wody 50 % i zawartości popiołu 0,5 %. Pięć stanów odniesienia wyróżnia się dla dokładnego określenia wyników analiz dla biogenych paliw stałych oraz dla ich porównania [22]:

- Raw state - raw (raw)
- Analysis moisture - am (as received): sample in air-dry state
- Anhydrous - wf (dry, d): specification refers to dry fuel
- Ash free (af): specification refers to the ash-free fuel.
- Water and ash free - daf (dry, ash free): specification refers to the water and ash free fuel.

- Stan surowy - surowy (surowy)
- Analiza wilgotności - am (po otrzymaniu): próbka w stanie suchym na powietrzu
- Stan bezwodny - wf (sucha, d): specyfikacja odnosi się do suchego paliwa
- Stan bez popiołu (af): specyfikacja odnosi się do paliwa bezpopiołowego.
- Stan bez wody i popiołu - daf (suchy, bez popiołu): specyfikacja odnosi się do paliwa bez wody i popiołu.

Konwersja wyników analizy związanych z różnymi stanami paliwa jest możliwa za pomocą następujących

trzech wzorów. 
$$X_{wf} = \frac{X_i}{1 - Y_{H_2O,1}}$$

$$X_{af} = \frac{X_i}{1 - Y_{A,1}}$$

$$X_{daf} = \frac{X_i}{1 - Y_{A,1} - Y_{H_2O,1}}$$

$X_i$  Parametr w stanie referencyjnym i

$y_{xi}$  Ułamek masowy parametru paliwa X w odniesieniu do

stanu i [kg/kg] (A ... Ash)

Wartość opałowa netto uwzględnia entalpię parowania wody zawartej w paliwie (2.441 MJ/kg H<sub>2</sub>O).

$$NCV_{daf} = \frac{NCV + 2.441 \cdot Y_{H_2O}}{1 - Y_A - Y_{H_2O}} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

## 4.4 Ważne parametry

### 4.4.1 Zawartość wody i wilgotności

Paliwa drzewne zawsze zawierają pewną ilość wody, która różni się znacznie w zależności od rodzaju drewna, czasu zbioru, miejsca przechowywania i czasu trwania oraz ma znaczący wpływ na jakość spalania drewna. Zawartość wody składa się z wilgoci powierzchniowej drewna (spowodowanej między innymi wpływami zewnętrznymi, takimi jak opady) i wilgoci wewnętrznej (zmagazynowana woda w ścianach komórkowych, jamach komórkowych i szczelinach komórkowych).

Zawartość wody jest wskazywana jako zawartość wody lub wilgotność drewna (również wilgotność drewna). Specyfikacje te różnią się różnymi wartościami referencyjnymi. Zgodnie z normą DIN EN ISO 17225 podaje się je w procentach masowych (wt-%) [23]. Zawartość wody M jest najważniejszym parametrem jakościowym dla paliw drzewnych. Opisuje ona wodę mw w wilgotnym paliwie w stosunku do jego masy całkowitej, która składa się z masy paliwa bezwodnego m<sub>B</sub> i zawartej w nim wody mw.

$$Y_{H_2O} = \frac{m_w}{m_B + m_w}$$

$$M = \frac{m_w}{m_B + m_w} \cdot 100$$

$y_{H_2O}$  Zawartość wody w paliwie [kg/kg].

M	Zawartość wody w paliwie [wt-%]
u	Wilgotność drewna [wt-%]
$m_w$	Masa wody w paliwie [kg]
$m_B$	Masa bezwodnego paliwa (biomasy) [kg]

Wilgotność drewna u opisuje natomiast ilość wody związanej w paliwie, związaną z bezwodną ilością  $m_B$  paliwa. Wartości > 100% są zatem możliwe.

$$u = \frac{m_w}{m_B} * 100$$

W dziedzinie zużycia energii wskazanie zawartości wody stało się powszechnie akceptowane. Wskazanie wilgotności drewna jest raczej rzadkie poza tradycyjnym leśnictwem. Wilgotność drewna można obliczyć na podstawie podanej zawartości wody i odwrotnie (tabela 4.2).

Tabela 4.2. **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**3 Konwersja zawartość wody M – wilgotność drewna u.

Zawartość wody M [%]	Wilgotność drewna u [%]
0	0
20	25
25	33
40	67
50	100
60	150

#### 4.4.2 Zawartość popiołu

Zawartość popiołu to ilość popiołu, która pozostaje, gdy paliwo jest całkowicie spalane. Popiół zawarty w paliwie składa się z jego części nieorganicznej, głównie drobnych pierwiastków wymienionych w rozdziale 4.2, takich jak krzem, potas lub sód. Popiół zawiera również dużą część pierwiastków śladowych lub metali ciężkich, które osadzają się na popiele po spalaniu. Na przykład, jeśli stężenie żelaza w paliwie wynosi 50 mg/kg (wf), zawartość popiołu w paliwie wynosząca 0,5 % (wf) (tj. 5 g popiołu na 1 kg bezwodnego paliwa) zwiększa stężenie żelaza w popiele (przy założeniu, że żelazo jest całkowicie obecne w popiele jako Fe2O3) do 10 000 mg/kg (rozdział 9).

Zawartość popiołu A oblicza się na podstawie masy popiołu ma w paliwie w stosunku do masy użytego paliwa  $m_{B,i}$  (określając stan odniesienia i).

$$Y_{Ash} = \frac{m_A}{m_{B,i}}$$

$$A = \frac{m_A}{m_{B,i}} * 100$$

$Y_{Ash}$	Fracja popiołu w paliwie [kg/kg].
A	Zawartość popiołu [wt-%]
$m_A$	Masa popiołu w paliwie [kg]
$m_{B,i}$	Masa paliwa w stanie referencyjnym [kg].

#### 4.4.3 Wartość kaloryczna netto i brutt

Ciepło uwalniane podczas (całkowitego) spalania paliw drzewnych podaje się jako wartość opałową netto (NCV) lub wartość opałową brutto (GCV). Wartość opałowa brutto (również "wyższa wartość opałowa") opisuje bezwzględną ilość energii uwalnianej podczas spalania określonej ilości paliwa [MJ/kg]. Oprócz uwalnianego ciepła odczuwalnego, wartość ta obejmuje również energię, która jest w postaci pary wodnej w spalinach (ciepło utajone) i może być użyteczna poprzez kondensację ("technologia kondensacji"). W systemach spalania biomasy woda zwykle ucieka wraz ze spalinami w postaci pary. Entalpia parowania wody uwalnianej podczas kondensacji nie może być zatem wykorzystana. Zawartość energetyczna drewna jest zatem zwykle podawana jako wartość opałowa netto (również "niższa wartość opałowa"). Wartość ta wskazuje wartość energetyczną paliwa [MJ/kg] pomniejszoną o ilość energii zawartej w spalinach w postaci pary wodnej. Jest on liniowo zależny od zawartości wody w paliwie (rysunek 4.2). Tabela 4.3 ilustruje wpływ zawartości wody na wartość opałową.

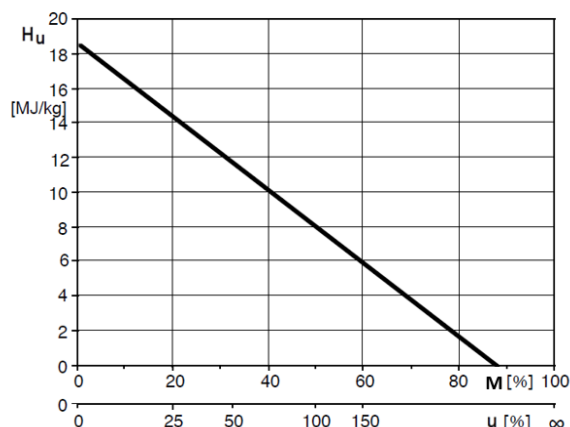
Wartość opałową jest oznaczana kalorymetrycznie w laboratorium zgodnie z normą EN ISO 18125:2017-08 [24]. Podczas spalania drewna para wodna powstaje z jednej strony z wody zawartej w paliwie, a z drugiej z reakcji wodoru związanego w paliwie z tlenem. Aby obliczyć wartość opałową netto (NCV) z wartości opałowej brutto (GCV), ilość energii uwolnionej podczas kondensacji tej pary wodnej odejmuje się od GCV.

$$NCV = GCV - h_v * Y_w \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

$$Y_w = \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}} * Y_{H_2} + Y_{H_2O} \left[ \frac{kg}{kg} \right]$$

$$NCV = GCV - 2.441 * (8.937 * Y_{H_2} + Y_{H_2O}) \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$$

$Y_w$	Specyficzna zawartość wody w spalinach w trakcie spalania całkowitego [kg/kg].
$h_v$	Entalpia parowania wody $h_v = 2.441$ MJ/kg
$M_i$	Masa molowa parametru paliwa i [kg/kmol].
$y_i$	Ułamek masowy parametru paliwa i [kg/kg]



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.8** Wartość kaloryczna netto (NCV) drewna jako funkcji zawartości wody M i wilgotności drewna u.

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.4** Wartość kaloryczna netto (NCV) drewna jako funkcji zawartości wody M dla trzech różnych gatunków i jednostek. Założenia dotyczące wartości kalorycznej w kWh/kg (bezwodna baza referencyjna): 5.2 dla drewna miękkiego i 5.0 dla drewna twardego **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Zawartość wody M w [wt-%]		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Rodzaj drzewa/gęstość <sup>1</sup>	Jednostka t	Wartość kaloryczna netto (NCV) drewna jako funkcji zawartości wody M												
Świerk 379 kg <sub>wf</sub> /fm		5.20	4.91	4.61	4.32	4.02	3.73	3.44	3.14	2.85	2.55	2.26	1.97	1.67
	kWh/kg	1,97	1,95	1,94	1,92	1,90	1,88	1,86	1,83	1,79	1,76	1,71	1,65	1,58
	kWh/fm	1	7	2	5	6	5	0	2	9	0	3	6	4
	kWh/rm	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,31	1,30	1,28	1,25	1,23	1,19	1,15	1,10
	kWh/LCM	0	0	0	8	4	9	2	2	9	2	9	9	9
		788	783	777	770	763	754	744	733	720	704	685	662	634
Sosna 431 kg <sub>wf</sub> /fm		5.20	4.91	4.61	4.32	4.02	3.73	3.44	3.14	2.85	2.55	2.26	1.97	1.67
	kWh/kg	2,24	2,22	2,20	2,18	2,16	2,14	2,11	2,08	2,04	2,00	1,94	1,88	1,80
	kWh/fm	1	6	9	9	8	4	6	3	6	1	8	3	2
	kWh/rm	1,56	1,55	1,54	1,53	1,51	1,50	1,48	1,45	1,43	1,40	1,36	1,31	1,26
	kWh/LCM	9	8	6	3	8	0	1	8	2	1	4	8	1
		896	890	883	876	867	857	846	833	818	801	779	753	721
Buk 558 kg <sub>wf</sub> /fm		5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/kg	2,79	2,77	2,74	2,72	2,69	2,66	2,62	2,58	2,53	2,48	2,41	2,32	2,22
	kWh/fm	0	0	8	3	5	4	7	6	7	0	1	6	1
	kWh/rm	1,95	1,93	1,92	1,90	1,88	1,86	1,83	1,81	1,77	1,73	1,68	1,62	1,55
	kWh/LCM	3	9	3	6	7	4	9	0	6	6	7	8	5
		1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,03	1,01	992	964	930	888
Dąb 571 kg <sub>wf</sub> /fm		5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/kg	2,85	2,83	2,81	2,78	2,75	2,72	2,68	2,64	2,59	2,53	2,46	2,38	2,27
	kWh/fm	5	5	2	6	8	6	9	6	6	7	7	0	3
	kWh/rm	1,99	1,98	1,96	1,95	1,93	1,90	1,88	1,85	1,81	1,77	1,72	1,66	1,59
	kWh/LCM	9	4	8	1	1	8	2	2	7	6	7	6	1
		1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01	987	952	909
Topola 353 kg <sub>wf</sub> /fm		5.00	4.72	4.43	4.15	3.86	3.58	3.30	3.01	2.73	2.44	2.16	1.88	1.59
	kWh/kg	1,76	1,75	1,73	1,72	1,70	1,68	1,66	1,63	1,60	1,56	1,52	1,47	1,40
	kWh/fm	5	2	8	3	5	5	2	6	5	9	5	2	5
	kWh/rm	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	983
	kWh/LCM	6	7	7	6	3	9	3	5	3	8	7	0	562
		706	701	695	689	682	674	665	654	642	627	610	589	

<sup>1)</sup> Wartości dla kg (wf) na fm bez skurczu suszenia (gęstość) [26]. Wartości opałowe dla metra sześciennego (rm) obliczono jako stawkę ryczałtową 0,7 fm/rm, a dla luźnych metrów sześciennych (LCM) zrębków jako 0,4 fm/LCM (dla klasy wielkości



cząstek P16S).

#### 4.4.4 Specyfikacja objętości

Jak pokazano w ppkt 4.4.3, wartość opałowa jest związana z masą paliwa i silnie zależy od zawartości wody. Jednak ważenie dostarczonych ilości paliwa często nie jest możliwe w przypadku mniejszych zakładów, ponieważ brakuje infrastruktury lub jest ona zbyt droga. Dlatego powszechną praktyką, szczególnie w przypadku mniejszych zakładów, jest szacowanie ilości paliwa na podstawie objętości i rozliczanie ich w ten sposób. Istnieją różne specyfikacje objętościowe z leśnictwa i przemysłu drzewnego, które są powszechnie stosowane w połączeniu z drewnem (zob. tabela 4.4).

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5** Wymiary objętościowe dla drewna energetycznego **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Specyfikacja objętości	Definicja	Jednostka
Stałe metry sześciennie	Stojący zasób drewna, 1 m <sup>3</sup> odpowiada 1 m <sup>3</sup> masy litego drewna, w przypadku drewna warstwowego bez odstępów pomiędzy.	fm, m <sup>3</sup>
Metry sześciennie	Drewno warstwowe; odpowiadające 1 m <sup>3</sup> łącznie z przestrzeniami pomiędzy (około 0,8 fm)	rm
Luźne metry sześciennie (metry sześciennie luzem)	Luźno rozładowana ilość drewna; stosowany do kłód, zrębków, wiórów lub podobnych (ok. 0,4 fm)	LCM (German: Srm)

Ważnym parametrem jest gęstość nasypowa paliwa [kg/LCM]. Wpływ na to ma przede wszystkim gęstość fizyczna [kg/m<sup>3</sup>], która silnie zależy od rodzaju drewna i zawartości wody. Gęstość nasypowa uwzględnia również grudkowatość przetworzonego paliwa. W przypadku zrębków i rozdrobnionego materiału ma to decydujący wpływ na przestrzeń w wlewie paliwa. Gęstość lub gęstość nasypowa wraz z wartością opałową określają gęstość energii zależną od objętości [MJ/m<sup>3</sup>] lub [kWh/m<sup>3</sup>] paliwa (zob. tabela 4.5). Jest to ważny parametr do szacowania kosztów magazynowania i

transportu. Masa paliwa  $m_{can}$  be calculated from the fuel density  $\rho$  and the volume  $V$  ( $m = V * \rho$ ).

Jednak gęstość nasypowa jest uważana za bardzo nieprecyzyjną ilość, ponieważ zależy od wielu czynników. Ogólnie rzecz biorąc, prawdą jest, że niejednolite wymiary paliwa zmniejszają gęstość nasypową. Na jednorodność zrębków wpływa zarówno proces przygotowania paliwa, jak i surowca. Przetwarzanie za pomocą rozdrabniaczy lub wolno pracujących rębaków prowadzi do wydłużonych, niejednorodnych wymiarów z wieloma odłamekami i postrzępionymi pęknięciami. Gęstość nasypowa takiego materiału jest niższa niż drewna przetwarzanego przez szybkie rębaki bębnowe, których wióry mają zwykle gładze krawędzie i większy udział drobnych cząstek. Podczas gdy wióry z kłód mają jednolite wymiary, przerzedzanie resztkowego drewna lub drewno do pielęgnacji krajobrazu zawiera różne stopnie drobnych i grubych sęków, co również prowadzi do bardzo różnych wymiarów. Ponadto należy zauważyć, że zagęszczanie materiału sypkiego, na przykład poprzez stosowanie jednolitych rozmiarów cząstek (mniej szczelin powietrznych) lub bieganie cząstek podczas transportu, zmniejsza objętość masową.

Do konwersji stałych metrów sześciennych (nieczipowane drewno) na metry sześciennie luzem (zrębki drzewne) można zastosować średni współczynnik spulchnienia wynoszący 2,8. Procedura oznaczania gęstości nasypowej jest opisana w normie EN ISO 17827 [28].

Podsumowując, określenie dostarczonej objętości jest bardzo proste i tanie. Jednak wolumen nie jest dobrze dostosowany do wskazywania zawartości energii lub cen paliwa. Ze względu na wahania gęstości, gęstości nasypowej i zawartości wody w paliwie, takie informacje są bardzo niedokładne. Dokładne wskazanie odpowiednich parametrów jest możliwe tylko na podstawie masy paliwa i w zależności od odpowiedniego stanu odniesienia lub zawartości wody. Chociaż obliczenia według objętości są odpowiednie do projektowania obszaru przechowywania paliwa i szacowania ilości transportu, okazały się niewystarczające do fakturowania (sekcja 4.7).

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..6** Gęstość nasypowa paliwa i zawartość energetyczna różnych paliw.

Źródło energii	Zawartość wody [wt-%]	Gęstość nasypowa paliwa [kg/LCM]	Zawartość energii [kWh/rm]	Objętość w stosunku do zawartości energii [m <sup>3</sup> /MWh]
Zrębki drzewne (HH) <sup>1)</sup>	30	250 - 330	900 - 1,100	1.10 - 0.90
Zrębki drzewne (WH) <sup>1)</sup>	30	160 - 230	600 - 800	1.70 - 1.25
Kora (HH)	50	500	1,000	1.00
Kora (WH)	50	320	750	1.33
Trociny (HH)	40	230 - 270	650 - 750	1.50 - 1.33

Trociny (WH)	40	150 - 190	450 - 550	2.20 - 1.80
Trociny	15	170	717	1.39
Wióry drzewne	15	90	380	2.63
Brykiety	2	900 - 1,500	4,500 - 7,500	0.17
Pelety	2	670	3,000 - 3,500	0.30
Węgiel kamienny	-	870	8,300	0.12
Super lekki olej opałowy <sup>2)</sup>	-	840	10,000	0.10

<sup>1)</sup> HH: drewno twarde, WH: drewno miękkie; <sup>2)</sup> odpowiedniki LCM m<sup>3</sup>

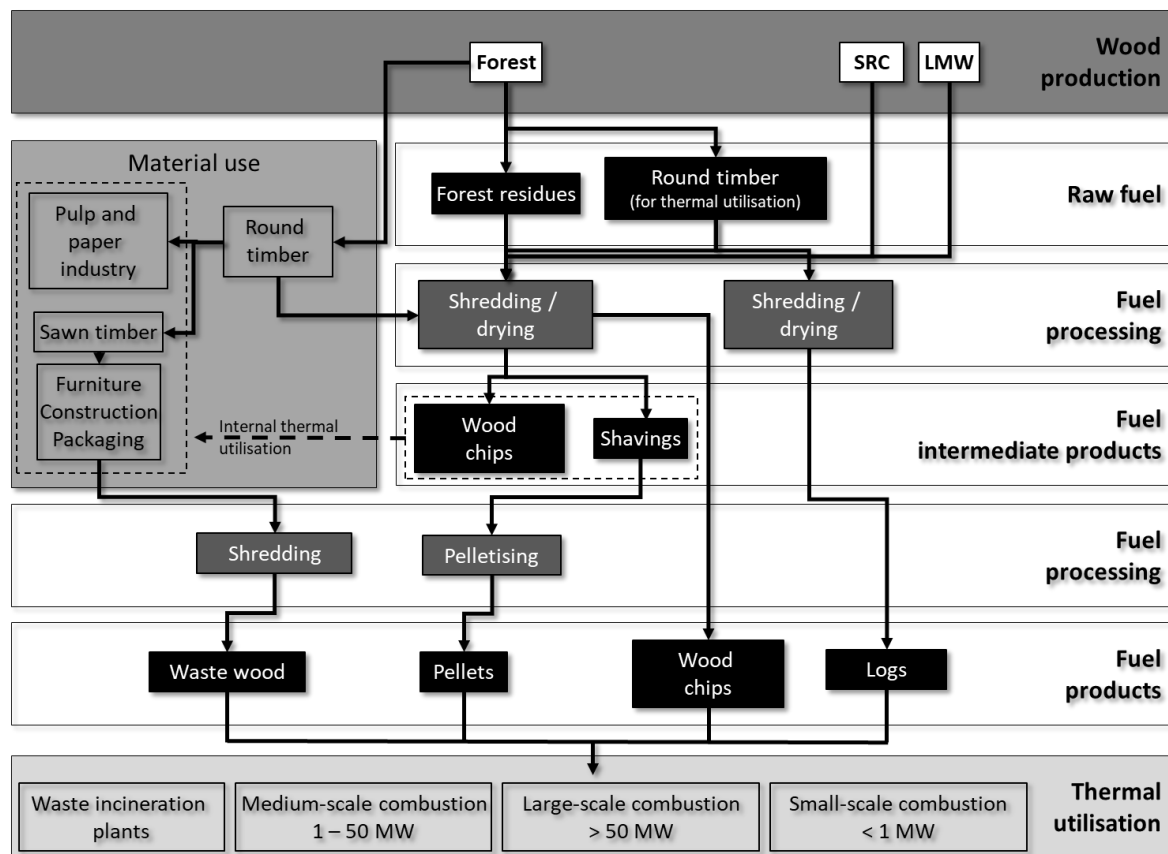
## 4.5 Zasilanie paliwem automatycznych systemów wypalania drewna

### 4.5.1 Przegląd

Drewno wykorzystywane do dostaw energii (z wyjątkiem upraw o krótkiej rotacji) gromadzi się jako pozostałość lub produkt uboczny z przetwórstwa drewna lub również podczas gospodarki leśnej (np. przerzedzanie drzew). Różne źródła, ścieżki przetwarzania i wykorzystania przedstawiono na rysunku 4.3 DIN EN ISO 17225 [23] "Biogeniczne paliwa stałe – specyfikacje i klasy paliw" jest sukcesywnie rozszerzana od 2014 r. i zawiera klasyfikacje różnych paliw drzewnych:

- Część 1: Wymagania ogólne
- Część 2: Klasyfikacja peletów drzewnych
- Część 3: Klasyfikacja brykietów drzewnych
- Część 4: Klasyfikacja zrębków
- Część 5: Klasyfikacja drewna bryłowego
- Część 6: Klasyfikacja peletów niedrzewnych
- Część 7: Klasyfikacja brykietów niedrzewnych
- Część 8: Klasyfikacja paliw z biomasy poddanych obróbce termicznej i prasowanych (wycofanych)
- Część 9: Klasyfikacja gruboziarnistego rozdrobnionego drewna i zrębków do zastosowań przemysłowych

Przepływ materiału drewna wykorzystywanego do dostaw energii można przypisać do trzech źródeł surowców: (1) leśnictwa (2) uprawy drewna na plantacjach o krótkiej rotacji (SRC), (3) akumulacji jako materiału resztkowego w zarządzaniu krajobrazem (LMW). Podczas gdy drzewa iglaste są w szczególności wykorzystywane materiałowo po zbiorze, różne kategorie drewna na energię są produkowane w lesie i podczas obróbki drewna. Różne etapy przetwarzania wytwarzają produkty pośrednie, które są wykorzystywane jako paliwo w przemyśle przetwórstwa drewna w celu pokrycia własnych potrzeb energetycznych. Oprócz tego wewnętrznego zastosowania, drewno z leśnictwa jest przetwarzane na produkty końcowe i dostarczane klientom końcowym w postaci kłód, peletów oraz rozdrobnionego i rozdrobnionego materiału. Drewno SRC jest zwykle rozdrabniane bezpośrednio po zbiorze i dostarczane do (dużych) konsumentów w postaci zrębków. Podobna ścieżka odzyskiwania istnieje w przypadku drewna do konserwacji krajobrazu, które jest zwykle zbierane w punktach zbiórki po przeprowadzeniu czynności konserwacyjnych i dostarczane jako rozdrobniony materiał do odzyskiwania energii. Po usunięciu z cyklu użytkowania materiału odpady drzewne są wysyłane do odpowiednich zakładów w celu odzysku energii (zob. rysunek 4.3).



Wykres Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..9

Diagram przepływu materiałów z drewna

#### 4.5.2 Sortymenty drewna

Pozostałości leśne i drewno okrągłe: Wykorzystanie i utrzymanie lasów powoduje powstanie tak zwanych pozostałości leśnych, które są wykorzystywane energetycznie. Jest to drewno reszkowe z przerzedzania, a po drugie pozostałości z wydobycia drewna pnia do wykorzystania drewna jako materiału (głównie drewno koronowe). Ze względu na niewielkie średnice, oba asortymenty często mają wysoką zawartość kory i, szczególnie w przypadku lasów iglastych, wyższą zawartość igieł, a tym samym stawiają zwiększone wymagania wobec technologii roślinnej. Ponadto drewno okrągłe z ukierunkowanego usuwania słabych kłód jest wykorzystywane energetycznie. W większości przypadków składniki drzew o wysokiej zawartości popiołu, takie jak igły, gałązki i gałęzie, pozostają w tyle, co skutkuje paliwem wysokiej jakości.

Paliwo z zagajników o krótkiej rotacji (SRC): Na plantacjach zagajników o krótkiej rotacji szybko rosnące lasy, takie jak topola lub wierzb, są zwykle uprawiane w celu odzyskania energii. Zbiór odbywa się głównie zimą, czyli wtedy, gdy drzewa są wolne od liści. Zawartość wody w zrębkach drzewnych z SRC jest zwykle wyższa niż w świeżo pozyskanych zrębkach z pozostałości leśnych i drewna okrągłego. Drewno SRC ma również stosunkowo niską gęstość surowości; to i wysoka zawartość wody powinny być brane pod uwagę, zwłaszcza w rachunkowości ilościowej. Zawartość

popiołu w zrębkach SRC jest ogólnie porównywalna z zawartością pozostałości leśnych ze względu na zwiększoną zawartość kory i drobnych gałęzi w obu asortymentach. Podobnie wartość opałowa (bezwodna podstawa odniesienia) jest porównywalna z wartością pozostałości leśnych. Spalanie świeżo zebranych zrębków SRC nie jest zalecane, zwłaszcza w mniejszych piecach, ponieważ producenci często określają stosowanie paliw o niższej zawartości wody (maks. 30 do 35 %). Pożądaną zawartość wody można osiągnąć poprzez (naturalne) suszenie lub mieszanie zrębków SRC z suchszymi paliwami [29].

Drewno do konserwacji krajobrazu (LMW): Drewno do konserwacji krajobrazu pochodzi z utrzymania żywopłotów i nasypów wzdłuż obszarów ruchu (drogi, linie kolejowe i drogi wodne), linii energetycznych i terenów zielonych na obszarach miejskich. Skład może być bardzo różny, na przykład oprócz drewna iglastego (np. olchy, topoli i wierzy) gromadzi się również drewno liściaste (np. klon, leszczyna, grab). W sektorze komunalnym odpady ogrodowe i parkowe oraz sadzonki krzewów są zbierane selektywnie za pośrednictwem systemów odbioru lub dostawy. Te odpady zielone zawierają (szczególnie latem) dużą część materiału zielonego, który nadaje się do recyklingu poprzez kompostowanie lub fermentację. Część drzewna, która gromadzi się więcej w zimie, jest ważna dla recyklingu termicznego [30].

Literatura specjalistyczna często wskazuje na częściowo zwiększoną zawartość zanieczyszczeń, takich jak popiół, metale ciężkie lub chlor, w drewnie do pielęgnacji krajobrazu jako paliwie, co może pociągać za sobą zwiększone wymagania dotyczące procedur zatwierdzania i technologii instalacji [31]. Badania naukowe wykazały wpływ rozprzestrzeniania się soli ozimej na drogi lub nawożenia przyległych gruntów rolnych. Jednak zmierzona zawartość chloru w drewnie krajobrazowym jest porównywalna z zawartością zrębków leśnych. Oprócz lokalizacji decydującym czynnikiem jest zatem to, które części drzewa są przetwarzane na zrębki drzewne. Zwiększoną zawartość popiołu i chloru stwierdzono szczególnie w drobniejszych gałęziach, które mają wysoką zawartość kory w porównaniu z drewnem [32].

Drewno odpadowe: Drewno wykorzystywane do celów materiałowych staje się drewnem odpadowym pod koniec okresu użytkowania. To odpadowe drewno pochodzi z różnych źródeł i jest poddawane recyklingowi etapami. W tym celu są one gromadzone i przetwarzane w odpowiednich miejscach. W tym przypadku przepływy materiałów są dzielone w odniesieniu do ich dalszego wykorzystania: Nieskażone odpady drzewne, które nadają się do wykorzystania materiałów, są ponownie wykorzystywane jako surowiec wtórny. Nadwyżki lub zanieczyszczone odpady drzewne, które nie nadają się już do wykorzystania materiałowego, są wprowadzane do odzysku energii [33]. Materiały zbierane pod pojęciem "drewno odpadowe" charakteryzują się niejednorodnością, zwłaszcza w odniesieniu do zawartości ciał obcych i zanieczyszczeń. Klasyfikacja odpadów drzewnych według jego pochodzenia, składu i zanieczyszczenia substancjami niebezpiecznymi umożliwia podzielenie go na różne kategorie (tabela 4.6).

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..7** Katalogowanie odpadów drzewnych zgodnie z Europejskim Wykazem Odpadów [34] oraz wykazami dotyczącymi transportu odpadów z Federalnego Departamentu Środowiska, Transportu, Energii i Komunikacji [35].

Kategoria odpadu (rozdział listy)	Kod odpadu	Opis
odpady z przetwórstwa drewna oraz produkcji paneli i mebli, papieru celulozowego i tektury	03 01 01	odpady kory i korka
	03 01 04*	trociny, wióry, ścinki, drewno, płyta wiórowa i fornir zawierające substancje niebezpieczne
	03 01 05	trociny, wióry, ścinki, drewno, płyta wiórowa i fornir, inne niż wymienione w 03 01 04
	03 03 01	odpady kory i drewna
opakowania (w tym selektywnie zbierane komunalne odpady opakowaniowe)	15 01 03	opakowania drewniane
	15 01 10*	opakowania zawierające pozostałości substancji niebezpiecznych lub nimi zanieczyszczone
odpady budowlane i rozbiórkowe (w tym ziemia wydobyta z miejsc zanieczyszczonych)	17 02 01	drewno, zamiast tego kodu 17 02 97 lub 17 02 98 jest używane w Szwajcarii
	17 02 04*	szkło, tworzywa sztuczne i drewno zawierające lub zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi
	17 02 97	CH: odpady drzewne z placów budowy, rozbiórki, remonty i przebudowy
	17 02 98*	CH: problematyczne odpady drzewne
odpady z mechanicznego przetwarzania odpadów	19 12 06*	drewno zawierające substancje niebezpieczne
	19 12 07	drewno inne niż wymienione w 19 12 06
odpady komunalne (odpady z gospodarstw domowych i podobne odpady handlowe, przemysłowe i instytucjonalne), w tym frakcje zbierane selektywnie	20 01 37*	drewno zawierające substancje niebezpieczne
	20 01 38	drewno inne niż wymienione w 20 01 37
	20 03 07	odpady wielkogabarytowe

\* odpady sklasyfikowane jako niebezpieczne zgodnie z Europejską Listą Odpadów [34]

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**8  
odpadowego w Niemczech i Szwajcarii.

Przykładowa klasyfikacja drewna

Kategoria	Niemcy	Opis ogólny	Szwajcaria	
	Opis wg Altholzverordnung (AltholzV) – Rozporządzenie w sprawie odpadów drzewnych		Luftreinhalteverordnung (LRV) - Rozporządzenie w sprawie kontroli zanieczyszczenia powietrza	
A I	Naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz - Naturalne lub tylko mechanicznie przetworzone drewno odpadowe	Naturalne drewno leśne Resztki drewna z tartaków - Odpady drzewne z tartaków	Naturbelassenes Holz (stückig und nicht stückig) Bst. a+b Unbehandeltes Altholz Bst d 1	Holzbrennstoffe
		Restholz aus Zimmereien, Schreinereien - Odpady drzewne z karczentries, Joineries	Unbehandeltes Altholz Bst d 1  Restholz Bst c	Anhang 5, Ziffer 31, Absatz 1
A II	Drewno odpadowe klejone, powlekane, powlekane, malowane lub w inny sposób przetwarzane bez związków chloroorganicznych w powłoce i bez środków do konserwacji drewna. - Drewno odpadowe klejone, malowane, powlekane, lakierowane lub w inny sposób poddawane innej obróbce bez związków halogenowo-organicznych w powłoce i bez środków do konserwacji drewna.	Behandeltes Altholz ohne Holzschutzmittel, halogenorganischer Beschichtung oder PCB - Przetworzone odpady drzewne bez środków do konserwacji drewna, powłoki halo-organicznej lub PCB	Altholz Bst a	
A III	Odpady drzewne ze związkami chloroorganicznymi w powłoce bez środków do konserwacji drewna. - Odpady drzewne ze związkami halogenowo-organicznymi w powłoce bez środków do konserwacji drewna	Przetworzone drewno odpadowe z powłoką halogenowo-organiczną, bez środków do konserwacji drewna		Übrige Brennstoffe aus Holz, gelten nicht als Holzbrennstoffe
A IV	Odpady drzewne poddane obróbce środkami do konserwacji drewna [...] i inne odpady drzewne, które [...] nie mogą być klasyfikowane w kategoriach A I - A III, z wyjątkiem drewna odpadowego PCB. - Odpady drzewne poddane obróbce środkami do konserwacji drewna [...] i inne odpady drzewne, których [...] nie można przypisać do kategorii A I - A III, z wyjątkiem drewna odpadowego PCB (które zawiera polichlorowane bifenyle i jest objęte odpowiednim rozporządzeniem w sprawie odpadów).	Beh. Altholz mit Holzschutzmittel - Przetworzone drewno odpadowe środkiem do konserwacji drewna Mit PCB behandelte Holzabfälle – Odpady drzewne poddane obróbce PCB	Problematische Holzabfälle Bst b	Anhang 5, Ziffer 31, Absatz 2
PCB- Altholz – PCB- waste wood	Odpady drzewne, które są PCB w rozumieniu rozporządzenia w sprawie odpadów PCB/PCT i mają być unieszkodliwiane zgodnie z jego przepisami, w szczególności płyty izolacyjne i dźwiękochłonne, które zostały poddane obróbce środkami zawierającymi polichlorowane bifenyle. - Odpady drzewne, które są PCB w rozumieniu rozporządzenia w sprawie odpadów PCB/PCT i muszą być unieszkodliwiane zgodnie z jego przepisami, w szczególności płytami izolacyjnymi i dźwiękoszczelnymi, które zostały poddane obróbce środkami zawierającymi polichlorowane bifenyle.			

W Niemczech, oprócz katalogowania według kodów odpadów, istnieją klasyfikacje w kategoriach odpadów drzewnych (tabela 4.7). W Szwajcarii odpady drzewne nie są uważane za paliwo drzewne, ale za odpady zgodnie z rozporządzeniem w sprawie kontroli zanieczyszczenia powietrza (LRV) [36]. Drewno odpadowe AI i AII zgodnie z klasyfikacją drewna odpadowego w Niemczech odpowiadają odpadom drewna dozwolonym na mocy LRV, które mogą być spalane w piecach opalanych drewnem (tabela 4.7). W przypadku odzysku termicznego zanieczyszczonych asortymentów (np. pozostałości drewna powlekanego PVC lub impregnowanego ciśnieniowo) należy przestrzegać przepisów krajowych w odniesieniu do technologii roślin i środków ochrony

przed emisjami. Termin drewno przemysłowe lub pozostałości tartaczne odnosi się do produktu ubocznego z przemysłu przetwórstwa drewna, który jest dopuszczony wyłącznie w swojej naturalnej postaci jako paliwo drzewne. W Austrii odpady drzewne są również klasyfikowane jako odpady, a nie jako paliwo, ale produkty uboczne z przemysłu przetwórstwa drewna mogą być wykorzystywane jako paliwo. Termiczna utylizacja odpadów drzewnych odbywa się prawie wyłącznie w specjalnych spalarniach odpadów drzewnych lub odpadów, a także w zakładach przemysłowych do utylizacji pozostałości biogenych (np. przemysł papierniczy i tekturowy). Współspalanie nieprzetworzonego drewna odpadowego w ciepłowniach

na biomasę jest jednak możliwe po uzyskaniu odpowiedniego oficjalnego zezwolenia.

### 4.5.3 Przygotowanie paliwa

Rozdrabnianie mechaniczne: Rozdrabnianie mechaniczne można przeprowadzić zgodnie z dwiema podstawowymi zasadami (patrz rysunek 4.4).

- Proces cięcia ostrymi narzędziami (rębak bębnowy lub tarczowy) do produkcji zrębków drzewnych; zrębki mają dobre zachowanie przepływu i tworzą jednorodne paliwo; wykorzystywane w szczególności do produkcji zrębków leśnych, w tartakach i zakładach przetwórstwa drzewnego. Zrębki zgodnie z ISO 17225-4 muszą być wytwarzane przy użyciu narzędzi skrawających.
- Proces kruszenia za pomocą narzędzi (wolnobieżne rębaki z zębami zrywaka, młyny młotkowe, rębaki śrubowe itp.) do produkcji rozdrobnionego paliwa. Łatwo rozdrabniane kłyny materiału, mają słabe zachowanie przepływu i są szczególnie niejednorodne. Narzędzie jest mniej wrażliwe na zanieczyszczenia i dlatego jest stosowane głównie w sektorze utrzymania krajobrazu.

Suszenie i przechowywanie: Magazynowanie paliw jest ważną częścią łańcucha dostaw. Po pierwsze, naturalne procesy suszenia, które zachodzą podczas przechowywania, mogą poprawić jakość ze względu na zmniejszającą się zawartość wody. Magazynowanie odgrywa również ważną rolę w utrzymywaniu dostaw paliwa zgodnie z popytem. Zasadniczo istnieją różne możliwości: Przechowywanie przed lub po rozdrobnieniu, suszenie naturalne lub techniczne, przechowywanie na zewnątrz lub w magazynach. Możliwe zastosowania, jak również zalety i wady odpowiednich metod opisano poniżej [37].



Rysunek 4.4. **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..10** Rozróżnienie między zrębkami (ciętymi ostrymi narzędziami, po lewej) i rozdrobnionym drewnem (rąbanym narzędziami, po prawej).

Po zebraniu drewno do rozdrobnienia można pozostawić w postaci stosów na kilka tygodni do miesięcy w odpowiednim miejscu do przechowywania. To wstępne suszenie pozwala na spadek zawartości wody z  $< 50\%$  do  $< 30\%$ . Idealne miejsce do przechowywania do wstępnego suszenia powinno być dobrze wentylowane i słoneczne, blisko lasu, mieć suche, przepuszczalne podłoże i być dostępne przez cały rok.

Naturalne suszenie stosów zrębków odbywa się przez konwekcję. Samonagrzewanie się w stosie tworzy różnicę

temperatur w otoczeniu. W rezultacie ciepłe powietrze unosi się ze stosu i odprowadza wilgoć, chłodniejsze i bardziej suche powietrze przepływa bocznie. Rozmiar i kształt stosu zrębków odgrywają ważną rolę. Kształt powinien być podobny do profilu dachu ("spiczasty stożek"). Sprzyja to konwekcji (efekt komina), a woda opadowa nie może gromadzić się w zagłębieniach na powierzchni wiatrówki. Ponadto pokrycie polarem otwartym na dyfuzję zapewnia ochronę przed opadami, ale umożliwia parowanie od wewnątrz. Wysokość hałdy nie powinna przekraczać czterech metrów, aby uniknąć ryzyka pożaru w wyniku samozapłonu. Z drugiej strony suszenie techniczne jest znacznie szybsze, ale bardziej kosztowne. Do suszenia można wykorzystać ciepło odpadowe z elektrowni, takich jak elektrociepłownie na biogaz lub suszenie słoneczne za pomocą kolektorów powietrza [38].

Często zrębki są produkowane ze świeżo pozyskanego materiału drzewnego o wysokiej zawartości wody  $> 50\%$  i przechowywane przez dłuższy czas w zadaszonym lub odkrytym magazynie czasowym lub w ciepłowni przed użyciem. Różne problemy mogą wystąpić podczas przechowywania świeżych zrębków o wysokiej zawartości wody:

- Procesy biologiczne ogrzewają stos zrębków drzewnych, możliwy jest zapłon.
- Woda skrapla się na górze wypełnienia i rozwija się pleśń, która może być szkodliwa dla zdrowia.
- Procesy degradacji i grzyby rozkładające drewno zmniejszają materię organiczną (zmniejszając gęstość i zwiększając zawartość popiołu); parametry paliwa mogą ulec pogorszeniu (np. akumulacja azotu).

Zagrożenia te można zmniejszyć, szybko susząc materiał do zawartości wody  $< 30\%$  i przechowując go w odpowiednich warunkach przechowywania. Grube i ostro zakończone zrębki z niskim udziałem drobnych cząstek są idealne. Zapewnia to wystarczającą przestrzeń do cyrkulacji powietrza i usuwania wilgoci. Okres przechowywania nie powinien być zbyt długi, wytyczna wynosi trzy miesiące. Należy przestrzegać odpowiedniej sekwencji przechowywania i użytkowania (zasada "pierwsze weszło - pierwsze wyszło").

W przypadku przechowywania na zewnątrz upewnij się, że ziemia jest sucha, a lokalizacja jest tak słoneczna i narażona na wiatr, jak to tylko możliwe. W przeciwieństwie do nieutwardzonej powierzchni, utwardzona nawierzchnia może być poruszana przez cały rok przez pojazdy ciężarowe. Żwirowe boiska okazały się skuteczne, ponieważ nie uszczelniają powierzchni. Istnieje jednak możliwość tutaj i na innych nieutwardzonych miejscach, że paliwo może zostać zanieczyszczone przez nagromadzenie gleby mineralnej lub próchnicy i kamieni. Podczas przechowywania w budynkach, takich jak bunkry zrębki drzewne lub magazyny, paliwo jest chronione przed opadami atmosferycznymi. Należy zapewnić dobrą cyrkulację powietrza, aby przeciwdziałać tworzeniu się wody kondensacyjnej i powstałej pleśni.

Prasowanie/granulowanie: Pelety drzewne na paliwo stałe są wytwarzane przez prasowanie suchych naturalnych trocin lub wiórów drzewnych z dodatkiem dodatków lub bez dodatku. DIN EN ISO 17225-2 zawiera wymagania dotyczące właściwości surowców i peletek (średnica i długość, zawartość wody, zawartość popiołu i właściwości topnienia, wytrzymałość mechaniczna, zawartość drobnych cząstek, dodatki, wartość opałowa, gęstość nasypowa, zawartość pierwiastków), sklasyfikowane według zastosowania w zastosowaniach komercyjnych i domowych (A1, A2, B) oraz przemysłowych (I1, I2, I3).

Choć pellet jest bardzo suchym paliwem, podczas magazynowania zachodzą procesy, które prowadzą do tzw. odgazowania i samonagrzewania się paliwa. Substancje ekstrakcyjne zawarte w drewnie (żywice, tłuszcze i wolne kwasy tłuszczowe) docierają na powierzchnię paliwa ze względu na wysokie temperatury podczas suszenia lub z powodu wpływu ciśnienia podczas granulowania i tym samym wchodzą w kontakt z tlenem atmosferycznym. Uruchamia to reakcje utleniania, które prowadzą do uwalniania lotnych węglowodorów organicznych (LZO), tlenku węgla (CO) i dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Powstałe związki organiczne, takie jak kwas masłowy i aldehydy, mogą powodować uciążliwość zapachową. Bezwonne gazy CO i CO<sub>2</sub> mogą prowadzić do niedoboru tlenu w niedostatecznie wentylowanych pomieszczeniach magazynowych i istnieje ryzyko uduszenia i zatrucia personelu. W połączeniu z samonagrzewaniem się paliwa (zarówno przez egzotermiczne reakcje utleniania, jak i przez ciepło adsorpcyjne, które występuje, gdy granulki pochłaniają wilgoć z powietrza), obecność łatwopalnych gazów, takich jak CO, może prowadzić do samozapłonu, szczególnie w bardzo dużych pomieszczeniach magazynowych. Dlatego też pomieszczenia do przechowywania peletu powinny być zawsze wystarczająco wentylowane (patrz rozdziały 14.2.9 i 19). Odgazowanie zmniejsza się wraz ze wzrostem wieku paliwa i czasu przechowywania. Inne zmienne wpływające to obciążenie mechaniczne podczas napełniania (najkrótsze możliwe ścieżki, aby zapobiec ścieraniu drobnego materiału) i temperatura podczas przechowywania (chłodnica, tym mniejsza aktywność) [39].

#### 4.5.4 Parametry jakości

Paliwa drzewne wykazują duże różnice w jakości ze względu na różne surowce i różnice w procesie produkcyjnym. Niskoemisyjna, bezawaryjna i energooszczędna praca systemów opalanych drewnem jest możliwa tylko przy zastosowaniu odpowiedniego paliwa dostosowanego do systemu (rozdziały 5 i 13). Na przykład w szczególności systemy spalania na małą skalę (urządzenia serii standardowej) wymagają stale jednorodnych właściwości o niskiej zawartości wody, popiołu i drobnych cząstek. Dokładna ocena jakości paliwa jest również niezbędna w odniesieniu do rozliczeń. Tabela 4.8 zawiera przegląd podstawowych parametrów jakościowych, które można wykorzystać do oceny paliw "na pierwszy rzut oka".

Tabela 4.8. **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.** Typowa charakterystyka oceny jakości paliwa

Parametry jakości	"Wysoka" jakość	"Niska" jakość
Zawartość wody	niska	wysoka
Zawartość popiołu	niska	wysoka
Wartość kaloryczna	wysoka	niska
Kształt cząstek	o ostrich krawędziach	Chropowaty
Frakcja drobna	niska	wysoka
Nadmierna długość	Rzadka	częsta
Zawartość zanieczyszczeń	Niska	wysoka

Tabela 4.9 zawiera typowe zakresy wartości ważnych parametrów paliwa dla drewna i kory drzew liściastych i iglastych oraz dla drewna odpadowego. Gatunki wierzby i topoli są wzorem dla drewna z drewna o krótkiej rotacji lub utrzymania krajobrazu (SRC i LMW). Należy zauważyć, że wymienione wartości obejmują duże zakresy wahań. Typowa wartość jest statystycznie określonym punktem odniesienia. Rzeczywisty skład paliwa może odbiegać od niego i zależy na przykład od odpowiedniej lokalizacji. Planiści, dostawcy i firmy obsługujące zakłady muszą zatem określić indywidualne wartości dla projektu. Internetowe bazy danych, takie jak Phyllis2 [40] lub FRED Bawarskiego Urzędu Ds. Środowiska [41], zawierają dodatkowe dane dotyczące różnych paliw.

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..10**  
kory - Część I główne elementy [23], [33], [42].

Typowe parametry paliwowe drewna i

Parametr	Jednostka (Stan referencyjny: wf)		Drewno (bez kory, liści, igieł)		Kora		SRC i LMW		Drewno odpadowe
			Drewno miękkie	Drewno twarde	Drewno miękkie	Drewno twarde	Pasza	Topola	
Zawartość popiołu	wt-%	Zakres Typowa wartość	0.1 - 1.0 0.3	0.2 - 1.0 0.3	< 1 - 5 1.5	0.8 - 3.0 1.5	1.1 - 4.0 2.0	1.5 - 3.4 2.0	0 - 2
Wartość kaloryczna	MJ/kg	Zakres Typowa wartość	18.5 - 19.8 19.1	18.4 - 19.2 18.9	17.5 - 20.5 19.2	17.1 - 21.3 19	17.7 - 19.0 18.4	18.1 - 18.8 18.4	18 - 20.2
Węgiel C	wt-%	Value range Typical valu Zakres Typowa wartość e	47 - 54 51	48 - 52 49	48 - 55 52	47 - 55 52	46 - 49 48	46 - 50 48	n.a.
Wodór H	wt-%	Zakres Typowa wartość	5.6 - 7.0 6.3	5.9 - 6.5 6.2	5.5 - 6.4 5.9	5.3 - 6.4 5.8	5.7 - 6.4 6.1	5.7 - 6.5 6.2	n.a.
Tlen O	wt-%	Zakres Typowa wartość	40 - 44 42	41 - 45 44	34 - 42 38	32 - 42 38	40 - 44 43	39 - 45 43	n.a.
Azot N	wt-%	Zakres Typowa wartość	< 0.1 - 0.5 0.1 <sup>1)</sup>	< 0.1 - 0.5 0.2 <sup>1)</sup>	0.3 - 0.9 0.5	0.1 - 0.8 0.3	0.2 - 0.8 0.5	0.2 - 0.6 0.4	n.a.
Siarka S	wt-%	Zakres Typowa wartość	< 0.01 - 0.02 < 0.02	< 0.01 - 0.05 0.02	< 0.02 - 0.05 0.03	< 0.02 - 0.20 0.03	0.02 - 0.10 0.05	0.02 - 0.10 0.03	n.a.
Chlor Cl	wt-%	Zakres Typowa wartość	< 0.01 - 0.03 0.01	< 0.01 - 0.03 0.01	< 0.01 - 0.05 0.02	< 0.01 - 0.05 0.02	0.01 - 0.05 0.03	< 0.01 - 0.05 < 0.01	0.02 - 0.20
Fluor F	wt-%	Zakres Typowa wartość	< 0.0005 < 0.0005	< 0.0005 < 0.0005	< 0.0005 - 0.002 0.001	n.a.	0 - 0.01 0.003	n.a.	n.a.
Aluminium Al	mg/kg	Zakres Typowa wartość	30 - 400 100	< 10 - 50 20	400 - 1,200 800	30 - 100 50	3 - 100 50	n.a. 10	n.a.
Wapń Ca	mg/kg	Zakres Typowa wartość	500 - 1,000 900	800 - 20,000 1,200	1,000 - 15,000 5,000	10,000 - 20,000 15,000	2,000 - 9,000 5,000	4,000 - 6,000 5,000	n.a.
Żelazo Fe	mg/kg	Zakres Typowa wartość	10 - 100 25	10 - 100 25	100 - 800 500	50 - 200 100	30 - 600 100	n.a. 30	n.a.
Potas K	mg/kg	Zakres Typowa wartość	200 - 500 400	500 - 1,500 800	1,000 - 3,000 2,000	1,000 - 3,200 2,000	1,700 - 4,000 2,500	2,000 - 4,000 2,500	n.a.
Magnez Mg	mg/kg	Zakres Typowa wartość	100 - 200 150	100 - 400 200	400 - 1,500 1,000	400 - 1,000 500	200 - 800 500	200 - 800 500	n.a.
Mangan Mn	mg/kg	Zakres Typowa wartość	40 - 200 100	n.a.	9 - 840 500	n.a. 190	79 - 160 97	n.a. 20	n.a.
Sód Na	mg/kg	Zakres Typowa wartość	10 - 50 20	10 - 200 50	70 - 2,000 300	20 - 1,000 100	10 - 450 n.a.	10 - 60 25	n.a.
Fosfor P	mg/kg	Zakres Typowa wartość	50 - 100 60	50 - 200 100	20 - 600 400	300 - 700 400	500 - 1,300 800	800 - 1,100 1,000	n.a.
Krzem Si	mg/kg	Zakres Typowa wartość	100 - 200 150	100 - 200 150	500 - 5,000 2,000	2,000 - 20,000 2,500	2 - 2,000 500	n.a.	n.a.
Arszenik As	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 0.1 - 1.0 < 0.1	< 0.1 - 1.0 < 0.1	0.1 - 4.0 1.0	0.1 - 4 0.4	< 0.1 < 0.1	< 0.1 - 0.2 < 0.1	0.39 - 15.4



Kadm Cd	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 0.05 - 0.50 0.1	< 0.05 - 0.50 0.10	0.2 - 1.0 0.5	0.2 - 1.2 0.5	0.2 - 5 2	0.2 - 1 0.5	n.a.
Chrom Cr	mg/kg	Zakres Typowa wartość	0.2 - 10.0 1.0	0.2 - 10.0 1.0	1 - 10 5	1 - 30 5	0.3 - 5 1	0.3 - 2 1	0.1 - 5.3
Miedź Cu	mg/kg	Zakres Typowa wartość	0.5 - 10.0 2.0	0.5 - 10.0 2.0	3 - 30 5	2 - 20 5	2 - 4 3	2 - 4 3	3.4 - 668.4
Rtęć Hg	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 0.02 - 0.05 0.02	< 0.02 - 0.05 0.02	0.01 - 0.1 0.05	n.a. < 0.05	< 0.03 < 0.03	< 0.03 < 0.03	0.02 - 36.1
Nikiel Ni	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 0.1 - 10.0 0.5	< 0.1 - 10.0 0.5	2 - 20 10	2 - 10 10	0.2 - 2 0.5	0.2 - 1.0 0.5	n.a.
Ołów Pb	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 0.5 - 10.0 2.0	< 0.5 - 10.0 2.0	1 - 30 4	2 - 30 15	0.1 - 0.2 0.1	0.1 - 0.3 0.1	9.3 - 3,314.3
Wanad V	mg/kg	Zakres Typowa wartość	< 2 < 2	< 2 < 2	0.7 - 2.0 1.0	1 - 4 2	0.2 - 0.6 0.3	n.a.	n.a.
Cynk Zn	mg/kg	Zakres Typowa wartość	5 - 50 10	5 - 100 10	70 - 200 100	7 - 200 50	40 - 100 70	30 - 100 50	n.a.

<sup>1)</sup> Typowa zawartość azotu różni się w zależności od gatunku drewna: świerk 0,1, jodła srebrzysta 0,17, buk 0,22 [43]. n.a. = niedostępne.

Zawartość wody jest najważniejszym parametrem pod względem jakości paliwa. Zawartość wody jest istotnym czynnikiem dla możliwości przechowywania i stabilności gotowego paliwa oraz konieczności suszenia (docelowa zawartość wody < 30 - 35 %) lub, w najlepszym przypadku, mieszania. Wpływa to bezpośrednio na wartość opałową, ponieważ woda zawarta w paliwie musi najpierw zostać odparowana podczas spalania przy użyciu energii cieplnej. Bez technologii kondensacji tej energii cieplnej nie można odzyskać poprzez kondensację pary. Ponadto zawartość wody ma wpływ na emisję CO i pyłów uwalnianych podczas spalania, a także na akumulację popiołu. Masa samej wody i efekty skurczu podczas suszenia wpływają na gęstość nasypową paliwa.

Typowa zawartość wody w świeżo pozyskanym drewnie okrągłym (twardziel i biel) oraz świeżych wiórach leśnych wynosi 45–55 %, przy czym materiał z SRC często > 55 %. Poprzez techniczne lub naturalne suszenie można osiągnąć znacznie niższą zawartość wody o 15 - 35 %. Zrębki o zawartości wody < 15 % mogą być zwykle wytwarzane wyłącznie w drodze suszenia technicznego. Z drugiej strony szczególnie suchym paliwem jest pelet drzewny, którego standardowa zawartość wody < 10 %. W zależności od zastosowanej technologii spalania nie wolno przekraczać niektórych zawartości wody w paliwie (rozdział 5). W przypadku kotłów w małym i średnim zakresie mocy producenci i przepisy stawiają paliwu stosunkowo wysokie wymagania, a zakresy zawartości wody określone zgodnie z badaniem typu muszą być spełnione (np. dla mikroukładów/pieców na pelety < 15–20 %, dla urządzeń seryjnych < 35 %). W przypadku większych instalacji grzewczych (energetycznych) możliwa jest również niezawodna praca z zawartością wody > 35 %, a nawet świeżo posiekane drewno ([37], [44]).

Zawartość popiołu w paliwie ma wpływ na emisję cząstek stałych i powstawanie żużla podczas spalania, a także na

koszty unieszkodliwiania całkowitej ilości popiołu wytwarzanego podczas pracy instalacji. Wysoka zawartość popiołu ułatwia zużycie i korozję elementów roślin. W zależności od składu chemicznego popiół jest poddawany recyklingowi, na przykład jako składnik nawozu lub jako kruszywo w produkcji cementu. Jeżeli nie jest możliwa ścieżka recyklingu materiału (np. z powodu nadmiernego zanieczyszczenia metalami ciężkimi), popiół musi zostać unieszkodliwiony na odpowiednich składowiskach [44].

Jak pokazano w tabeli 4.9, zawartość popiołu waha się od 0,1 do 5 % w zależności od rodzaju drewna i zawartości kory. DIN EN ISO 17225-4 definiuje cztery klasy dla zrębków (od A1 do B2) o dopuszczalnej zawartości popiołu < 1 % do < 3 %. Wyższa zawartość popiołu wynika zwykle z wyższych proporcji kory i igieł. Na przykład, im mniejsza średnica drzewa lub im większy udział gałązek, tym wyższy stosunek kory do drewna. Innym czynnikiem wpływającym jest zanieczyszczenie materiałami nieorganicznymi (np. glebą lub kamieniami).

Typowe wartości opałowe dla kory lub drewna (bezwodna podstawa odniesienia) wynoszą od 17,1 do 21,3 MJ/kg (tabela 4.9), przy czym kora obejmuje znacznie szerszy zakres zmienności. Wartość opałowa drewna iglastego jest zwykle wyższa niż w przypadku drewna liściastego ze względu na nieco wyższą zawartość C. Aspekt ten ma jednak drugorzędne znaczenie w porównaniu z innymi parametrami. Ze względu na zwiększone stężenia pierwiastków drobnych i śladowych tworzących popiół, zawartość popiołu w korze jest zwykle znacznie wyższa niż w związanym z nią drewnie. Wynika z tego, że wartość opałowa kory może być zarówno wyższa, jak i niższa od wartości opałowej odpowiedniego drewna [21]. Bardzo wysoka zawartość popiołu, na przykład z powodu zanieczyszczeń mineralnych lub degradacji ligniny przez specjalne grzyby, obniża wartość opałową [44].

Wielkość cząstek znacząco wpływa na właściwości przepływu, a także na zachowanie paliwa w zakresie przechowywania i suszenia. Na wielkość cząstek znaczący wpływ mają etapy produkcji i przygotowania, ale zależy również od rodzaju drewna i wybranego asortymentu. Małe cząstki lub duża część drobnego materiału mogą ograniczać wentylację i prowadzić do emisji pyłu podczas napełniania bunkra. Ponadto wysoki udział drobnych cząstek ma negatywny wpływ na jakość spalania. Stały dopływ powietrza w złożu paliwa jest utrudniony, co powoduje powstawanie gorących punktów zapalnych. Prowadzi to do zwiększonego zużycia w obszarze rusztu i szamotu, a także zwiększonej zawartości pyłu z powodu substancji śladowych w spalinach, które nie są już włączane do popiołu. Duże, zbyt długie lub frędzlowate (= nie o ostrych krawędziach) cząstki ułatwiają blokady w systemach przenośników, takich jak transportowe, i mogą powodować mostkowanie w obszarze przechowywania. Wysokiej jakości zrębki są stosunkowo jednorodne, mają niski udział drobnych cząstek, krótką maksymalną długość i ostre krawędzie [37].

Zawartość obca to procent obcego materiału w paliwie. Oprócz części metalowych, kamieni i odpadów (gruboziałiste ciała obce), kategoria ta obejmuje w szczególności przylegającą próchnicę i glebę mineralną (drobna substancja obca). Jeśli gruboziałista substancja obca zostanie przypadkowo posiekana wraz z paliwem, sama rębak, elementy systemu przenośników lub systemu grzewczego mogą zostać uszkodzone, czasami znacznie, przez obcą materię. Przylegająca gleba prowadzi do zwiększonego zużycia ostrzy rębaka i zwiększa zawartość popiołu. Podczas spalania w ciepłowni (elektrowni) zwiększona zawartość popiołu spowodowana obcymi substancjami, zmienione zachowanie topnienia popiołu i prawdopodobnie zwiększona zawartość metali ciężkich w paliwie lub popiele prowadzą do zwiększonych kosztów utylizacji, korozji i zużycia elementów instalacji [44].

Aby móc jak najlepiej uwzględnić różne składy paliw i wynikające z nich właściwości spalania przy wyborze technologii wypalania i spalin, QM dla instalacji DH na biomasę opracował klasyfikację paliw (zob. tabela 4.10 i tabela 4.11).

Tabela **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..11** Część I - Klasyfikacja paliw i wielkości cząstek QM dla instalacji DH biomasy w oparciu o specyfikacje zgodnie z EN ISO 17225-1, klasyfikacja wielkości cząstek została uzupełniona klasami S EN ISO 17225-4.

Paliwa	Skrót	Wielkość cząstek mm (patrz tabela 4.11) <b>P</b>	Zawartość wody Masa-% dostarczona <b>M</b>	Zawartość azotu w masie % w przeliczeniu na bezwodną masę <b>N1)</b>	Zawartość drobnych < 3,15 mm Masa % w dostarczonej postaci <b>F</b>	Zawartość popiołu z zawartością obcą % masy w przeliczeniu na bezwodną masę <b>A</b> Referencja	Zawartość energii Odporność wilgotności Hu Zakres wahań kWh/LCM
Zrębki jakościowe z pozostałości leśnych (okragłych) drewna (WS)1) 9) i pozostałości przemysłowych drewna (IS)1) 9)	fine WS-P16S-M20 IS-P16S-M20	16S	15 - 20	0.1 - 0.5 (0.2)	F05	A1.0	Miękkie drewno (WH): 700 - 900 Twarde drewno (HH): 1,000 - 1,200
	rough WS-P31S-M20 IS-P31S-M20	31S	15 - 20	0.1 - 0.5 (0.2)	F05	A1.0	WH: 630 - 850 HH: 950 - 1,150
Zrębki drzewne z pozostałości leśnych (WS)1) i pozostałości przemysłowe (IS)1) 2)	WS-P31S-M35 IS-P31S-M35	31S	20 - 35	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 600 - 800 HH: 900 - 1,100
	WS-P31S-M50 IS-P31S-M50	31S	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 550 - 750 HH: 850 - 1,050
	WS-P31S-M55+ IS-P31S-M55+	31S	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 500 - 700 HH: 800 - 1,000
	WS-P45S-M35 IS-P45S-M35	45S	20 - 35	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 550 - 750 HH: 850 - 1,050
	WS-P45S-M50 IS-P45S-M50	45S	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 500 - 700 HH: 800 - 1,000
	WS-P45S-M55+ IS-P45S-M55+	45S	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 450 - 650 HH: 750 - 950
	WS-P63-M50 IS-P63-M50	63	30 - 50	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 450 - 650 HH: 750 - 950
	WS-P63-M55+ IS-P63-M55+	63	30 - 60	0.1 - 0.5 (0.2)	F10	A3.0	WH: 400 - 600 HH: 700 - 900
Topola i wierzba z lasu i krajobrazu	PWW	31S 45S 63	30 - 60	0.2 - 0.8 (0.3)	F10 F10 F10	A5.0	450 - 700 400 - 650 350 - 600
Topola i wierzba z obszarów o krótkiej rotacji	PWK	31 45 63	30 - 60	0.5 - 3.0 (0.5)	F25	A10.0	400 - 650 350 - 575 300 - 500

Drewno z pielęgnacji krajobrazu LH <sup>1)</sup>	31 45 63	30 - 60	0.4 - 1.0 (0.5)	F25	A10.0	400 - 800 350 - 750 300 - 700
Pozostałości przerezdzenia z drzew iglastych i liściastych Ø <80 mm i drewna koronowego DH	31 31 45 45 63 63	30 - 60	0.4 - 1.0 (0.6)	F25	A10.0	WH: 400 - 650 HH: 650 - 900 WH: 350 - 600 HH: 600 - 850 WH: 300 - 550 HH: 550 - 800
Trociny SP	< 4	35 - 50	0.1 - 0.3 (0.1)	-	A3.0	WH: 450 - 550 HH: 650 - 750
Kora rozdrobniona <sup>8)</sup> maksymalnie frakcja gruboziarnista 5 % RZ	45 45 63 63	30 - 65+	0.3 - 0.9 (0.5)	F05 F05 F05 F05	A10.0	WH: 700 - 850 HH: 950 - 1,150 WH: 650 - 800 HH: 900 - 1,100
Kora niezsotkowana <sup>8)</sup> Ruz	n.V.	30 - 65+	0.3 - 0.9 (0.5)	F05	A10.0	-
Pozostałości drewna z obróbki drewna <sup>10)</sup> RHH	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.	-
Odpady drzewne <sup>4)</sup> 10) AH	45 63	< 30	0.5 - 1.5 (0.8) <sup>12)</sup>	F10 F10	A10.0	550 - 750 500 - 700
Pelety <sup>5)</sup> PEL	n.V.	-	-	-	-	-

**Tabla Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..12** Część II - Klasyfikacja paliw i wielkości cząstek QM dla instalacji DH biomasy w oparciu o specyfikacje zgodnie z EN ISO 17225-1, klasyfikacja wielkości cząstek została uzupełniona klasami S EN ISO 17225-4.

Klasyfikacja opiera się w miarę możliwości na normie paliwowej ISO 17225, wymienione są odchylenia.

- 1) Paliwa nie mogą zawierać topoli i wierzy, chyba że zostało to uzgodnione w umowie; zawartość kory przylegająca do zrębków drzewnych maksymalnie 20 % bezwodnej masy.
- 2) Zgodnie z CEN/TS 14588. Zrębki drzewne wytwarzane jako produkt uboczny przemysłu przetwórstwa drewna, z korą lub bez.
- 3) W Szwajcarii tylko nieprzetworzone zrębki z pozostałości tartacznych są uważane za zrębki z pozostałości przemysłowych (IS).
- 4) Klasyfikacja zawartości wody nie jest zgodna z normą paliwową ISO 17225. DE: Odpady drzewne kategorii A I i A II; AT: Drewno koncepcyjne sektora odpadów drzewnych Q3 i Q4; CH: Odpady drzewne nie są uważane za paliwo drzewne (Rozporządzenie w sprawie kontroli zanieczyszczenia powietrza: Załącznik 5, numer 3, ustęp 2, litera a)
- 5) Przestrzegaj norm dotyczących peletów zgodnie z ISO 17225-2
- 6) with needles, leaves and twigs
- 7) Zakres zmienności jest określony przez różną gęstość nasypową:
  - Rozdrabnianie kłód ze stosu powoduje większą gęstość nasypową niż rozdrabnianie całych drzew z gałęziami
  - Rozkład wielkości zrębków w głównej proporcji 60 % wpływa na gęstość nasypową (większy udział drobnych zrębków drzewnych zwiększa gęstość nasypową)
  - Proces przygotowania paliwa, rozdrabnianie lub rozdrabnianie, ma duży wpływ na gęstość nasypową (rozdrobnione paliwo ma niższą gęstość nasypową niż rozdrobnione paliwo). paliwo ma niższą gęstość nasypową niż paliwo posiekane).
- 8) Z igłami, liśćmi i gałązkami
- 9) Wartości liczbowe (klasa P) masy odnoszą się do wielkości cząstek (ułamek masowy co najmniej 95 %), które mieszczą się w określonych rozmiarach otworów sitowych okrągłych otworów (ISO 17827-1). Jeżeli próbka spełnia kryteria więcej niż jednej klasy, przypisuje się ją do możliwie najniższej klasy. Frakcja gruboziarnista jest ≤ 5 % masy dostarczonej.
- 10) W przypadku wysokiej jakości zrębków drzewnych (grubych i drobnych) należy przestrzegać dodatkowo zastrzeżonych wymagań norm specyficznych dla danego kraju.
- 11) W przypadku pozostałości drewna z przetwórstwa drewna RHH i drewna odpadowego AH skład chemiczny określa się na podstawie analiz paliw zgodnie z EN ISO 17225-1 Tabela 5b, strona 24 i załącznik B, tabela B.1, strona 43. Dla drewna odpadowego, oprócz maksymalnej zawartości popiołu, określa się również maksymalną zawartość obcą (m. % w przeliczeniu na bezwodną masę) piasku, kamieni i szkła.
- 12) Dla zawartości azotu zakres wartości i wartość typowa są podane w nawiasach. Typowa wartość jest ważna dla projektu denitryfikacji.
- 13) Zawartość azotu w drewnie odpadowym zależy od składu (proporcja naturalnego odpadu drewna i materiału z płyt [MDF, płyta wiórowa, sklejka itp.]). W przypadku czystego materiału z płyty można oczekiwać maksymalnej zawartości azotu wynoszącej 6 %.

n.V.: po uzgodnieniu, ustalane indywidualnie dla każdego przypadku WH: drewno iglaste (drewno iglaste: świerk, jodła, sosna, daglezi zielona, modrzew; drewno iglaste: klon, wiśnia, olcha) HH: Drewno liściaste (drewno liściaste: dąb, buk, wiąz, kasztanowiec, jesion, robinia, grab (buk gradowy), leszczyna, brzoza, orzech, drzewa owocowe [z wyjątkiem wiśni]). Do wszystkich paliw stosuje się następujące zasady:  $H_u > 1,5 \text{ kWh/kgdamp}$

Klasyfikacja wielkości cząstek zrębków i grubo rozdrobnionego drewna					
Wielkość cząste	Udział główny* min. 60 %/95 % <sup>1)</sup>	Udział drobnego materiału* < 3.15 mm	Frakcja gruboziarnista *	Maksymalna długość cząstek	Przekrój cząstek ponadgabarytowych
P16S	3.15 mm - 16 mm	F15	> 31.5 mm, ≤ 6 %	≤ 45 mm	< 2 cm <sup>2</sup>
P31S	3.15 mm - 31.5 mm	F10	> 45 mm, ≤ 6 %	≤ 150 mm	< 4 cm <sup>2</sup>
P31	3.15 mm - 31.5 mm	F25 <sup>2)</sup>	> 45 mm, ≤ 6 %	≤ 200 mm	< 4 cm <sup>2</sup>

P45S	3.15 mm - 45 mm	F10	> 63 mm, ≤ 10 %	≤ 200 mm	< 6 cm <sup>2</sup>
P45	3.15 mm - 45 mm	F252 <sup>1)</sup>	> 63 mm, ≤ 10 %	≤ 350 mm	< 6 cm <sup>2</sup>
P63	3.15 mm - 63 mm	<sup>3)</sup>	> 100 mm, ≤ 10 %	≤ 350 mm	< 8 cm <sup>2</sup>
P100	3.15 mm - 100 mm	<sup>3)</sup>	> 150 mm, ≤ 10 %	≤ 350 mm	< 12 cm <sup>2</sup>

- 1) Wartości liczbowe masy są związane z wielkościami cząstek (ułamek masowy co najmniej 60 %), które mieszczą się w określonej wielkości otworu sitowego okrągłych otworów (ISO 17827-1). W przypadku kory i kory rozdrobnionej główna frakcja łącznie z drobnymi cząstkami ma ułamek masowy 95 %. W przypadku zrębków i gruboziarnistego rozdrobnionego drewna do stosowania w domowych i małych kominkach komercyjnych stosuje się klasy S. Należy wskazać możliwie najniższą klasę nieruchomości.
- 2) Z igłami, liśćmi i gałązkami
- 3) Zawartość drobnic różni się w zależności od paliwa
- 4) Zalecenie w odstępstwie od normy: Do transportu paliwa i systemu podawania paliwa za pomocą przenośników ślimakowych

\* Wielkość cząstek w % masowych w stanie dostarczonym

## 4.5.5 Strategie dostaw

Poszczególne etapy przetwarzania w celu dostarczenia paliwa drzewnego obejmują pozyskiwanie drewna (ściananie, układanie, układanie w plecy), rozdrabnianie (rozdrabnianie), transport do silosu lub magazynu pośredniego oraz, w razie potrzeby, pośrednie przechowywanie, przeładunek i transport. Koszt zależy przede wszystkim od objętości do przetworzenia, a nie od wagi. W związku z tym ceny za zawartość energii w drewnie iglastym są zwykle o około 10-15 % wyższe niż w przypadku drewna liściastego. Wybór strategii dostaw zależy w szczególności od odpowiednich lokalnych warunków ramowych (lokalizacja i dostępność, rynek paliw i popyt, istniejąca logistyka, przedsiębiorstwa dostarczające paliwo i infrastruktura itp.) i musi być dostosowany do odpowiednich wymogów.

Jeśli drewno jest przetwarzane na zrębki jeszcze w lesie (z okrągłych pali drewna lub świeżo ściętych) i transportowane stamtąd do konsumenta, nazywa się to bezpośrednim łańcuchem dostaw. Fakt, że nie ma pośredniego magazynowania, sprawia, że jest to najbardziej opłacalna opcja dostawy. Wymaga to jednak precyzyjnie zaplanowanej i niezawodnej logistyki paliw, a także zadbania o to, aby bezpieczeństwo dostaw było gwarantowane nawet w ekstremalnych warunkach, takich jak zimowa pogoda i warunki drogowe. Ponadto należy zauważyć, że zrębki drzewne świeże z lasu mogą mieć zawartość wody do 60 %.

W przeciwieństwie do procedury opisanej powyżej, w pośrednim łańcuchu dostaw drewno energetyczne jest tymczasowo składowane w postaci wiórów lub drewna okrągłego w magazynie lub na placu składowym bezpośrednio w ciepłowni lub w miejscach zewnętrznych po usunięciu go z lasu. Tymczasowe składowanie sprzyja nieprzerwanym dostawom, pozwala na większą elastyczność w dostawach i zakupie paliwa oraz umożliwia konkretną koordynację stosowanego miks paliwowego w zależności od warunków pracy i sezonu. Szczególnie na dużych wysokościach z ograniczonym dostępem do lasu lub ciepłowni w zimie, pośrednie magazynowanie bezpośrednio w ciepłowni jest niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa dostaw.

Podczas przechowywania paliwo jest wstępnie suszone, a wysoka elastyczność w zakupie paliwa może skutkować korzyściami cenowymi. Jednak koszty dostaw rosną ze względu na wyższe koszty inwestycji i manipulacji. Niektóre paliwa zgodnie z tabelą 4.10, takie jak wysokiej jakości zrębki drzewne lub suszone, przesiewane paliwa, mogą być zazwyczaj dostarczane wyłącznie za pośrednictwem pośredniego łańcucha dostaw. Należy to wziąć pod uwagę przy wyborze paliwa lub kotła i omówić z dostawcą paliwa (patrz rozdział 13).

Dzięki połączeniu tych dwóch wariantów (mieszany łańcuch dostaw) pośrednie magazyny paliwa mogą być mniejsze, a tym samym oszczędzać koszty. Jednocześnie zagwarantowane jest wysokie bezpieczeństwo dostaw. Jeżeli konieczna jest budowa pośredniego magazynu, należy zbadać, czy w celu wykorzystania synergii można utworzyć jak największy plac składowy w celu zasilania kilku systemów wypalania drewna. Oprócz zrębków, okrągłe drewno może być również przechowywane w stosie i rozdrabniane w razie potrzeby.

**Asortyment mieszany:** Asortymenty o niekorzystnych właściwościach mogą być również stosowane przez mieszanie o wyższych właściwościach. Na przykład odpowiednie są kombinacje kory o wysokiej zawartości wody i suchego drewna reszkowego lub drewna do pielęgnacji krajobrazu z tendencją do żużlowania i zrębków o niskiej zawartości popiołu. Paliwa mieszane są na ogół opłacalne i stają się coraz ważniejsze. Aby zapewnić płynną pracę instalacji, dopuszczalne mieszanki paliwowe muszą być ustalane z producentem kotła w zależności od wykorzystania kotła. Zawartość wody w mieszance paliwowej jest szczególnie ważnym kryterium zarówno dla mocy nominalnej, jak i pracy przy niskim obciążeniu (dopływ ciepła < minimalna moc układu zapłonowego).

## 4.6 Analizy

Jako standardową metodę oznaczania zawartości wody stosuje się zwykle grawimetryczny pomiar paliw za pomocą suszenia w temperaturze 105 °C zgodnie z DIN EN ISO 18134-1 [45] i DIN EN ISO 18134-2 [46] (metoda uproszczona). Zawartość wody można obliczyć poprzez utratę masy paliwa podczas suszenia, aż waga będzie

stała. Metoda ta jest uznana i precyzyjna, ale także czasochłonna i pracochłonna. W praktyce zarówno firmy dostarczające paliwo, jak i operatorzy ciepłowni często muszą jak najszybciej określić zawartość wody, na przykład w celu przejrzystego fakturowania przy zakupie i sprzedaży lub oceny jakości dostawy. W tym celu na rynku dostępnych jest wiele urządzeń do szybkiego oznaczania. Urządzenia określają zawartość wody w paliwie na różne sposoby - grawimetrycznie, elektrycznie lub poprzez promieniowanie podczerwone. Ponadto sposób przeprowadzania pomiaru różni się, na przykład w formie ręcznego pomiaru na pobranych próbkach lub automatycznego pomiaru w przepływie paliwa. Szybkie metody pomiarowe nie osiągają dokładności oznaczania w piecu suszącym. W związku z tym nie nadają się one do celów rozliczeniowych. Dostarczają one jednak wystarczająco dokładnych wartości do jakościowej oceny partii paliwa [47].

Zawartość popiołu w biomasie jest oznaczana zgodnie z normą DIN EN ISO 18122 [48]. W laboratorium próbka jest podgrzewana (spalana) w temperaturze 550 °C w piecu muflowym o zalecanej szybkości ogrzewania w atmosferze utleniającej. Pozostałość spalania jest ważona z powrotem, a zawartość popiołu jest obliczana na podstawie stosunku masy popiołu i paliwa.

Wartość opałowa jest oznaczana w laboratorium zgodnie z normą EN ISO 18125:2017-08 [24] w kalorymetrze bombowym. Tutaj ważona ilość próbki analitycznej paliwa jest spalana w tlenie pod wysokim ciśnieniem w określonych warunkach.

## 4.7 Umowa na dostawę paliwa i rozliczenia

### 4.7.1 Umowa na dostawę paliwa

Umowa na dostawę paliwa zawierana jest pomiędzy przedsiębiorstwem prowadzącym ciepłownię a przedsiębiorstwem dostarczającym paliwo i ma na celu zagwarantowanie nieprzerwanych dostaw paliw odpowiednich dla ciepłowni. Podstawowe punkty muszą być określone w umowie:

- Definicja asortymentu paliw
- Ilości i proporcje asortymentu, warunki dostawy
- Cena paliwa, korekta ceny (indeksacja) i sposób fakturowania
- Okres obowiązywania umowy i warunki anulowania, miejsce jurysdykcji

Przy zakupie i sprzedaży paliwa drzewnego decydująca jest ilość energii w obrocie. Zależy to jednak od różnych parametrów paliwa (gęstość, gęstość nasypowa, zawartość wody, rodzaj drewna). W zależności od struktury dostaw paliwa (jeden lub kilku dostawców) oraz istniejącej infrastruktury w ciepłowni, różne metody rozliczeń (według objętości, wagi lub ilości wytworzonego ciepła) stają pod znakiem zapytania.

### 4.7.2 Rozliczenia w oparciu o objętość

Rozliczanie według wolumenu jest szeroko stosowane. Cena za dostawę jest ustalana na podstawie wartości orientacyjnych dla zawartości energii na metr sześcienny luzem dla różnych asortymentów drewna w funkcji zawartości wody. Jest to jednak najbardziej niedokładna metoda, ponieważ zawartość energii w dostarczanych paliwach może się znacznie różnić ze względu na wahania (stałych) gęstości, gęstości nasypowej i zawartości wody. Na przykład metr sześcienny wiórów bukowych zawiera prawie 50 % więcej energii niż metr sześcienny wiórów świerkowych. Ważnym kryterium różnicowania przy rozliczaniu według wielkości jest zatem różne gęstości drewna liściastego i iglastego. Drewno iglaste, takie jak świerk, jodła, sosna, daglezja, modrzew (na ogół drewno iglaste), a także wiśnie i olchy iglaste mają niższą gęstość (energetyczną) niż drewno liściaste (na ogół drewno liściaste: klon, dąb, buk, wiąz, kasztanowiec słodki, jesion, robinia, grab, leszczyna, brzoza, orzech włoski, drzewa owocowe - z wyjątkiem wiśni).

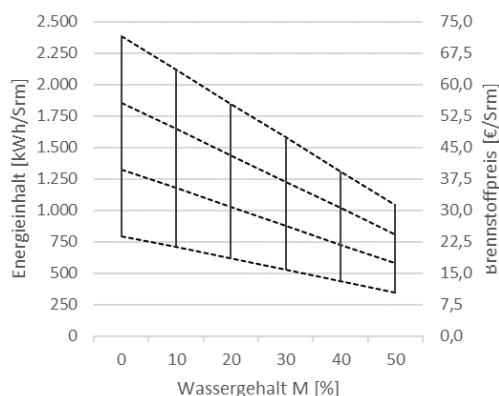
Jednak gęstość nasypowa paliwa ma jeszcze większy wpływ niż zmienna gęstość ciał stałych podczas handlu zrębkami drzewnymi. Jest to zasadniczo określone przez wielkość cząstek, zawartość drobnych cząstek i wpływy zewnętrzne, takie jak zagęszczanie poprzez wibracje podczas transportu. DIN EN ISO 17225-1 określa gęstości nasypowe dla zrębków drzewnych od 150 kg/LCM do 450 kg/LCM. W oparciu o ten zakres zmienności rysunek 4.5 pokazuje zakres, w którym może leżeć zawartość energii na jednostkę objętości (w zależności od zawartości wody w paliwie), a także przedziały cenowe dla rozliczania objętościowego zrębków drzewnych, w oparciu o przykładową średnią cenę 30 EUR/MWh [49]. Niewystarczająca wiedza na temat zawartości wody lub gęstości nasypowej paliwa może łatwo prowadzić do znacznych odchyłeń cenowych. Dlatego ta metoda fakturowania nie jest zalecana lub zalecana tylko wtedy, gdy parametry paliwa są znane z wystarczającą dokładnością.

Zalety rozliczania w oparciu o objętość paliwa:

- Łatwe określenie objętości

Wady rozliczania w oparciu o objętość paliwa:

- Spora niepewność co do zawartości energetycznej



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**<sup>11</sup> Wartość opałowa związana z objętością i wartości orientacyjne dla cen paliw zrębków drzewnych w funkcji zawartości wody dla gęstości nasypowej między 150 kg/rm (dół) a 450 kg/rm (górze); podstawa obliczenia 30 €/MWh.

#### 4.7.3 Rozliczenia w oparciu o wagę

W przypadku fakturowania według wagi, co jest powszechne w przypadku większych roślin, uwzględnia się zawartość wody w paliwie. Cena za dostawę ustalana jest na podstawie wartości energetycznej na tonę paliwa bezwodnego. Na przykład wióry drzewne ze świeżego drewna o zawartości wody 50 % mają wartość opałową 2,3 kWh/kg (rys. 4.6). W przypadku dostawy 20 ton odpowiada to ilości energii wynoszącej 46 MWh. Przy średniej cenie 30 €/MWh daje to cenę 1 380 € za ładunek ciężarówki o masie 20 ton.

Podczas gdy zawartość wody ma znaczący wpływ na ilość sprzedawanej energii, wartości opałowe związane z masą między drewnem iglastym i twardym różnią się tylko nieznacznie. Ze względu na wyższą zawartość żywicy i ligniny, wartość opałowa drewna iglastego nieznacznie przewyższa wartość opałową drewna liściastego (masowo). Jako paliwo naturalne wartości te podlegają jednak naturalnym wahaniom (tabela 4.9, rysunek 4.6).

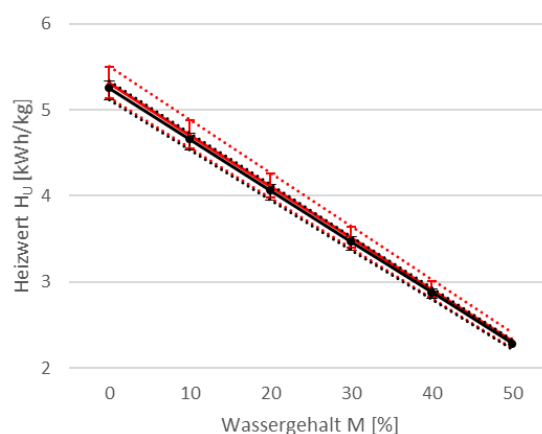
Waga jest zwykle określana przez ważenie ciężarówki przed i po rozładunku. W przypadku stosowania czujników masy zintegrowanych z samochodem ciężarowym dostawca musi zagwarantować wystarczającą dokładność. W celu reprezentatywnego określenia zawartości wody w dostawie (rozdział 4.6) należy przeanalizować kilka próbek lub reprezentatywną próbkę złożoną.

Zalety rozliczania w oparciu o wagę paliwa:

- Niezależność od rodzaju drewna i gęstości nasypowej
- Wysoka dokładność w odniesieniu do zawartości energii

Wady rozliczania w oparciu o wagę paliwa:

- Konieczność pomiaru ciężaru i zawartości wody



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**<sup>12</sup> Związana z masą wartość opałowa netto drewna iglastego (czerwonego) i twardego (czarnego) w funkcji zawartości wody.

#### 4.7.4 Rozliczenia w oparciu o ilość wyprodukowanego ciepła

Rozliczanie zgodnie z ilością wytworzonego ciepła wymaga ciepłomierza w obiegu pierwotnym kotła, który może rejestrować ilość ciepła uwalnianego w systemie. Musi on być zainstalowany profesjonalnie i zgodnie z wytycznymi technicznymi ciepłomierza oraz musi być bezbłędny (patrz również rozdział 7.4.3). Istnieje jednak różnica między zawartością energii w paliwie a zmierzoną ilością energii, która jest spowodowana stratami związanymi z systemem. W związku z tym umawiające się strony muszą określić procedurę fakturowania w umowie dostawy. Na przykład cena paliwa w EUR za MWh wytworzonego ciepła jest uzgadniana dla określonego rocznego stopnia wykorzystania zakładu (np. 85 %). Roczny stopień wykorzystania określa się przy użyciu wzoru uwzględniającego sprawność kotła i straty w trybie czuwania (rozdział 20.12). Jeżeli rzeczywista roczna sprawność odbiega od uzgodnionej wartości, cena paliwa jest korygowana liniowo.

Ten rodzaj rozliczeń zakłada, że całkowite zużyte paliwo (w obiegu grzewczym wyposażonym w ciepłomierz) jest kupowane od jednej firmy. Przy odpowiedniej umowie na dostawę okresowy odczyt ilości wyprodukowanego ciepła jest następnie wystarczający do rozliczenia. Można jednak również zastosować inne lub zmodyfikowane metody (np. z dodatkowymi kryteriami jakości lub z wykorzystaniem kilku przedsiębiorstw dostawczych).

Rozliczanie według ilości wytworzonego ciepła wiąże się z niskim ryzykiem dla przedsiębiorstwa prowadzącego ciepłownię, gdyż straty wynikające z wahań wartości opałowej, na przykład z powodu degradacji substancji związanej z magazynowaniem, leżą w gestii dostawcy paliwa. Przedsiębiorstwo dostarczające paliwo powinno zatem zapewnić odpowiednie warunki przechowywania w zakładzie lub zaopatrzenie just-in-time.

Zalety rozliczania w oparciu o ilość wyprodukowanego ciepła:

- Rozliczenie niezależne od zawartości wody
- Rozliczenie niezależne od rodzaju i gęstości drewna

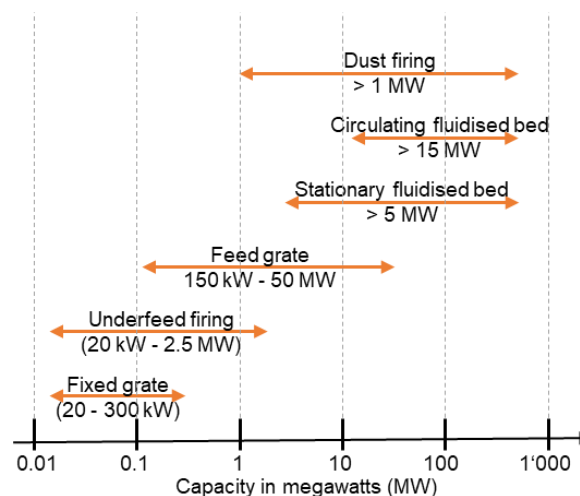
Wady rozliczania w oparciu o ilość wyprodukowanego ciepła:

- Zależność od rocznego stopnia wykorzystania systemu
- Konieczność oszacowania niezbędnego rocznego stopnia wykorzystania

## 5 Komponenty ciepłowni związane z wytwarzaniem ciepła

### 5.1 Obszary zastosowania

Automatyczne kotły opalane drewnem oferowane są w szerokim zakresie wydajności (Rysunek 5.1). Spektrum waha się od ogrzewania domu jednorodzinnego do kotłów elektrowni o mocy cieplnej ponad 100 MW. Najczęstsze zastosowania instalacji DH na biomasę znajdują się w średnim zakresie mocy od 200 kW do 2 MW, gdzie zarówno zrębki z lasu, jak i resztkowe drewno z obróbki drewna są wykorzystywane jako paliwo. Podstawowe zasady, obszary zastosowania i najczęstsze konstrukcje najważniejszych rodzajów wypalania opisano poniżej. Stosowane paliwo i technologia spalania są od siebie zależne. Dlatego przy wyborze i eksploatacji automatycznych pieców na drewno decydująca jest ocena asortymentu drewna zgodnie z kryteriami technicznymi zakładu. Obejmują one wielkość kawałków, dopuszczalny udział nadmiernych długości, kory i drobnych cząstek oraz zawartość wody (rozdział 4). Tabela 5.1 zawiera przegląd najważniejszych rodzajów systemów spalania drewna, ich zwykłych zakresów mocy i paliw. Rozdział 13 zawiera bardziej szczegółowe informacje na temat wyboru odpowiedniej technologii spalania w zależności od dostępnego paliwa.



Schemat **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..13** Obszary zastosowania najważniejszych rodzajów systemów spalania biomasy.

Tabel **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..13** rodzajów systemów spalania biomasy.

Obszary zastosowania najważniejszych

Typ	Zakres mocy	Paliwa	Zawartość wody [%]	Zawartość popiołu [% wf]
Ruszt stały	20 - 300 kW	Zrębki drzewnie	10 - 35	
Wypalanie pod podawowe	20 kW - 2.5 MW	Zrębki, trociny, pellety, maks. zawartość pyłu 50 %.	5 - 50*	< 2
Podajnik	150 kW - 50 MW	Pellety, zrębki i większość biomasy, maksymalna zawartość pyłu 50 %.	5 - 60	< 50
Stacjonarne łożo fluidalne	od 5 MW od 20 MW	Różne rodzaje biomasy Średnica < 10 mm Średnica < 80 mm	5 - 60	< 10
Krążące łożo fluidalne	15 MW - 100 MW	Różne rodzaje biomasy Średnica < 10 mm	5 - 60	< 10
Wypalanie pyłu	1 MW - 100 MW	Różne rodzaje biomasy Średnica < 5 mm	usually < 20	< 2

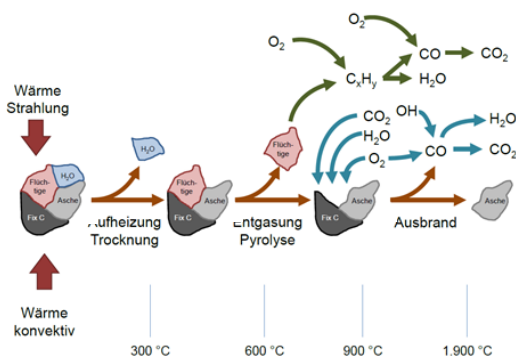
\* Głównie do M35, z możliwą wystarczająco długą niechłodzoną strefą wypalania do M50.



## 5.2 Podstawy spalania

Podczas spalania w elektrowniach energia związana w paliwie powinna zostać całkowicie uwolniona. Wymaga to całkowitego spalania. Obiekty energetycznego spalania powinny być zatem zaprojektowane i rozmieszczone w taki sposób, aby możliwe było całkowite spalanie nawet przy zmiennej jakości paliwa. Zadaniem operatora instalacji jest wówczas eksploatacja instalacji w taki sposób, aby realizowane było całkowite spalanie, tak aby składniki paliwa organicznego były jak najefektywniej przekształcane w  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Proces spalania paliw stałych można podzielić na następujące podprocesy (rysunek 5.2):

- Ogrzewanie i suszenie
- Odgazowanie i piroliza
- Spalanie lotnych składników paliwa
- Wypalenie stałych składników paliwa



Rysunek 5.2. Diagram przedstawiający proces spalania w uproszczeniu

W zależności od rodzaju spalania, pokazane podprocesy niekoniecznie muszą odbywać się jeden po drugim, ale mogą również w pewnym stopniu się pokrywać. Na początku procesu spalania woda zawarta w paliwie jest odparowywana, tj. paliwo jest podgrzewane i suszone w procesie. Podczas dalszego ogrzewania paliwa rozpoczyna się piroliza, w której wysoce lotne składniki paliwa uciekają i przechodzą do fazy gazowej. W ten sposób powstaje palna mieszanina gazów, dzięki czemu spalanie rozpoczyna się po osiągnięciu odpowiedniej temperatury zapłonu. W dalszej części pozostałe składniki paliwa stałego również reagują z dostępnym tlenem z powietrza spalania. W tej chemicznej transformacji składników paliwa organicznego dokonuje się rozróżnienia między reakcjami jednorodnymi (obaj partnerzy reakcji gazowymi) i heterogenicznymi (reakcja między fazą stałą i gazową). Niejednorodne spalanie paliw stałych jest znacznie bardziej złożone i wymagające niż jednorodne spalanie paliw gazowych, takich jak gaz ziemny.

## 5.3 Technologie spalania

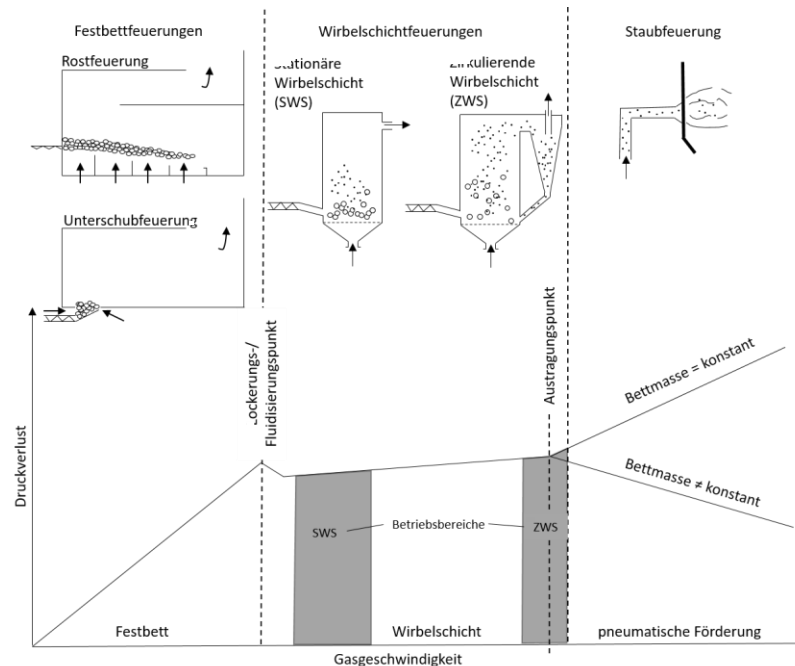
### 5.3.1 Przegląd

Poniżej wyjaśniono najpopularniejsze technologie wypalania w ciepłowniach (energetycznych) na biomasę, które można zasadniczo podzielić na systemy spalania ze złożem stałym, fluidalnym i pyłem (rysunek 5.3).

Ciepło potrzebne do suszenia i odgazowywania jest dostarczane na różne sposoby podczas pracy grzewczej, w zależności od rodzaju wypalania. Podczas wypalania pyłu wchodzące cząstki paliwa wchodzą w kontakt z gorącymi gazami spalinowymi. W piecach ze złożem fluidalnym ciepło jest przenoszane przez cząstki stałe w złożu fluidalnym. W takich przypadkach wymiana ciepła jest konwekcyjna. W systemach wypalania rusztów ciepło jest dostarczane przede wszystkim przez promieniowanie emitowane przez otaczające ściany komory spalania. Podczas uruchamiania pieca do zapłonu paliwa stosuje się elektryczne dmuchawy gorącego powietrza (paliwa o niskiej zawartości wody < 35%, instalacje w dolnym zakresie mocy do 900 kW) lub palniki pilotowe opalone gazem (wyższe zakresy mocy > 900 kW, maks. wilgotność paliwa ok. 55 %).

Należy dokonać zasadniczego rozróżnienia między jednostkami serii standardowych a indywidualnie dostosowanymi kotłami przemysłowymi. Wraz z rosnącym pogorszeniem jakości paliwa, tj. bardziej wilgotnym materiałem, bardziej nieregularnymi i grubszymi kawałkami, zatykaniem się igłami, korą i liśćmi, a także ewentualnie wyższą zawartością ciał obcych, należy zastosować bardziej wytrzymałą i złożoną technologię. Ta złożona technologia jest technicznie wykonalna dla mniejszych zakładów w ograniczonym zakresie. Ponadto niezbędna technologia prowadzi do wyższych konkretnych kosztów inwestycji (eur/kW mocy zainstalowanej).

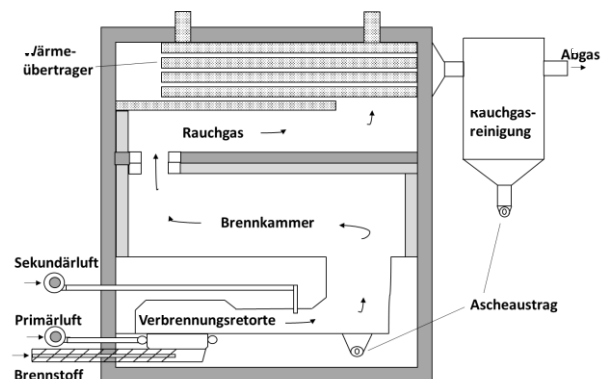
Choć konkretne koszty inwestycji w jednostki seryjne są stosunkowo niskie, instalacje te wymagają wysokiej jakości paliwa. Jednostki serii standardowej nadają się do suchych paliw, na przykład zrębków drzewnych o zawartości wody < 35 % i są zwykle dostępne do mocy 500 kW, rzadko do 1 500 kW. Suche, sykie paliwo może być transportowane do kotła za pomocą tanich systemów odprowadzania silosów. Takie urządzenia nie nadają się do świeżych zrębków drzewnych. Doświadczenie pokazuje, że istnieje ryzyko pożaru komina, przekroczenia limitów emisji, zwiększonego zabrudzenia i zużycia roślin, uciążliwości zapachowej i problemów z odprowadzaniem zrębków drzewnych z silosu, jeśli paliwo jest zbyt wilgotne. Systemy wypalania świeżych zrębków leśnych rozwinęły się również w zakresie niskiej mocy > 150 kW. Chociaż konkretne koszty inwestycji w kocioł są tu wyższe (do 50 % dla tej samej mocy kotła), takie kotły przemysłowe mają znacznie większą elastyczność paliwową. Wyższe koszty kapitałowe można zrekompensować niższymi kosztami paliwa, zwłaszcza w połączeniu z długim czasem pracy.



Rysunek **Error.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato..15 Przegląd technologii wypalania. Klasyfikacja według natężenia przepływu paliwa gazowego przez instalację i rodzaju transportu paliwa.

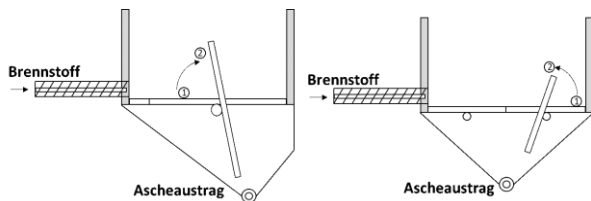
### 5.3.2 Systemy spalania w złożu

W przypadku wypalania podsuwowego (rysunek 5.4) paliwo jest podawane od dołu do koryta ogniowego (retorty) za pomocą przenośnika ślimakowego. Tam paliwo jest suszone i odgazowywane, a węgiel drzewny spala się. Aby zapewnić całkowite utlenienie gazów palnych, dodaje się powietrze wtórne i miesza z gorącymi gazami spalinowymi, zanim dostaną się one do komory gorącego. W dolnym wymienniku ciepła ciepło jest uwalniane z gorących spalin, a spaliny są oczyszczane. Popiół rusztowy zwykle musi być odsielany ręcznie, ale na rynku dostępne są również piece z automatycznymi systemami odsiedlania, które mają ruchomy ruszt i odpylającą. Nominalna moc kotła systemów spalania podsuwowego jest ograniczona do około 2,5 MW<sub>th</sub>. Szczególnie nadają się do drobnoziarnistych paliw drzewnych, takich jak trociny, pelety lub zrębki drzewne (maksymalna wielkość słoików 50 mm) o zawartości wody 5 - 50 %. Konstrukcja komory spalania i komory musi być dostosowana do zawartości wody. W przypadku paliw bogatych w popiół pojawiają się problemy związane z odprowadzaniem popiołu z gorącej komory spalania. Ponadto spiekane lub stopione warstwy popiołu na powierzchni paliwa mogą blokować uwalnianie gazów spalinowych ze złoża żaru przez krótki czas, powodując niestabilne warunki spalania przy każdym przełomie gazu spalinowego. Koszty inwestycyjne pieców podsuwowych są niższe niż w przypadku pieców rusztowych. Ciągły dopływ paliwa i stabilne, ciche złożo paliwa umożliwiają prostą i dobrą kontrolę wyjściową oraz niskoemisyjną pracę przy niskim obciążeniu. Jednak tego typu konstrukcje są używane rzadziej.



Rydunek **Error.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato..16 Zasada działania systemu wypalania pod podawowego.

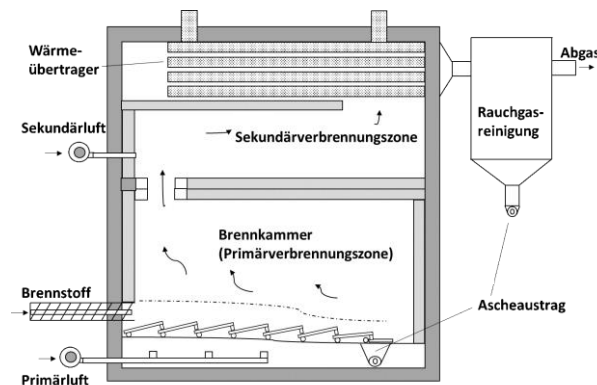
W pełni zautomatyzowanych systemach wypalania drewna często stosuje się systemy wypalania rusztów z rusztami przechylnymi (rysunek 5.5). Mogą one składać się z jednego do trzech obrotowych elementów. Nie ma aktywnego ruchu paliwa na ruszcie. Paliwo jest wciskane na ruszt w stanie zamkniętym (1), co stanowi podstawę cichego złoża żaru. Po pewnym okresie pracy (np. 8 godzin) dopływ paliwa zostaje zatrzymany. Następnie cały ruszt lub jego element jest przechylany na bok i otwierany (2). Popiół spada. Pozostała strefa blasku pozostaje na obszarze rusztu, który nie został przechylony. Oszczędza to energię do ponownego rozpalenia po zamknięciu rusztu. Wałek przechylny z dwoma elementami nazywany jest również rusztem łamiącym stopnie. Otwarcie obu elementów umożliwia całkowite oczyszczenie komory spalania.



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**17 Zasada działania załadunku paliwa i usuwania popiołu dla rusztu przechyłnego (po lewej) lub rusztu kruszarki stopniowej (po prawej); (1) pozycja zamknięta, (2) pozycja otwarta.

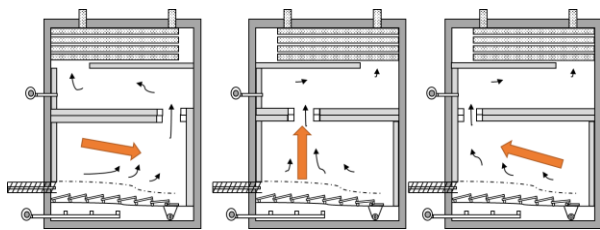
W układzie wypalania rusztu paszowego (rysunek 5.6) paliwo jest popychane poziomo na ruszt (przenośnik ślimakowy lub wkład hydrauliczny) i transportowane dalej przez komorę spalania poprzez ruch elementów rusztu. Usuwanie popiołu odbywa się na końcu rusztu. Część powietrza spalania jest dostarczana jako powietrze pierwotne przez ruszt, który można podzielić na kilka stref. W pierwszej strefie następuje suszenie paliwa, a następnie odgazowanie w strefie środkowej (jest to główna strefa spalania) i wypalenie węgla drzewnego w ostatniej strefie. Strefowo sterowany dopływ powietrza pierwotnego przez ruszt umożliwia dostosowanie do zachowania spalania paliwa, ciągłą pracę częściowego obciążenia i ustawienie atmosfery redukującej w strefie spalania pierwotnego. Powietrze wtórne jest mieszane nad rusztem lub, korzystniej dla redukcji NO<sub>x</sub>, z separacją przestrzenną w strefie spalania wtórnego z gazami palnymi do wypalenia w kolejnej komorze spalania.

Ruszt spełnia funkcje transportu paliwa oraz zapalania i cyrkulacji w celu ujednolicenia złoża paliwowego i poprawy przepływu powietrza. Aby zapewnić jednolity dopływ powietrza pierwotnego do różnych stref rusztu, konieczne jest posiadanie możliwie najbardziej jednorodnego przydziału paliwa na ruszcie. Dlatego prawidłowa regulacja prędkości posuwu poszczególnych elementów rusztu ma kluczowe znaczenie dla wydajnej pracy w celu zapewnienia równomiernego, powolnego ruchu rusztu. Niejednorodne zajmowanie może prowadzić do żużlu, wirowania niespalonych cząstek i wysokiej zawartości popiołu lotnego. Wymaga to większej nadwyżki powietrza w celu osiągnięcia całkowitego spalania (smugi). Nadmierne częstotliwości ruchu elementów rusztu prowadzą do niespalonego węgla w popiele lub niewystarczającego obciążenia paliwa rusztu. Bariery światła podczerwonego rozmieszczone w różnych strefach rusztu służą do kontrolowania wysokości żaru i regulacji szybkości posuwu.



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**18 Zasada działania systemu wypalania rusztu paszowego.

Systemy wypalania rusztów nadają się do paliw o wysokiej zawartości popiołu, zmiennej grudkowatości i wysokiej zawartości wody. Część energii uwalnianej podczas spalania jest potrzebna do odparowania wody zawartej w paliwie. Osłona radiacyjna nad paliwem zapewnia wysoką temperaturę odgazowywania. W przypadku stosowania paliw o zawartości wody > 50 % piec musi mieć niechłodzony przewód spalinowy. Piece rusztowe są realizowane głównie zgodnie z zasadą przeciwprądu. Umożliwia to ukierunkowaną recyrkulację spalin. W przypadku paliw o dużej zawartości wody gorące gazy spalinowe są również doprowadzane z powrotem przez ruszt pokryty świeżym paliwem, dzięki czemu wstępne suszenie paliwa odbywa się w pierwszej strefie rusztu. W ten sposób można stosować paliwa o zawartości wody do 60 %. Ponadto na podstawie kierunku ruchu paliwa i gazów rozróżnia się dwa kolejne rodzaje geometrii komór spalania: współprądowe i średnioprądowe (rysunek 5.7).



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**19 Zasady budowy pieców rusztowych; prąd stały (po lewej), prąd średni (środek) i prąd przeciwny (po prawej).

Za pomocą wentylatorów powietrze do spalania pierwotnego jest dostarczane od dołu przez ruszt i złożo paliwa oraz powietrze wtórne w strefie po spalaniu. Dopływ powietrza w różnych punktach jest wspierany przez wentylator spalin, który zapewnia podciśnienie w całym układzie. Jednorodna grudkowatość zrębków drzewnych z niskim udziałem drobnych cząstek jest ważna dla jednolitego dopływu powietrza i niskoemisyjnego spalania. W instalacjach DH na biomase najczęściej występują pochyłe i poziome ruszty ruchome. Ruszt składa się z naprzemiennych stałych i ruchomych elementów rusztu. Paliwo jest transportowane poprzez okresowe przesuwanie ruchomych elementów rusztu w przód i w tył. Miesza to niespalone i spalone cząstki paliwa, odnawia powierzchnię złoża paliwowego i osiąga jednorodne pokrycie paliwa rusztu. Poziomy ruszt ruchomy ma pochyłe elementy rusztu. Ich ruch skutkuje bardzo jednorodnym pokryciem rusztu i szeroko zapobiega tworzeniu się żużla z powodu miejscowego przegrzania. Jedną z zalet w stosunku do pochyłego rusztu ruchomego jest bardziej kompaktowa konstrukcja.

W przypadku paliw o niskiej temperaturze topnienia popiołu i bardzo suchych paliw często konieczne jest chłodzenie rusztem (wodą lub powietrzem). Innym sposobem kontrolowania temperatury komory spalania lub temperatury złoża paliwa na ruszcie jest recyrkulacja spalin. Aby uniknąć tworzenia się żużla w złożu paliwa, należy rozważyć zastosowanie pierwotnej recyrkulacji spalin. W tym przypadku część bogatego w  $\text{CO}_2$  i ubogiego w tlen przepływu spalin jest podawana do złoża paliwowego wraz z powietrzem spalania. Ten stosunek mieszania jest określany przez pożądany substechiometryczny stosunek powietrza do spalania (niedobór powietrza). Przegrzaniu w komorze spalania, które powoduje powstawanie żużla i duże zużycie okładziny komory spalania, można zapobiec poprzez wtórną recyrkulację spalin. W tym procesie część bogatego w  $\text{CO}_2$  i ubogiego w tlen przepływu spalin jest wprowadzana do komory spalania oddzielnie lub razem z powietrzem wtórnym. W ten sposób temperatura złoża paliwa lub strefy wypalenia może zostać obniżona nawet o 200 K, co zmniejsza konserwację i serwisowanie.

### 5.3.3 Spalanie w złożu fluidalnym

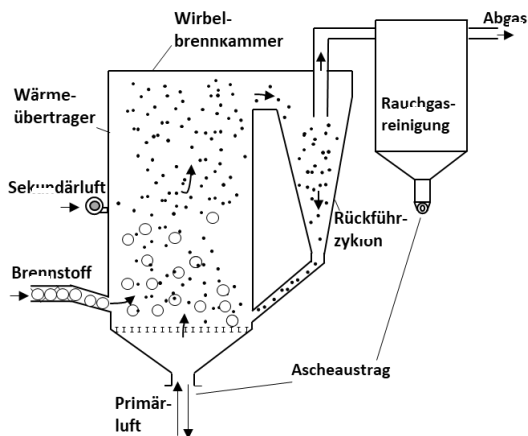
W układzie spalania ze złożem fluidalnym nie ma stałego złoża paliwa. Paliwo, wraz z gorącym materiałem

złożowym, granulowanym materiałem obojętnym, zwykle piaskiem i popiołem, jest fluidyzowane przez szybko napływające powietrze pierwotne (zwykle ze składnikiem gazu recyrkulacyjnego). Cząstki są zatem w stanie fluidyzowanym. Materiał złoża spełnia funkcję wymiany ciepła. Pochłania uwolnione ciepło spalania i uwalnia je ponownie przez całe złożo fluidalne. Dobre mieszanie i bardzo jednorodny rozkład temperatury stwarzają dobre warunki do termicznej konwersji paliwa. Ze względu na duże prędkości powietrza w złożu fluidalnym występuje większy spadek ciśnienia, co wymaga wyższych mocy zastosowanych dmuchaw (około 100 mbar więcej w porównaniu do wypalania rusztu). Podczas rozruchu pieca materiał złoża musi najpierw zostać podgrzany do około 600 °C, zwykle za pomocą palnika rozruchowego opalanego gazem lub olejem, zanim paliwo będzie można dodać do komory spalania.

Piece fluidalne nadają się do paliw o różnej zawartości wody i popiołu. Temperatura spalania musi być utrzymywana poniżej zależnej od paliwa temperatury zmękczenia popiołu, ponieważ tendencja do żużlowania, korozji i aglomeracji materiału złoża wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Aby oddzielić siarkę od chloru, należy wprowadzić dodatki (np. wapień) bezpośrednio do komory spalania. W ten sposób można uniknąć uwalniania zanieczyszczeń, takich jak  $\text{SO}_x$  i związki halogenowe, bez większych nakładów na sprzęt. Ze względu na stosunkowo niskie temperatury spalania praktycznie nie powstaje termiczny  $\text{NO}_x$ . Powstawanie  $\text{NO}_x$  z azotu zawartego w paliwie może być kontrolowane przez niewielki nadmiar powietrza (inscenizacja powietrza) [50]. Systemy spalania w złożu fluidalnym są zatem dobrze przystosowane do energetycznego wykorzystania pozostałości biogeny.

Rozróżnia się piece stacjonarne i cyrkulacyjne ze złożem fluidalnym. Przy prędkościach gazu od 1 do 2 m/s materiał złoża tworzy stacjonarne złożo fluidalne. Powyżej tej warstwy paliwo jest wprowadzane do komory spalania, spada na złożo fluidalne i tam odgazowuje. Całkowite utlenianie gazów palnych uwalnianych w procesie odbywa się w wolnej przestrzeni powyżej z dodatkami powietrza wtórnego. Nie jest wymagane specjalne przygotowanie paliwa; wystarczą rozmiary ziaren < 10 mm. Ze względu na wymiary złoża technologia ta nadaje się do instalacji o mocy do 80 MW. Przy większych prędkościach gazu (od 5 do 10 m/s) materiał złoża jest coraz częściej odprowadzany ze złoża fluidalnego. Po wyjściu z komory spalania jest on ponownie oddzielany i recyrkulowany (cyrkulacyjne złożo fluidalne, rysunek 5.8). W porównaniu ze stacjonarnym złożem fluidalnym technologia ta ma tę zaletę, że substancje stałe są intensywniej mieszane po dodaniu dodatków, co zmniejsza zużycie dodatków.

Ze względów ekonomicznych w szczególności cyrkulacyjne złożo fluidalne jest wykorzystywane wyłącznie od elektrowni o mocy 30 MW wzwyż.



Rysunek 5.9. Zasada działania cyrkulacyjnego układu spalania w złożu fluidalnym.

### 5.3.4 Wypalanie pyłu

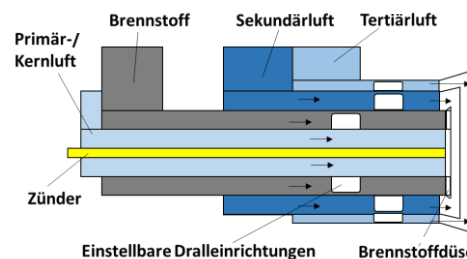
Paliwa o zawartości pyłu > 50 %, zwykle produkowane w przemyśle przetwórstwa drewna, nie nadają się już do stosowania w systemie wypalania podsuwem lub rusztu. Wymagałoby to przetwarzania przez brykietowanie lub granulowanie (rozdział 4.5). Paliwo może być również stosowane bezpośrednio w systemie odpalania pyłu. Ta technologia wypalania może być łączona z innymi (np. rusztem lub wypalaniem ze złożem fluidalnym) i umożliwia stopniowanie paliwa (rozdział 5.6).

W układach wtryskowych lub wypalanych pyłem zapyłone paliwo (maksymalna wielkość cząstek 10 do 20 mm, zawartość wody < 20 %) jest pneumatycznie wprowadzane do komory spalania. W tym procesie przewoźnik lotniczy działa jako powietrze pierwotne. Cząstki paliwa zaczynają odgazowywać natychmiast po wejściu do pieca. Spalanie składników lotnych odbywa się poprzez dodanie powietrza wtórnego i trzeciorzędowego.

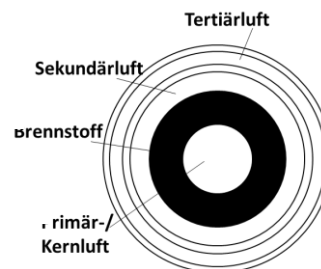
System odpalania pyłu jest często projektowany w postaci palnika wirowego (rysunek 5.9). Tutaj pierwotne, wtórne i trzeciorzędowe strumienie powietrza są wdmuchiwane koncentrycznie przez pierścieniowe dysze do komory spalania. Pierwotny strumień powietrza i dysza paliwowa znajdują się w środku płomienia; powstaje tu pierwotna strefa spalania. W kierunku zewnętrznym przemieszczanie powietrza osiąga się dzięki szybciej płynącym strumieniom powietrza wtórnego i trzeciorzędowego, które zasysają spaliny i utleniają je w miarę ich postępu (rysunek 5.10).

Dzięki korzystnemu mieszanii paliwa i powietrza oraz niewielkim rozmiarom ziaren cząstek paliwa uzyskuje się wysoką jakość wypalania przy niskiej emisji CO (całkowite spalanie). Dopływ paliwa jest regulowany w sposób ciągły do częściowego obciążenia około 25 % obciążenia nominalnego bez znaczącego wpływu na charakterystykę spalania. Kolejną zaletą tej technologii są niskie wartości NO<sub>x</sub> ze względu na przemieszczanie powietrza i niski wymagany nadmiar powietrza. Ze

względem na wysoką temperaturę spalania, a tym samym dużą gęstość energii na ściankach komory spalania, należy przewidzieć możliwość chłodzenia wodą lub recyrkulacją spalin. Wysokie obciążenie termiczne i erozja mogą prowadzić do szybkiego zużycia szamotu ([51], [52]).



Rysunek 5.10. Przekrój przez palnik wirowy.



Rysunek 5.11. Zasada przemieszczania powietrza w płomieniu palnika wirowego (widok z przodu dysz powietrznych i paliwowych).

## 5.4 Transfer ciepła w sekcji kotłowej

Ciepło uwalniane w komorze spalania jest przekazywane przez wymiennik ciepła z gorących spalin do cyrkulacyjnego medium wymiany ciepła, zwykle wody ciekłej lub parowej, w elektrociepłowniach lub w przypadku ciepła procesowego również oleju termicznego. Wysoka wymiana ciepła ma kluczowe znaczenie dla wysokiej sprawności kotła (rozdział 20.11). Aby to zapewnić, osady eksploatacyjne na powierzchniach wymiennika ciepła muszą być usuwane w regularnych odstępach czasu (patrz rozdział 5.5).

W zależności od odpowiednich wymagań stosuje się różne rodzaje konstrukcji, zasady działania (współprądowe, przeciwpłądowe lub krzyżowe) oraz nadbudówki (poziome lub pionowe). W kotłach na biomasę szeroko stosowany jest kocioł z rurą ogniową (przepływ spalin wewnątrz rury) i kocioł wodoprzewodowy (przepływ spalin na zewnątrz rury). Jeśli czynnik wymiany ciepła znajduje się wewnątrz rury wymiennika ciepła, która ma kontakt z gorącymi spalinami na zewnątrz, nazywa się to kotłem wodnym. Kocioł wodny jest dominującą konstrukcją do wytwarzania pary. W kotle z rurą ogniową gorące spaliny są przepuszczane przez rury, wokół których przepływa

medium przenoszące ciepło. Z wodą jako medium wymiany ciepła, ten rodzaj konstrukcji jest również znany jako kocioł płaszczowy i jest używany głównie do produkcji ciepłej wody. Rury ogniowe zwykle zawierają tak zwane turbulatory. Te spiralne elementy wirują gazy spalinowe (zwiększają turbulencje przepływu), poprawiając w ten sposób transfer ciepła do rury wymiennika ciepła. Turbulatory służą również jako urządzenia czyszczące (rozdział 5.5).

Spadek temperatury poniżej punktu rosy spalin powoduje kondensację potencjalnie korozyjnych składników gazu. Ważna jest tu zarówno zawartość wody, jak i zawartość siarki i chloru w paliwie. Niezależnie od zawartości siarki lub chloru, ciśnienie parcyjalne pary wodnej, a tym samym punkt rosy w spalinach wzrasta wraz ze wzrostem zawartości wody w paliwie. Punkt rosy kwasu w spalinach wzrasta zarówno wraz ze wzrostem zawartości siarki i chloru, jak i wraz ze wzrostem zawartości pary wodnej, w zależności od zawartości wody w paliwie i nadmiaru powietrza. W przypadku paliw o podwyższonej zawartości siarki lub chloru (np. drewno odpadowe, drewno z konserwacji krajobrazu, zwłaszcza z nasypów drogowych, drewno reszkowe z obróbki drewna) punkt rosy kwasu wzrasta znacznie powyżej punktu rosy pary wodnej do  $> 100^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$  [53].

Jeśli gazy spalinowe są chłodzone poniżej odpowiednich punktów rosy kwasowej, powstaje kwas siarkowy lub solny, który jest odpowiedzialny za uszkodzenia korozyjne (korozja powierzchniowa, korozja wżerowa). Jednak czynnikiem decydującym o uniknięciu problemów z korozją jest nie tylko temperatura spalin, ale także temperatura powierzchni, z którymi gazy spalinowe wchodzi w kontakt. Aby zminimalizować problemy z korozją na powierzchniach wymiennika ciepła w kotle, producenci kotłów zalecają minimalną temperaturę wody wlotowej do kotła. Im wyższa zawartość wody, tym wyższa powinna być minimalna temperatura na wlocie. Minimalna temperatura powrotu kotła jest zapewniona przez odpowiednie zmieszanie przepływu do powrotu (zabezpieczenie temperatury powrotu kotła) przez hydrauliczny obwód domieszkujący w obwodzie kotła (sterowany zawór 3-drogowy) (patrz rozdział 7.2). Jednocześnie należy przestrzegać minimalnych i maksymalnych natężeń przepływu określonych przez producenta kotła, aby zapewnić pełny i równomierny przepływ oraz uniknąć miejscowego przegrzania.

W zakładach stosujących asortymenty paliw o krytycznej zawartości siarki i chloru może być konieczne podniesienie temperatury wlotu kotła do  $> 80^{\circ}\text{C}$  do  $110^{\circ}\text{C}$ , w zależności od zawartości siarki, chloru i wody w paliwie, tak aby gazy odlotowe w sekcji kotła nie były chłodzone lokalnie poniżej kwaśnego punktu rosy, dzięki czemu można było uniknąć uszkodzeń korozyjnych. W elementach systemu, których temperatury powierzchniowe są niższe od temperatur kwaśnego punktu rosy spalin (np. ekonomizer), powierzchnie wystawione na działanie spalin muszą być wykonane z materiału odpornego na korozję (stal nierdzewna). Chłodzone powierzchnie elektrod separatora (płyt lub

detek) separatorów elektrocząsteczkowych są również podatne na korozję podczas pracy kotła na biomasę przy niskim obciążeniu.

Systemy wytwarzania ciepła i kotłów podlegają ogólnym zasadom bezpieczeństwa i higieny pracy, kodeksom postępowania i normom projektowym, instalacyjnym i eksploatacyjnym oraz wymagają oficjalnych pozwoleń, odpowiednich homologacji typu, certyfikatów i świadectw badań odbiorczych oraz muszą być wyposażone w odpowiednie urządzenia zabezpieczające (np. ogranicznik temperatury bezpieczeństwa, ogranicznik ciśnienia bezpieczeństwa, urządzenie zabezpieczające do odprowadzania termicznego, zawór bezpieczeństwa, urządzenia do pracy bez stałego nadzoru, zasilania awaryjnego itp.). Należy zapewnić, aby niedopuszczalny wzrost temperatury lub ciśnienia w kotle lub w układzie hydraulicznym wytwarzania ciepła był zapobieżony w jakimkolwiek stanie roboczym, a także w przypadku zaniku zasilania. W tym celu wyraźnie odsyła się do obowiązujących krajowych przepisów prawnych (zob. również rozdział 19).

W przypadku instalacji kotła należy zapewnić, że urządzenia obsługujące są dostępne i że dostępna jest przestrzeń wymagana do pracy, a zwłaszcza do konserwacji (czyszczenia).

## 5.5 Automatyczne czyszczenie rur kotła

Podczas pracy na rurach kotła dochodzi do zanieczyszczenia, które wchodzi w kontakt z gorącymi spalinami. Wraz ze wzrostem zabrudzenia wymiennika ciepła zmniejsza się wymiana ciepła i wzrasta temperatura spalin, co ma negatywny wpływ na wydajność systemu. Zapobiega się temu dzięki regularnemu czyszczeniu rur kotła. Automatyczne systemy czyszczące usuwają osady, na przykład za pomocą pneumatycznych impulsów sprężonego powietrza lub procesów mechanicznych lub czyszczenia strumieniowo-ściernego falami ciśnienia. Jednak czyszczenie strumieniowo-ściernie jest stosowane tylko w przypadku specyficznych dla instalacji wymagań w dużym zakresie wydajności.

W mniejszych systemach wypalania rury spalinowe można czyścić ręcznie za pomocą szczotek przez otwarte drzwi komory tokarskiej, jeśli odpowiednia jest konstrukcja. Inną możliwością usuwania osadów ze ścian wewnętrznych rur kotła jest przesuwanie stalowych spiral (turbulatorów) w górę i w dół w rurach kotła (ręcznie lub elektrycznie).

W przypadku systemów wypalania  $> 200\text{ kW}$  przy dużej liczbie godzin pracy przy pełnym obciążeniu stosuje się pneumatyczny system czyszczenia pod ciśnieniem (zob. rysunek 5.11). W regularnych odstępach czasu osady na wymienniku ciepła są usuwane za pomocą impulsów sprężonego powietrza. Może to zwiększyć roczną wydajność systemu wypalania o 3 do 4% i ułatwić czyszczenie. Czyszczenie ręczne jest wymagane ponownie



dopiero po > 2 500 godzin pracy przy pełnym obciążeniu (interwał serwisowy).



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..23** Automatyczne czyszczenie rur kotła (źródło: Schmid energy solutions).

## 5.6 Emisje

Aby zapewnić spalanie przy możliwie najniższych emisjach, decydujące znaczenie ma konstrukcja i sterowanie systemem wypalania. Celem jest osiągnięcie jak najbardziej kompletnego spalania zużytego paliwa. W procesie tym węgiel zawarty w paliwie jest utleniany tlenem z nawiewanego powietrza. Głównymi produktami tej reakcji są dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) i para wodna ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (tabela 5.2).

Produktem ubocznym całkowitego spalania są tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ , w technicznych procesach spalania głównie  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$ ). Mają one drażniący wpływ na drogi oddechowe. Promują również zakwaszenie ekosystemu i tworzenie ozonu w warstwie przyziemnej i wtórnych cząstek stałych. Zasadniczo można dokonać rozróżnienia między trzema ścieżkami powstawania  $\text{NO}_x$ . Termiczny  $\text{NO}_x$  powstaje w temperaturach > 1 300 °C w wyniku reakcji tlenu atmosferycznego z azotem atmosferycznym. Prompt  $\text{NO}_x$  powstaje w stosunkowo małych ilościach głównie podczas spalania paliw kopalnych z powodu obecności rodników węglowodorowych. Formacja wzrasta wraz z temperaturą. Zwykły zakres temperatur spalania biomasy wynosi od 800 °C do 1 200 °C. Dzięki tym niskim temperaturom  $\text{NO}_x$  powstaje podczas spalania drewna praktycznie wyłącznie ze związków azotu zawartych w paliwie. Powstawanie  $\text{NO}_x$  można znacznie ograniczyć poprzez optymalizację geometrii i sterowania komorą spalania (stopniowanie paliwa lub powietrza; zob. rozdział 5.3).

Tablę **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..14** Produkty spalania biomasy

Źródło / mechanizm powstania	Produkt
Spalania całkowite	$\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$
Spalanie niecałkowite	$\text{CO}$ , sadza, niespalony $\text{C}_x\text{H}_y$

Produkty uboczne spalania całkowitego

Zanieczyszczenia paliwa

$\text{NO}_x$

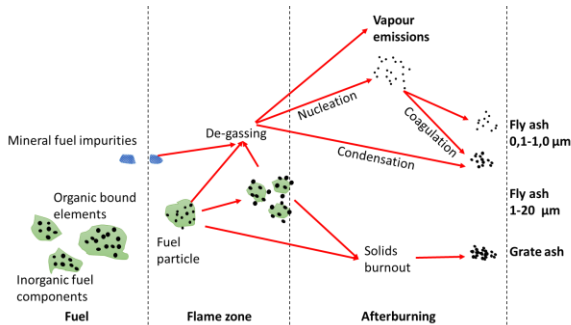
$\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ , popiół i element śladowe

W przypadku niepełnego spalania dochodzi do emisji tlenku węgla ( $\text{CO}$ ), niespalonych węglowodorów ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), smoły, sadzy, amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) i podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Emisje pyłów są podzielone na dwie frakcje w oparciu o różne rozmiary cząstek: Gruboziarnisty popiół lotny (> 1,0  $\mu\text{m}$ ) odnosi się do cząstek, które są porywane ze złoża paliwa. Drobne cząstki (0,01 do 1,0  $\mu\text{m}$ ) są wytwarzane głównie przez składniki nieorganiczne w paliwie, które odparowują podczas spalania. Kiedy spaliny ostygną, ponownie skraplają się i tworzą sole. Co powoduje wytwarzanie cząstek o wielkości 0,1  $\mu\text{m}$ . W przypadku nieobrobionego drewna o niskiej zawartości kory powstają głównie związki potasu (np. siarczan potasu  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Jeśli nieorganiczne składniki paliwa dostają się do strumienia spalin bezpośrednio jako składniki stałe, działają jak jądra krystalizacyjne podczas chłodzenia i mogą rosnąć. W procesie powstają cząstki w zakresie wielkości około 1  $\mu\text{m}$ . Są to również sole, ale głównie związki wapnia (np. tlenek wapnia  $\text{CaO}$ ). Ta ścieżka powstawania jest szczególnie ważna w przypadku paliw o wysokiej zawartości kory (wyższa zawartość  $\text{Ca}$ ). Powstawanie emisji pyłu z cząstek węgla ma zwykle drugorzędne znaczenie, jeśli temperatura spalania przekracza 600 °C i osiąga się całkowite spalanie.

Inne istotne emisje dotyczą związków siarki (dwutlenek siarki  $\text{SO}_2$ , trójtlenek siarki  $\text{SO}_3$ , siarkowodor  $\text{H}_2\text{S}$ ), kwas solny ( $\text{HCl}$ ) oraz dioksyny i furany (PCDD/F). Ze względu na niską zawartość siarki i chloru w nieobrobionym drewnie oraz stosunkowo wysoki stopień włączenia chloru i siarki do popiołu, emisje  $\text{SO}_2$  i  $\text{HCl}$  są zwykle niskie. Dioksyny i furany powstają w zakresie temperatur od 200 °C do 500 °C na powierzchni niespalonych cząstek popiołu lotnego (synteza de novo). Emisje PCDD/F zwykle nie stanowią problemu, gdy naturalne drewno jest spalane w najnowocześniejszych zakładach. Można je znacznie zmniejszyć poprzez całkowite spalanie, redukcję wirowania cząstek ze złoża żaru i skuteczną separację pyłu. Należy jednak unikać długiego czasu przebywania w zakresie temperatur syntezy de novo.

Podczas spalania z matrycy paliwowej uwalniane są składniki nieorganiczne, a tym samym również pierwiastki śladowe (np. metale ciężkie). Zarówno podczas spalania, jak i w drodze do komina, pierwiastki zachowują się inaczej, poszczególne pierwiastki śladowe wykazują różną lotność. Ich indywidualne temperatury parowania powodują, że odparowują i ponownie skraplają się w różnych punktach procesu. Pierwiastki o wysokiej temperaturze wrzenia ( $\text{Al}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Si}$ ) są mniej lotne i dlatego pozostają w większości w popiele dolnym. Jeśli temperatura wrzenia jest nieco niższa ( $\text{As}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Zn}$ ), pierwiastki odparowują w trakcie spalania i skraplają się, absorbują lub adsorbują na gruboziarnistych lub drobnych popiołach lotnych, gdy

spaliny stygną i w ten sposób są oddzielane od spalin. Pierwiastki, które reagują z tlenem lub mają bardzo niską temperaturę wrzenia, przechodzą najpierw do spalin (N, S, Hg). Są one traktowane oddzielnie w systemie oczyszczania spalin (denitryfikacja celowana, odsiarczanie) (rysunek 5.12).



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..24** Zachowanie pierwiastków śladowych w paliwie podczas i po spalaniu.

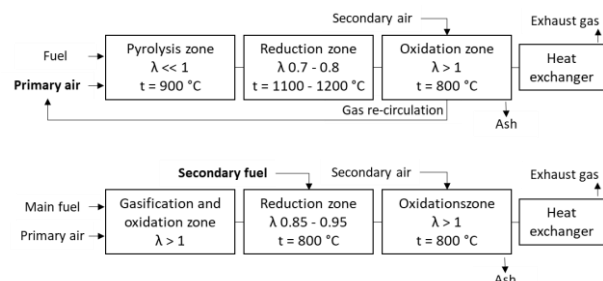
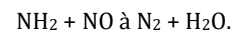
## 5.7 Podstawowe środki redukcji emisji

Podstawowe środki mające na celu zmniejszenie emisji z pieców obejmują zarówno środki projektowe, jak i odpowiednią kontrolę parametrów pracy. Optymalizując wymienione powyżej etapy procesu spalania, można zmniejszyć emisję z niepełnego spalania. Decydujące w tym kontekście jest stabilne, wysokopaliwowe złożo, w którym paliwo i powietrze są dobrze zmieszane z gazami spalinyowymi w wysokich zakresach temperatur ( $> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). W tym kontekście stosunek powietrza nawiewanego do wymaganego (nadmiar liczby powietrza  $\lambda$ ) odgrywa istotną rolę. Teoretycznie nadmiar liczby powietrza  $\lambda = 1$  byłby optymalny do osiągnięcia (stechiometrycznie) całkowitego spalania. W praktyce całkowita liczba nadmiaru powietrza od 1,3 do 1,8 jest stosowana w przypadku dużych systemów i od 1,5 do 2,0 w przypadku małych i średnich systemów, ponieważ umożliwia optymalne mieszanie paliwa, spalin i powietrza nawiewanego. Nadmiar liczby powietrza  $\lambda < 1$  prowadzi do niepełnego spalania, a tylko część energii zgromadzonej w paliwie jest uwalniana jako energia cieplna. Jeśli do procesu spalania dostarczana jest zbyt duża ilość powietrza ( $\lambda \gg 1$ ), następuje chłodzenie, które prowadzi do niepełnego spalania. Optymalizację nadmiaru powietrza można osiągnąć poprzez geometryczne rozdzielanie spalania na strefę spalania pierwotnego i wtórnego. W strefie spalania pierwotnego suszenie i piroliza/odgazowywanie paliwa odbywa się w warunkach substechiometrycznych ( $\lambda < 1$ ), jak również utlenianie węgla drzewnego. W strefie spalania wtórnego całkowite utlenianie gazów palnych odbywa się poprzez dostarczanie powietrza wtórnego ( $\lambda > 1$ ) [54]. W nowoczesnych piecach z dobrze zaprojektowanymi systemami sterowania można skutecznie zmniejszyć stężenie niespalonych składników spalin. Pierwotna i wtórna recyrkulacja spalin (zob. rozdział 5.3.2) są

również wykorzystywane do optymalizacji warunków spalania oraz jako podstawowe środki mające na celu zmniejszenie emisji.

Odpowiedni dopływ powietrza do instalacji ma również ogromne znaczenie dla zmniejszenia emisji pyłów z pieców ze stałym złożem. Złożo paliwa powinno być tak ciche i stabilne, jak to tylko możliwe, z przepływającym przez nie równomiernie powietrzem pierwotnym, tak aby żadne cząstki nie były mieszane i porywane. Prowadzi to jednak do niskiego mieszania się gazów palnych i powietrza w strefie spalania pierwotnego. Dlatego w strefie spalania wtórnego nacisk kładziony jest na optymalne mieszanie w celu utrzymania niezbędnego całkowitego nadmiaru powietrza na niskim poziomie i zwiększenia wydajności instalacji. Można to osiągnąć za pomocą wąskich przekrojów kanałów, w których gaz palny osiąga dużą prędkość. Powietrze wtórne jest również wprowadzane z dużą prędkością za pomocą dysz rozłożonych. Inne możliwości obejmują wirową lub cyklonową komorę spalania wtórnego. Ogólnie rzecz biorąc, całkowity nadmiar powietrza powinien być zminimalizowany, ale wystarczająco wysoki, aby umożliwić całkowite wypalenie.

Jako podstawowe środki redukcji tlenków azotu dostępne są procesy stopniowania powietrza i paliwa ([55], [56], [57], [58]) (Rysunek 5.13). W obu procesach powstaje strefa redukcji, w której związki azotu powstałe podczas rozkładu paliwa reagują ze sobą pod niedoborem tlenu, tworząc stabilny, nieszkodliwy azot cząsteczkowy, jak w następującej reakcji:



Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..25** Zasada stopniowania powietrza (na górze) i na paliwie (na dole) w celu redukcji NOx.

Żadnej z tych metod nie można zmodernizować. Stopniowanie powietrza stosuje się w nowych instalacjach  $> 200\text{ kW}$ , a w przypadku mocy paliwa od około  $5000\text{ kW}$ . Potencjał redukcji NOx procesów wynosi około 30–50 % w przypadku paliw o niskiej zawartości azotu i 50–70 % w przypadku paliw o wyższej zawartości azotu ([55], [56]). Potencjał redukcji stopniowania paliwa jest nieco wyższy przy nieco szerszym zakresie roboczym siły ognia [57].

Skuteczna redukcja związków azotu do  $\text{N}_2$  przez stopniowanie w powietrzu ma miejsce, gdy gazy spalinyowe są wystarczająco długie w strefie redukcji (min. 0,3 s,  $\lambda = 0,7 - 0,8$ ) w wysokich temperaturach ( $1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$



do 1 200 °C) ([55], [57]). Aby to osiągnąć, technologia instalacji musi być zaprojektowana do stopniowego spalania, a wszystkie parametry robocze muszą być precyzyjnie kontrolowane. Aby zapobiec wstępnemu mieszanemu się powietrza wtórnego do strefy spalania pierwotnego, wymagane jest konstruktywne oddzielenie strefy spalania pierwotnego i wtórnego. Stosowanie paliw bogatych w popiół lub tworzących żużel ma kluczowe znaczenie ze względu na wysokie temperatury. Dla porównania, stopniowanie paliwa wymaga nieco mniej precyzyjnego przestrzegania warunków reakcji. Tutaj w drugiej komorze spalania dodaje się paliwo wtórne, które szybko i dobrze miesza się z gorącymi gazami spalinowymi (około 800 °C). Odpowiedni jest na przykład pył drzewny. Począwszy od niskiego niedoboru powietrza pierwotnego ( $\lambda = 0,85$  do  $0,95$ ), dodatkowe paliwo zapewnia warunki redukujące. W obu przypadkach całkowite spalanie odbywa się w dalszej strefie utleniania z nadmiarem powietrza.

## 5.8 Dodatkowe środki redukcji emisji

### 5.8.1 Odpylanie

Cyklony służą do oddzielania gruboziarnistego pyłu. Multicyklon jest używany do przepływów o dużej objętości. Multicyklon to równoległe połączenie kilku pojedynczych cyklonów, które są połączone w jednej obudowie. Cyklon jest separatorem odśrodkowym. Gaz obciążony cząstkami przepływa stycznie (rysunek 5.14 lub osiowo rysunek 5.15) do cylindrycznej komory cyklonowej, gdzie jest ustawiany w przepływ obrotowy. W tym procesie cząstki popiołu są wyrzucane z przepływu na ścianę powłoki cyklonu, a stamtąd oddzielane w dół w kierunku zrzutu pyłu. Oczyszczony gaz opuszcza cyklon przez rurę zanurzeniową.

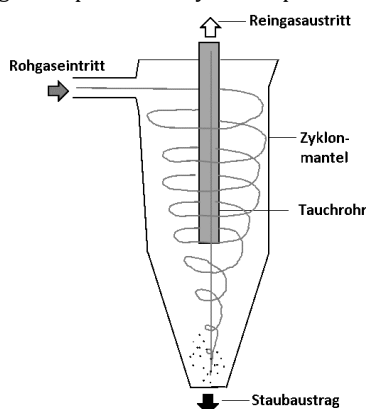
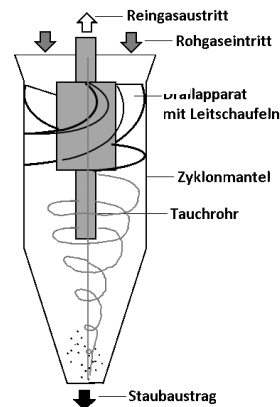


Figure **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**..26 Section through a single cyclone (tangential separator).

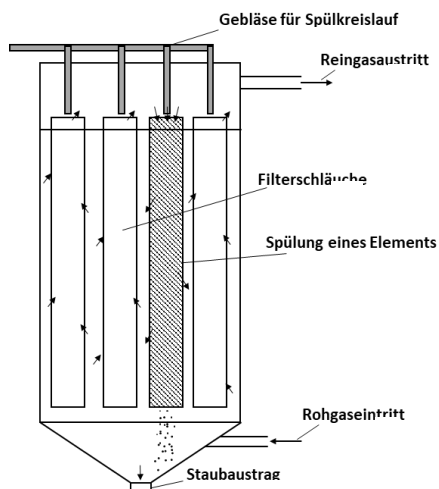


Wykres **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**..27 Przekrój przez pojedynczy cyklon (separator osiowy).

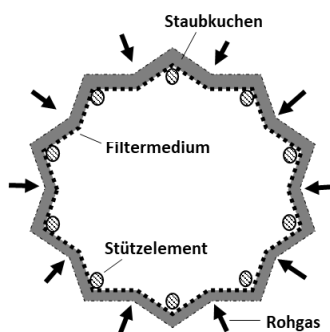
Efekt separacji cyklonów w obiektach energetycznego spalania drewna jest ograniczony do gruboziarnistych cząstek popiołu  $> 10 \mu\text{m}$ . Z reguły osiąga się wartości czystego gazu 120 - 200  $\text{mg}/\text{m}^3$  (przy 11% obj.  $\text{O}_2$ ) [59]. Skuteczność separacji zależy od prędkości obwodowej przepływu obrotowego i geometrycznej konstrukcji cyklonu. Im wyższa prędkość obwodowa, tym mniejsze cząstki, które można oddzielić. Jednak wraz ze wzrostem prędkości zwiększa się również utrata ciśnienia. Z drugiej strony, przy zmniejszonej szybkości wypalania skuteczność oddzielania zmniejsza się ze względu na zmniejszoną prędkość spalin. Ponadto cząstki  $> 10 \mu\text{m}$  nie zawsze mogą być niezawodnie oddzielone, jeśli mają bardzo niską gęstość, a zatem siła odśrodkowa jest zbyt niska.

Ze względu na stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie na powierzchnię oraz niskie koszty inwestycyjne i operacyjne, cyklon jest najczęściej stosowaną metodą odpylania w systemach ogrzewania drewnem. Jednak samo jego użycie zwykle nie jest wystarczające do przestrzegania dopuszczalnej wartości pyłu. Dlatego cyklony są używane do wstępnej separacji pyłu gruboziarnistego w dalszych procesach separacji pyłu. Zmniejsza to obciążenie pyłem w dalszych jednostkach filtracyjnych, które mogą w ten sposób pracować wydajniej. W procesach oddzielania na mokro można zmniejszyć koszty zarządzania osadem i utylizacji.

W filtrze tkaninowym zapyłony surowy gaz jest zasysany z zewnątrz przez medium filtracyjne, które zwykle nakłada się na cylindryczną tkaninę nośną. Na medium filtracyjnym tworzy się placek filtracyjny, który jest okresowo czyszczony przez krótkie podmuchy sprężonego powietrza w przeciwnym kierunku do przepływu spalin (rysunek 5.16, rysunek 5.17).



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..28** Schemat filtra tkaninowego: Równoległe rozmieszczenie elementów worka filtracyjnego. Trzy elementy znajdują się w pozycji roboczej, czwarty element jest czyszczony na zasadzie przeciwprądu (czyszczenie sprężonym powietrzem).

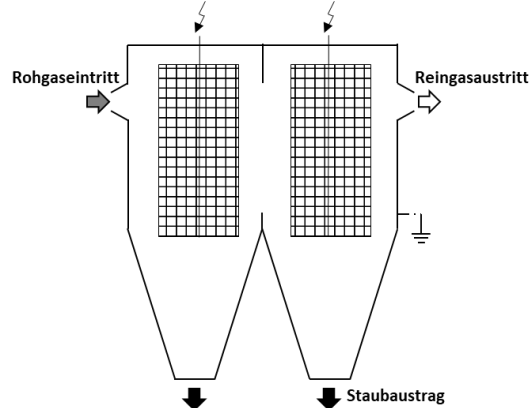


Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..29** Przekrój przez worek filtracyjny.

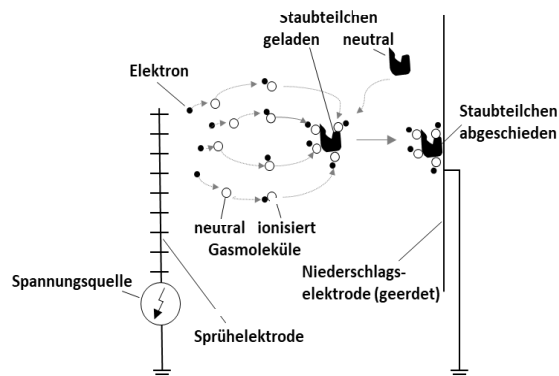
Powszechnymi mediami filtracyjnymi są filce igłowe, które są poddawane obróbce powierzchniowej w zależności od składu chemicznego i temperatury spalin (np. teflon, laminat PTFE). Ważnym czynnikiem w działaniu jest temperatura spalin, ponieważ kondensacja spalin może prowadzić do zatkania filtra i przedwczesnej wymiany mediów filtracyjnych. Zakres roboczy wynosi od 180 do 220 °C (maksymalna temperatura spalin 250 °C, minimalna temperatura spalin przy suchym paliwie > 140 °C). Wysoka zawartość pary wodnej w spalinach ma kluczowe znaczenie (np. przy wilgotnym paliwie lub przy częściowym/niskim obciążeniu). Ponadto konieczne jest oddzielenie cząstek iskry i żaru. Filtry tkaninowe o średniej inwestycji, ale stosunkowo wysokich kosztach eksploatacji są stosowane w zakresie mocy > 100 kW. Kompaktowe jednostki filtracyjne mają niskie zapotrzebowanie na miejsce. Filtry tkaninowe mają wysoką skuteczność oddzielania. Można osiągnąć wartości czystego gazu od 1 do 5 mg/m<sup>3</sup> (przy 11% obj. O<sub>2</sub>) [59]. Wycieki, takie jak pęknięcia linii włosów lub w tkaninie, drastycznie zmniejszają skuteczność oddzielania.

Poprzez dodanie absorbentów (dodatków) istnieje możliwość dodatkowego oddzielenia HCl, SO<sub>x</sub> i dioksyn (PCDD/F).

W elektrofiltrze separacja cząstek odbywa się za pomocą pola elektrycznego. Termin "elektrofiltr" jest również używany potocznie, ale ponieważ separacja nie odbywa się przez filtrację, termin elektrofiltr jest używany w następujący sposób (Rysunek 5.18). Elektrofiltr składa się z elektrody natryskowej podłączonej do źródła napięcia i uziemionej elektrody zbierającej. Cząsteczki gazu są jonizowane przez prąd elektronowy i przylegają do cząstek w surowym gazie. Tak naładowane cząstki przyczepiają się do elektrody zbierającej i tam osadzają się (rysunek 5.19). Elektrofiltry mogą być również stosowane przy niskich wydajnościach. Skuteczność oddzielania jest wysoka, przy zawartości czystego gazu od 5 do 50 mg/m<sup>3</sup> (przy 11% obj. O<sub>2</sub>), jednak przy dużych wymaganiach przestrzennych i wysokich kosztach inwestycyjnych, a także średnich kosztach operacyjnych.



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..30** Schemat elektrofiltra.



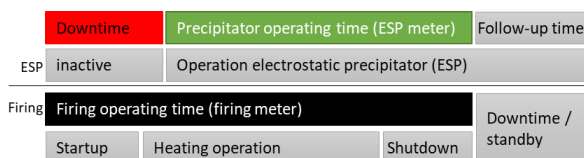
Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..31** Fizyczna zasada działania elektrofiltra.

Najczęściej stosowane są suche elektrofiltry. Konstrukcja jest zwykle elektrofiltrem płytowym lub rurowym. Elektrofiltry płytowe, które są okresowo czyszczone za pomocą urządzeń rapujących, są obecnie dostępne jako

uznana technologia dla > 200 kW. Zapotrzebowanie na miejsce jest wysokie, wysokość odpowiada w przybliżeniu kotłowi górnemu. Należy zapobiegać spadkom temperatury poniżej punktu rosy w spalinach, o ile włączone jest wysokie napięcie. Aby zmniejszyć ryzyko zwarć, izolatory są dodatkowo odchylane od przepływu gazu i często są dodatkowo ogrzewane. Pomimo tych środków wysokie napięcie można włączyć tylko wtedy, gdy temperatura spalin osiągnie na przykład 80 °C dla drewna naturalnego i 130 °C dla drewna odpadowego. Poniżej tej wartości granicznej określonej przez producenta separator elektryczny jest nieskuteczny. Dlatego podczas rozruchu i pracy przy minimalnym obciążeniu należy zapewnić jak najszybszą pracę w stanie ustalonym. W tym celu można zastosować obejście kotła po stronie wydechowej, aby szybko podnieść temperaturę spalin w separatorze elektrycznym. W jednostkach szeregowych separator elektryczny można zintegrować bezpośrednio z kotłem. Rurowe elektrofiltry oferowane są do systemów ogrzewania drewna o mocy do 5000 kW. Rozmieszczono w nich kilka rur filtracyjnych z wewnętrznymi elektrodami natryskowymi. Czyszczenie ścian rur wewnętrznych (= elektroda strącająca) odbywa się poprzez mechaniczne czyszczenie za pomocą szczotek. W porównaniu z elektrofiltrem płytowym zapotrzebowanie na miejsce jest zmniejszone, ale te same wymagania dotyczą spadku poniżej punktu rosy.

Istnieją również mokre elektrofiltry stosowane w połączeniu z kondensacją spalin (zob. rozdział 13.7.2.3). Aby para wodna w spalinach mogła się skraplać, wymagana jest maksymalna temperatura powrotu < 45 °C (jeszcze niższa w przypadku suchego paliwa). Podczas kondensacji pary wodnej naładowane cząstki pyłu są wykorzystywane jako jądra kondensacji i, włączone do kropelek wody, są oddzielane jako osad kondensatu. Stopień separacji zwiększa zawartość wody kondensacyjnej, a zapotrzebowanie na wodę zewnętrzną jest ograniczone do minimum. Oczyszczanie osadów i uzdatnianie wody musi być nadal brane pod uwagę.

W ramach systemu QM dla instalacji ciepłowniczych opalanych biomasą należy określić i sprawdzić minimalną roczną dostępność odpylacza w trakcie optymalizacji operacyjnej (etap 5), ponieważ elektrofiltr powinien być aktywny we wszystkich fazach z odpowiednimi emisjami pyłów (rysunek 5.20).



Rysunek **Errorre. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..32** Typowy cykl pracy pieca i elektrofiltra (patrz FAQ 38).

Rozruch, ogrzewanie i wyłączenie są połączone w jedną fazę roboczą; odpowiadają one czasowi pracy wypalania. Czas pracy separatora może być liczony tylko wtedy, gdy separator elektryczny pracuje w tym samym czasie co wypalanie (zielony). Jeśli separator elektryczny ma

opóźnienie lub awarię włączenia, występuje przestój (czerwony). Jeżeli separator elektryczny pracuje dłużej niż układ wypalania, jest to czas pracy, którego nie wolno liczyć jako czasu pracy. Podczas wyłączenia/czuwania układu wypalania emisja pyłu jest znacznie niższa niż podczas pracy systemu wypalania. Dzięki czasowi monitorowania elektrofiltra emisja pyłów może jednak zostać jeszcze bardziej zmniejszona. Dostępność elektrofiltra jest zwykle określana w ciągu jednego roku i jest definiowana jako stosunek skumulowanego czasu pracy filtra (zielony) do skumulowanego czasu pracy pieca (czarny).

$$\text{Availability [\%]} = \frac{100 * \text{Precipitator operating time}}{\text{Furnace operating time}}$$

Zarówno w przypadku elektrofiltrów, jak i filtrów tkaninowych minimalna temperatura określona przez producenta, która zależy od paliwa, musi zostać osiągnięta tak szybko, jak to możliwe podczas rozruchu i należy unikać spadku temperatury podczas pracy przy minimalnym obciążeniu. Należy również przestrzegać maksymalnej dopuszczalnej temperatury na wlocie do separatora/filtra. Duży wpływ na to ma konfiguracja i tryb działania systemu. Podczas gdy na przykład zakłady przetwórstwa drewna i spalarnie odpadów drzewnych często działają w trybie obciążenia pasmowego, mono lub dwubiuletne instalacje ciepłownicze opalane biomasą o coraz większym udziale pracy przy niskim obciążeniu znajdują zastosowanie w zaopatrzeniu w ciepło budynków mieszkalnych.

- W systemach z dwoma kotłami na biomasę nie zaleca się rozwiązania z tylko jednym separatorem cząstek i jednym kominem. Wyposażenie każdego kotła we własny separator cząstek i komin jest droższe, ale przynosi korzyści ze względu na czyste linie kotła (brak wpływu poprzecznego na stronę spalin, optymalny przekrój kominu, mniej problemów w pracy z częściowym obciążeniem itp.).
- Przy temperaturze spalin > 120 °C należy sprawdzić, czy wymiennik ciepła spalin (ekonomizer) powinien być zainstalowany przed czy za elektrofiltrem lub filtrem tkaninowym. Przy niższych temperaturach spalin wymiennik ciepła powinien być zawsze instalowany za elektrofiltrem, aby uniknąć kondensacji składników spalin w elektrofiltrze.
- Ważne jest, aby powierzchnie wymiany ciepła w skraplającym się wymienniku ciepła spalin były zawsze mokre po stronie spalin. Jest to jedyny sposób, aby zapobiec niepożądanym osadom, które mogą gromadzić się w strefach, które zmieniają się między mokrymi i suchymi.
- W koncepcji optymalizacji operacyjnej należy zawsze jednoznacznie określić, że "separator cząstek w działaniu" (tj. włączone wysokie napięcie lub zamknięty obejście lub zatłoczenie wody do mycia) jest rejestrowany podczas automatycznego rejestrowania danych, a nie tylko sygnału zwalniającego.

## 5.8.2 Denitryfikacja

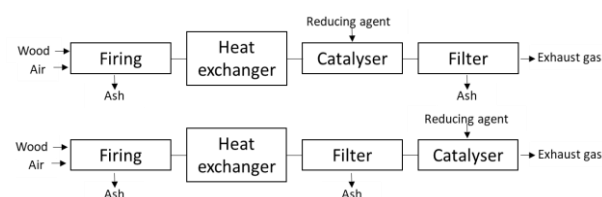
W przypadku paliw bogatych w azot, takich jak odpady drzewne, pozostałości płyt wiórowych, nieprzetworzone drewno liściaste lub drewno iglaste o wysokiej zawartości kory, należy zastosować środki wtórne w celu zmniejszenia  $\text{NO}_x$  w celu spełnienia określonych limitów emisji. Zakres stosowania wyjaśniono bardziej szczegółowo w rozdziale 13.9.2. Środki denitryfikacji są trudne lub nawet niemożliwe do modernizacji. Ich stosowanie musi być zatem brane pod uwagę i, jeśli to konieczne, planowane od samego początku przy określaniu technologii wypalania i zasięgu paliwa.

W procesie SNCR (selektywna redukcja niekatalityczna) środek redukujący jest wstrzykiwany do strefy redukcji bezpośrednio w komorze spalania. Stosowanym środkiem redukującym jest roztwór amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) lub mocznika ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ), który jest niekorozyjny, a zatem łatwiejszy w obsłudze. W wysokich temperaturach powstają rodniki  $\text{NH}_2$ , które redukują się z  $\text{NO}$  do azotu elementarnego ( $\text{N}_2$ ). Optymalne mieszanie jest wymagane w strefie reakcji. Należy dążyć do uzyskania czasu przebywania wynoszącego około 0,5 sekundy w zakresie temperatur od 850 do 950 °C. Do dozowania czynnika redukującego wymagany jest pomiar  $\text{NO}_x$  w spalinach (stosunek molowy  $n = \text{NH}_3/\text{NO}_x$  [mol/mol] = ok. 2). Średni stopień denitryfikacji w procesie SNCR wynosi od 50 do 75 %; w optymalnych warunkach reakcji możliwe jest do 95 % [57]. Proces ten jest zwykle stosowany w nowych zakładach, ale może być również modernizowany w zależności od indywidualnej dostępności przestrzeni. Istnieje również możliwość budowy nowych zakładów "SNCR-ready". W tym przypadku piec jest już wyposażony w komponenty wymagane do procesu SNCR (strefa redukcji, otwory do wtrysku, rezerwy przestrzeni dla zbiornika środka redukcyjnego itp.). Jeśli po uruchomieniu okaże się, że denitryfikacja jest konieczna, modernizacja może zostać przeprowadzona szybko.

Proces SNCR wymaga precyzyjnej kontroli warunków reakcji. Doskonale nadaje się do pracy z obciążeniem taśmy i w połączeniu z mokrą płuczką. Wstrzyknięcie czynnika redukującego poza wyżej wymienione okno temperaturowe sprzyja powstawaniu azotowych produktów ubocznych, takich jak amoniak, istotny dla klimatu podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ), cyjanowodor ( $\text{HCN}$ ) i kwas izocyjanowy ( $\text{HNCO}$ ).

Jeśli czynnik redukujący jest stosowany w połączeniu z katalizatorem, nazywa się to SCR (selektywna redukcja katalityczna). SCR umożliwia stopień denitryfikacji ponad 95% przy niskim poślizgu amoniaku. Zaleca się zintegrowany katalizator utleniania w celu zmniejszenia możliwych dioksyn. Wymagany jest pomiar  $\text{NO}_x$  i precyzyjna kontrola stosunku moli ( $n = \text{NH}_3/\text{NO}_x$  [mol/mol] = ok. 1). W odniesieniu do trybu pracy rozróżnia się pył o wysokiej zawartości pyłu z separacją pyłu za dolnym i pył o niskiej zawartości pyłu z separacją pyłu przed nią (rysunek 5.21). Zakres temperatur dla procesu o niskiej zawartości pyłu wynosi od 200 do 250 °C, dla procesu wysokopyłowego między 250 a

450 °C. W tym przypadku zaleca się obniżenie temperatury spalin za pomocą ekonomizera niższego szczebla. Dzięki procesowi o wysokiej zawartości pyłu możliwe jest zatkanie katalizatora przez osady pyłu, a tylko czasami nadaje się do drewna resztkowego i odpadowego. Ponadto w obu przypadkach istnieje możliwość, że trucizny katalityczne, takie jak arsen, fosfor lub metale alkaliczne, dezaktywują materiał katalityczny [51]. Jeśli trucizny katalizatora zostaną oddzielone, na przykład pyłem, zanim spaliny dostaną się do katalizatora, zmniejsza się tendencja do zatrucia, a tym samym żywotność elementów katalizatora. Proces wysokopyłowy nie jest zatem zalecany przez QM dla instalacji DH biomasy ze względu na problemy związane z zatruciem i zatykaniem.



Rysunek **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.** 33 Selektywna redukcja katalityczna (SCR) proces wysokopyłowy (u góry) i niskopyłowy (na dole).

## 5.9 Odzysk ciepła z ekonomizerem i kondensacją spalin

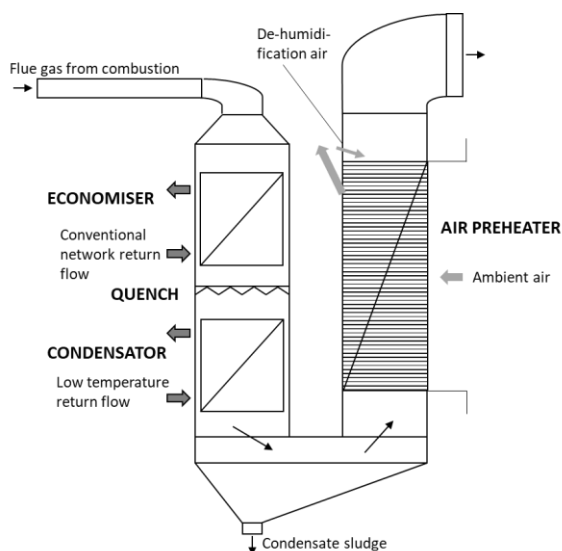
Sprawność wytwarzania ciepła może zostać znacznie zwiększona, jeżeli spaliny są dalej chłodzone w dodatkowych wymiennikach ciepła po opuszczeniu kotła (rozdział 13.7.2).

Sprawność wytwarzania ciepła może zostać znacznie zwiększona, jeżeli spaliny są dalej chłodzone w dodatkowych wymiennikach ciepła po opuszczeniu kotła (rozdział 13.7.2).

Ekonomizer to dodatkowy wymiennik ciepła do wstępnego podgrzewania powrotu systemu. Tam spaliny są schładzane do około 75 do 80 °C (tuż powyżej punktu rosy). Po uruchomieniu systemu grzewczego lub gdy temperatura w przewodzie spada poniżej temperatury zadanej, część przepływu gorących spalin jest podawana bezpośrednio do przewodu kominowego przez przepustnicę, aż do ponownego osiągnięcia zadanej temperatury. Ze względu na duży potencjał zwiększenia wydajności, przy planowaniu ciepłowni opalanej drewnem należy zawsze brać pod uwagę wykorzystanie ekonomizerów. Na przykład przy nadmiarze liczby powietrza  $\lambda = 2$  dodatkowe chłodzenie spalin o 10 K powoduje wzrost wydajności spalania o około 1 % [60]. W zależności od nadmiernej liczby powietrza i zawartości wody można osiągnąć wzrost wydajności o 5 do 7 %. Aby utrzymać niezbędny nadmiar powietrza na niskim poziomie ( $\lambda < 1,8$ ), konieczna jest dobra kontrola spalania.

System kondensacji spalin składa się zwykle z trzech etapów. Spaliny opuszczające kocioł najpierw przechodzą przez ekonomizer, następnie skraplacz (z hartowaniem w górę) i w przypadku potrzeby podgrzewacza powietrza (rysunek 5.22). Zakres zastosowań jest zwykle dla instalacji > 1 MW. W przypadku wysokich kosztów paliwa i długiego czasu pracy instalacji (praca z obciążeniem pasmowym) możliwe są również mniejsze instalacje od około 500 kW. Średnia temperatura powrotu z odbiorników powinna być niska i co najmniej 10 °C poniżej punktu rosy spalin. Należy rozważyć oddzielny powrót niskotemperaturowy dla skraplacza.

Inskraplacz, spaliny są schładzane dalej poniżej punktu rosy. Powoduje to skraplanie się części pary wodnej zawartej w spalinach. W procesie tym uwalniane są duże ilości energii w postaci odczuwalnego, ale głównie utajonego ciepła. Zawartość wody w paliwie odgrywa ważną rolę; im więcej wody dostaje się do procesu z paliwem, tym więcej pary może ponownie skraplać się. Im niższa temperatura, do której można schłodzić spaliny, tym efektywniej działa system kondensacji spalin. Przy niskiej całkowitej liczbie nadmiaru powietrza podczas spalania, wysokiej zawartości wody w paliwie i niskiej temperaturze powrotu obiegu grzewczego (< 40 °C) sprawność systemu wypalania można zwiększyć nawet o 20 %. W obszarze wlotowym skraplacza mogą znajdować się plamy po stronie gazów spalinowych, które są na przemian mokre lub suche, w zależności od warunków pracy. Takie obszary są zagrożone osadami i korozją. Aby uniknąć takich problemów, często instaluje się hartowanie, które nawilża spaliny i chłodzi je do punktu rosy. Gdy nawilżone spaliny docierają do skraplacza, następuje dalsze chłodzenie i temperatura spada poniżej punktu rosy (wytrąca się kondensat). Zapobiega to suchym plamom w skraplaczu.



Rysunek 5.22. Schemat układu kondensacji spalin.

Wytworzony osad kondensatu musi być oddzielony od fazy ciekłej, kondensatu, ze względu na zawarte w nim

metale ciężkie, na przykład w zbiorniku sedymentacyjnym, a następnie składowany lub przetwarzany przemysłowo. Separacja ta powinna odbywać się przy pH > 7,5, aby zapobiec elucji metali ciężkich do fazy ciekłej. Jeśli jakość spalania jest wysoka ( $CO < 250 \text{ mg/m}^3$  przy 11% obj.  $O_2$ ) i po zastosowaniu etapu neutralizacji (kontrola pH), nadmiar kondensatu może zostać odprowadzany do kanalizacji po oddzieleniu osadu, zgodnie z lokalnymi przepisami.

Z reguły systemy mają co najmniej jeden podgrzewacz powietrza, w którym spaliny przekazują dalsze ciepło do powietrza nawiewanego. Część tego wstępnie ogrzanego powietrza jest wykorzystywana jako powietrze do spalania; drugi jest mieszany ze schłodzonymi spalinami, aby zapobiec dalszej kondensacji w dalszych rurociągach i w kominie, a także w celu zmniejszenia tworzenia się pióropuszy pary wodnej na kominie. Całkowita deparyzacja nie jest absolutnie konieczna, ponieważ nie ma żadnych dalszych korzyści technicznych, a jedynie efekt wizualny. Może to być szczególnie ważne dla instalacji ciepłowniczych na biomasę na obszarach turystycznych i obszarach w pobliżu osiedli.

Podczas integracji wymienników ciepła spalin należy zachować ostrożność, aby zapewnić prawidłowe rozmieszczenie z elementami oczyszczania spalin. System kondensacji spalin w połączeniu z mokrym elektrofiltrem osiąga skuteczność zbierania pyłu, w tym drobnych cząstek, wynoszącą około 95 %. Jeśli suchy elektrofiltr lub filtr tkaninowy jest zainstalowany przed ekonomizerem lub systemem kondensacji gazów odlotowych, zanieczyszczenie tych składników można znacznie zmniejszyć i uniknąć kosztownej utylizacji osadu kondensatu.

## 5.9.1 Podstawy

Termin technologia sterowania procesem jest stosowany w różnych obszarach zastosowań. Zasadniczo technologia sterowania procesem obejmuje całą technologię pomiaru i sterowania (technologia I&C) oraz powiązane strumienie danych z zakładu (dalsze definicje terminów znajdują się w [61]). I&C służy do automatyzacji pracy zakładu i obejmuje wszystkie niezbędne zadania związane z kontrolą, regulacją i monitorowaniem. Integracja odpowiednich systemów I&C i koncepcji sterowania jest warunkiem wstępnym wydajnej, niskoemisyjnej i bezpiecznej pracy instalacji, a zatem są ważnymi elementami planowania i realizacji instalacji DH na biomasę. W związku z tym znaczenie w ramach QM dla instalacji DH na biomasę jest wysokie. Temat ten został szczegółowo omówiony w standardowych schematach hydraulicznych ([62]). Podstawy technologii pomiarowej i kontrolnej nie zostały tutaj omówione (patrz na przykład [63]), z wyjątkiem niektórych konkretnych tematów związanych z planowaniem, budową i eksploatacją instalacji DH na biomasę.

Technologia sterowania procesami znacznie się rozwinęła od czasu wybudowania pierwszych instalacji

ciepłowniczych na biomasę. Kompleksowy sprzęt I&C, który umożliwia w pełni automatyczną pracę instalacji, jest najnowocześniejszy. Obecnie nawet małe kotły z produkcji seryjnej są wyposażone w pełni automatyczny system sterowania i cyfrowy interfejs użytkownika.

## Pojęcia

**Sterowanie** to proces, w którym zmienna do ustawienia (zmienna kontrolowana) jest mierzona w sposób ciągły i porównywana ze zmienną odniesienia (wartością zadaną). Wynik porównania wpływa na zmienną kontrolowaną w taki sposób, że zmienna kontrolowana jest dostosowywana do zmiennej referencyjnej. Wynikowa sekwencja efektów odbywa się w zamkniętej pętli sterowania. Dla kontrastu, **regulacja** oznacza otwarty łańcuch działania (łańcuch sterowania), w którym zmienna, która ma być ustawiona, jest pod wpływem (kontrolowana) w zależności od najważniejszej zmiennej wpływającej (zmiennej zakłócającej) bez pomiaru zmiennej, która ma być ustawiona. Rzeczywista wartość zmiennej, która ma zostać ustawiona, nie jest zatem sprawdzana i nie ma wpływu na łańcuch sterowania (patrz [63]).

Głównym zadaniem **technologii pomiarowej** jest ilościowe rejestrowanie procesów technicznych za pomocą odpowiednich urządzeń pomiarowych (czujników) oraz na dostarczaniu podstaw do sterowania i regulacji procesów za pomocą mierzonych zmiennych (dalsza literatura patrz [64]).

Zgodnie z EN 61131 - Część 1 [65] **programowalny sterownik logiczny (PLC)** jest cyfrowo działającym systemem elektronicznym do użytku w środowiskach przemysłowych z programowalną pamięcią do wewnętrznej pamięci instrukcji sterowania zorientowanych na użytkownika w celu wdrożenia określonych funkcji, takich jak sterowanie logiczne, sterowanie sekwencją, timing, liczenie i funkcje arytmetyczne, do sterowania różnymi typami maszyn i procesów za pomocą cyfrowych lub analogowych sygnałów wejściowych i wyjściowych.

Technologia sterowania procesem w ciepłowni na biomasę musi spełniać następujące podstawowe zadania:

- W pełni automatyczne sterowanie i regulacja całego systemu bez konieczności regularnej ręcznej interwencji i, jeśli to możliwe, bez stałej obecności personelu obsługującego
- Zapewnienie bezpiecznej pracy zakładu w każdym stanie eksploatacyjnym (ochrona osobista i ochrona roślin)
- Zagwarantowanie dostaw ciepła dla odbiorców
- Umożliwienie optymalnej pracy systemu w każdych warunkach pracy.
- Działanie i monitorowanie systemu (wizualizacja systemu/wyświetlanie aktualnego stanu pracy, ustawianie wartości nastaw i parametrów sterowania, włączanie/wyłączanie elementów systemu itp.).
- Zdalny dostęp i komunikaty o błędach Zdalny dostęp i komunikaty o błędach
- Pozyskiwanie, przetwarzanie i trwałe przechowywanie wszystkich istotnych danych operacyjnych (danych pomiarowych), przygotowanie i wizualizacja (historycznych) trendów danych pomiarowych.

- Rejestrowanie i stałe przechowywanie wszystkich danych związanych z rozliczeniami (zużycie przez klienta)
- Umożliwienie obsługi ręcznej i awaryjnej obsługi systemu w razie potrzeby.

Praca instalacji podczas procesów rozruchu i wyłączania, a także specjalne lub nieprzewidziane warunki pracy (konserwacja, czyszczenie i drobne naprawy podczas pracy, awaria poszczególnych komponentów, przebiegi testowe, praca awaryjna, ekstremalne warunki obciążenia) jest zwykle wykonywana ręcznie przez personel obsługujący (obsługa ręczna) lub w trybie półautomatycznym.

W przypadku systemów wytwarzania ciepła o umiarkowanym ciśnieniu i temperaturze (np. systemy ciepłej wody < 110°C) stała obecność personelu obsługującego zwykle nie jest wymagana. W przypadku systemów gorącej wody i pary może być wymagana stała obecność lub wymagane są dodatkowe urządzenia związane z bezpieczeństwem do pracy bez interwencji człowieka ([66]) lub do pracy bez stałego nadzoru ("Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung" BOSB). W przypadku eksploatacji bez stałego nadzoru należy sprawdzić i przestrzegać odpowiednich krajowych przepisów i dyrektyw (patrz rozdział 19).

System sterowania procesem składa się z kilku poziomów, które spełniają różne zadania (rysunek 5.23).

## Podział funkcjonalny i projekt techniczny

System sterowania procesem można podzielić na **poziom użytkownika, podrzędny system I&C** (np. do sterowania poszczególnymi komponentami) oraz **główny system I&C** (zadania związane z całym zakładem) zgodnie z zadaniami do wykonania. Ten podział związany z funkcją pomaga w zdefiniowaniu koncepcji sterowania i poszczególnych zadań sterowania, a także w opracowaniu opisu funkcjonalnego.

Jednak te trzy poziomy nie reprezentują automatycznie fizycznych limitów poszczególnych komponentów technicznych (jednostek sterujących) lub limitów dostawy. **Projekt techniczny systemu sterowania procesem** zależy od różnych czynników i nie musi być skonstruowany analogicznie do trzech poziomów funkcjonalnych. Na przykład poziom operacyjny, a także podrzędny i główny system I&C mogą być realizowane za pomocą jednego sterownika PLC indywidualnie dla każdego przypadku lub mogą również składać się z trzech oddzielnych jednostek różnych producentów (które są połączone ze sobą za pomocą interfejsów).

Oznaczenie związane z funkcją jako główny i podrzędny system I&C nie zawsze jest powszechne wśród techników I&C, który jest bardziej zorientowany na komponenty fizyczne lub limity dostawy, więc ewentualnie używane są inne oznaczenia (np. System główny).

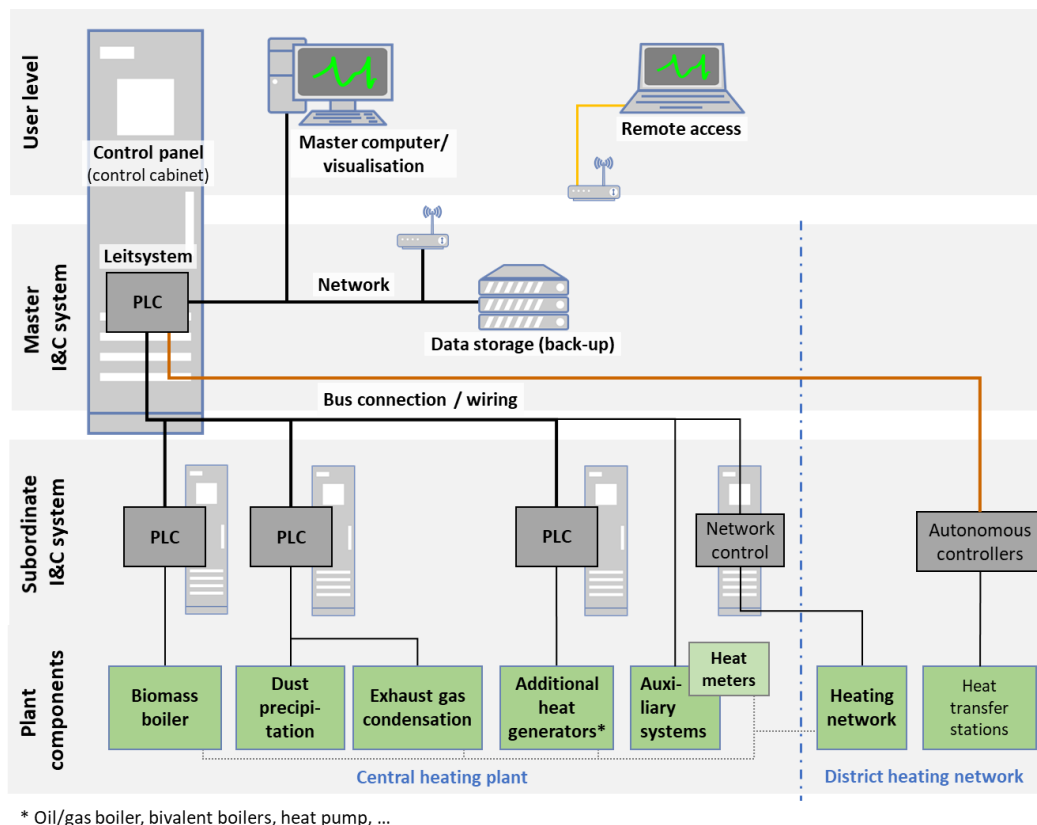
**Poziom użytkownika** jest realizowany za pomocą komputera głównego (komputer ciepłowni) lub panelu sterowania (wyświetlacza) na szafie sterowniczej. Poziom operacyjny posiada interfejsy do systemów master i niższego poziomu I&C i umożliwia pełną obsługę systemu. Tutaj można monitorować bieżące działanie systemu i bieżące dane operacyjne, a wartości zadane, programy czasowe i tym podobne można regulować, głównie za pomocą wizualizacji systemu. Przy wyższych poziomach uprawnień (np. technicy serwisowi, producenci) można również wprowadzić szczegółowe ustawienia sterowania. Wybór pracy systemu (np. praca automatyczna, półautomatyczna, obsługa ręczna itp.) dokonywany jest za pośrednictwem komputera głównego lub bezpośrednio w szafie sterowniczej. Wszystkie istotne elementy systemu mogą być również sterowane ręcznie za pomocą poziomu roboczego. Ręczna obsługa awaryjna systemu może być również wykonywana niezależnie od komputera głównego za pomocą elementów sterujących na szafie sterowniczej.

**Główny system I&C** jest odpowiedzialny za wszystkie funkcje sterowania i regulacji wyższego poziomu, takie jak koordynacja i zarządzanie obciążeniem poszczególnych generatorów ciepła (sygnał mocy dla kotłów) i zarządzanie magazynowaniem, a często także za sterowanie hydrauliką ciepłowni (pompy, armatura w ciepłowni) i pompami sieciowymi sieci ciepłowniczej (patrz także rozdział 8). Główny system I&C posiada interfejsy do podrzędnych systemów I&C poszczególnych komponentów systemu i łączy je ze sobą. Często rejestracja danych odbywa się również za pośrednictwem głównego systemu I&C (zob. rozdział 5.10.2).

**Podległe systemy I&C** służą do specyficznego sterowania i regulacji poszczególnych grup funkcjonalnych zakładu. Grupą funkcyjną jest na przykład

kocioł na biomasę ze wszystkimi powiązаныmi napędami, agregatami, armaturą lub analogicznie grupa funkcjonalna kocioł olejowo-gazowy, separator cząstek, systemy kondensacji spalin, uzdatnianie wody i inne. Te podrzędne systemy I&C są zwykle dostarczane przez producentów odpowiednich komponentów i, w zależności od komponentu, różnią się od prostych autonomicznych sterowników (np. dla stacji uzdatniania wody) do złożonego sterownika PLC dla kotła na biomasę. Te systemy I&C przejmują bezpieczną pracę oraz szczegółowe zadania kontrolne i regulacyjne poszczególnych komponentów. W przypadku kotła na biomasę są to na przykład dopływ paliwa do pieca i wysokość złoża paliwowego na ruszcie, prędkości rusztu, prędkości wentylatorów powietrza spalania i spalin (kontrola podciśnienia), recyrkulacja spalin i temperatura komory spalania, kontrola usuwania popiołu, moc pieca, temperatura przepływu kotła, zadania sterowania i regulacji związane z bezpieczeństwem i wiele więcej. Systemy I&C głównych komponentów muszą mieć interfejs i opcję komunikacji z głównym systemem I&C i poziomem operacyjnym (komputer główny), aby móc przetwarzać, na przykład, wyższe poziomy wyjściowe i inne specyfikacje zadane oraz zapewnić bezproblemową wizualizację systemu i rejestrację danych. Zaleca się, aby w miarę możliwości wszystkie systemy pomocnicze były również zintegrowane z głównym systemem I&C z co najmniej sygnałem roboczym i błędnym oraz, w stosownych przypadkach, najważniejszymi parametrami roboczymi. Sterowniki poszczególnych domowych stacji przesyłowych sieci ciepłowniczej należy również uznać za podrzędne systemy kontroli i innowacji, które zasadniczo funkcjonują autonomicznie, ale mają również najnowocześniejsze połączenie z centralnym głównym systemem kontroli i innowacji, opcją zdalnego dostępu i centralnym zapisem danych (zob. rozdział 8.5).





Rysunek 5.23 Podział systemu sterowania procesem na poziom roboczy, główny system kontroli i podległe systemy kontroli i innowacji (przykład dla ciepłowni opalanej drewnem z siecią ciepłowniczą).

### Wykonanie techniczne

System sterowania procesem i wyżej wymienione poziomy mogą być wdrażane na różne sposoby (patrz również Tabela 6 w QM Holzheizwerke Standardowe schematy hydrauliczne - część 1 [62]). W małych systemach wszystkie trzy poziomy mogą być często przejęte przez system C&I kotła na biomasę, ponieważ zwykle nie ma dalszych podrzędnych systemów C&I. Nowoczesne kotły na biomasę, nawet jako standardowe wyposażenie, mają już możliwość sterowania obiegami grzewczymi, akumulacyjnymi obwodami ładowania czy np. solarnym systemem termicznym. W tym przypadku praca odbywa się bezpośrednio przez panel sterowania kotła na biomasę i bez komputera głównego. Do rejestracji danych może być wymagane dodatkowe wyposażenie.

W większych nieruchomościach z systemem zarządzania budynkiem kotły na biomasę są integrowane jako podrzędne systemy I&C z systemem zarządzania budynkiem (master I&C system) oraz zintegrowanym tam poziomem pracy, który odpowiada również za pozyskiwanie danych. W większych instalacjach DH na biomasę, w zależności od projektu, albo PLC kotła(-ów) na biomasę może przejąć zadanie głównego systemu sterowania (np. z rozszerzonym programowaniem i integracją innych elementów instalacji), albo istnieje oddzielny główny system sterowania oparty na PLC. Alternatywnie, zadania sterowania wyższego poziomu można podzielić między różne sterowniki lub producentów (np. sterowanie zbiornikiem magazynowym

i hydraulika ogrzewania domu przez PLC kotła na biomasę i sterowanie siecią z własną jednostką od producenta stacji wymiany ciepła).

Struktura systemu sterowania procesem oraz, w razie potrzeby, dystrybucja funkcji sterowania do różnych sterowników/sterowników PLC musi być szczegółowo zdefiniowana w trakcie planowania i odpowiednio uwzględniona w kolejnych przetargach i budowie instalacji.

Struktura systemu I&C i koncepcja sterowania są ważnymi integralnymi elementami QM dla instalacji DH biomasy i są szczegółowo wyjaśnione w standardowych schematach hydraulicznych QM Holzheizwerke [62] oraz w rozdziale 7 "Hydraulika wytwarzania ciepła".

### 5.9.2 Wymagania dotyczące sprzętu pomiarowego i pozyskiwania danych

Kompleksowe urządzenia pomiarowe ciepłowni i sieci ciepłowniczej oraz odpowiednia technologia sterowania do przesyłania, przechowywania i wizualizacji zmierzonych danych eksploatacyjnych to najnowocześniejsze w nowoczesnych instalacjach DH na biomasę. Jest to ważna podstawa sumiennego zarządzania operacyjnego i przeprowadzania kompleksowej optymalizacji operacyjnej (zob. rozdział 16). Kompleksowe i długoterminowe gromadzenie danych stanowi ważny atut, który oprócz bieżącego zarządzania operacyjnego i optymalizacji ma również

dużą wartość dla planowania przyszłej rozbudowy zakładu, a także modernizacji i renowacji zakładów (zob. rozdział 18). Aby pomóc w planowaniu i realizacji gromadzenia danych, QM dla instalacji DH biomasy zapewnia kompleksową listę punktów pomiarowych w połączeniu ze standardowymi schematami hydraulicznymi (patrz [62]), a także zalecenia dotyczące prezentacji i oceny danych eksploatacyjnych (patrz FAQ 8).

System akwizycji danych i wizualizacji (na komputerze w sterowni - patrz rysunek 5.24) musi spełniać m.in. następujące minimalne wymagania:

- Automatyczna rejestracja i przechowywanie wszystkich zmierzonych wartości w wysokiej rozdzielczości czasowej (zalecenie QM dla instalacji DH biomasy [62]: zalecany interwał pomiarowy 10 s i zalecany interwał zapisu wynoszący 5 minut średnich wartości)
- Wizualizacja systemu z graficznymi schematami systemowymi zawierającymi najważniejsze parametry pracy i stany pracy poszczególnych komponentów (wartości chwilowe)
- Graficzne przedstawienie progresji czasowych (trendów) w postaci konfigurowalnych diagramów i parametrów
- Przyjazna dla użytkownika opcja eksportu dla wszystkich zmierzonych, obliczonych i zapisanych danych operacyjnych w ogólnie czytelnym formacie danych (np. pliki tekstowe w formacie .csv)
- Regularne tworzenie kopii zapasowych wszystkich danych operacyjnych w niezależnym systemie

Za pomocą transmisji danych w sieci ciepłowniczej dane eksploatacyjne ciepłowniczych powinny być zintegrowane z technologią sterowania i rejestracją danych (zob. rozdział 8.5). W odniesieniu do zdalnego

odczytu danych klienta należy przestrzegać obowiązujących wytycznych dotyczących ochrony danych. Zaleca się włączenie tematu zdalnego dostępu i zdalnego odczytu danych do umowy na dostawę ciepła lub zawarcie kolejnej umowy z dotychczasowymi odbiorcami.

Aby ułatwić zarządzanie operacyjne i monitorowanie systemu, nowoczesne instalacje DH na biomasę mają również opcję zdalnego dostępu do systemu wizualizacji i sterowania dla personelu obsługującego. Taką możliwość należy zapewnić planistom i wybranym producentom, aby w razie potrzeby umożliwić szybki dostęp do aktualnych danych zakładu. Jeśli kilka osób/firm ma odpowiedni zdalny dostęp, obowiązki i kompetencje muszą być precyzyjnie określone (w razie potrzeby z ograniczonymi uprawnieniami), a każda zmiana (np. dostosowanie wartości nastaw lub parametrów kontrolnych) musi być udokumentowana i zakomunikowana.

### 5.9.3 Planowanie i wykonanie

Planowanie systemu I&C musi być brane pod uwagę w ogólnym procesie planowania. W szczególności główny planista musi na wczesnym etapie określić strukturę systemu I&C (zob. rozdział 5.10.1) i wynikające z niego obowiązki, a następnie uwzględnić je w specyfikacjach dotyczących przetargów i zamówień.

W trakcie planowania należy stworzyć kompleksowy opis funkcjonalny. Jest to między innymi podstawa szczegółowego planowania i realizacji (zwłaszcza okablowania hydraulicznego i sterowania), ale także zasadniczo niezbędny warunek wstępny udanej optymalizacji operacyjnej.



Rysunek 5.24 Dyspozytornia elektrociepłowni na biomasę (źródło: AEE INTEC).

Opisy funkcjonalne określają podstawowe zasady odpowiedniej koncepcji sterowania, ze szczególnym uwzględnieniem sterowania głównego (zarządzanie obciążeniem, zarządzanie magazynowaniem, hydrauliczny system grzewczy, sieć ciepłownicza). Szczegółowe zaprogramowanie i wdrożenie koncepcji sterowania jest zadaniem techników C&I producentów lub dostawców. Na przykład projekt podrzędnego systemu C&I dla kotłów na biomasę jest zwykle objęty zakresem dostawy do kotła. Główny planista jest odpowiedzialny za sprawdzenie zgodności z podstawowymi wymaganiami dla systemów I&C oraz pozyskiwanie danych zgodnie z opisem funkcjonalnym i specyfikacją.

Opis funkcjonalny obejmuje następujące istotne elementy:

- Szczegółowy opis funkcjonalności systemu dla wszystkich istotnych stanów pracy (w tym opis sterowania).
- Przegląd najważniejszych parametrów sterowania, które można regulować podczas pracy.
- Pełna lista punktów pomiarowych zgodnie ze schematem hydraulicznym. Dla każdego punktu pomiarowego należy określić pozycję pomiarową, zakres pomiarowy, rozdzielczość czasową i dokładność pomiaru (patrz rozdział 16).
- Opis automatycznej rejestracji danych (podstawowa zasada i struktura danych lub pliku, lokalizacja i czas przechowywania danych itp.).

Projektując technologię sterowania, należy zwrócić szczególną uwagę na następujące punkty (patrz również "Muster-Ausschreibung Holzkessel" - przykładowy przetarg na kotły na biomasę od QM Holzheizwerke):

- Miejsce instalacji zabezpieczone przed pyłem i zapewnienie, że maksymalna temperatura robocza komponentów elektronicznych nie zostanie przekroczona. W przypadku dużych wewnętrznych obciążeń cieplnych (np. spowodowanych przetwornicami częstotliwości) należy zapewnić wentylację/klimatyzację.
- Zapewnienie rezerwy przestrzeni około 20 % w szafach sterowniczych lub dla dodatkowych szaf sterowniczych (rozbudowa systemu).
- Najlepsza możliwa standaryzacja zastosowanych komponentów (np. standardowe szafy sterownicze, jednolite czujniki itp.).
- Zapewnienie kompatybilności zastosowanych komponentów i systemów oraz komunikacji między wszystkimi poziomami i częściami systemu.
- Zapewnienie długoterminowej dostępności części zamiennych.
- Określenie obowiązków oraz jednoznaczne granice i interfejsy dostawy.
- Zgodność ze wszystkimi odpowiednimi przepisami, normami i wytycznymi.
- Kompleksowa dokumentacja techniczna, w tym schematy obwodów, karty danych i listy punktów danych (zintegrowane ze specyfikacjami przetargowymi).

- Przejrzyste i profesjonalne oznakowanie urządzeń polowych i okablowania.
- Przekazywanie wszystkich komunikatów o usterkach poszczególnych komponentów do głównego sterownika PLC za pomocą bezpotencjałowych styków.
- Poziom ręcznego przełączania oznaczony zwykłym tekstem do ręcznego sterowania najważniejszymi (istotnymi dla bezpieczeństwa) elementami systemu.
- Poziom ręcznego przełączania musi być wyposażony w blokadę.
- Opcja zdalnego dostępu i przekazywanie komunikatów o błędach.
- Możliwość przypisania określonych uprawnień dostępu i użytkownika.
- Przyjazne dla użytkownika instrukcje i opisy dla personelu obsługującego.

## 6 Elementy instalacji do magazynowania paliwa, transport paliwa i usuwania popiołu

### 6.1 Uwagi wstępne

W niniejszym rozdziale opisano elementy składowe magazynowania paliwa, transportu i usuwania popiołu. Odpowiedni dobór i wymiarowanie tych komponentów opisano w rozdziale 14.

Rozdział 19 wymienia specyficzne dla danego kraju wymagania dotyczące wyposażenia bezpieczeństwa odpowiednich komponentów w odniesieniu do zapobiegania pożarom i wypadkom, zapobiegania wybuchom (ATEX, BGI Informationen 739-2) (bariery świetlne, blokada wyłączania, ochrona dostępu, poręczce, poręczce, ekstrakcja gazów fermentacyjnego itp.).

### 6.2 Magazynowanie paliwa

#### Silosy paliwowe z układem odprowadzania paliwa

Silosy paliwowe nadają się do suchych i bardzo wilgotnych zrębków i brykietów z ograniczoną domieszką wiórów i pyłu. Są łatwe do napełnienia poprzez przechylenie paliwa z ciężarówki. Ponieważ są one zwykle projektowane jako silosy podpodłogowe (rysunek 6.1), objętość magazynowa jest kosztowna (roboty ziemne i żelbet). Silosy paliwowe są wyposażone w automatyczny system rozładunku (patrz rozdział 14.3), który transportuje zmagazynowane paliwo z silosu.



Rysunek 6.1 Silos podpodłogowy (źródło: Andres Jenni).

#### Mobilny system kontenerowy z rozładunkiem

Mobilny system kontenerowy (rysunek 6.2) jest wypełniony zrębkami drzewnymi w lesie lub przez dostawcę paliwa na miejscu.

Napełniony pojemnik (objętość napełniania około 30 m<sup>3</sup>) dostarczany jest ciężarówką. System rozładunkowy zainstalowany w pojemniku jest sprzężony ze stacjonarnym urządzeniem ładującym pieca. Układ wypalania kontroluje zrzut paliwa z pojemnika. Drugi pełny pojemnik jest gotowy jako rezerwa, dzięki czemu w

razie potrzeby można go natychmiast przełączyć, a ciągły dopływ paliwa nie zostanie przerwany. W zależności od nominalnej mocy ciepłowni konieczne jest kilka pojemników. Ciągłe dostarczanie zrębków w pojemnikach jest wymogiem. Kontenery można również wypożyczyć.

Mobilne pojemniki na zrębki z rozładunkiem nadają się do zrębków, rozdrobnionej kory i trocin. Technologia rozładowywania jest na ogół niezależna od ponadwymiarowych cząstek paliwa i kamieni. Może służyć jako zamiennik lub alternatywa dla stacjonarnych (nieruchomych) silosów paliwowych.

Zaletą jest to, że nie ma kosztów inwestycyjnych dla stacjonarnego silosu i że czas rozładunku dostawy zrębków drzewnych jest krótki.

Wadą jest zależność od dostawcy paliwa. Ponadto potrzebna jest przestrzeń magazynowa poza systemem grzewczym. Szczególnie zimą korzystne okazuje się proste zabezpieczenie wizualne pojemników (wiatrochron). Ze względu na koszty wynajmu kontenerów, koszty operacyjne są stosunkowo wysokie. Zimą czasami istnieje ryzyko zamarznięcia.



Rysunek 6.2 Mobilne pojemniki na zrębki drzewne z rozładunkiem jako substytutem silosów (źródło: Holzenergie Schweiz).

#### Nadziemne okrągłe silosy

Nadziemne silosy okrągłe (rysunek 6.3) nadają się do paliwa o grudkowatości do P63, maksymalnej długości cząstek 200 mm i zawartości wody suchej do > 55%. Obszar zastosowania to duże instalacje DH na biomasę o krótkich czasach obrotu paliwa w silosie. Zapobiega to mostkowaniu.

Napełnianie odbywa się zwykle za pomocą przenośników łańcuchowych zgrzeblowych i systemu dystrybucji nad okrągłym silosem.

Odprowadzanie odbywa się za pomocą przesuwownicy frezującej (patrz rozdział 6.4.1).





Rysunek 6.3 Silos okrągły (źródło: Gottwald GmbH).

### Silosy na zrębki drzewne

Silosy na wióry (rysunek 6.4) nadają się do zrębków, trocin i pyłu szlifierskiego z zakładów przetwórstwa drewna, ale także do suchych zrębków i brykietów. Napełnianie jest zwykle pneumatyczne. Wymagania dotyczące urządzeń bezpieczeństwa dotyczące zapobiegania wybuchowi (ATEX) muszą być szczególnie przestrzegane (patrz rozdział 19, Przepisy dotyczące silosów na wióry).



Rysunek 6.4 Silos na zrębki drzewne (Źródło: Wooden Energy Switzerland).

### Magazynowanie peletu

Pelety drzewne przechowywane są w zamkniętych i suchych pomieszczeniach magazynowych lub pojemnikach. Zbiorniki stalowe, plastikowe lub tkaninowe są dostępne do instalacji. Napełnianie odbywa się zwykle pneumatycznie, w przypadku większych silosów podpodłogowych czasami również przez wywrotkę. Rozładunek z małych zbiorników magazynowych odbywa się za pomocą przenośników ślimakowych lub pneumatycznie; w przypadku większych zbiorników magazynowych często instalowany jest przegubowy system odprowadzania. W celu zminimalizowania ilości drobnych cząstek, granulki muszą być wprowadzane do obszaru składowania i odprowadzane delikatnie i możliwie najkrótszą drogą. Nie należy zapewniać dodatkowych urządzeń do podawania zrębków stosowanych w magazynach zrębków drzewnych (np. rozdzielaczy silosów). Za

wszelką cenę należy unikać przenikania wody do pomieszczenia magazynowego (np. przez ściany lub urządzenia napełniające) i tworzenia się kondensacji w magazynie (np. na rurach zimnej wody, na zimnych, nieizolowanych cieplnie ścianach/sufitach pomieszczeń magazynowych lub wilgotnym powietrzem transportowym do chłodni na pelety). Więcej informacji można znaleźć w broszurze **lagerung von Holzpellets** niemieckiego stowarzyszenia Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband (DEPV) [67] (patrz także rozdział 14.2.9).

### Magazyn

W przypadku większych elektrowni DH na biomasę o mocy kotła na biomasę większej niż 1 MW należy rozważyć magazyny (rysunek 6.5) z silosem dziennym zamiast drogich silosów podłogowych. Magazyny magazynowe są odpowiednie dla wszystkich paliw. Napełnianie jest kosztowne, ponieważ paliwa zwykle muszą być doprowadzane z koryta zrzutowego poniżej wysokości grzbietu za pomocą systemu przenośników, a następnie dystrybuowane w magazynie lub zarządzane za pomocą ładowarki kołowej. Z drugiej strony sam magazyn magazynowy jest niedrogi. Magazyny magazynowe są również wykorzystywane jako tymczasowe magazyny magazynowe.



Figure Error. Nel documento non esiste testo dello stile specificato. Warehouse (source: Franz Promitzer).

### Zewnętrzny magazyn

Zrębki lub kora mogą być tymczasowo przechowywane na zewnątrz na składowiskach (rysunek 6.6) lub palech z bali (rysunek 6.7). Magazyn zewnętrzny może znajdować się bezpośrednio w ciepłowni, w centralnej lokalizacji, która jest dostępna dla ciężarówek przez cały rok, lub w lesie.



Rysunek 6.6 Tymczasowe składowanie zrębków na zewnątrz (Źródło: AEE INTEC).



Rysunek 6.7 Stos kłód w ciepłowni (źródło: AEE INTEC).