

**ANALIZA MOŻLIWOŚCI
LIKWIDACJI LUB OGRANICZENIA
NISKIEJ EMISJI POCHODZĄCEJ
ZE ŹRÓDEŁ STAŁOPALNYCH
W TUNELACH FOLIOWYCH
I SZKLARNIACH, WĘDZARNIACH
ORAZ PIECACH CHLEBOWYCH**

WYKONAWCY:

Kierownik projektu: Mgr Inż. Jarosław Kotyza

Zespół:

Mgr inż. Paulina Smaczna-Żmuda⁽⁴⁾

Mgr inż. Andrzej Kopec⁽¹⁾

Mgr inż. Przemysław Pachytel⁽²⁾

Mgr inż. Marek Hajto⁽¹⁾

Mgr inż. Grzegorz Pełka⁽¹⁾

Dr inż. Wojciech Luboń⁽¹⁾

Mgr inż. Bartłomiej Ciapała⁽¹⁾

Mgr inż. Dominika Dawiec⁽¹⁾

Mgr inż. Elżbieta Hałaj⁽¹⁾

Konsultacje merytoryczne:

Mgr inż. Jacek Ręka⁽³⁾

(1) AGH w Krakowie, WGGiOŚ, Katedra Surowców Energetycznych

(2) Towarzystwo Geosynoptyków GEOS

(3) Małopolski Cech Zdunów i Zawodów Pokrewnych

(4) Instytut Zrównoważonej Energii „Miękinia” sp. z o.o.

| | |
|---|------------|
| STRESZCZENIE | 4 |
| WSTĘP | 14 |
| 1 DOPUSZCZALNE POZIOMY EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ DO POWIETRZA I ZGODNOŚCI Z WYMAGANIAMI UCHWAŁ ANTYSMOGOWYCH | 15 |
| 2 INWENTARYZACJA ILOŚCI POSZCZEGÓLNYCH RODZAJÓW INSTALACJI | 20 |
| 2.1 TUNELE I SZKLARNIE DO PRODUKCJI ROLNEJ | 20 |
| 2.2 PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA | 25 |
| 2.3 TRADYCYJNE WĘDZARNIE | 26 |
| 3 OPIS STOSOWNYCH TECHNOLOGII | 27 |
| 3.1 TUNELE I SZKLARNIE DO PRODUKCJI ROLNEJ | 27 |
| 3.1.1 <i>Ogrzewanie szklarni</i> | 30 |
| 3.1.2 <i>Systemy ogrzewania upraw pod osłonami</i> | 31 |
| 3.1.3 <i>Paliwa używane w systemach ogrzewania szklarni</i> | 35 |
| 3.1.4 <i>Rodzaje kotłów ciepłowniczych w szklarnictwie</i> | 44 |
| 3.1.5 <i>Dystrybucja ciepła z systemu kotłowego</i> | 45 |
| 3.1.6 <i>Efektywność energetyczna w uprawach pod osłonami</i> | 47 |
| 3.1.7 <i>Sprawność urządzeń grzewczych</i> | 50 |
| 3.2 PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA | 50 |
| 3.3 TRADYCYJNE WĘDZARNIE | 52 |
| 4 WYNIKI ORAZ ANALIZA WYKONANYCH POMIARÓW W ISTNIEJĄCYCH, EKSPLOATOWANYCH INSTALACJACH | 59 |
| 4.1 ZASTOSOWANE ROZWIĄZANIA W TUNELACH FOLIOWYCH I SZKLARNIACH W MAŁOPOLSCE NA PODSTAWIE WIZJI LOKALNYCH | 59 |
| 4.2 TUNELE I SZKLARNIE DO PRODUKCJI ROLNEJ – WYNIKI BADAŃ | 72 |
| 4.2.1 <i>Piec retortowy dla systemu nadmuchu ciepłego powietrza w tunelach foliowych o mocy 100kW – węgiel kamienny klasy III „sortymentu groszek”</i> | 73 |
| 4.2.2 <i>Kocioł o mocy 700kW z rusztem podsuwnym dla systemu ogrzewania CO w szklarni – węgiel kamienny miałowy 24MJ/kg KWK „Murcki”</i> | 75 |
| 4.3 PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA – WIZJA LOKALNA W MAŁOPOLSCE | 79 |
| 4.4 PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA – WYNIKI POMIARÓW | 87 |
| 4.5 TRADYCYJNE WĘDZARNIE – WIZJA LOKALNA | 91 |
| 4.5.1 <i>Wyrób wędlin</i> | 91 |
| 4.6 TRADYCYJNE WĘDZARNIE – WYNIKI POMIARÓW | 100 |
| 4.6.1 <i>Komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi</i> | 100 |
| 4.6.2 <i>Komora wędzarnicza tradycyjna</i> | 104 |
| 5 OPRACOWANIE PROCEDURY OGRANICZAJĄCEJ EMISJĘ SZKODLIWYCH ZWIĄZKÓW DO POWIETRZA W AKTUALNIE STOSOWANYCH INSTALACJACH GRZEW CZYCH BEZ WPROWADZANIA ZMIAN TECHNICZNYCH | 110 |
| 5.1 PRZEGLĄD DOSTĘPNYCH TECHNIK OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH | 110 |
| 5.2 PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA | 118 |
| 5.3 TRADYCYJNE WĘDZARNIE | 122 |
| 5.4 SZKLARNIE I TUNELE FOLIOWE | 124 |
| 6 ANALIZA TRENDÓW I DOBRZYCH PRAKTYK STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ W KRAJU I INNYCH PAŃSTWACH EUROPEJSKICH DLA SZKLARNI | 126 |
| 6.1 TUNELE I SZKLARNIE DO PRODUKCJI ROLNEJ | 126 |
| 6.1.1 <i>Zastosowanie technologii nieemisyjnych lokalnie</i> | 126 |
| 6.1.2 <i>Zastosowanie technologii emisyjnych lokalnie</i> | 142 |
| 6.2 NOWE TECHNOLOGIE W OGRZEWNICTWIE, KLIMATYZACJI – STUDIUM PRZYPADKU ZE ŚWIATA I EUROPY | 143 |
| 6.2.1 <i>Holandia</i> | 143 |
| 6.2.2 <i>Polska</i> | 148 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.3 | TRENDY I INNOWACJE..... | 151 |
| 6.3.1 | <i>Szklarnia bąbelkowa i biogazownia.....</i> | 151 |
| 6.3.2 | <i>Nagrzewnice z rekuperacją powietrza.....</i> | 153 |
| 6.3.3 | <i>Kogeneracja w szklarniach.....</i> | 153 |
| 6.3.4 | <i>Akumulator ciepła w szklarnictwie.....</i> | 154 |
| 6.3.5 | <i>Robotyzacja szklarni.....</i> | 154 |
| 6.4 | CIEKAWOSTKI..... | 155 |
| 6.4.1 | <i>Podgrzewanie gleby piecem szamotowym.....</i> | 155 |
| 6.4.2 | <i>Kompostownik.....</i> | 156 |
| 7 | WYKORZYSTANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W TUNELACH FOLIOWYCH I SZKLARNIACH..... | 158 |
| 7.1 | WARIANT 1 - ZAMIANA KOTŁÓW WĘGLOWYCH NA KOTŁY PELLETOWE..... | 161 |
| 7.2 | WARIANT 2 - ZAMIANA KOTŁÓW WĘGLOWYCH NA KOTŁY PELLETOWE ORAZ GRUNTOWE I POWIETRZNE POMPY CIEPŁA..... | 162 |
| 7.3 | SZACOWANE KOSZTY MODERNIZACJI ŹRÓDŁA CIEPŁA W ANALIZOWANYM GOSPODARSTWIE UPRAW SZKLARNIOWYCH..... | 165 |
| 8 | STUDIUM PRZYPADKU– ODZYSK CIEPŁA ODPADOWEGO Z PIEKARNI..... | 169 |
| 9 | REKOMENDACJE I KIERUNKI DZIAŁAŃ DLA POSZCZEGÓLNYCH AKTYWNOŚCI GOSPODARCZYCH..... | 172 |
| 9.1 | TUNELE I SZKLARNIE DO PRODUKCJI ROLNEJ..... | 173 |
| 9.2 | PIECE DO TRADYCYJNEGO WYPIEKU CHLEBA..... | 175 |
| 9.3 | TRADYCYJNE WĘDZARNIE..... | 176 |
| | SPIS RYSUNKÓW..... | 178 |
| | SPIS TABEL..... | 185 |
| | LITERATURA..... | 187 |
| | STRONY INTERNETOWE..... | 192 |
| | INSPIRACJE..... | 193 |

Streszczenie

Poniższa analiza ma na celu wyznaczenie efektywnych działań na rzecz ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza ze źródeł ciepła dla szklarni, a także na skutek eksploatacji pieców chlebowych oraz wędzarni. Celem proponowanych rozwiązań jest osiągnięcie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu zgodnie z przepisami polskimi i unijnymi. W celu przeciwdziałania niskiej emisji na szczeblu krajowym i samorządowym wprowadzane są liczne akty prawne, a istniejące normy i rozporządzenia są na bieżąco aktualizowane.

Tak zwane uchwały antysmogowe uchwalane przez sejmiki województw to regulacje prawne, które dotyczą wszystkich użytkowników, na obszarze, który obejmują. Ograniczenia, mające na celu poprawę jakości powietrza, obejmują wszystkie instalacje, które nie wymagają uzyskania pozwolenia lub zgłoszenia, a w których są spalane paliwa stałe. Do takich instalacji zaliczamy obiekty zajmujące się uprawą roślin, które wymagają utrzymania odpowiednio wysokiej temperatury również w okresie zimowym, a także zakłady przetwórstwa żywności takie jak wędzarnie i piekarnie, w których stosowane są metody tradycyjne. Jednocześnie wprowadzanie regulacji prawnych i ochrona jakości powietrza wymusza wdrażanie coraz bardziej zaawansowanych i innowacyjnych rozwiązań technologicznych z zakresu spalania paliw stałych, w tym zastąpienia dotychczasowych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza rozwiązaniami ekologicznymi.

Biorąc pod uwagę zakres merytoryczny, dokument można podzielić na trzy obszary tematyczne: szklarnie, piece do tradycyjnego wypieku chleba oraz wędzarnie. O ile zmiana ogrzewania szklarni wydaje się tematem prostszym, ponieważ konieczne jest jedynie dostarczenie ciepła na cele ogrzewania obiektu i możliwość zastosowania szerokiego spektrum dostępnych technologii ograniczających emisję i spełniających wymagania uchwały antysmogowej, o tyle temat pieców piekarniczych i wędzarni jest bardziej skomplikowany, a literatura naukowa - uboga. W przypadku piekarni i wędzarni trudnością jest również fakt, że produkty tradycyjne to wyroby, których jakość lub wyjątkowe cechy i właściwości wynikają ze stosowania tradycyjnych metod produkcji, stanowiące element dziedzictwa kulturowego regionu, w którym są wytwarzane.

Tunele i szklarnie do produkcji rolnej

Obok nawodnienia gleby i utrzymania odpowiedniej wilgotności powietrza, utrzymanie wymaganej przez rośliny temperatury jest jednym z głównych problemów, które towarzyszą uprawom szklarniowym (tunelowym). Ogrzewanie (a także chłodzenie) dotyczy nie tylko zachowania optymalnych warunków wegetacji roślin, lecz także może wpływać bezpośrednio na efektywność ekonomiczną prowadzonej działalności rolniczej/gospodarczej. Wynika to przede wszystkim z kosztów związanych z zakupem i eksploatacją urządzeń grzewczych (rzadziej chłodniczych). Ogrzewanie obiektów stanowi dla gospodarstw do 70% kosztów, które są ponoszone w danym sezonie grzewczym (jego długość uzależniona jest od rodzaju upraw), a źle zaprojektowany lub wysoce awaryjny system grzewczy może negatywnie wpłynąć na produkcję roślinną, w skrajnych przypadkach - doprowadzić do zniszczenia plantacji. Ogrzewanie szklarni, w dobie nieustannego wzrostu cen energii, wymusza wyszukiwanie rozwiązań, które umożliwiają zredukowanie ponoszonych kosztów. Niekiedy wydajność systemu ogrzewania może być poprawiona sposobami niewymagającymi pomocy specjalistów.

Budynki szklarniowe posiadają przeszklenia z kompozytów, poliwęglanów, poliwęglanów komorowych, folii oraz innych materiałów, tak aby zagwarantować wymagany współczynnik przenikania promieni słonecznych. Jednocześnie z uwagi na trend zmierzający do osiągnięcia minimalnych strat ciepła stosuje się materiały o właściwościach hermetycznych oraz termoizolacyjnych, dzięki czemu obiekty są łatwiej sterowalne oraz energooszczędne, a przez to bardziej przyjazne środowisku.

W zależności od stosowanego źródła ciepła, w systemach ogrzewania szklarniowego możemy wyróżnić następujące źródła i paliwa:

- Węgiel kamienny (w tym miał węglowy);
- Gaz ziemny;

- Gaz płynny (LPG);
- Olej opałowy (lekki, ciężki-mazut);
- Energia elektryczna;
- Sieci ciepłownicze;
- Odnawialne źródła energii, w tym biomasa – biopaliwa stałe.

Dobór systemu ogrzewania, wentylacji, oświetlenia, nawadniania powinien uwzględniać szereg czynników, w tym:

- Wymagania termiczne roślin;
- Możliwości techniczne konstrukcji kotłowni/węzła cieplnego/maszynowni i systemu rozprowadzenia ciepła;
- Dostępność paliwa;
- Ponośzone koszty;
- Wymagania środowiskowe (prawo krajowe, lokalne-i inne).

Każdy z systemów ma swoje zalety i wady, które determinują zastosowanie w konkretnym przypadku. Przykładowo, wykorzystanie gazu ziemnego do ogrzewania jest rozwiązaniem prostym technicznie, przyjaznym środowisku i odpowiadającym potrzebom wielu roślin i systemów rozprowadzenia ciepła, a przy tym stale dostępnym i stosunkowo bezawaryjnym, jednakże kosztownym – w szczególności w perspektywie spodziewanego wzrostu cen nośników energii w Europie i w Polsce.

Biorąc pod uwagę przeprowadzoną inwentaryzację ilości szklarni i tuneli foliowych w województwie małopolskim, najbardziej wiarygodne wydają się dane pozyskane z Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, które wskazują, że na terenie Małopolski funkcjonuje 601 gospodarstw o łącznej powierzchni 240,42 ha. Równocześnie dane geodezyjne wskazują na powierzchnię szklarni/cieplarni wynoszącą około 120 ha. Należy jednak zwrócić uwagę, że część z tych obiektów niekoniecznie jest ogrzewana. Z danych pozyskanych z ankiet przesłanych do gmin wynika, że obiekty ogrzewane są zazwyczaj węglem i drewnem, a także gazem ziemnym, olejem opałowym oraz energią elektryczną i ciepłem sieciowym (jeden obiekt).

Podczas prac nad dokumentem wykonano 10 wizji lokalnych w gospodarstwach rolno-ogrodniczych. Obiekty szklarniowe posiadały najczęściej systemy ogrzewania oparte na kotłach z rusztem podsuwnym zasilanym miałem węglowym, kotły retortowe zasilane węglem kamiennym sortymentu groszek, systemy zasilane gazem ziemnym, ale także zaobserwowano piece akumulacyjno-radiacyjne. Pomiary z wykonanych instalacji przedstawiono w tabeli poniżej, natomiast dokładne informacje na temat obiektów oraz pomiarów z badań można znaleźć w rozdziale 4.

Tabela 1 Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - szklarnie i tunele foliowe

| Parametr | Jednostka | Wymagania ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń z otwartą komorą spalania (O ₂ ref 13%) | Obiekt 1 – Tunel foliowy | Wymagania ekoprojektu dla kotłów automatycznych (O ₂ ref 10%) | Obiekt 2 – Szklarnia |
|---------------|-------------------|---|---|--|--|
| Źródło emisji | - | - | Piec retortowy, węgiel kamienny sortyment groszek | - | Kocioł z rusztem podsuwnym, węgiel kamienny sortyment miał |
| CO | mg/m ³ | 2000 | 343 | 500 | 139 |

| | | | | | |
|------------|-------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
| NOx | mg/m ³ | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 415 | 350 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 492 |
| Pył | mg/m ³ | 50 | 24,8 | 40 | 340 |

W obu przypadkach ogrzewania szklarni wartości NOx są przekroczone, w obiekcie ogrzewanym kotłem z rusztem podsuwnym mamy również 10-krotne przekroczenie stężenia pyłów względem wymagań Ekoprojektu.

Szacunkowe zużycie paliwa:

- tunel foliowy wielonawowy o powierzchni około 400m² (czas pracy około 4 miesiące na sezon w okresie wiosennym) ogrzewany piecem na węgiel sortyment groszek połączonym z układem nadmuchu powietrzem - 8 ton/sezon;
- tunel foliowy wielonawowy o powierzchni około 450m² (czas pracy około 4 miesiące na sezon w okresie wiosennym) ogrzewany piecem na węgiel sortymentu groszek – połączony z układem nadmuchu powietrzem zużycie paliwa 9 ton/sezon;
- tunele foliowe ogrzewane w systemie centralnego ogrzewania (c.o.) z ogrzewaniem dolnym o powierzchni około 4000m² (czas pracy 5-6 miesięcy na sezon w okresie wiosennym i jesiennym) ogrzewany miałem węglowym - zużycie paliw 80 ton/sezon;
- szklarnia i tunele foliowe ogrzewane układem wieloobwodowym c.o. o powierzchni około 3600 m² (czas pracy około 8 miesięcy w roku) ogrzewany piecami na miał węglowy – zużycie paliwa 150 ton/sezon.

Instalacje te mają możliwość zastosowania szerokiego spektrum rozwiązań obniżających emisję gazów odlotowych: od działań modernizacyjnych w istniejącej instalacji po zastosowanie nowoczesnych technologii dostępnych na rynku. Dla kotłów z rusztem podsuwnym zasilanych miałem węglowym zaleca się zastosowanie elektrofiltrów, filtrów ceramicznych bądź workowych. Zastosowanie odpylacza typu cyklon może okazać się niewystarczające. Dodatkowo ze spalin (w pomierzonych źródłach ich temperatura wyniosła 130°C) można odzyskać energię odpadową przy zastosowaniu wymiennika kondensacyjnego, podwyższając w ten sposób sprawność. Obniżenie emisji NOx można uzyskać poprzez zmianę temperatury w palenisku – zmiana konstrukcji paleniska, stopniowanie dostępu powietrza (kontrola nadmiaru powietrza), stopniowanie paliwa (podział spalania na trzy etapy: spalanie z nadmiarem powietrza, spalanie z niedoborem powietrza, spalanie z udziałem powietrza wtórnego) oraz recyrkulację spalin. Przegląd dostępnych technik oczyszczania gazów znajduje się w rozdziale 5.

Najlepszym rozwiązaniem w obiektach szklarniowych jest dążenie do zmniejszenia strat energetycznych poprzez ich modernizację oraz wymianę przegród na nowoczesne o podwyższonej termoizolacyjności, co pokazują przykłady m.in. z Holandii. Technologie te, choć kosztowne, pozwalają na oszczędność energii rzędu 50-70%. Rozwiązaniem dla obiektów w województwie małopolskim, biorąc pod uwagę miejscowe akty prawne oraz dostępne technologie, jest wymiana źródła ogrzewania na bardziej przyjazne środowisku (dla obiektu pierwszego opracowano propozycję rozwiązania wykorzystania OZE – rozdział 7), jak np. pompy ciepła, kotły na biomasę, nagrzewnice z rekuperacją powietrza czy inne wymienione w rozdziale 6.

Analizując technologie dostępne w kraju i w Europie wyróżnić można następujące innowacyjne rozwiązania:

- Wykorzystanie pomp ciepła do osuszania szklarni oraz odzysk ciepła z otoczenia;
- Dach izolacyjny z szybą podwójną;

- Powłoka niskoemisyjna umożliwiająca utrzymywanie niskiej wartości współczynnika przenikania ciepła i powłoki antyrefleksyjnej (AR) w celu utrzymania wysokiej przepuszczalności światła;
- Obieg zamknięty wody;
- Ogniskowanie promieni słonecznych w soczewkach na okrągłych kolektorach rurowych;
- Zastosowanie jednostek kogeneracyjnych;
- Zastosowanie buforów ciepła;
- Przechowywanie ciepła i chłodu w warstwach wodonośnych;
- Magazynowanie wody deszczowej;
- Model Het Nieuwe Telen – uprawy niskoenergetyczne;
- Szklarnia "bąbelkowa" - zastosowanie piany do samoregulacji stopnia izolacji ścian szklarni w zależności od pozycji słońca;
- Nagrzewnice z rekuperacją powietrza;
- Kogeneracja;
- Kompostownik jako źródło ciepła oraz nawozu;
- Zastosowanie przeziernych modułów fotowoltaicznych.

Jednym z bardziej inspirujących projektów jest „Greenhouse2030: Zrównoważona uprawa z przyszłością” (Holandia). Celem projektu było zaprojektowanie systemu szklarni, której eksploatacja umożliwi zminimalizowanie emisji CO₂ poprzez połączenie nowych technik w zakresie izolacyjności, przepuszczalności światła, obiegu zamkniętego wody i źródła ogrzewania rozdział 6.2.1.1.

Stosowanie układów pomiarowych i kontroli klimatu wewnątrz szklarni pozwoli zachować minimalne bezpieczne temperatury w okresie zimowym (bez przegrzewania obiektów) przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnych parametrów dla produkcji. Jednocześnie, stosowne wykorzystanie układów odzysku ciepła z instalacji grzewczych pozwala zmaksymalizować sprawności układów źródeł szczytowych. Dodatkowo centralizacja produkcji jest bardziej efektywna ekonomicznie i energetycznie, ponieważ wiele małych obiektów do ogrzewania wykorzystuje systemy o nieodpowiedniej konstrukcji powodujące emisję zanieczyszczeń do powietrza (murowane piece akumulacyjne). W małych obiektach niekorzystna jest także proporcja powierzchni przegród do ogrzewanej objętości ich wnętrza. Centralizacja produkcji sprzyja stosowaniu źródeł ciepła o wysokiej sprawności energetycznej i niskiej emisji gazów odlotowych, a dodatkowo pozwala na właściwą kontrolę wilgotności w obiektach (woda na odparowanie pobiera znaczne ilości energii).

Koszty rozwiązań są ściśle zależne od wielkości i rodzaju produkcji. Dla przykładu autorzy szklarni bąbelkowej (innowacyjna aktywna cieplarnia na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu) szacują, że konstrukcja cieplarni jest o 10-20% droższa niż klasyczna, jednakże możliwe jest zmniejszenie zużycia energii do ogrzewania nawet o 70-80%.

Przykładem wykonania znacznej inwestycji o dużej skali i jednocześnie o wysokiej efektywności produkcyjnej i energetycznej jest stężyczka uprawa kwiatów. Łączna wartość inwestycji firmy JMP Flowers Grupa Producentów Sp. z o.o. zlokalizowanej w Stężycy, w pow. ryckim, w województwie lubelskim, która była realizowana przez kilka lat w trzech etapach, wyniosła ok. 52 mln euro. Firma zajmuje się uprawą ponad 70 odmian róż na powierzchni 5,65 ha oraz 70 odmian anturium na powierzchni 2,7 ha, a przede wszystkim aż 200 odmian orchidei na powierzchni 10 ha. Gospodarstwo jest w ok. 90% samowystarczalne jeśli chodzi o energię elektryczną. Więcej informacji w rozdziale 6.2.2.2.

W rozdziale 6.1.1.1.3 przedstawiono potencjał energii geotermalnej na podstawie artykułu naukowego. Kalkulacja kosztów inwestycyjnych obejmowała projekt geologiczny dla każdej lokalizacji (445 tys. Euro) oraz budowę infrastruktury naziemnej, w tym koszty odwiertu produkcyjnego, koszty

wyposażenia studni iniekcyjnej, koszty instalacji wymienników oraz koszty rurociągu geotermalnego – rozkładające się w przedziale od 2 056 966 do 3 307 865 euro.

W opracowaniu uwzględniono również istniejący przykład modernizacji z obszaru województwa małopolskiego. Koszty modernizacji instalacji oszacowano w zależności od stopnia zaawansowania prac:

- Ok. 50 tys. zł - wymiana palnika na pelletowy w istniejącym urządzeniu
- Ok. 135 tys. zł – wymiana na piec nadmuchowy na pellet
- Ok. 664 tys. – 1.5 mln zł – modernizacja całego źródła z uwzględnieniem pomp ciepła.

Dokładne kalkulacje oraz koszty eksploatacyjne opisane zostały w rozdziale 7.

Piece do tradycyjnego wypieku chleba

W województwie małopolskim zdecydowana większość piekarni zajmujących się wypiekiem chleba posiada piece piekarnicze typu RR, RK oraz RRK. Są to kilkudziesięcioletnie konstrukcje murowane z cegły, wyposażone w większości w archaiczny system kontroli nad paleniskiem. Cieszą się one wciąż popularnością i wielu piekarzy wraca do wyrobu chleba przy ich pomocy, gdyż na przestrzeni lat były gwarancją niezawodności i zachowywały najwyższe standardy wypieku pieczywa przy jednoczesnej prostocie obsługi i szybkiej regulacji temperatury. Ilość piekarni tradycyjnych w województwie wydaje się problematyczna do oszacowania. W ankiecie wypełnianej przez pracowników gmin województwa małopolskiego wskazywane zostały nie tylko piekarnie tradycyjne, ale również wykorzystujące do wypieku gaz oraz wskazano małe przydomowe, nierejestrowane piece chlebowe. Również kody PKD są zbyt ogólnikowe i nie wskazują metody produkcji.

Wizje lokalne pokazują, że większość obiektów piekarniczych RR, RK, RRK posiada zasilanie na gaz, olej opałowy bądź rozważane jest przejście na tego typu paliwo. Część z obiektów odzyskiwała ciepło zawarte w gazach odlotowych na potrzeby zakładu oraz ciepło procesowe (np. wytwarzanie pary). Piece chlebowe wytwarzają dużą ilość ciepła, a także je akumulują, jednakże w wielu obiektach nie ma dodatkowych systemów ogrzewania pomieszczeń. Żaden z wizytowanych obiektów nie miał systemów ograniczania emisji do powietrza. W przypadku tradycyjnych pieców ceramicznych ze wspólną komorą paleniskowo-wypiekową nie stwierdzono systemów odzysku ciepła z gazów odlotowych. Obiekt, w którym wykonano pomiary, zasilany był sosnowym drewnem kawałkowym, co miało przede wszystkim wpływ na jakość i walory smakowe charakterystyczne dla danego produktu. Wyniki pomiarów emisji wskazały na wysokie zawartości CO oraz pyłów, przekraczające wymagania ekoprojektu. Wyniki pomiarów NOx wykazały, iż mierzone wartości były na poziomie mieszczącym się w wymaganiach.

Piekarnia tradycyjna na drewno sosnowe zużywa około 200 kg drewna sosnowego na dobę przy wielkości produkcji 300 kg pieczywa. Roczne zużycie paliwa utrzymuje się na poziomie około 10,4 tony.

Piekarnia zasilana pelletem drzewnym zużywa 1 tonę pelletu sosnowego tygodniowo, co daje około 52 tony pelletu rocznie. Natomiast piekarnie z wizji lokalnych zasilane gazem zużywają około 120 000 m³ gazu na rok przy produkcji pieczywa na poziomie 1,2 tony na dobę oraz około 72 000 m³ gazu na rok przy produkcji pieczywa 2,6 tony na dobę.

Tabela 2 Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - piekarnie

| Parametr | Jednostka | Wymagania ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń z otwartą komorą spalania (O2 ref 13%) | Piekarnia |
|---------------|-----------|---|-----------------------------|
| Źródło emisji | - | - | Chlebowy piec akumulacyjny, |

| | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------|
| | | | drewno sosnowe |
| CO | mg/m ³ | 2000 | 4778 |
| NO_x | mg/m ³ | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 81,8 |
| Pył | mg/m ³ | 50 | 292 |

Stosunkowo wysokie temperatury spalin (prawie 150°C) z procesów piekarniczych dają możliwość stosowania układów odzysku energii z gazów odlotowych na cele CO/CWU. Dążenie do osiągnięcia niskich wskaźników emisji dla pieców do tradycyjnego wypieku chleba można podzielić zasadniczo na kilka sposobów:

- Modernizacje pieców w celu zmniejszenia energochłonności i zwiększenia efektywności;
- Zmiana pieców na konstrukcje nowej generacji;
- Zmiana sposobu zasilania pieców w energię cieplną.

Piece tradycyjne o konstrukcji ceramicznej, gdzie komora wypiekowa jest jednocześnie komorą paleniskową są konstrukcjami, które praktycznie uniemożliwiają zastosowanie innych źródeł energii, a także zmian konstrukcyjnych. Tradycyjny wyrób wytwarzany niezgodnie z daną technologią może utracić swoje właściwości. Rozwiązaniem jest zastawanie filtrów ceramicznych, workowych lub elektrofiltrów oraz wprowadzenie zaleceń odnośnie jakości spalanego paliwa. Ze względu na warunki techniczne oraz charakter pyłu związanego z użytkowanym paliwem zaleca się wykonanie badań granulometrycznych frakcji pyłu w celu dobrania najefektywniejszego urządzenia odpylającego. Dodatkowo przy doborze urządzenia uwzględnione powinny zostać indywidualne aspekty takie jak przepływ gazów odlotowych, ciśnienie gazów, temperatura, wilgotność oraz zawartość tlenków siarki.

Natomiast piece typu RR, RK, RRK są urządzeniami o wysokim potencjale modernizacyjnym. Na rynku istnieje wiele podmiotów zajmujących się przebudową tychże pieców, zarówno pod kątem optymalizacji procesu produkcji pieczywa jak i zwiększenia efektywności procesu pod kątem efektywności termicznej i aspektów ekologicznych. Przy zmianie zasilania pieca w palniki o niskiej emisyjności wartości dopuszczalne stawiane przez ekoprojekt wydają się osiągalne, jednak może to się odbyć przy współudziale instalacji oczyszczania gazów odlotowych, ze względu na konstrukcję paleniska odmienną niż w kotłach. Dokładne obszary i propozycje modernizacji przedstawiono w rozdziale 5.2.

Każdą instalację należy rozpatrzyć indywidualnie, jednakże wyróżnić można kilka kierunków zwiększenia efektywności energetycznej tych systemów m.in. odzysk ciepła z gazów odlotowych (przykład instalacji - rozdział 8), zastosowanie układów pomiarowych i kontroli paleniska/komór wypiekowych w celu optymalizacji procesów wygrzewania pieców i niespalania nadmiernych ilości paliwa oraz stosowanie standaryzowanego paliwa o odpowiedniej wilgotności i wysokiej wartości opałowej (jednakże może dojść do zmiany jakości, smaku pieczywa).

W rozważanym przypadku z rozdziału 8, dotyczącym systemu odzysku ciepła z pompą ciepła (o mocy 12 kW), zasobnikiem c.w.u. i buforem ciepła, szacuje się koszty modernizacji na poziomie 72 000 zł netto (stan na rok 2021). Dodatkowo, przy braku systemu wentylacji mechanicznej w piekarni należy doliczyć koszt centrali wentylacyjnej (o wydajności około 3000 m³/h) i systemu wentylacji na poziomie 55 000 zł netto.

Tradycyjne wędzarnie

Tradycja wędzenia bardzo mocno różni się w zależności od regionów. Zarówno konstrukcje służące do wędzenia jak i prowadzenia procesu często ma charakter indywidualny stanowiący o wyjątkowości wyrobu.

Dzięki zawartym w dymie wędzarniczym składnikom osiadającym na powierzchni wędzonych produktów, proces utleniania tłuszczów oraz rozwój mikroflory jest znacznie spowolniony. Dodatkowo dym wpływa na walory smakowe gotowych produktów. **Źródło ciepła i dymu jest jednym z kluczowych czynników wpływających na proces wędzenia.** Wędzenie może się odbywać w komorach wędzarniczych bądź komorach wędzarniczo-parzelniczych. Używane w metodzie tradycyjnej są najczęściej komory wędzarnicze, w których wędzenie prowadzone jest w sposób manualny, a całkowitą kontrolę nad procesem ma operator.

Charakterystyczny dla niemalże całego terytorium Polski jest wyrób wędlin metodą wykorzystującą dym gorący o temperaturze około 80°C. Większość wyrobów w Polsce wytwarza się z mięsa wieprzowego, dalej wołowy, drobiu i koniny. Najmniejszą skalę prawdopodobnie stanowią wędzone wyroby rybne. W przypadku nabiału popularne są wędzone sery.

Zasadniczo w procesie wędzarniczym dla wytwarzania wyrobów mięsnych można wyróżnić poszczególne fazy prowadzenia procesu:

- Suszenie - etap wstępny, gdzie z powierzchni wyrobów odparowuje woda, zamykają się struktury komórkowe wyrobów, co pozwala na zatrzymanie wilgoci wewnątrz oraz ogranicza pękanie wyrobów;
- Parzenie - obróbka termiczna wędlin przy użyciu gorącej pary wodnej;
- Wędzenie- proces odpowiedniego zadymiania charakterystyczny dla danego wyrobu;
- Pieczenie - proces wygrzewania wędlin w podwyższonej temperaturze bez użycia spalin o składzie typowym dla wędzenia (np. z płomienia gazowego);
- Odpoczywanie - proces stygnięcia wędlin po procesie wędzarniczym nadający wędlinom ostateczną strukturę i parametry fizyczne;
- Chłodzenie - proces obniżania temperatury wyrobu do temperatury przechowywania w chłodni zwykle realizowany przy pomocy obniżania temperatury powietrza.

Czas trwania procesu metodą tradycyjną wynosi od kilkudziesięciu minut do nawet 6 godzin w zależności od pory roku oraz warunków meteorologicznych. Czas trwania procesu w przypadku wędzenia na zimno to czasami proces cyklicznego zawędzania niewielką ilością wiórek drzewnych przez okres nawet tygodnia. Czas zawędzania w komorze wędzarniczo-parzelniczej jest wielokrotnie mniejszy i zużywa się stosunkowo niewielkie ilości paliwa.

W tradycyjnych procesach wędzarniczych, najczęściej wykorzystuje się drewno olchowe, bukowe, dębowe oraz niemalże wszystkie gatunki drzew owocowych (m.in. wiśnia, śliwa, czereśnia). Drewno drzew iglastych nie nadaje się do wytwarzania wędlin, dym jest gryzący, zawiera wiele szkodliwych węglowodorów, a w dodatku negatywnie wpływa na smak wyrobów.

Drewno przechowywane jest na zewnątrz i cechą pożądaną jest by było wilgotne, spala się wtedy wolniej, a dym jest większej gęstości niż wytwarzający się przy drewnie suchym. Kolejną pożądaną cechą w przypadku niektórych odmian wędlin jest, aby drewno spalane było smoliste o dużej zawartości żywic (np. wiśnia).

Ilość wędzarni tradycyjnych w województwie małopolskim wydaje się problematyczna do oszacowania, w ankiecie przeprowadzonej wśród gmin województwa małopolskiego wskazywane zostały nie tylko wędzarnie tradycyjne, ale również wskazano małe przydomowe, nierejestrowane instalacje. Również kody PKD są zbyt ogólnikowe i nie wskazują metody produkcji. Na podstawie wizji lokalnych szacuje się, że średnio w każdej gminie występują 1-2 tradycyjne wędzarnie, z tym że występują pojedyncze gminy, w których ta ilość jest większa i zmienia się sezonowo (np. w przypadku dużej ilości bacówek do wędzenia serów).

Z danych uzyskanych w czasie wizji lokalnych wynika, iż komora wędzarnicza tradycyjna zużywa w ciągu godziny pracy około 15-30 kg drewna. Biorąc pod uwagę czas trwania procesu, to całkowite

zużycie drewna zakładając czas trwania procesu na 3,5h wynosi niemalże 100 kg na 40-60 kg wyrobów wędliniarskich. Roczne zużycie paliwa wynosi około 15,3 t drewna owocowego oraz około 0,2 t suchego drewna sosnowego na rozpałkę.

Dla komory wędzarniczo-parzelniczej na jeden cykl produkcji przeznaczają się zaledwie 3-5 kg paliwa w postaci wiórów drewna na 20-40 kg wędlin. Rozdrobnione paliwo podczas kontrolowanego zgazowania w niskiej temperaturze wytwarza dym o dużej i kontrolowanej gęstości. Pozwala to na nawet 20-krotne zmniejszenie zużycia paliwa w odniesieniu do metody tradycyjnej. Wędzenie wędlin z użyciem komory wędzarniczo-parzelniczej z dymogeneratorem dla przedsiębiorstwa, w którym prowadzono wizję lokalną generuje zużycie wiórków drzewnych na poziomie około 15 kg/dobę. Średnioroczne zużycie paliwa wynosi około 2,5 t paliwa.

Wędzenie serów w baczce generuje zużycie około 150 kg drewna bukowego na dobę. W ujęciu rocznym zużycie wynosi około 23 t paliwa.

Wędzenie ryb w komorze tradycyjnej powoduje zużycie drewna kawałkowego na poziomie około 40 kg na proces. Średnioroczne zużycie paliwa w obserwowanym przedsiębiorstwie wynosi ok. 2,1 t paliwa.

Dym wędzarniczy jest aerozolem, w różnym stopniu nasyconym parą wodną. Tworzy się on w następstwie mieszania się gazowych (szczególnie CO₂, CO, węglowodorów oraz NO_x), ciekłych i bardzo drobnych stałych produktów kontrolowanego spalania drewna przy ograniczonym dostępie powietrza (pirolizy) wraz z powietrzem. Składniki gazowe oraz powietrze stanowią ok. 10 % składu dymu. Na pozostałą część składają się płynne i stałe (o średnicy poniżej 0,14 μm) produkty spalania takie jak: para wodna, związki organiczne, sadza, smoła i żywice. W wyniku spalania drewna w obiektach wędzarniczych, niezwykle istotny jest fakt powstania znacznej ilości WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), gdzie szczególną uwagę przykłada zawartość benzo(a)pirenu, wykazującego silne właściwości kancerogenne. Wykazano jednak, że dym uzyskiwany przy znikomym dopływie powietrza zawiera znacznie mniej BaP niż w przypadku pełnego dopływu.

Ponieważ instalacje kotłowe pracują z innym współczynnikiem nadmiaru powietrza, przeliczanie stężeń mierzonych substancji do standardowych warunków odniesienia daje bardzo niekorzystne wyniki dla tego typu instalacji. Zmierzone w trakcie wizji lokalnych parametry gazów odlotowych potwierdzają założenia teoretyczne realizowanych procesów.

Obecnie, na terenie Polski nie obowiązują żadne krajowe normy, regulujące wielkości emisji z wędzarni. Jest to niezwykle trudna kwestia ze względu na opisaną powyżej specyfikę danego procesu. Czynnikiem regulowanym natomiast jest zawartość WWA w gotowym produkcie. Zgodnie z rozporządzeniem Komisji (UE) nr 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 r., maksymalny poziom benzo(a)pirenu nie może przekraczać 2 μg/kg oraz 12 μg/kg dla sumy 4 WWA.

W trakcie wykonywania opracowania wykonano 4 wizje lokalne w obiektach, w których wykorzystuje się proces wędzenia do produkcji żywności. Wykonano dwie wizje lokalne w zakładach trudniących się produkcją wędlin oraz po jednej u wytwórców wędzonych serów oraz ryb.

Żaden z wizytowanych obiektów nie miał zainstalowanych urządzeń ograniczających emisję zanieczyszczeń do powietrza. Właściciele obiektów nie są świadomi przepisów prawa, które odnoszą się do użytkowanych przez nich urządzeń.

Tabela 3 Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - wędzarnie

| Parametr | Jednostka | Wymagania ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń z otwartą komorą spalania (O ₂ ref 13%) - pogładowo | Wędzarnia | Wędzarnia |
|----------|-----------|---|-----------|-----------|
| | | | | |

| Źródło emisji | - | - | Wytwornica dymu wędzarniczego, Wióry olchowo - bukowe | Palenisko komory wędzarniczej, Drewno śliwy i wiśni |
|---------------|-------------------|---------------------------------------|---|---|
| CO | mg/m ³ | 2000 | 44945 | 4269 |
| NOx | mg/m ³ | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | p.g.o.* | 11 |
| Pył | mg/m ³ | 50 | 1716 | 316 |

Na uwagę zasługuje fakt, iż baczówki i niektóre z wędzarni nie spełniają wymogów technicznych, aby je sklasyfikować jako źródła emisji zorganizowanej. Gazy odlotowe nie są bowiem odprowadzane kominem do atmosfery.

Przy obecnym braku rozwiązań technologicznych, dzięki którym istniałaby możliwość uzyskania produktu o walorach smakowych i jakościowych identycznych lub podobnych do wyrobów tradycyjnych (nowoczesne urządzenia parzelniczo-wędzarnicze nie pozwalają uzyskać produktu o tych samych walorach smakowych i strukturze) wydaje się zasadnym umożliwienie produkcji przy użyciu tych metod z założeniem, iż gazy odlotowe pochodzące z tego rodzaju źródeł będą oczyszczane z substancji smolistych, pyłu, węglowodorów oraz CO przed wprowadzeniem ich do atmosfery. Z uwagi na zmienność prowadzenia procesu wędzarniczego oraz charakter matrycy gazów odlotowych z procesu powinno się dobierać urządzenia z istotnym zapasem konstrukcyjnym będącym zabezpieczeniem dla prawidłowości działania układu.

Aby zmniejszyć emisję zanieczyszczeń do powietrza należy rozważyć zastosowanie układów oczyszczania gazów odlotowych, a także propagowanie dobrych nawyków oraz technik wędzenia pozwalających na ograniczenie powstawania szkodliwych substancji w trakcie realizacji procesu (niedopuszczenie do palenia się tłuszczu).

Niniejsze opracowanie wskazuje na brak możliwości dostosowania się niektórych instalacji do wymagań ekoprojektu, a tym samym do przepisów uchwały antysmogowej, ale jednocześnie emisja z tych instalacji znacznie przekracza standardy dla urządzeń ekoprojektu i może stanowić uciążliwe lokalne źródło zanieczyszczenia. Zasadnym jest zmiana przepisów na poziomie krajowym, która wprowadzi dla tych instalacji instrumenty nadzoru przy jednoczesnym wyłączeniu z przepisów uchwał antysmogowych. Zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (POŚ) i jej art. 96, tzw. uchwały antysmogowe podejmowane przez sejmiki województw, nie mają zastosowania do instalacji, dla których wymagane jest uzyskanie pozwolenia zintegrowanego albo pozwolenia na wprowadzanie gazów lub pyłów do powietrza, albo dokonanie zgłoszenia. Objęcie takich instalacji obowiązkiem zgłoszenia lub innej formy wpisu do ewidencji we właściwej gminie mogłoby być powiązane z wyłączeniem z wymagań przepisów antysmogowych.

Z powyższych informacji wynika, iż poszczególne branże znacząco różnią się od siebie pod względem zużycia mediów. Do najbardziej energochłonnych obiektów z rozpatrywanych należą piekarnie oraz instalacje ogrzewania obiektów szklarniowych. Każda instalacja jest bardzo indywidualna, dlatego też producenci tych urządzeń zastrzegają sobie jednostkową wycenę. Dla najmniejszych urządzeń działania modernizacyjne mogą być nieopłacalne. Poniżej przedstawiono orientacyjne koszty dostępnych technologii oczyszczania gazów odlotowych:

- Cyklony - dla przepływu gazów do 1400Nm³/h około 20 tys. zł.;
- Mokre systemy odpylania – dla przepływu gazów około 7000Nm³/h - 80 tys. zł.;
- Elektrofiltry - urządzenie redukujące stężenie gazów do poziomu <15mg/m³ na nominalny przepływ 1600 Nm³/h kosztuje w granicach 190 tys. zł. Elektrofiltry często łączy się z innymi

odpylaczami w zespoły. Jeśli pracują jako główne urządzenie odpylające stosuje się wstępny system oczyszczania w postaci cyklonów bądź baterii cyklonów;

- Odpylacze ceramiczne - dla przepływu około 1900 Nm³/h wynosi około 80 tys. zł.;
- Flirty workowe/tkaninowe - dla przepływu 1000 Nm³/h wynosi od 20 tys. zł dla zastosowań niskotemperaturowych, dla zastosowań wysokotemperaturowych cena jest 3-5 razy wyższa;
- Dopalacze płomieniowe - koszt 30-60 tys. zł. Ceny urządzeń dedykowanych do przemysłu wyposażone w kotły odzysknicowe na przepływy rzędu 2000 Nm³/h wynoszą powyżej 500 tys. zł.;
- Adsorbent zawierające substancje pochłaniające np. węgiel aktywny - dla instalacji o niewielkim przepływie do 1000Nm³/h ceny urządzeń zaczynają się od około 100 tys. zł.

Wstęp

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane na podstawie umowy pomiędzy Województwem Małopolskim a Instytutem Zrównoważonej Energii „Miękinia” sp. z o.o.

Wprowadzane na podstawie art. 96 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 Prawo ochrony środowiska tzw. uchwały antysmogowe dotyczą wszystkich eksploatowanych instalacji, w których następuje spalanie paliw. Instalacje te są obecne również w działalności rolniczej. W związku z realizacją Programu ochrony powietrza dla województwa małopolskiego, mającego na celu osiągnięcie dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń w powietrzu, zaistniała potrzeba analizy możliwości likwidacji lub ograniczenia niskiej emisji pochodzącej ze źródeł stałopalnych w tunelach foliowych i szklarniach, wędzarniach oraz piecach chlebowych. Analiza została zrealizowana w ramach środków projektu zintegrowanego LIFE pn. „Wdrażanie Programu ochrony powietrza dla województwa małopolskiego - Małopolska w zdrowej atmosferze” dofinansowanego ze środków programu LIFE Unii Europejskiej oraz z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Opracowanie przedstawia stanowisko autorów, a Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne wykorzystanie zawartych w nim informacji.

Dokument ma na celu oszacowanie ilości poszczególnych rodzajów instalacji będących przedmiotem analizy oraz opracowanie koncepcji osiągnięcia dopuszczalnych poziomów emisji zanieczyszczeń do powietrza i zgodności z wymaganiami tzw. uchwał antysmogowych.

Dodatkowo przeprowadzono przegląd literaturowy obejmujący stosowane rozwiązania w przedmiotowym zakresie w kraju i innych państwach europejskich i opisano stosowne ekologiczne możliwości.

Na podstawie przeprowadzanych pomiarów w istniejących, eksploatowanych instalacjach określono poziomy emisji związków do powietrza i zaproponowano procedury ograniczające emisję, poprzez doposażenie lub zastosowanie nowych ekologicznych rozwiązań tradycyjnego pieca chlebowego oraz wędzarni. Dla tunelów foliowych i szklarni zaproponowano wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w szerokim aspekcie, nie tylko modernizacji samej instalacji ogrzewania, ale również w konstrukcji budowy.

Przedstawione opracowanie ma charakter poglądowy, nie może być jedynym źródłem wiedzy na temat ograniczenia niskiej emisji pochodzącej ze źródeł stałopalnych omawianych instalacji.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono możliwości zaopatrzenia w ciepło technologiczne w branżach: uprawy pod osłonami, wędzarniczej i piekarnictwa tradycyjnego, jednak możliwość zaimplementowania poszczególnych technologii w konkretnych przypadkach może być ograniczona. Do każdej instalacji należy podejść indywidualnie biorąc pod uwagę wszystkie dostępne rozwiązania. .

1 Dopuszczalne poziomy emisji zanieczyszczeń do powietrza i zgodności z wymaganiami uchwał antysmogowych

Jakość powietrza jest problemem w skali całego kraju. Realizacja uchwał antysmogowych ma na celu poprawę jakości powietrza, a tym samym poprawę zdrowia i większego komfortu życia społeczeństwa. Uchwały antysmogowe to regulacje prawne, która dotyczą wszystkich użytkowników, na obszarze, który obejmują. Uchwały antysmogowe obejmują instalacje, w których spalane są paliwa stałe, a także określają wymogi paliwa możliwego do spalania.

Uchwały antysmogowe wprowadzane są przez Sejmiki województw na podstawie delegacji ustawowej ustanowionej w art. 96 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku *Prawo ochrony środowiska (POŚ)*. Przepis ten mówi, że Sejmik województwa może, w drodze uchwały, w celu zapobieżenia negatywnemu oddziaływaniu na zdrowie ludzi lub na środowisko, wprowadzić ograniczenia lub zakazy w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw.

Uchwała antysmogowa jest aktem prawa miejscowego i określa:

- 1) granice obszaru, na którym wprowadza się ograniczenia lub zakazy;
- 2) rodzaje podmiotów lub instalacji, dla których wprowadza się ograniczenia lub zakazy;
- 3) rodzaje lub jakość paliw dopuszczonych do stosowania lub których stosowanie jest zakazane na danym obszarze, lub parametry techniczne lub rozwiązania techniczne lub parametry emisji instalacji, w których następuje spalanie paliw, dopuszczonych do stosowania na tym obszarze.

Uchwała antysmogowa może także określać:

- 1) sposób lub cel wykorzystania paliw, który jest objęty ograniczeniami określonymi w uchwale;
- 2) okres obowiązywania ograniczeń lub zakazów w ciągu roku;
- 3) obowiązki podmiotów objętych uchwałą w zakresie niezbędnym do kontroli realizacji uchwały.

Co istotne, zgodnie z art. 96 ust. 8 ustawy POŚ uchwała antysmogowa, nie ma zastosowania do instalacji, dla których wymagane jest uzyskanie pozwolenia zintegrowanego albo pozwolenia na wprowadzanie gazów lub pyłów do powietrza, albo dokonanie zgłoszenia.

Problem niskiej emisji, czyli wszelkich zanieczyszczeń powstałych w wyniku spalania paliw, emitowanych do atmosfery na wysokości do 40 m, skłania do wprowadzania rozwiązań technicznych, które znacząco będą ograniczać emisję zanieczyszczeń i spełniać wymogi uchwały antysmogowej. Dotyczy to nie tylko sektora komunalno-bytowego, ale również pozostałych sektorów, w których na skutek spalania paliw stałych, do atmosfery emitowane są znaczące ilości substancji szkodliwych. Rodzaje instalacji, dla których wprowadzono ograniczenia na terenie Małopolski, określa §2 Uchwały nr XXXII/452/17 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 23 stycznia 2017 r. w sprawie wprowadzenia na obszarze województwa małopolskiego ograniczeń i zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw. Do takich źródeł zaliczyć można także m.in. obiekty zajmujące się uprawą roślin, które wymagają całorocznego utrzymania odpowiednio wysokiej temperatury, czyli szklarnie i tunele foliowe, a także zakłady przetwórstwa żywności takie jak wędzarnie oraz piekarnie. Szczegółne odzwierciedlenie ma to w przypadku obiektów wędzarniczych i piekarniach, w których stosowane są metody tradycyjne.

Z racji charakteru działalności omawianych obiektów, do ich prawidłowego funkcjonowania niezbędne jest wytwarzanie ciepła, w specjalnie przystosowanych do tego celu urządzeniach. Obecnie, w zdecydowanej większości ciepło to generowane jest w wyniku spalania nośników energii takich jak węgiel kamienny i gaz ziemny oraz drewno lub biopaliwa stałe w innej postaci. Celem przeciwdziałania niskiej emisji, na szczeblu krajowym i samorządowym wprowadzane są liczne akty prawne, a istniejące

normy i rozporządzenia są na bieżąco aktualizowane. Przykładami takich rozwiązań są np. Uchwała antysmogowa dla Małopolski, norma PN-EN 303-5 dotycząca wymagań kotłów i urządzeń grzewczych na paliwa stałe, czy Rozporządzenia Komisji Europejskiej w sprawie ekoprojektu – 2015/1189 oraz 2015/1185 (Tabela 1.1, Tabela 1.2. Przekłada się to na wdrażanie coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań technologicznych z zakresu ciepłownictwa).

Tabela 1.1 Graniczne wartości emisji dla poszczególnych klas ekologicznych kotłów wg PN EN 303-5. Kolorem szarym zaznaczone klasy nieaktualne (źródło: opracowanie własne)

| Rodzaj paliwa | Nominalna moc cieplna kW | Graniczne wartości emisji | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|---|----------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | mg/m ³ przy 10% O ₂ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CO | | | | | OGC | | | | | pył | | | | |
| | | Klasa | | | | | Klasa | | | | | Klasa | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Załadunek ręczny | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biopaliwo | ≤50 | 2500 0 | 800 0 | 500 0 | | | 200 0 | 30 0 | 15 0 | | | 20 0 | 18 0 | 15 0 | | |
| | >50 do 150 | 1250 0 | 500 0 | 250 0 | | | 150 0 | 20 0 | 10 0 | | | 20 0 | 18 0 | 15 0 | | |
| | >150 do 300 (500) | 1250 0 | 200 0 | 120 0 | 120 0 | 70 0 | 150 0 | 20 0 | 10 0 | 5 0 | 3 0 | 20 0 | 18 0 | 15 0 | 75 0 | 60 0 |
| Paliwo kopalne | ≤50 | 2500 0 | 800 0 | 500 0 | | | 200 0 | 30 0 | 15 0 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |
| | >50 do 150 | 1250 0 | 500 0 | 250 0 | | | 150 0 | 20 0 | 10 0 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |
| | >150 do 300 (500) | 1250 0 | 200 0 | 120 0 | | | 150 0 | 20 0 | 10 0 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |
| Załadunek automatyczny | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biopaliwo | ≤50 | 1500 0 | 500 0 | 300 0 | | | 175 0 | 20 0 | 10 0 | | | 20 0 | 18 0 | 15 0 | | |
| | >50 do 150 | 1250 0 | 450 0 | 250 0 | | | 125 0 | 15 0 | 80 | | | 20 0 | 18 0 | 15 0 | | |
| | >150 do 300 (500) | 1250 0 | 200 0 | 120 0 | 100 0 | 50 0 | 125 0 | 15 0 | 80 | 3 0 | 2 0 | 20 0 | 18 0 | 15 0 | 60 0 | 40 0 |
| Paliwo kopalne | ≤50 | 1500 0 | 500 0 | 300 0 | | | 175 0 | 20 0 | 10 0 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |
| | >50 do 150 | 1250 0 | 450 0 | 250 0 | | | 125 0 | 15 0 | 80 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |
| | >150 do 300 (500) | 1250 0 | 200 0 | 120 0 | | | 125 0 | 15 0 | 80 | | | 18 0 | 15 0 | 12 5 | | |

Tabela 1.2 Porównanie wartości granicznych emisji określonych w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i wymagań ekoprojektu wg Rozporządzenia Komisji Europejskiej 2015/1189 dla kotłów na paliwa stałe [źródło: opracowanie własne]

| Wymagania emisyjne dla kotłów na paliwa stałe | Zanieczyszczenie | Ręczne podawanie paliwa [mg/m ³] dla O _{2ref} 10% | Automatyczne podawanie paliwa [mg/m ³] dla O _{2ref} 10% |
|--|--|--|--|
| Rozporządzenie ministra rozwoju z dnia 1 sierpnia 2018 r. w sprawie wymagań kotłów na paliwo stałe | Tlenek węgla (CO) | 700 | 500 |
| | Organiczne zanieczyszczenia gazowe (OGC) | 30 | 20 |
| | Pył | 60 | 40 |

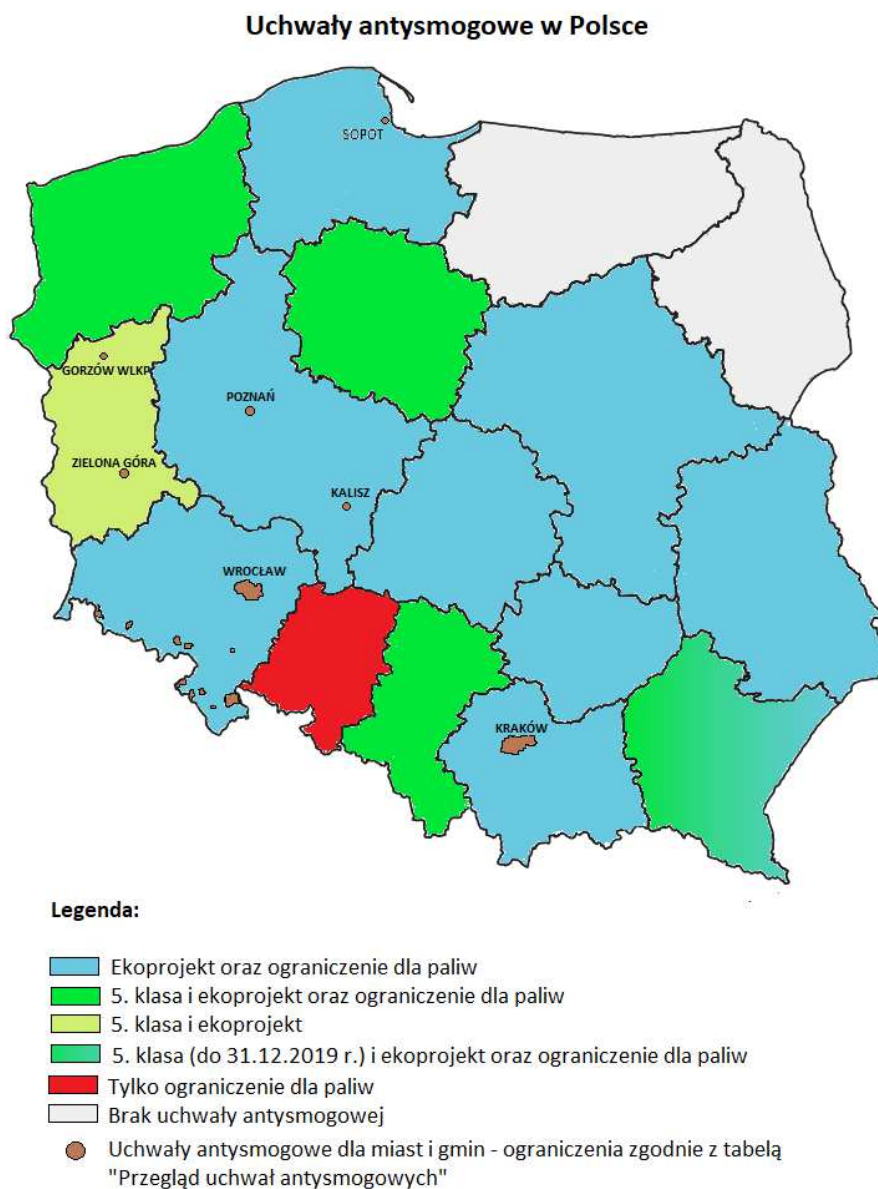
| | | | |
|--|---|---|-----|
| | Tlenki azotu (NO _x) wyrażone jako ekwiwalent dwutlenku azotu (NO ₂) | Nie dotyczy | |
| Rozporządzenie Komisji Europejskiej 2015/1189 w sprawie ekoprojektu | Tlenek węgla (CO) | 700 | 500 |
| | Organiczne zanieczyszczenia gazowe (OGC) | 30 | 20 |
| | Pył | 60 | 40 |
| | Tlenki azotu (NO _x) wyrażone jako ekwiwalent dwutlenku azotu (NO ₂) | Kotły na paliwa kopalne – 350 mg/m ³ | |
| | | Kotły na biomasę – 200 mg/m ³ | |

Tabela 1.3 Graniczne wartości emisji wg Rozporządzenia Komisji Europejskiej 2015/1185 dla miejscowych ogrzewczy powietrza [źródło: opracowanie własne na podstawie rozporządzenia 2015/1185]

| Zanieczyszczenie | Miejscowe ogrzewacze powietrza z otwartą komorą spalania [mg/m ³] dla O _{2ref} 13% | Miejscowe ogrzewacze powietrza z zamkniętą komorą spalania – dla paliw innych niż pellet [mg/m ³] dla O _{2ref} 13% | Miejscowe ogrzewacze powietrza z zamkniętą komorą spalania zasilanych pelletem [mg/m ³] dla O _{2ref} 13% |
|---|--|---|---|
| Tlenek węgla (CO) | 2000 | 1500 | 300 |
| Organiczne zanieczyszczenia gazowe (OGC) | 120 | 120 | 60 |
| Pył | 50 | 40 | 20 |
| Tlenki azotu (NO _x) wyrażone jako ekwiwalent dwutlenku azotu (NO ₂) | Dla paliw kopalnych – 300 mg/m ³ | | |
| | Dla biomasy – 200 mg/m ³ | | |

Oprócz centralnych aktów prawnych należy również wspomnieć liczne lokalne regulacje, jak np. uchwały antysmogowe. Są to w skrócie przepisy przyjęte przez sejmiki wojewódzkie, mające na celu poprawę jakości powietrza na danym obszarze. Pierwszym województwem, które przyjęło taką uchwałę była Małopolska. Jej obostrzenia obowiązują od 1 lipca 2017 r. Wprowadza ona m.in. zakaz eksploatacji nowych kotłów, niespełniających wymagań w zakresie emisji i efektywności, zawartych w dyrektywie w sprawie ekoprojektu. Nakazuje wymianę istniejących urządzeń grzewczych nie

spełniających tych norm, a także zakazuje stosowania paliw gorszej jakości takich jak muły, floty, miaty węglowe o drobnym uziarnieniu, czy drewno i biomasa o wilgotności wyższej niż 20 %. Na mocy odrębnej uchwały, na obszarze Gminy Miejskiej Kraków od 1 września 2019 roku wprowadzono jeszcze ostrzejsze restrykcje, dotyczące całkowitego zakazu spalania paliw stałych – węgla i drewna – w instalacjach grzewczych. W kolejnych latach podobne uchwały przyjmowały inne województwa (Rysunek 1.1). W listopadzie 2021 roku również województwo opolskie przyjęło nowy Program ochrony powietrza, który zakłada określone terminy wymiany nieekologicznych źródeł ciepła.



Rysunek 1.1 Ograniczenia obowiązujące na mocy wprowadzonych Uchwał antysmogowych, stan na luty 2021
(źródło: Materiały Projektu LIFE-MAPPING/PL - Uchwały Antysmogowe w Polsce - Aktualizacja)

Na wielkość emisji do powietrza tlenku węgla (CO) wpływa przede wszystkim jakość paliwa (wilgotność, zawartość części lotnych) i jakość procesu spalania (współczynnik nadmiaru powietrza, technologia kotła). Powstaje on w wyniku niezupełnego spalania paliwa. W przypadku spalania zupełnego, ilość powietrza dostarczana do procesu jest dobrana w taki sposób, aby cały zawarty w nim tlen wszedł w reakcję z węglem zawartym w paliwie tworząc CO₂. W przypadku, gdy ilość powietrza

jest niewłaściwa lub warunki spalania (temperatura, czas) są nieodpowiednie, zachodzi spalanie niezupełne, w wyniku którego zaczynają dominować procesy redukcji. Redukcja jest to proces odwrotny do spalania, w wyniku którego powstaje CO, zawierający niewykorzystaną energię. Można więc stwierdzić, że im mniejsza emisja CO, tym proces jest bliższy spalaniu zupełnemu.

Obecnie, ze względu na wysokie przekroczenia ustanowionych norm, największą uwagę skupia się na ograniczaniu emisji pyłów do powietrza. Jak wynika z badań, największy wpływ na poziom jego stężenia w powietrzu ma niska emisja. Szczególnie niebezpieczne są subfrakcje pyłu PM10 i PM2,5. To właśnie w nich zawarte są metale ciężkie, jak np. kadm, ołów czy arsen. Dodatkowo na ich powierzchni znajdują się toksyny, do których zaliczyć można: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), furany oraz dioksyny. Powstające w wyniku spalania biomasy pyły, można podzielić na aerozole organiczne i nieorganiczne. Cząstki organiczne tworzą się w wyniku niezupełnego utleniania paliwa. Ich ilość można ograniczyć, poprzez właściwe sterowanie procesem spalania. Pyły nieorganiczne natomiast tworzą się z lotnego popiołu, głównie ze związków potasu oraz chloru. Ich ilość w spalinach zależy w głównej mierze od udziału poszczególnych pierwiastków w składzie pierwotnym paliwa, a jakość procesu spalania nie ma wpływu na ograniczenie ich emisji.

Kolejnym zanieczyszczeniem środowiska naturalnego, emitowanym do atmosfery podczas spalania paliw stałych są tlenki azotu. Ich powstawanie jest determinowane utlenianiem zawartego w paliwie azotu oraz utlenianiem azotu znajdującego się w powietrzu, dostarczanym w trakcie spalania. Za najbardziej szkodliwy uznaje się dwutlenek azotu (NO₂). Pomimo, iż w trakcie spalania powstaje go znacznie mniejsza ilość niż słabiej drażniącego tlenku azotu (NO), emisja tych substancji zawsze podawana jest jako ich suma i wyrażana w postaci NO_x. Emisja NO_x, w mg/m³ spalin, jest zawsze przeliczona w odniesieniu do NO₂, co wynika z własności NO do szybkiego utleniania się do NO₂.

Największy wpływ na powstawanie tych zanieczyszczeń w trakcie spalania mają parametry takie jak: skład i rodzaj paliwa, geometria i typ paleniska, temperatura w komorze spalania oraz ilość powietrza dostarczanego do procesu spalania. Analizując przebieg spalania biomasy, można wyróżnić trzy mechanizmy powstawania tlenków azotu: paliwowe, termiczne i szybkie.

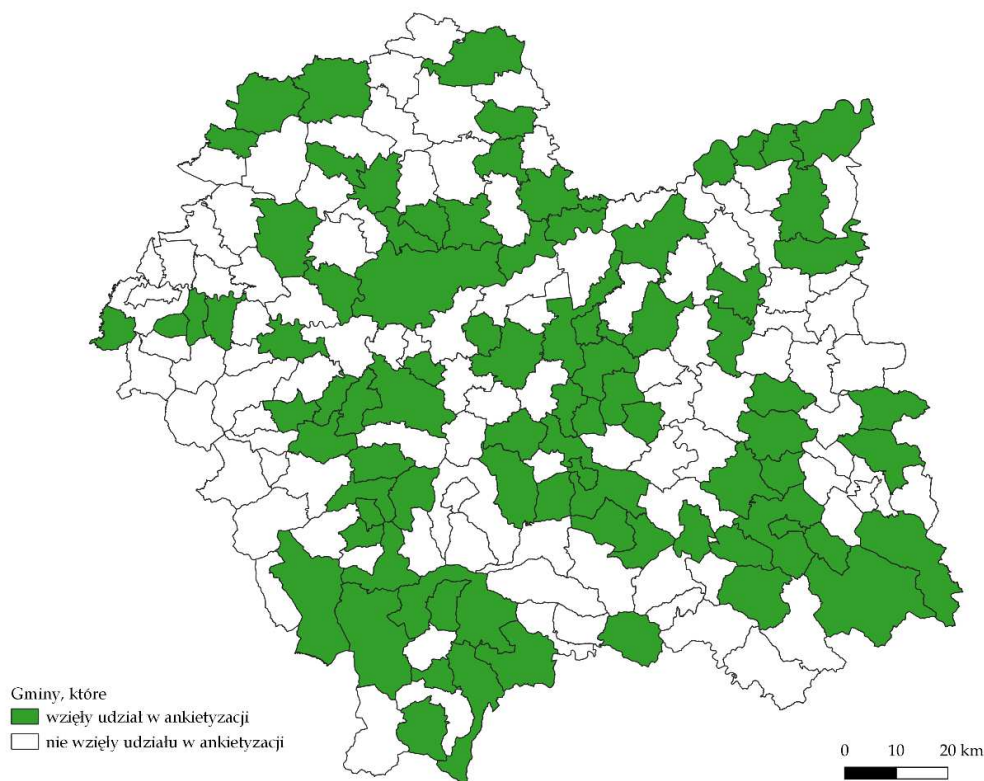
Paliwowe tlenki azotu tworzą się w temperaturach poniżej 1300°C, w wyniku utleniania azotu w paliwie. W temperaturach znacznie przekraczających 1300°C, wskutek reakcji azotu gazowego z tlenem, tworzą się termiczne tlenki azotu, a charakter tej reakcji zwany jest również *mechanizmem Zeldowicza*. Szybkie tlenki azotu powstają w wyniku reakcji łączenia rodników węglowodorowych z azotem N₂.

W wyniku spalania paliw stałych, powstaje również szkodliwy ditlenek siarki (SO₂), który jest przyczyną chociażby kwaśnych opadów. Wielkość jego emisji jest uzależniona od ilości siarki zawartej w spalonym paliwie. W przypadku drewna ilość ta jest bardzo mała, w porównaniu do węgla kamiennego i agrobiomasy, w postaci np. pelletów ze słomy czy siana.

Wymienione powyżej powstałe w procesach spalania produkty uboczne, m.in. metan, tlenek węgla i tlenki azotu są szkodliwe dla roślin, mogą także blokować proces fotosyntezy. W momencie, kiedy zostaną przekroczone określone wartości stężeń gazów toksycznych dla roślin (są one różne dla poszczególnych gatunków należy zadbać o wymianę powietrza w obiekcie poprzez wietrzenie, wentylację mechaniczną itp.

2 Inwentaryzacja ilości poszczególnych rodzajów instalacji

W dniach 27 października – 10 listopada 2021 przeprowadzono ankietyzację gmin oraz starostw powiatowych, która miała na celu określenia ilości poszczególnych instalacji w gminach województwa małopolskiego. Ankieta zawierała pytania o ilości występowania szklarni, tunelów foliowych, piekarni oraz wędzarni tradycyjnych. Zapytano ankietowanych również o powierzchnię upraw i metodę ogrzewania upraw pod osłonami.

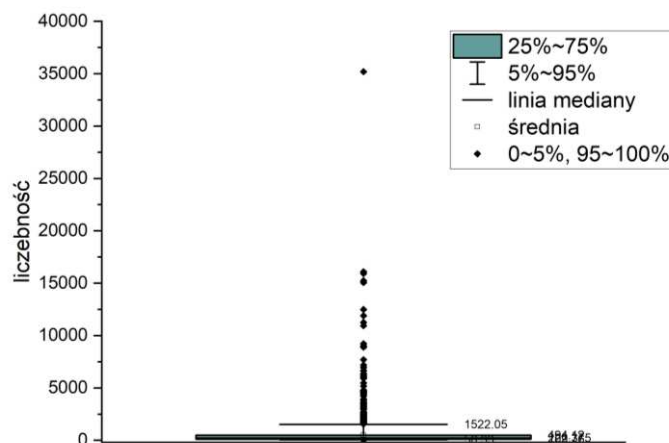


Rysunek 2.1 Odpowiedzi na ankiety przesłane do gmin. Opracowanie własne

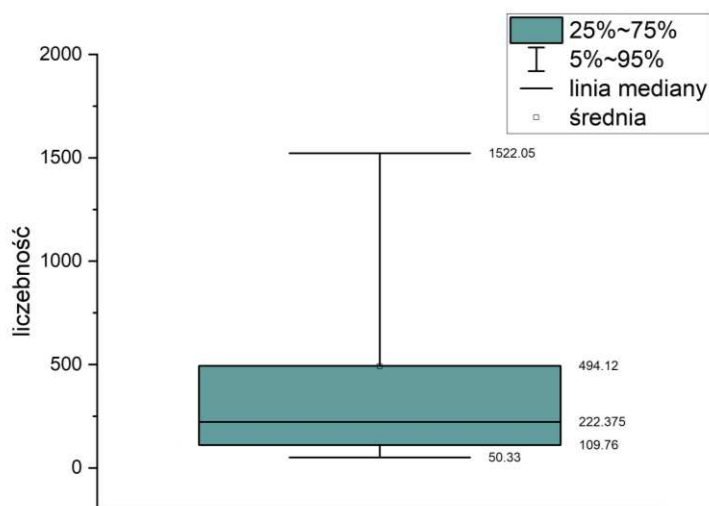
2.1 Tunele i szklarnie do produkcji rolnej

W przypadku tuneli i szklarni dane z pozyskanych ankiet uzupełniono o informacje pozyskane z Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa oraz Bazę Danych Ogólnotopograficznych. Według danych ARiMR na terenie województwa małopolskiego znajduje się 601 gospodarstw z deklarowaną powierzchnią upraw pod osłonami 240,42 ha. Województwo małopolskie znajduje się na drugim miejscu w skali kraju pod względem ilości i powierzchni upraw, po woj. mazowieckim (894 gospodarstwa o powierzchni 653,09 ha). W całym kraju są obecnie 3544 gospodarstwa prowadzące uprawy pod osłonami, a łączna powierzchnia to 1614,46 ha, jednakże w zestawieniu brak jest podziału na uprawy ogrzewane i nieogrzewane.

W Bazie Danych Ogólnotopograficznych (BDOT10k) na terenie województwa małopolskiego zarejestrowano 2452 szklarnie lub cieplarnie. Ich powierzchnia ogółem wynosi 1 205 832 m² (120 ha), średnia powierzchnia to 492 m². Największy powierzchniowo obiekt, na analizowanym obszarze, o funkcji szklarnia lub cieplarnia ma powierzchnię 35184 m², zaś najmniejszy – 28 m². Największą powierzchnią szklarni ma gmina Trzciana (15 ha w 140 obiektach), zaś najliczniejsze są one w gminie Igołomia-Wawrzeńczyce (352 obiekty o łącznej powierzchni 4,5 ha). Największą średnią powierzchnią mają szklarnie w gminie Krzeszowice – średnia powierzchnia wynosi 0,24 ha. Dominują obiekty o powierzchniach niewielkich, co widać na wykresach Rysunek 2.2 oraz Rysunek 2.3.



Rysunek 2.2 Wykres pudełkowy – rozkład liczebności szklarni o określonej powierzchni. Opracowanie własne



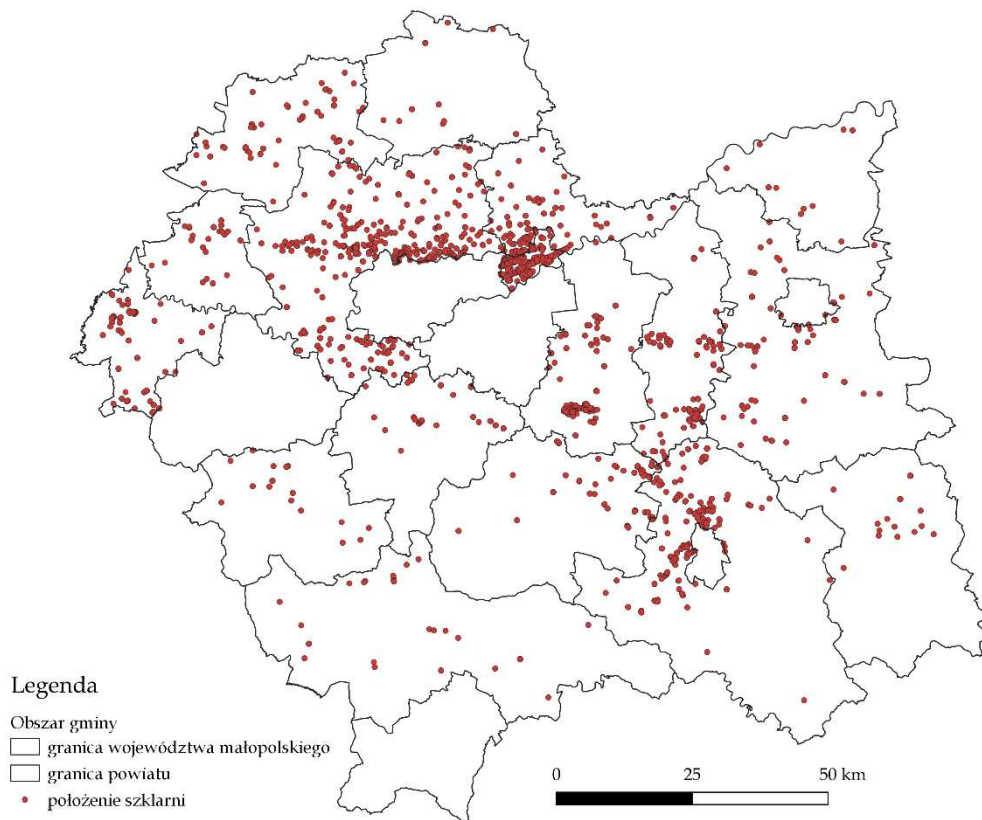
Rysunek 2.3 Wykres pudełkowy – rozkład liczebności szklarni o określonej powierzchni (zakres 5-95% obiektów z pominięciem skrajnych przypadków), opracowanie własne

Jedynie mniej niż 5% obiektów ma powierzchnię mniejszą niż 50 m², podobnie jak jedynie 5% obiektów ma powierzchnię większą niż 1522 m². Połowa upraw pod stałym okryciem ma powierzchnię poniżej 222 m², a dwa środkowe kwartyle – 50% obiektów w środku populacji ma powierzchnię pomiędzy 110 m² i 494 m². Wyłaniają się zatem 3 grupy obiektów:

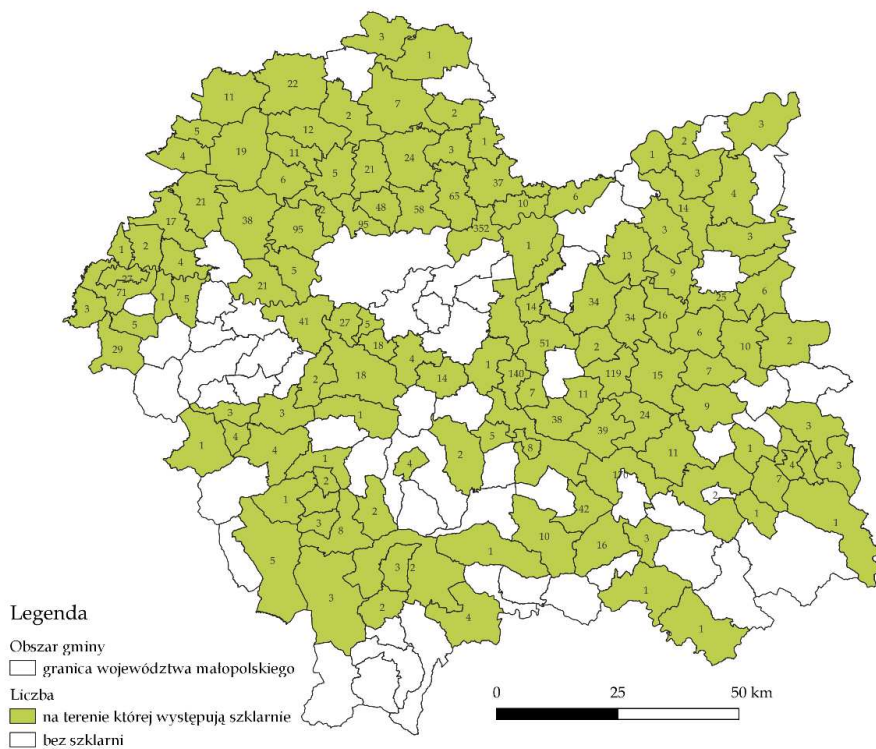
- Kilkanaście-kilkadziesiąt w pełni profesjonalnych upraw na dużą skalę, które mają możliwość do wdrażania nowoczesnych rozwiązań o dużej skali;
- Małe obiekty, w których dominującą jest potrzeba zapewnienia niezawodnych, prostych w obsłudze i działaniu rozwiązań.

W około 2 tysiącach szklarni moc ewentualnych źródeł ciepła jest zbyt wysoka, by skuteczne były rozwiązania najprostsze, a równocześnie skala produkcji nie wskazuje na możliwości organizacyjne sprzyjające samodzielnemu wdrożeniu nowoczesnych systemów grzewczych.

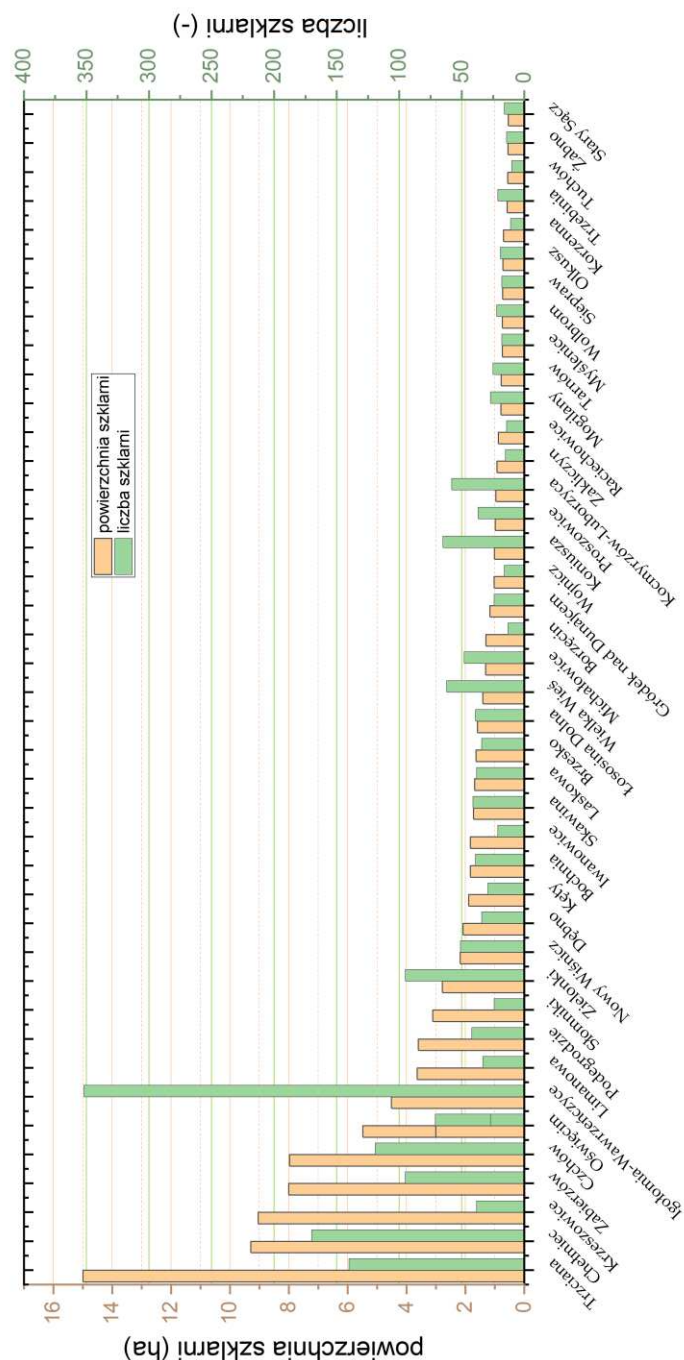
Należy zwrócić uwagę, że w bazie danych wykorzystanej do tego podsumowania nie są uwzględniane uprawy pod okrywkami inne niż szklarnie/cieplarnie, stąd zarówno uprawa w halach ze sztucznym oświetleniem jak i uprawy w tunelach foliowych pozostają odrębnym zagadnieniem do osobnego oszacowania. Ich rozmieszczenie w obrębie województwa jest nierównomierne i przedstawia je mapa Rysunek 2.4.



Rysunek 2.4 Rozmieszczenie upraw pod osłonami na terenie województwa małopolskiego, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych



Rysunek 2.5 Ilość upraw pod osłonami w gminach w województwie małopolskim, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych, opracowanie własne

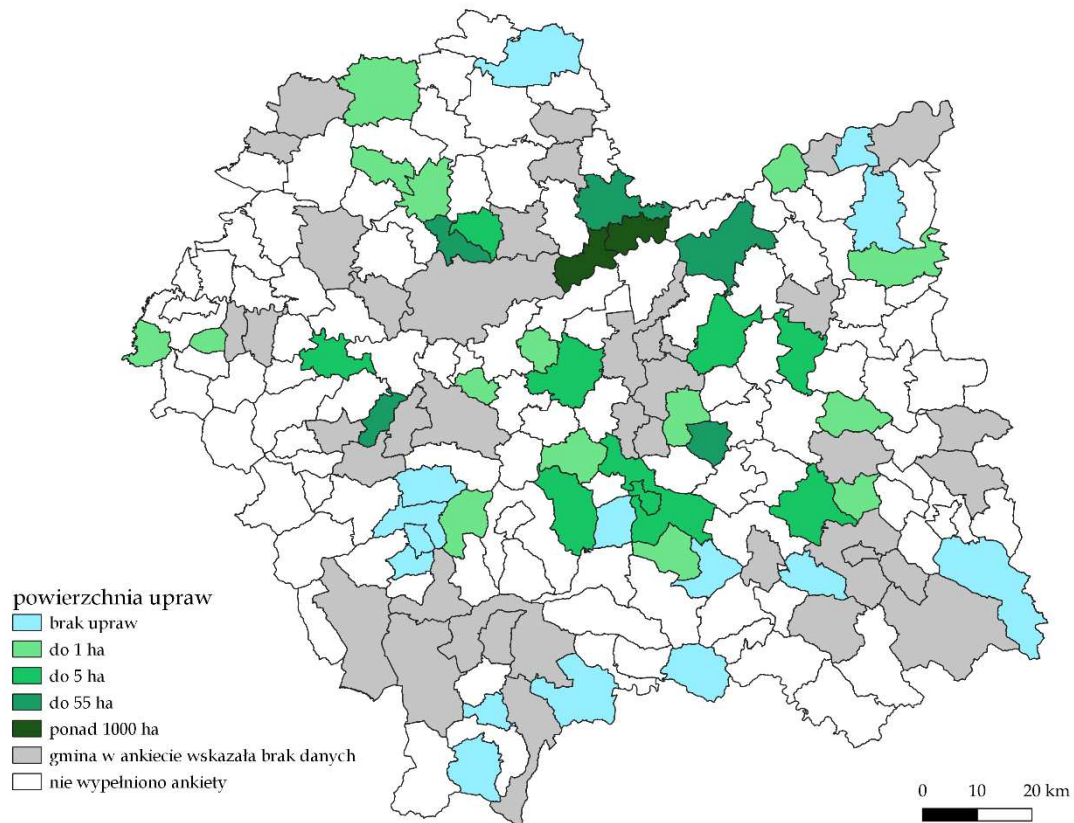


Rysunek 2.6 Wykres powierzchni i liczby szklarni w gminach w województwie małopolskim, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych

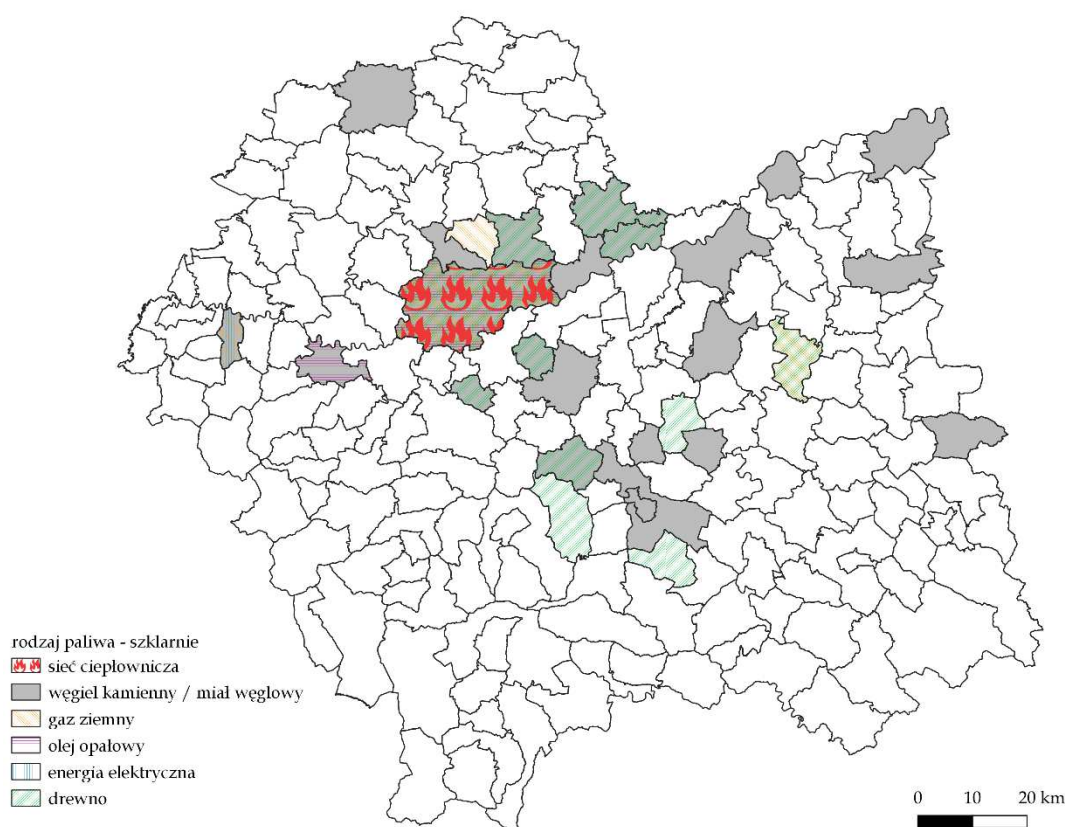
Wyniki z ankiet przeprowadzonych w gminach przedstawiono na mapach poniżej. Jako metodę ogrzewania szklarni ankietowani najczęściej wskazywali węgiel, drewno oraz gaz. Ilość upraw pod osłonami wynosi 244 o łącznej powierzchni 4107 ha. Rozmieszczenie wielkości powierzchni upraw w podziale na gminy przedstawiono na Rysunek 2.7.

Największa powierzchnia szklarni znajduje się w Gminie Igołomia-Wawrzeńczyce – 1200 ha w 500 gospodarstwach rolnych. Według danych z przeprowadzonej ankiety głównym paliwem stosowanym do zachowania odpowiednich warunków klimatycznych w szklarniach jest węgiel. Drugą

gminą pod względem ilości i powierzchni jest Gmina Proszowice – 39,5 ha w 200 gospodarstwach. Jako główną metodę ogrzewania szklarni wskazano kotły na węgiel oraz drewno. Na rysunku 2.8 przedstawiono rodzaj paliwa stosowanego w szklarniach na obszarach gmin. Na uwagę zasługują przede wszystkim szklarnie ogrzewane ciepłem sieciowym znajdujące się w Krakowie.



Rysunek 2.7 Powierzchnia upraw pod osłonami w gminach w województwie małopolskim, opracowywanie własne na podstawie ankiet przesłanych do gmin



Rysunek 2.8 Rodzaj paliwa stosowanego do ogrzewania szklarni na podstawie ankiet przesłanych do gmin, opracowywanie własne na podstawie ankiet przesłanych do gmin

W Tabeli 2.1 zamieszczono porównanie zebranych danych z różnych źródeł. Powodem znaczących różnic jest brak prowadzenia dokładnych statystyk przez Jednostki Samorządu Terytorialnego oraz brak uwzględniania w statystykach czy dana szklarnia jest ogrzewana czy też czerpie jedynie ciepło w postaci biernej z promieniowania słonecznego. W związku z powyższym dane odnoszące się do powierzchni upraw mogą być zawyżone.

Tabela 2.1 Porównanie zebranych danych w ankiecie

| Parametr | Ankieta przesłana do Gmin | Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa | Baza Danych Ogólnotopograficznych |
|--------------|---------------------------|---|-----------------------------------|
| Ilość | 244 | 601 | 2452 |
| powierzchnia | 4 107 ha | 240,42 ha | 120,73 ha |

2.2 Piece do tradycyjnego wypieku chleba

Wyniki z ankiet przeprowadzonych w gminach uwzględniają w niektórych przypadkach nie tylko piece chlebowe w ramach prowadzonej działalności gospodarczej, ale również indywidualne instalacje, w których wypiek odbywa się okazjonalnie dla potrzeb własnych gospodarstwa domowego. W części gmin jest to ponad 300 instalacji na dany region. Najczęstszą metodą ogrzewania pieca chlebowego jest wykorzystywanie do tego celu gazu, chociaż w ankiecie gminy wymieniły również drewno, węgiel, olej opałowy oraz piece elektryczne.

Ujednolicając dane otrzymane z gmin oraz wizje lokalne wykonane na terenie województwa małopolskiego szacuje się, że średnio na terenie każdej gminy znajduje się jedna, maksymalnie dwie piekarnie tradycyjne, które dostarczają produkty na rynek w ramach prowadzonej działalności gospodarczej. W części gmin takie instalacje w ogóle nie występują – według ankiety jest takich gmin co najmniej pięć.

2.3 Tradycyjne wędzarnie

Według Polskiego Związku Owczarskiego (siedziba w Nowym Targu) na terenie województwa małopolskiego znajduje się około 100 bacówek służących do wędzenia oscypków w okresie od maja do września. Ilość ta zmienia się nieznacznie w zależności od danego sezonu. Drewno jakie jest używane w bacówkach to olcha, ewentualnie wykorzystuje się świerk.

W gminach przeprowadzono ankietyzację dotyczącą ilości tradycyjnych wędzarni na ich terenie. W części ankiet przedstawione zostały statystyki wędzarni domowych, wykorzystywanych do użytku prywatnego (od 50 do ponad 200 małych instalacji na terenie gminy). Natomiast w przypadku wędzarni prowadzonych w ramach działalności gospodarczej wskazano maksymalnie 1-2 obiekty na gminę. W 5 gminach na 84 odpowiedzi ankietowani odpowiedzieli, że wędzarnie w ich regionie nie występują.

3 Opis stosowanych technologii

3.1 Tunele i szklarnie do produkcji rolnej

Przeważająca część szklarni w Polsce posiada ogrzewanie, w którym wykorzystuje się paliwa stałe, w tym głównie węgiel i miał węglowy. Systemy ogrzewania nierzadko wykorzystują proste konstrukcje pieców, mogące w zasadzie spalać każdy rodzaj opału – nie zważając na poziom emisji spalin.

Od 1 lipca 2017 roku w województwie małopolskim nie można eksploatować nowych instalacji o parametrach emisji wyższych niż określone w unijnych rozporządzeniach w sprawie ekoprojektu. Instalacje uruchomione przed tą datą i nie spełniające wymagań ekoprojektu, powinny zostać wymienione do końca 2022 roku, natomiast w przypadku klasy 3 i 4, czas na wymianę został przedłużony do końca 2026 roku. Nowoinstalowane kotły na paliwa stałe powinny być wyposażone w automatyczny podajnik paliwa i jednocześnie nie mogą zawierać elementu konstrukcyjnego pozwalającego na ręczne zasilanie paliwem (ruszt awaryjny). Obecnie każdy kocioł o mocy do 500 kW wprowadzany do obrotu musi mieć stosowne certyfikaty (Ekoprojektu/ecodesign) w zakresie efektywności energetycznej i emisji, zgodnie z normą PN-EN 303-5:2021 oraz rozporządzeniem w sprawie kotłów na paliwo stałe. Dodatkowo certyfikat musi być wydany na każdy rodzaj paliwa więc nie ma już kotła uniwersalnego, są dedykowane na dane paliwo np.: węgiel czy, drewno kawałkowe, pellet, biomasę w postaci brykietu itp. Ustawa o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw w 2018 roku wprowadziła obowiązek wystawiania świadectwa jakości dla węgla oraz miałów węglowych. Rozporządzenie wykonawcze Ministra Energii z dn. 27.09.2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych określiło wymagania jakościowe, jakie muszą spełniać paliwa stałe dopuszczone do sprzedaży. Systematyczne zaostrzanie norm jakościowych skutkuje tym, że najgorszej jakości paliwa stałe są wycofywane ze sprzedaży detalicznej.

Praktyczny zakaz używania węgla w Małopolsce do celów grzewczych od 2030 r. wymaga zbudowania lub poprawy narzędzi służących wykorzystaniu lokalnych źródeł energii, zwłaszcza odnawialnych źródeł energii, w tym promowaniu mikroinstalacji do zagospodarowania OZE. Dotyczy to w szczególności obszarów wiejskich, gdzie zlokalizowana jest większość rozproszonych upraw roślin pod osłonami.

Gospodarstwa rolne w Polsce, choć bogate w odnawialne zasoby energii, wykorzystują je obecnie w niewielkim stopniu. Wynika to przede wszystkim z niskiej świadomości w zakresie możliwości efektywnego korzystania z energii, braku profesjonalnej oferty oraz nieznamomości zasad doboru, wykorzystania i opłacalności poszczególnych technologii OZE.

Nie ulega wątpliwości, że rozwiązania dostosowywane do potrzeb poszczególnych rolników stają się coraz bardziej atrakcyjne z uwagi na rzeczywisty koszt energii elektrycznej, gazu, a ostatnio także paliw stałych: węgla (w tym ekogroszku), pelletu i innych. Koszty ogrzewania i chłodzenia odgrywają szczególnie duże znaczenie w wielkopowierzchniowych uprawach pod osłonami (szklarniach i tunelach foliowych).

Budynki szklarniowe coraz częściej posiadają przeszklenia z kompozytów, poliwęglanów, poliwęglanów komorowych, folii oraz innych materiałów o wysokim współczynniku przenikania promieni słonecznych, jednocześnie zapewniających odpowiednią ochronę przed klimatem zewnętrznym.

Z uwagi na trend zmierzający do osiągnięcia minimalnych strat ciepła uciekającego poza obiekty szklarniowe stosuje się materiały o właściwościach hermetycznych oraz termoizolacyjnych, dzięki czemu obiekty są łatwiej sterowalne, ekologiczne oraz energooszczędne.

Szklane elementy szklarniowe

Zalety i wady szklanych elementów szklarniowych:

- Bezpieczeństwo, stosunkowo dobra odporność przeciw uderzeniom, obciążenie ciężarem;
- Wysokie koszty zakupu;
- Wysoka masa własna, konieczność stosowania konstrukcji metalowych;
- Dobre parametry przepuszczalności/ mały współczynnik pochłaniania promieni słonecznych;
- Łatwość czyszczenia i konserwacji;
- Długa żywotność konstrukcji i materiałów (zakładana ponad 15 lat).

Szkoło, ze względu na swoje właściwości jest doskonałym materiałem do budowy obiektów szklarniowych. Przy jego użyciu można obudować zarówno połacie dachowe jak i boczne przegrody obiektów. Ze względu na swój ciężar niezbędne są skomplikowane konstrukcje podtrzymujące arkusze szkła. Łączenie elementów wykonuje się przy pomocy elastycznych klejów głównie na bazie silikonów.

Ze względu na bezpieczeństwo nie są zalecane elementy ze szkła zwykłego niehartowanego, wskazane jest szkło hartowane, szczególnie na powierzchni dachów. W przypadku wystąpienia kataklizmów zmniejsza powstałe szkody oraz zmniejsza ogólnie rzecz ujmując ryzyko wśród personelu. Możliwe jest zastosowanie szkła laminowanego, które po rozbiciu nie rozpada się, ponieważ folia utrzymuje popękane elementy tafli. To rozwiązanie jest najbezpieczniejsze, jednak kosztowne.

W przypadku bardzo szczególnych wymagań odnośnie przepuszczalności stosuje się odmiany szkła z obniżoną zawartością domieszek w postaci żelaza i innych, które powodują spadek jakości produktu. Rynek oferuje również szkło barwione, przyciemniane a także ogniwa fotowoltaiczne przepierne na bazie szkła, które można zastosować w celu ograniczenia zużycia energii elektrycznej, jednak nie wolno zapominać o tym, iż każde zmniejszenie przepuszczalności szkła niesie za sobą poważne skutki w postaci zmniejszenia docierania promieniowania słonecznego do roślin oraz podłoża. Odpowiedni dobór szkła i jego jakość ma zatem olbrzymi wpływ na nasłonecznienie, oraz bezpieczeństwo. Grubość tafli ma znaczenie szczególnie z uwagi na obciążenia konstrukcji budowli, ale również ma duży wpływ na sztywność i wytrzymałość.

Szkoło „float” to tzw. szkło zwykłe, które spotykamy na każdym kroku. Cechuje je niemal idealna przejrzystość i gładkość powierzchni. Jak powszechnie wiadomo, zwykła szyba jest pozbawiona zniekształceń optycznych, dzięki czemu idealnie nadaje się wszędzie tam, gdzie potrzebujemy po prostu szyby w niskiej cenie, wobec której nie mamy specjalnych wymagań. Zwykłe szkło posiada delikatny zielony odcień, który spowodowany jest obecnością w nim jonów żelaza. Kolor ten widoczny jest na krawędzi szyby, im grubszej, tym jest bardziej widoczny. Zwykłe niehartowane szkło w najniższej możliwej cenie zakupu znajdziemy właśnie pod tą nazwą. Swą nazwę zawdzięcza etapowi, w którym zachodzi produkcja szkła płaskiego. Stopione szkło wprowadzane jest do wanny flotacyjnej, gdzie najczęściej znajduje się roztopiona cyna, która powoduje swobodne unoszenie się szyby (z ang. float – unosić się) na powierzchni roztopionej cyny, ze względu na mniejszą gęstość i ciężar szkła.

Właściwości szkła „float”:

- gęstość $\sim 2500 \text{ kg/m}^3$;
- współczynnik sprężystości podłużnej $E \sim 70 \text{ GPa}$;
- wytrzymałość na ściskanie $700\text{-}900 \text{ MPa}$;
- wytrzymałość na rozciąganie 45 MPa ;
- Współczynnik rozszerzalności liniowej wg ISO 7991:1987 [4] $[1/K] 9 \cdot 10^{-6}$;
- Współczynnik przenikania ciepła dla szkła o grubości 4 mm wg PN-EN 673:2011 $5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$;
- Wytrzymałość na różnicę temperatury w obrębie jednej tafli szkła 40 K .

Folie

Do produkcji folii używane są rozmaite tworzywa sztuczne:

- PE – Polietylen;
- PVC – Polichlorek winylu;
- EVA – kopolimer etylenu i octanu winylu;
- Tedlar – polifluorek winylu.

Większość folii używanych do pokryć tuneli ma grubość nieprzekraczającą 0,2mm.

Najmniej wytrzymałym materiałem jest niestabilizowana folia z PE, jej żywotność często nie przekracza jednego sezonu. Bardziej wytrzymałe folie jak PVC, EVA przeciętnie funkcjonują 5 lat. Do najbardziej wytrzymałych na warunki zewnętrzne należy folia Tedlar. Z uwagi na różnice w przepuszczalności promieni między poszczególnymi foliami należy kierować się parametrami w odniesieniu do prowadzonej produkcji.

Pokrycia kompozytowe z tworzyw sztucznych

Stosunkowo dobre parametry mechaniczne płyt kompozytowych stanowią coraz większą konkurencję dla obiektów wykonanych w technologii szklanej. Płyty te mają najczęściej budowę komorową bądź żebrową, jedno i wielowarstwową.

Popularne są materiały takie jak:

- Poliwęglan (PC);
- Polimetakrylan metylu (PMMA);
- Poliester wzmocniony włóknem szklanym;
- Polichlorek winylu (PVC).

Niestety nadal pokrycia z tworzyw sztucznych są zdecydowanie mniej odporne od szklanych i z czasem wymagają wymiany bez możliwości konserwacji. Starzenie się tworzyw sztucznych jest procesem nieodwracalnym i stanowi to spory problem, gdyż powstają duże ilości odpadów, które należy odpowiednio przetworzyć.

Dodatkowym aspektem łączącym tworzywa sztuczne z produkcją rolniczą jest stwierdzona obecność tzw. „mikroplastiku”, która wchłaniana jest przez rośliny w ich struktury komórkowe i dalej trafia do ekosystemu. Pomimo szeregu problemów rynek tworzyw sztucznych nadal jest intensywnie rozwijany.

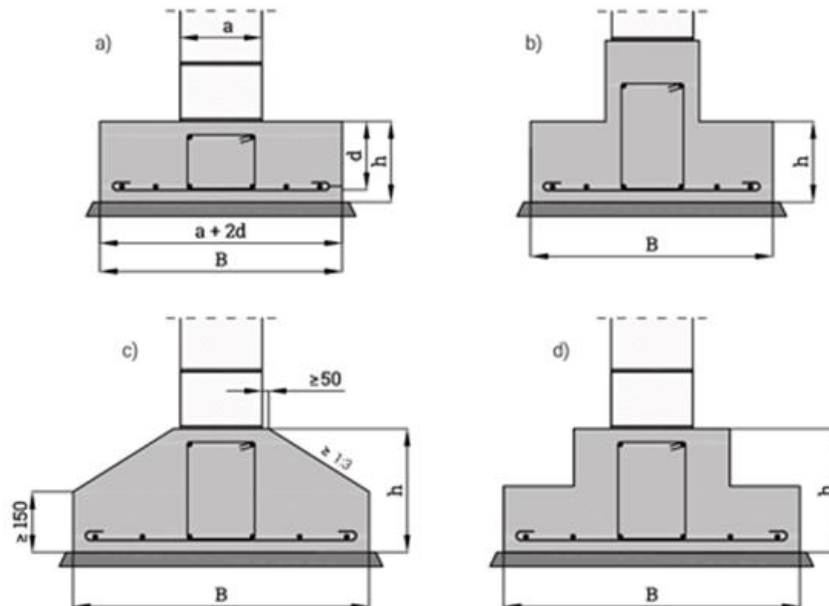
Utrata ciepła

Termoizolacyjność obiektów szklarniowych jest bardzo dużym wyzwaniem. Stosowanie szkła zespolonego np. metodą klejenia, metodą zgrzewania jest sporym wyzwaniem dla właścicieli obiektów, gdyż znacząco podwyższa koszty. Z uwagi na duży ciężar tego rodzaju rozwiązań raczej nie zalecane jest stosowanie szkła tego typu dla połaci dachowych.

Z uwagi na rosnący w ostatnich latach rynek tworzyw sztucznych zdecydowanie upatruje się powstawania komorowych kompozytów oraz innych elementów o dużej przezierności dla promieniowania UV oraz IR dopasowanych charakterystyką do branży szklarniowej. Znacznie odchodziłoby to metalowe, stosunkowo drogie konstrukcje i pozwoliłoby zmniejszyć straty energetyczne budowli szklarniowych.

Elementy konstrukcyjne

Fundamenty dla budowli szklarniowych zwykle wykonuje się w postaci ław fundamentowych dla budowli wolnostojących. Dla budowli wielonawowych korzysta się również z ław fundamentowych oraz tzw. stóp i kotew fundamentowych do wykonania podpór dachu w środkowej części konstrukcji.



Rysunek 3.1 Przekroje ław fundamentowych. Ławy o przekroju: a) prostokątnym, b) teowym, c) trapezowym, d) schodkowym. Ława p przekroju Źródło: <https://www.locja.pl>

Konstrukcje stalowe najczęściej wykonuje się ze stali malowanej lakierami, pokrywanej tworzywem sztucznym bądź ocynkowanej. Z uwagi na panujący wewnątrz szklarni klimat i występowanie kondensacji na elementach konstrukcyjnych dochodzi do przyspieszonej korozji przy braku odpowiednich zabezpieczeń.

Dobrym materiałem na tunele foliowe są konstrukcje aluminiowe, które zwykle nie wymagają dodatkowych zabezpieczeń, gdyż aluminium ma zdolność do samopasywacji. Samopasywacja jest procesem samoistnego zabezpieczenia antykorozyjnego materiału na skutek powstania tlenków metalu na powierzchni, które stanowią zabezpieczenie metalu przed dalszym postępowaniem procesu korozyjnego. Samopasywacja metalu nie jest skuteczną ochroną dla silnie kwaśnych bądź silnie zasadowych warunków otoczenia. Dla takich warunków należy stosować dodatkowe zabezpieczenia bądź stosować inne materiały. Zdarzają się elementy lakierowane i pokrywane tworzywem sztucznym, o dodatkowo zwiększonej żywotności. Aluminium posiada dobre właściwości konstrukcyjne, jest materiałem stosunkowo lekkim i wytrzymałym.

Rzadko stosowanym materiałem jest drewno z uwagi na słabe właściwości przeciwwilgociowe. Drewno ulega w warunkach podwyższonej wilgotności i temperatury przyspieszonym procesom butwienia.

3.1.1 Ogrzewanie szklarni

Każda roślina wymaga optymalnych warunków uprawy, co obejmuje: metody uprawy, rodzaj i system osłony, warunki glebowe, termiczne, wilgotność gleby i powietrza, nasłonecznienie, zawartość powietrza (tlenu i CO₂) oraz innych.

Uwarunkowania ekonomiczne wpływają na wybór typu osłony tj. tunel foliowy czy szklarnia, który dobierany jest na podstawie wielu czynników obejmujących: czas produkcji, zadania (hodowla mateczników, ukorzenianie), typu hodowanej rośliny (rośliny ciepłolubne: pomidor, papryka, ogórek).

Dla przykładu tunel chroni zwykle rośliny przed wiosennymi przymrozkami, następnie jest usuwany i rośliny rosną bez osłony. Metoda sprawdza się w przypadku fasoli karłowej, grochu, młodych bylin. Również w przypadku chryzantemy – najpierw rośnie ona bez osłony, później zaś tunel stanowi ochronę przed przymrozkami jesiennymi. Dla przykładu w nieogrzewanym tunelu produkuje się rośliny odporne na czasowe spadki temperatury, sadzone po przymrozkach (truskawka).

Straty ciepła pod pokryciem foliowym będą większe niż pod szkłem, lecz w tunelu przedłuża się uprawę tylko wiosną i jesienią, a nie zimą. Szklarnia to rozwiązanie droższe, ale trwalsze i oferujące roślinom precyzyjniejsze warunki całorocznej wegetacji. Aby trafnie go dopasować, należy pamiętać, że odmiany jednego gatunku będą różniły się od siebie wymaganiami termicznymi, czasem uprawy, zapotrzebowaniem na wodę oraz tolerancją zagęszczenia i innymi parametrami.

Na dobór systemów ogrzewania, wentylacji, nawadniania itp. nie bez znaczenia ma oczywiście wielkość i kubatura osłon. Standardowe osłony nie pozwalają na produkcję roślin na większą skalę z powodu małej powierzchni użytkowej i trudności w przemieszczaniu między obiektami. Dlatego stosuje się „blokowanie”, czyli zestawianie w kombinaty (Rysunek 3.2 A). Zapewnia to lepszą logistykę i ujednoczenie warunków w kubaturze.

Przełomem w ogrodnictwie pod osłonami stało się skonstruowanie szklarni tzw. holenderskich (podstawowy typ „Venlo” - Rysunek 3.2 B). Są to obiekty o dużej powierzchni i kształcie zbliżonym do kwadratu. Szklarnie te ułatwiają transport i można dzielić je za pomocą kurtyn na strefy.



A

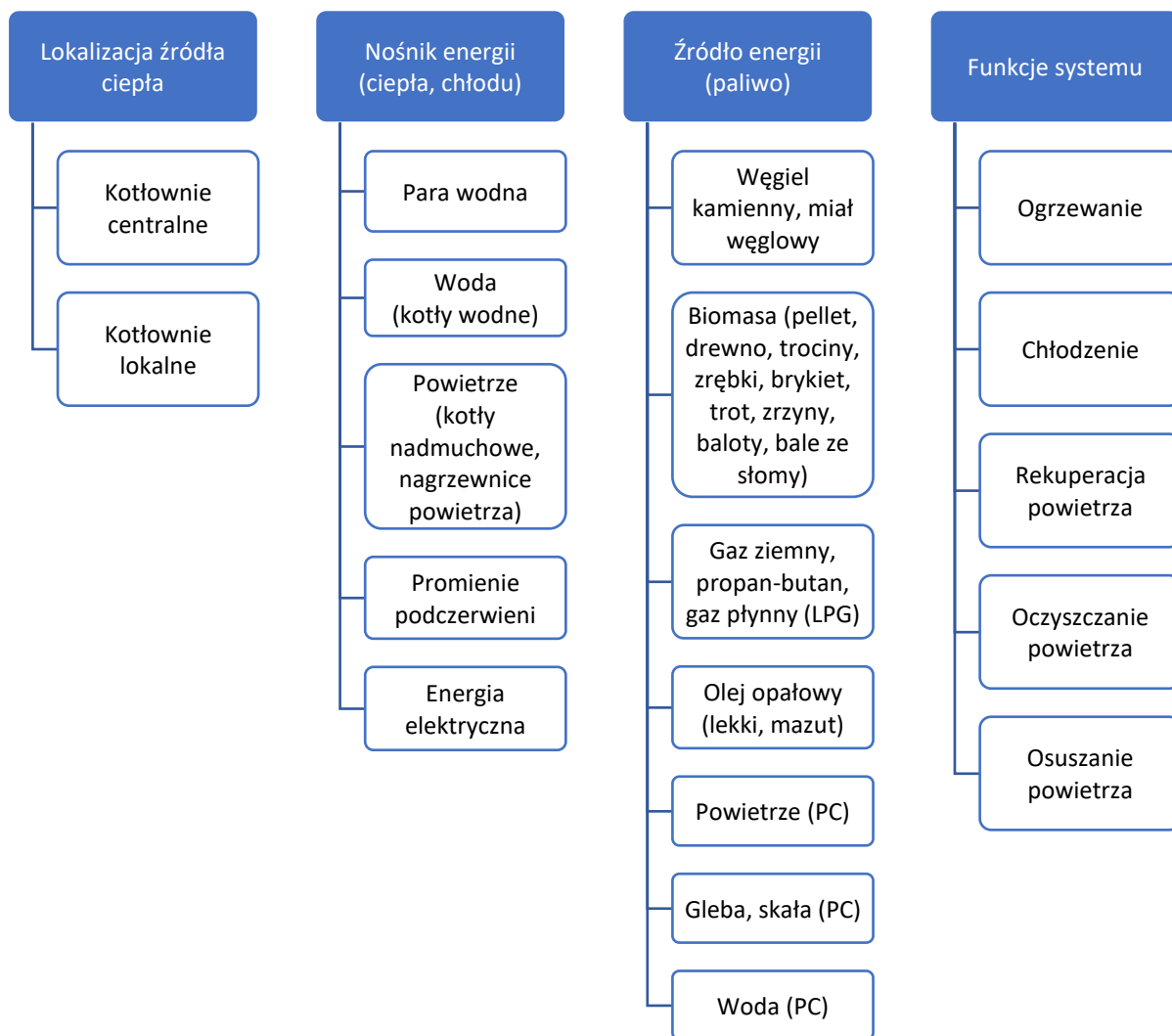


B

Rysunek 3.2 Typy osłon: A) tunel foliowy (źródło: <http://ogrodnictwo.expert/uprawy-pod-oslona/pod-oslonami-technika/systemy-szklarni-i-tuneli-foliowych-dobor-oslony-do-gatunku-i-sposobu-uprawy>), B) szklarnia typu Venlo (gospodarstwo szklarniowe w Porębie Spytkowskiej k. Brzeska - <https://www.ogrodinfo.pl/szklarnie-tunele-oslony/gospodarstwo-szklarniowe-w-porebie-spytkowskiej>)

3.1.2 Systemy ogrzewania upraw pod osłonami

Analizując dostępny przegląd literaturowy systemy ogrzewania szklarni możemy podzielić uwzględniając wiele kryteriów, w tym ze względu na: lokalizację źródła ciepła w relacji do szklarni, nośnik energii (ciepła, chłodu), rodzaj źródła energii, w tym paliwo oraz funkcje jaki ma spełniać system (Rysunek 3.3).



Rysunek 3.3 Uproszczona klasyfikacja systemów ogrzewania szklarni (PC – pompy ciepła). Źródło: opracowanie własne

Dostępnych jest wiele rodzajów systemów grzewczych do zastosowania w szklarniach. Ze względu na umieszczenie źródła ciepła systemy grzewcze w szklarniach wyróżniamy dwa rodzaje systemów, a mianowicie:

- Centralne**, w którym źródło ciepła znajduje się w osobnym pomieszczeniu na zewnątrz szklarni, a ciepło jest rozprowadzane do szklarni systemem dystrybucyjnym, lub
- Lokalne**, gdzie ciepło jest rozprowadzane bezpośrednio do przestrzeni szklarni (źródło ciepła znajduje się w szklarni).

W zależności od **nośnika ciepła** możemy wyróżnić pięć podstawowych systemów ogrzewania szklarni:

- Para wodna – para jest dostarczana w postaci gazowej do wymiennika ciepła, wewnątrz którego następuje jej skroplenie (para zmienia się w kondensat) i następnie jest odprowadzana na zewnątrz. Wymiana ciepła występuje w procesie kondensacji, para oddając ciepło skrapla się. Kondensacja czynnika grzewczego zapewnia znacznie większy strumień ciepła przekazywanego w trakcie wymiany ciepła. Jeżeli mamy taką samą powierzchnię wymiany ciepła w przypadku zastosowania pary czas ogrzewania może być znacznie skrócony. Jeżeli projektujemy wymiennik to w przypadku wykorzystania pary jako źródła ciepła powierzchnia wymiany ciepła (wielkość wymiennika) może być znacznie mniejsza;

- b) Gorąca woda – woda jest czynnikiem oddającym ciepło przez konwekcję, bez zmiany stanu skupienia. Czynniki grzewcze przekazują ciepło do czynnika ogrzewanego obniżając swoją temperaturę. Dla polepszenia warunków wymiany przez konwekcję zwykle stosuje się rozwiązania z konwekcją wymuszoną za pomocą urządzeń takich jak pompy obiegowe, aby uzyskać zwiększony przepływ czynnika na powierzchni wymiany ciepła;
- c) Gorące powietrze – w systemach z gorącym powietrzem nośnikiem ciepła jest powietrze. Gorące powietrze wytwarzane w nagrzewnicach wewnątrz szklarni lub poza nią, jest nawiewane przez wentylator. Wadą tej metody jest mniejsza możliwość sterowania przepływem ciepła. Dlatego ten rodzaj ogrzewania szklarni nie nadaje się dla każdej uprawy. Ogrzewanie gorącym powietrzem nie wymaga dużych nakładów na instalację rozprowadzenia ciepła i często wybierane jest jako alternatywa dla instalacji centralnego ogrzewania;
- d) Promienie podczerwieni – urządzenia odtwarzają promienie podobne do tych emitowanych przez słońce. Ogrzewanie na podczerwień w szklarniach ma wiele zalet, które wyróżniają tego typu grzejniki od innych systemów stosowanych w szklarniach, w tym tych opartych na procesach spalania. Do zalet tych możemy zaliczyć: wysoka sprawność do ok. 95%, prosta i kompaktowa konstrukcja, kierunkowe i jednolite ogrzewanie danego obszaru szklarni, szybkość ogrzewania (ogrzewanie powietrza jest odczuwalne natychmiast po uruchomieniu), wysoka wydajność energetyczna i małe straty termiczne, trwałość i niezawodność – brak ruchomych elementów, łatwa instalacja, promienniki nie osuszają powietrza (pozwala to na utrzymanie stałej wilgotności). W zależności od źródła zasilania możemy wyróżnić promienniki elektryczne, gazowe (gaz ziemny, zaazotowany, propan-butan) oraz olejowe. Promienniki katalityczne nie emitują ani CO, ani niespalonych węglowodorów i tlenu azotu;
- e) Energia elektryczna – w przypadku niektórych upraw nie ma potrzeby ogrzewania całej szklarni, na przykład, jeśli ciepła potrzebuje tylko dolna część rośliny. W takich przypadkach rozwiązaniem są elektryczne maty grzewcze. Maty te ogrzewają tylko doniczkę, w której umieszczona jest roślina. A to jest korzystne zarówno dla wzrostu korzeni, jak i dla wzrostu całej rośliny;

Wybór systemu grzewczego, to każdorazowo kompromis pomiędzy wymaganiami technologicznymi danej uprawy/upraw, kosztami inwestycyjnymi oraz kosztami eksploatacyjnymi. Niektóre systemy charakteryzują się znacznymi kosztami inwestycyjnymi (CAPEX), ale są bardziej wydajne i tańsze w eksploatacji – inne na odwrót.

3.1.2.1 Systemy centralnego ogrzewania szklarni

Centralne systemy grzewcze do szklarni składają się z centralnego kotła. Kotły to zbiorniki ciśnieniowe przeznaczone do podgrzewania wody lub wytwarzania pary, które mogą być następnie wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń i/lub podgrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) w budynku.

Zarówno kotły gazowe, jak i olejowe wykorzystują kontrolowane spalanie paliwa do podgrzewania wody. Kluczowymi elementami kotła biorącymi udział w tym procesie są palnik, komora spalania, wymiennik ciepła i elementy sterujące. Ciepła woda produkowana przez kocioł jest pompowana rurami i dostarczana do szklarni.

Kotły parowe wytwarzają parę, która przepływa przez rury z obszarów o wysokim ciśnieniu do obszarów o niskim ciśnieniu, bez pomocy zewnętrznego źródła energii, takiego jak pompa. Izolowane rury i rozdzielacze doprowadzają wodę lub parę do ogrzewanej strefy, zwykle umieszczone pod stolami oraz wzdłuż ścian bocznych i końcowych wzdłuż obwodu szklarni. Obecnie gorąca woda, a nie para, jest najpopularniejszym medium do przenoszenia ciepła z kotła do szklarni z kilku powodów.

Temperaturę wody krążącej w systemach ciepłej wody można regulować w celu dostosowania do zapotrzebowania na ciepło systemu, niezależnie od tego, czy chodzi o ogrzewanie podłogowe, ogrzewanie stołowe, ogrzewanie górne, ogrzewanie obwodowe czy usuwanie śniegu i lodu. Zapewnia to bardziej sterowalne ciepło niż para, której działanie zbliżone jest do systemu 0-1, gdyż ma stosunkowo wysoką najniższą temperaturę funkcjonowania.

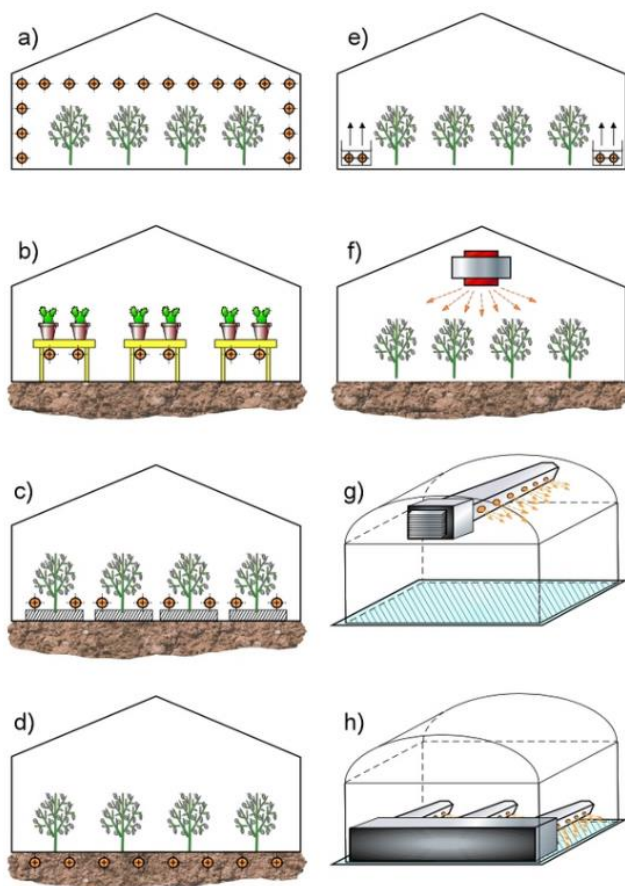
Systemy ciepłej wody często zapewniają lepszą równomierność dystrybucji ciepła i mogą być umieszczane bliżej roślin. Może to być zrealizowane poprzez zastosowanie systemów ogrzewania stołowego lub podłogowego. Dodatkowym atutem jest fakt, że w przypadku awarii kotła istnieje większa rezerwa ciepła w instalacji c.o.

Zaletą stosowania pary wodnej jest to, że duże ilości energii mogą być transportowane na duże odległości bardziej efektywnie niż w przypadku systemów z gorącą wodą. Niestety systemy transmisji ciepła przy wykorzystaniu pary wodnej wymagają większych ciśnień, co jest trudniejsze na etapie eksploatacji. Systemy wykorzystujące parę wodną współpracują zwykle z kotłami gazowymi, olejowymi lub węglowymi i są wykorzystywane także do przygotowania c.w.u.

W systemie centralnego ogrzewania, gorąca woda transportowana jest rurami do miejsc, które należy ogrzać. Można to zrobić na wiele różnych sposobów, a mianowicie:

- Ogrzewanie naziemne: rury w ogrzewaniu rozprowadzone są nad ziemią. Ciepło promieniujące z rur, rozchodzi się równomiernie zarówno w górę, jak i w dół. Jest to korzystne dla korzeni i samej uprawy. Maksymalna temperatura wody wynosi 40°C (Rysunek 3.4 a,e);
- Ogrzewanie stołowe: niektóre uprawy są uprawiane na stołach. Stoły te są wyposażone w aluminiowe wsporniki. W przypadku ogrzewania stołu, do podgrzewania wsporników wykorzystywane są rury polietylenowe - temperatura maksymalna to 70°C. Podpory te ogrzewają aluminiowe stoły, na których stoją np. rośliny doniczkowe (Rysunek 3.4 b);
- Ogrzewanie w sąsiedztwie uprawy: ogrzewanie upraw polega na zastosowaniu rur zawieszonych nad uprawą. Nazywa się to również obiegiem dolnym. Używa się do tego rur stalowych i aluminiowych. Zaletę stanowi fakt, że rury mogą być podgrzewane do maksymalnej temperatury 50°C (Rysunek 3.4 c);
- Ogrzewanie gleby: odbywa się to za pomocą rur, które znajdują się pod ziemią. Ponieważ rury są podatne na działanie obornika i substancji organicznych, są one wykonane z polietylenu. Maksymalna temperatura wody w ogrzewaniu podłoża wynosi 40°C (Rysunek 3.4 d);
- Ogrzewanie powietrza w szklarni: powietrze w szklarni może być również ogrzewane przez tzw. obieg górny do temperatury maksymalnie 90°C. Rury stalowe o średnicy ok. 50 mm są zawieszane w górnej części szklarni na pręcie napinającym i są używane tylko wtedy, gdy obieg dolny osiągnie maksymalną temperaturę (Rysunek 3.4 f,g,h).

Przykładowe rozwiązania systemów rozprowadzenia ciepła w szklarniach przedstawiono na Rysunek 3.4.



- a) Ogrzewanie rurowe pod zadaszeniem i na obwodzie
- b) Ogrzewanie stołowe
- c) Ogrzewanie w sąsiedztwie uprawy
- d) Ogrzewanie gleby
- e) Ogrzewanie obwodowe
- f) Nagrzewnice powietrzne centralne punktowe w stropie
- g) Nagrzewnice powietrzne górne z tunelowym rozprawdzeniem ciepłego powietrza
- h) Nagrzewnice powietrzne dolne z tunelowym rozprawdzeniem ciepła

Rysunek 3.4 Systemy rozprawdzenia ciepła w szklarniach (grafika na podst.: Both, 2019)

3.1.3 Paliwa używane w systemach ogrzewania szklarni

Dobór odpowiednich urządzeń grzewczych zależy od rodzaju dostępnego paliwa, a także od możliwości wykorzystania poszczególnych typów paliw, co może wynikać z obowiązujących przepisów prawa, w tym krajowego i/lub lokalnego.

Uwarunkowania formalne, o których wspomniano wcześniej mogą w istotny sposób ograniczać wykorzystanie poszczególnych paliw oraz pośrednio wpływać na wybór systemu grzewczego. Należy wziąć to pod uwagę w rejonach, gdzie następuje szybka transformacja energetyczna, wynikająca przede wszystkim ze względów środowiskowych – poprawy jakości powietrza, z czym mamy do czynienia obecnie w Polsce.

Wartości opałowe podstawowych paliw konwencjonalnych, w tym paliw stosowanych w systemach upraw pod osłonami oraz charakterystyczne wskaźniki emisji (WE) dla sektora rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo, na podstawie danych KOBIZE (2019) przedstawiono w Tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Wartość opałowa podstawowych paliw konwencjonalnych, w tym paliw stosowanych w systemach upraw pod osłonami (na podst.: KOBIZE, 2019 - zmodyfikowane)

| Rodzaj paliwa | WO MJ/kg | WO MJ/m ³ | WE CO ₂ kg/GJ |
|------------------------------|----------|----------------------|--------------------------|
| Węgiel kamienny ¹ | 26,0 | | 94,05 |
| Węgiel brunatny ¹ | 8,0 | | 111,41 |
| Brykiety węgla kamiennego | 20,7 | | 97,50 |

| | | | |
|---|------|-------|--------|
| Brykiety węgla brunatnego | 20,7 | | 97,50 |
| Ropa naftowa | 42,3 | | 73,30 |
| Drewno opałowe i odpady pochodzenia drzewnego | 15,6 | | 112,00 |
| Biogaz | 50,4 | | 54,60 |
| Inne produkty naftowe | 40,2 | | 73,30 |
| Koks naftowy | 32,5 | | 97,50 |
| Koks i półkoks (w tym gazowy) | 28,2 | | 107,00 |
| Gaz ciekły | 47,3 | | 63,10 |
| Benzyny silnikowe | 44,3 | | 69,30 |
| Olej napędowy (w tym olej opałowy lekki) | 43,0 | | 74,10 |
| Oleje opałowe | 40,4 | | 77,40 |
| Gaz ziemny | 48,0 | | 55,33 |
| Gaz ziemny wysokometanowy | | 36,54 | 55,33 |
| Gaz ziemny zaazotowany | | 26,00 | 55,33 |

¹ – wartości charakterystyczne dla sektora: Rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo (na podst.: KOBIZE, 2019).

Wartości WO w tabeli wyrażone w MJ/kg, to wartości domyślne – pochodzą z 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Olej opałowy lekki jest w międzynarodowych statystykach paliwowo-energetycznych i w inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych wliczany do oleju napędowego.** Wartości opałowe, wyrażone w MJ/m³, obliczone zostały w oparciu o krajowe dane statystyczne. Wartości te podane zostały w celu ułatwienia przeliczenia zużycia paliw gazowych z jednostek objętościowych na jednostki energetyczne i nie są one zamieszczone w inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych za rok 2017.

W zależności od stosowanego paliwa, w systemach ogrzewania szklarniowego możemy wyróżnić następujące źródła i paliwa:

a) **Węgiel kamienny (w tym miał węglowy)** – stosowany powszechnie ze względu na dostępność paliwa, relatywnie niski koszt (do 2021 r.). Systemy oparte o węgiel są relatywnie proste i bezawaryjne, dotyczy to nie tylko źródła ciepła, lecz także systemu jego rozprowadzenia. Niedogodności wynikają z konieczności magazynowania znacznych ilości paliwa w celu zabezpieczenia dostawy energii w ciągu sezonu grzewczego. Systemy spalania paliw stałych, miału węglowego wykorzystują m. in. kotły wodne z rusztem taśmowym, które są produkowane w szerokim zakresie mocy od ok. 500 kW do 5 MW i temperaturze wody 110, 145 lub 165°C. Kotły te wyposażone są w układ automatycznej kontroli procesu spalania co zapewnia stałe utrzymanie płomienia w palenisku bez konieczności częstego rozpalania a jednocześnie w bardzo łatwy sposób umożliwia regulację wydajności cieplnej. Dzięki zastosowaniu rusztu taśmowego możliwe jest spalanie takiej ilości paliwa, jaka jest niezbędna do utrzymania zadanych parametrów pracy przez co możliwe jest uzyskanie sprawności rzędu 86 % i znaczne obniżenie zużycia paliwa. Rynek oferuje produkty wielu wytwórców, które produkują np. kotły miałowe 3 i 5 MW, a także kotły gazowe dedykowane do szklarnictwa. Przykłady urządzeń znanych firm holenderskich przedstawiono na Rysunek 3.5.



A)



B)

Rysunek 3.5 Holenderskie kotły opalane miałem o mocy ok. 5 MW (źródło: A) <http://fhcrone.nl>, B) <http://www.boetersbkc.nl>)

- b) **Gaz ziemny** – nie wymaga przechowywania paliwa na miejscu, ponieważ jest wyprowadzany z linii przesyłowych. Gaz ziemny spala się czysto, wymaga niewielkiej konserwacji sprzętu i może być stosowany w kotłach centralnych lub zdalnych jednostkach grzewczych.

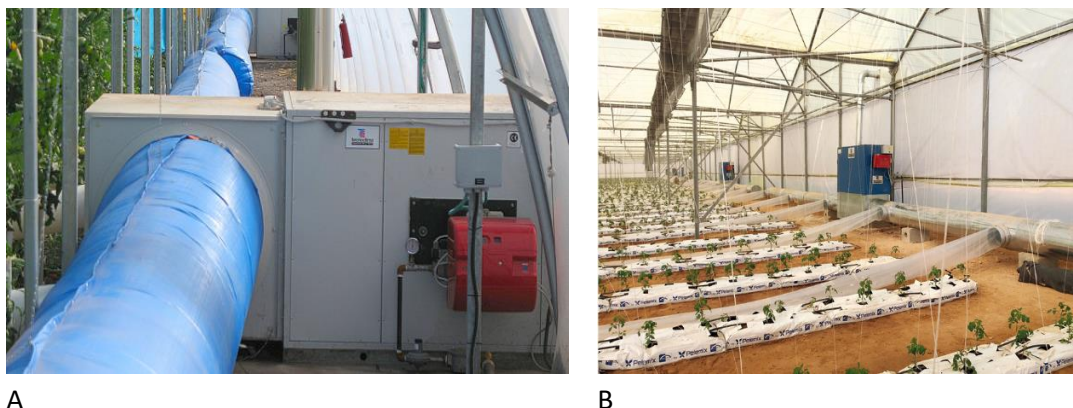


Rysunek 3.6 Nagrzewnice gazowe (<https://www.szklarnia24.pl/220782025/systemy-grzewcze-w-szklarniach-i-tunelach-foliowych,p2072615083>)

Nagrzewnice gazowe występują w dwóch odmianach w zależności od sposobu odprowadzania substancji powstałych podczas procesu spalania **z zamkniętą oraz z otwartą komorą spalania**. Paliwem może być zarówno gaz ziemny jak i propan-butan. Urządzenia charakteryzują się wysoką trwałością. Urządzenia mają zwykle możliwość sterowania za pomocą komputera klimatycznego. Moce: 40, 70, 100, 120 kW (200 kW).

Piece nadmuchowe i nagrzewnice powietrza to generatory ciepłego powietrza, skonstruowane z myślą o ekonomicznym ogrzewaniu upraw bezpośrednio w strefie ich wzrostu. Wygenerowane ciepłe powietrze nawiewane jest dwustronnie i rozprowadzane przez polietylenowe rękawy nawiewne, występuje jako nagrzewnica pionowa do podwieszenia i jako nagrzewnica pozioma stojąca. Urządzenia zapewniają kontrolę CO₂. Piece nadmuchowe z nagrzewnicą powietrza

współpracują z dowolnym rodzajem palnika nadmuchowego zasilanie na gaz lub olej. Fabrycznie mogą być wyposażone w palniki nadmuchowe typu *Riello*.

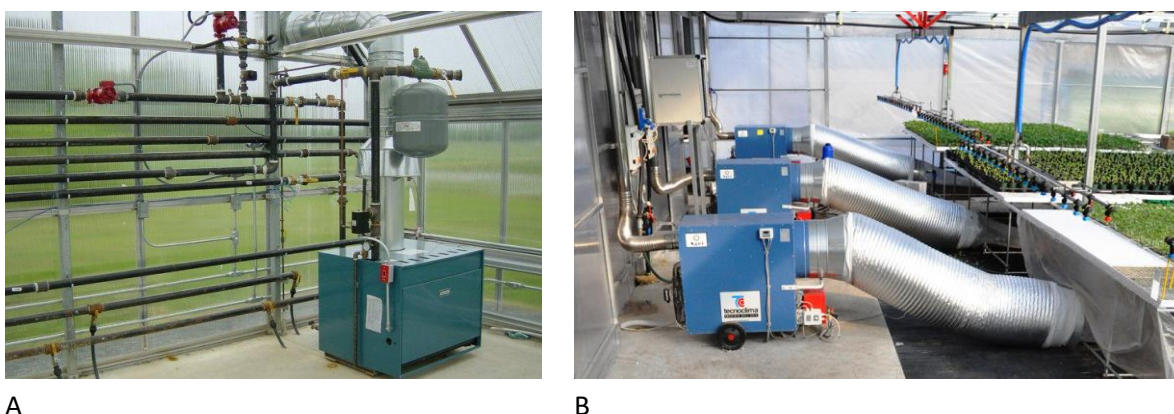


Rysunek 3.7 Piec nadmuchowy i nagrzewnice powietrza z nawiewem dolnym "down-flow" – pozioma. A) jednostka centralna, B) system rozprowadzenia ogrzanego powietrza (źródło: <https://www.tecnoclima.pl>)

Tradycyjny system składa się z kotła gazowego, który może być zainstalowany w dowolnym miejscu w szklarni, bądź poza nią – w kotłowni zewnętrznej. System w zasadzie nie różni się od systemów stosowanych w budynkach mieszkalnych i zawiera: palnik, wymiennik ciepła, pompy obiegowe, naczynie wzbiorcze i zawór bezpieczeństwa.

Układ dodatkowo wyposażony jest zwykle w system termostatów, pozwalających utrzymać wymaganą temperaturę w punktach kontrolnych szklarni, dostosowaną do wymogów upraw. Pracujący kocioł podgrzewa wodę w wymienniku ciepła i za pomocą pompy obiegowej podaje ją do obiegu instalacji wodnej rurowej (Rysunek 3.8. A).

Piec gazowy może służyć także do ogrzewania szklarni i rozprowadzaniu ciepła w postaci ciepłego powietrza (Rysunek 3.8.B). Przykładowe rozwiązanie instalacji kotła gazowego wewnątrz szklarni, współpracującego z instalacją wodną przedstawiono na Rysunek 3.8.



Rysunek 3.8 Przykładowe rozwiązanie systemu ogrzewania szklarni w oparciu o kocioł gazowy. A) instalacja wodna (źródło: <https://buildex.techinfus.com>), B) gazowa nagrzewnica powietrza (źródło: <https://k-bausysteme.com>)

c) **Gaz płynny (LPG)** – jest czystym paliwem gazowym, podobnie jak gaz ziemny. Jest otrzymywany jako produkt uboczny operacji rafinacji ropy naftowej lub przez frakcjonowanie (kraking) gazu ziemnego. Ten typ ocieplania nie wysusza nadmiernie powietrza, dlatego łatwiej utrzymać odpowiedni poziom wilgoci, co jest niezbędne by móc cieszyć się udaną uprawą.

Źródłem ciepła jest zbiornik na gaz płynny umieszczony na zewnątrz, dzięki temu oszczędzamy miejsce w środku obiektu, które można spożytkować. Zbiornik LPG zewnętrzny jest tak zaprojektowany, że zapewnia bezpieczeństwo oraz komfort użytkownika. Instalacja grzewcza jest właściwie bezobsługowa.

Ogrzewanie gazowe wykorzystujące zarówno gaz ziemny, jak i gaz płynny (LPG) doskonale nadaje się do ochrony upraw przed nagłymi spadkami temperatury i przymrozkami i jest stosowany jako doraźna ochrona przed skrajnie niskimi temperaturami. Rzadko stosowany jest jako podstawowe źródło ciepła, również ze względu na wysokie koszty paliwa.

- d) **Olej opałowy (lekki, ciężki-mazut)** – który jest wprowadzany poprzez dyszę paliwową do komory spalania. Nagrzewnice olejowe dzielimy na **wymiennikowe i bezwymiennikowe**. Nagrzewnice wymiennikowe mają zamkniętą komorę spalania i odprowadzają spaliny na zewnątrz, przez co spaliny są odseparowane od ogrzewanego powietrza, a w nagrzewnicach bezwymiennikowych podgrzewane paliwo łączy się ze spalinami.

Nagrzewnice olejowe stosuje się w szklarniach i tunelach, w których istnieje możliwość wykorzystania oleju opałowego. Oleje opałowe wymagają znajdujących się na miejscu, zbiorników magazynowych, które muszą być zabezpieczone na wypadek wycieku lub rozlania. Olej przechowywany w zewnętrznych, naziemnych zbiornikach może być trudny do pompowania przy bardzo niskich temperaturach. Izolowane zbiorniki lub dodatki do paliwa chronią przed tym zagrożeniem.

Przykładem wykorzystania jest olejowy kocioł trzyciągowy, który przystosowany jest do pracy w instalacjach grzewczych wodnych i parowych. Kotły wodne wytwarzane są w zakresie mocy od 400 kW do 10 MW i temperaturze wody do 165°C.

Odpowiednio dobrane wymiary komory spalania i powierzchni konwekcyjnych wymiany ciepła zapewniają sprawność kotła na poziomie 94% oraz emisję szkodliwych substancji w spalinach znacznie poniżej dopuszczalnych wartości. Odpowiednia grubość izolacji cieplnej z materiałów mineralnych skutecznie chroni kocioł przed stratami ciepła do otoczenia, co zapewnia stałą gotowość roboczą kotła. Przykładowy kocioł na lekki olej opałowy pokazano na Rysunek 3.9.



Rysunek 3.9 Przykładowy kocioł na lekki olej opałowy znanej firmy niemieckiej (źródło: <https://www.technika-szklarniowa.pl>)

Mazut – spalanie mazutu wymaga doboru optymalnej techniki jego spalania. W przypadku palników ciśnieniowych mazut musi być podgrzany do temperatury rozpylania około 130°C, co

wymaga dostarczenia odpowiedniej ilości energii elektrycznej. Koszty jej użycia mogą istotnie podwyższyć (nawet do 50%) koszty wytwarzania energii cieplnej. Najnowsze techniki spalania, z wykorzystaniem palników pneumatycznych oraz urządzenia podgrzewające mazut bez udziału energii elektrycznej, pozwalają obniżyć jednostkowy udział kosztów energii elektrycznej w koszcie wytwarzania energii cieplnej do podobnego, jak dla oleju lekkiego. Przykładowy kocioł na mazut przedstawiono na Rysunek 3.10.



Rysunek 3.10 Przykładowy kocioł na mazut (źródło: <https://www.technika-szklarniowa.pl>)

Dodatkową korzyścią eksploatacji kotłów opalanych mazutem lub olejem ciężkim jest ich bardzo duża pojemność wodna (kilkakrotnie większa niż kotłów na olej lekki czy gaz). W przypadku ogrzewania obiektów wyposażonych w instalacje grzewcze o dużej pojemności wodnej (zwłaszcza szklarni), odpowiednio duża ilość wody grzewczej w kotle umożliwia znaczne obniżenie nakładów inwestycyjnych na pozostałe urządzenia kotłowni (sprzęt hydrauliczny, akumulatory ciepła, rozdzielacze, zasuwki, itp.).

Promienniki olejowe - olejowe promienniki podczerwieni prawie nie wydzielają spalin. Ich komora spalania wyposażona jest w specjalną wkładkę ceramiczną, dzięki której osiąga się bardzo wysoką efektywność 99-100%. Promienniki ogrzewają ciała stałe, a nie powietrze. Są idealne do stosowania na dużych przestrzeniach, gdzie nie ma możliwości ogrzewania powietrza.

- e) **Biomasa** (pellet, drewno, trociny, zrębki, brykiet ze słomy, zrżyny, baloty, bale ze słomy) – biomasa jest powszechnie wykorzystywana jako substytut paliw kopalnych w wielu szklarniach. Pellet drzewny to sprasowane produkty uboczne przeróbki drzewnej, powstające głównie z trocin, wiórów drzewnych i miazła pozostałego po przetworzeniu drewna na tarcicę i inne produkty drzewne. Pellet drzewny jest skondensowaną, jednorodną formą biomasy, dzięki czemu jest łatwiejsza do przechowywania i wykorzystania niż wiele innych paliw z biomasy. Zrębki drzewne wymagają większej pojemności magazynowej, ponieważ ich objętość jest około czterokrotnie większa niż pelletów drzewnych i wymagają większych nakładów na obsługę i konserwację. Z drugiej strony zrębki drzewne mają znaczną przewagę kosztową nad pelletami drzewnymi.

Jednym z rozwiązań stosowanych w szklarnictwie jest piec Buleryana. Podstawą urządzenia jest piec do pirolizy lub generator gazu. Paliwo tli się przy ograniczonym przepływie powietrza, uwalnia się gaz pirolityczny, zostaje spalony w innym palenisku. Proces przebiega bardzo powoli, zapewniając stabilną temperaturę. Paleniska mają przyspawane dookoła duże rury, którymi ogrzane powietrze trafia do szklarni. Jeden ładunek drewna na opał wystarcza na 6-8 h. Korpus

pieca nie nagrzewa się, co zapewnia pełne bezpieczeństwo. Przykład zastosowania pieca kanadyjskiego typu Buleryana do ogrzewania szklarni przedstawiono na Rysunek 3.11.



Rysunek 3.11 Piec kanadyjski typu Buleryana do ogrzewania szklarni – uprawa kwiatów (źródło: <https://en-n.decorexpro.com>)

Obecnie najdostępniejszym i najtańszym rodzajem biomasy są zrębki drzewne pozyskiwane z tartaków lub zrębki leśne. Można również lokalnie pozyskiwać korę oraz trociny. Warto również pamiętać, że trociny i zrębki drzewne dostępne są w lokalnych tartakach, nie trzeba ich tak jak miazgi węglowej transportować na znaczne odległości – co oznacza mniejszy „ślad węglowy”.

Na rynku dostępne są nowoczesne, w pełni zautomatyzowane kotły o mocy do 10 MW, które z powodzeniem mogą ogrzewać kilkuhektarowe uprawy szklarniowe. Wyposażone są one w silosy na zrębki i przenośniki, dzięki którym system ogrzewania działa automatycznie.

Istotne jest, aby kocioł, na który się decydujemy miał możliwość załadunku mokrej (tj. surowej) biomasy, która w przeciwieństwie do suchych zrębków jest zwykle dostępna od ręki. Przed podaniem paliwa do komory spalania jego wilgotność powinna zostać obniżona do poziomu poniżej 20%. Ciekawą opcją jest zintegrowany z paleniskiem system podgrzewania powietrza. Powyższe rozwiązanie ulepsza spalanie mokrych zrębków i obniża ich zużycie, co pozwala obniżyć koszty ogrzewania szklarni.

Przykładową kotłownię, gdzie zainstalowano kocioł na biomasę firmy przedstawiono na Rysunek 3.12.



Rysunek 3.12 Kocioł na biomasę znanego producenta (sprawność ok 87%) z układem kondensacji pracujący w gospodarstwie szklarniowym w miejscowości Międzybłocie w Wielkopolsce (źródło: <https://www.warzywa.pl/technika/jak-obnizyc-koszty-ogrzewania-upraw-szklarniowych/>)

Poszczególne rodzaje stosowanego paliwa charakteryzują się specyficzną wartością opałową (WO) oraz wskaźnikiem emisji (WE). Obydwa te wskaźniki powinny być brane pod uwagę przy planowaniu inwestycji związanej z zakupem bądź modernizacją źródła ciepła w obiektach szklarniowych.

Nie bez znaczenia pozostają także kwestie: kosztów urządzeń pozwalających na konwersję paliwa w użytkową energię (kotły, piece), ceny jednostkowej paliwa, koszty serwisowe, żywotność urządzeń i osprzętu oraz funkcjonalność i elastyczność systemu – w odniesieniu do specyficznych warunków upraw, w tym realizacja dodatkowych funkcji, takich jak np. chłodzenie, osuszanie i inne.

Ciekawym rozwiązaniem jest system ogrzewania szklarni z rekuperacją powietrza na brykiet trocinowy i pellet (<http://www.fcc-innowacje.pl>). Jest to system specjalnych nagrzewnic z wkładami solnymi, które pochłaniają wilgoć, ale też oczyszczają i dezynfekują powietrze. Mamy zatem cztery rozwiązania w jednej nagrzewnicy:

- Ogrzewanie;
- Rekuperację powietrza;
- Oczyszczanie;
- Osuszanie.

Dzięki odpowiednio dobranemu systemowi nie trzeba wietrzyć szklarni, co wg producenta znacząco redukuje koszty ogrzewania - nawet do 25%. Kolejną korzyścią jest znaczna redukcja chorób upraw - osuszone powietrze zmniejsza bowiem ryzyko pojawienia się pleśni. Wszystkie powyższe elementy mogą mieć znaczący wpływ na wzrost wydajności upraw. Jak podaje producent, w niektórych przypadkach redukcja pleśni *Botrytis cinerea Pers* może sięgać 90%. Rozwiązanie technologiczne wykorzystujące nagrzewnica na brykiet lub pellet przedstawiono na Rysunek 3.13.



Rysunek 3.13 Nagrzewnica na brykiet lub pellet (moc 70 kW) z rekuperacją i osuszaniem powietrza (<http://www.fcc-innowacje.pl/nagrzewnice-z-rekuperacja-i-osuszaniem-powietrza>)

- f) **Energia elektryczna** – rozwiązania te wymagają zwykle istotnych nakładów finansowych, co w szczególności dotyczy systemów, gdzie używane są grzejniki konwektorowe, olejowe itp. Zaletą powyższych systemów jest możliwość zapewnienia stabilnej temperatury w procesie długofalowych upraw pod osłoną. Wśród różnorodnych rozwiązań można wymienić te działające na zasadzie promienników podczerwieni, nagrzewnice powietrza oraz ogrzewające glebę (maty grzewcze). Zastosowanie systemu ogrzewającego podłoże – wegetacyjnego lub gruntowego może w niektórych przypadkach znacząco zmniejszyć całkowite zużycie energii cieplnej upraw pod osłonami - nawet o 5–14% (<https://www.ogrodinfo.pl>), w szczególności dotyczy to produkcji rozsad. Maty grzewcze mogą także zostać umieszczone na stołach zalewowych lub na posadzce, dzięki czemu ogrzewają jedynie doniczkę, w której umieszczona jest roślina, co jest korzystne zarówno dla wzrostu korzeni, jak i całej rośliny.
- g) **Sieci ciepłownicze** - w miejscowościach, w których dostępna jest sieć ciepłownicza oferująca atrakcyjne ceny energii, niekiedy - zakup energii cieplnej o niskiej temperaturze pobieranej z powrotu sieci ciepłowniczej może być bardzo interesującym rozwiązaniem. Wykorzystanie sieci ciepłowniczej w celach uprawy szklarniowej z jednej strony stanowi wygodną alternatywę dla własnego źródła ciepła, z drugiej - znacząco poprawia rentowność określonego odcinka sieci, uzasadniając niekiedy rozbudowę infrastruktury w określonym kierunku. W praktyce, ze względu na fakt, że większość szklarni umiejscowiona jest na terenach wiejskich pozbawionych sieci ciepłowniczej - wykorzystanie ciepła sieciowego jest rzadkością.
- h) **Odnawialne źródła energii** – wzrasta wykorzystanie paliw alternatywnych do ogrzewania, co można przypisać gwałtownemu wzrostowi cen i niestabilności rynku tradycyjnych paliw kopalnych. Promocji OZE sprzyja także polityka energetyczna Unii Europejskiej oraz ustawodawstwo krajowe, które wspierają rozwój OZE poprzez równoległe działania zmierzające z jednej strony do wprowadzania restrykcyjnej polityki w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (GHG¹), a z drugiej uruchomienia systemów wsparcia i dotacji dla przedsięwzięć,

¹ Gaz cieplarniany, gaz szklarniowy (GHG, z ang. greenhouse gas)

które wykorzystują OZE, zwiększają efektywność energetyczną i zmniejszają zużycie paliw kopalnych.

W zakresie ciepłownictwa, a w szczególności w systemach rozproszonych istotną rolę w transformacji sektora w Europie, a także w Polsce upatruje się w technologii sprężarkowych pomp ciepła. Urządzenia te mogą wykorzystywać ciepło otoczenia: powietrza (powietrze/woda, powietrze/powietrze), gruntu (solanka/woda), wody głębinowej (woda/woda), a także ciepło odpadowe z procesów technologicznych i mogą posłużyć do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej i innych.

Istotną zaletą wykorzystania niektórych z powyższej technologii jest możliwość sezonowego magazynowania energii, chłodzenia, w tym chłodzenia pasywnego, co może w znaczący sposób zwiększyć atrakcyjność zastosowania pomp ciepła poprzez obniżenie całorocznych kosztów ogrzewania i klimatyzacji, w szczególności w dużych obiektach szklarniowych.

Pompy ciepła w branży ogrodniczej mogą zatem stanowić interesującą alternatywę dla tradycyjnych metod ogrzewania, klimatyzacji itp. Opłacalność wykorzystania pomp ciepła powinna być każdorazowo poprzedzona analizą finansową uwzględniającą konkretne, optymalne rozwiązania technologiczne, zapotrzebowanie na ciepło, chłód i inne. Proponuje się, aby w powyższym zakresie wykonanie instalacji pompy ciepła (PC) było poprzedzone audytem energetycznym oraz studium wykonalności danej inwestycji. Ze względu na fakt, że pompy ciepła zużywają do napędu energię elektryczną, to optymalnym rozwiązaniem jest projektowanie systemów PC, które będą współpracować z systemami małych elektrowni PV, produkujących niezbędną do napędu energię elektryczną.

W zakresie wykorzystania OZE mieszczą się także zagadnienia rekuperacji, magazynowania energii oraz optymalizacja energetyczna w skali szklarni/przedsiębiorstwa.

3.1.4 Rodzaje kotłów ciepłowniczych w szklarnictwie

Kotły dzieli się na różne typy w zależności od ciśnienia i temperatury pracy, rodzaju paliwa, sposobu ciągu, wielkości i wydajności oraz tego, czy kondensują parę wodną w spalinach. Kotły są również czasami opisywane przez ich kluczowe elementy, takie jak materiały wymienników ciepła lub konstrukcja rur. Istnieją dwa podstawowe typy kotłów, które można wybrać do konkretnego zastosowania; kotły płomieniówkowe i wodnorurkowe (opłomkowe). Mają one zasadniczo odwrotną konstrukcję. Przy stabilnym obciążeniu preferowany jest kocioł płomienicowy. Jeśli natomiast przewiduje się wahania lub zmienne obciążenie, wówczas lepszym rozwiązaniem jest kocioł wodnorurkowy.

3.1.4.1 Kotły płomienicowe

Jest to rodzaj kotła parowego, który składa się ze zbiornika walcowego, wewnątrz którego znajdują się rury zwane płomienicami (najczęściej jedna lub dwie), najczęściej wewnątrz nich umieszczone jest palenisko (Cykle, Mazur, 1977). Spaliny przepływają przez płomienice, po czym kierowane są do kanałów umieszczonych wzdłuż powierzchni bocznych zbiornika walcowego. Jest to konstrukcja przestarzała i obecnie rzadko używana. Zaletą takich kotłów jest prostota budowy i łatwość obsługi, do ich wad należy zaliczyć długi czas rozpalania, niskie ciśnienie robocze oraz relatywnie niska sprawność (Gnutek, 1994).

3.1.4.2 Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy

Typ kotła parowego (rzadziej wodnego) o dużej pojemności wodnej, posiadający płomienicę przedłużoną płomieniówkami. Posiadają różną konstrukcję, ale charakterystyczny i decydujący o nazwie jest element wysunięty z kotła zawierający przynajmniej część płomieniówek zamocowanych

w ścianie sitowej zamykającej płomienicę z paleniskiem. Para wodna powstaje w wyniku podgrzania dużej ilości wody w zbiorniku ciśnieniowym za pomocą gorących spalin, które powstają podczas spalania paliw płynnych lub gazowych. Spaliny te przepływają w zanurzonych w zbiorniku rurach zwanych płomieniówkami.

3.1.4.3 *Kotły wodnorurowe*

W kotle wodnorurkowym woda przepływa przez rury otoczone produktami ubocznymi spalania lub gazami spalinowymi. Kotły wodnorurkowe są bezpieczniejsze z założenia i generalnie mogą działać o wiele lat dłużej niż kotły płomienicowe. Kotły wodnorurkowe są dostępne w większych pojemnościach i szybciej odzyskują energię niż kotły płomieniówkowe.

3.1.4.4 *Kotły rurowo-żebrowe*

Kotły z żebrami miedzianymi to nowszy kocioł o małej masie, który zazwyczaj zawiera rury z żebrami miedzianymi. Znany jest również jako kocioł kompaktowy. Kompaktowy kocioł spala tylko gaz ziemny lub przemysłowy, ponieważ sadza z oleju lub węgla może zatkać wąskie przestrzenie między żebrami miedzianych rurek wymieniających ciepło. Kompaktowy kocioł jest zazwyczaj tańszy w zakupie i zajmuje znacznie mniej miejsca.

3.1.4.5 *Kotły kondensacyjne*

Na ogół kotły kondensacyjne są identyfikowane ze względu na ich konstrukcję wewnętrzną jako kotły płomienicowe lub wodnorurowe. Kocioł kondensacyjny działa w taki sam sposób, jak konwencjonalny kocioł płomienicowy lub wodnorurowy bez kondensacji, ale z dodanymi dodatkowymi funkcjami. W przeciwieństwie do konwencjonalnego kotła bez kondensacji, w którym para wodna, produkt uboczny spalania gazu lub oleju, wydostaje się w górę komina wraz z innymi produktami ubocznymi i jest wyrzucana do atmosfery.

3.1.5 Dystrybucja ciepła z systemu kotłowego

Ciepła woda lub para opuszcza kocioł i jest pompowana do szklarni przez sieć rur lub grzejniki jednostkowe lub oba te elementy. Rury są zwykle umieszczane nad głową i nad uprawą, lub alternatywnie mogą być umieszczone pod ławkami i na ścianach obwodowych lub w kombinacji każdego z nich. Ogrzewanie podłogowe to kolejna metoda ogrzewania szklarni gorącą wodą. Nagrzewnice wodne to kolejna opcja dostarczania ciepła do szklarni. Przykładowe rozwiązania systemów rozprowadzenia ciepła w szklarniach przedstawiono na Rysunek 3.4 [na str. 35](#).

3.1.5.1 *Grzejniki rurowe*

Stosowane są dwa rodzaje rur, gołe (nieożebrowane) lub ożebrowane, choć w dzisiejszym budownictwie mieszkaniowym i lokalowym tego typu grzejniki spotyka się jedynie w ramach koncepcji architektonicznych, niegdyś były powszechnie stosowane m.in. w szkołach.

Najprostszym sposobem przenoszenia ciepła z gorącej wody są gołe rury ze stali, czarnego żelaza, miedzi lub aluminium. Rury ożebrowane mają gęsto rozmieszczone płyty lub żebra przymocowane do rury. Żebra zwiększają powierzchnię grzewczą, co zmniejsza zapotrzebowanie na objętość wody cyrkulującej w systemie grzewczym. Zwykle rura ożebrowana jest instalowana tylko na ścianach bocznych i ścianach końcowych, ale niektóre dobrze nadają się do instalacji pod ławkami. Rozprowadzanie ciepła przy pomocy rur umożliwia bardziej dokładną kontrolę temperatury w strefie roślin w porównaniu do np. systemu rozprowadzającego gorące powietrze.

3.1.5.2 Systemy ogrzewania podłogowego

Wiele dzisiejszych szklarni ma podgrzewaną podłogę. Jak wspomniano, do ogrzewania szklarni dostępne są różne systemy grzewcze: od gorącego powietrza po gorącą wodę i systemy promiennikowe. Wyzwaniem dla wszystkich tych systemów jest dostarczenie ciepła w odpowiedniej ilości we właściwym miejscu i jak najbardziej równomiernie przy rozsądnych kosztach. Ogólnie rzecz biorąc, systemy ogrzewania gruntowego/podłogowego z gorącą wodą są w stanie zapewnić najbardziej równomierne ciepło w całej koronie upraw.

Ogrzewanie podłogowe jest idealne dla roślin uprawianych bezpośrednio na gruncie, takich jak rośliny rabatowe, rośliny ozdobne w pojemnikach i warzywa hodowane w workach, a także warzywa szklarniowe uprawiane bezpośrednio w glebie. Przy uprawach w chłodnym sezonie (np. sałata, szpinak, azjatyckie warzywa liściaste) dodatkowe ogrzewanie powietrzem może nie być nawet wymagane w szklarni z ogrzewaniem podłogowym.

3.1.5.3 Nagrzewnice wodne

Nagrzewnica wodna to urządzenie służące do dystrybucji ciepła w systemie centralnego ogrzewania, w którym medium zasilającym jest gorąca woda (lub czynnik niskokrzepnący, np. Wodny roztwór glikolu). Dystrybucja ciepła odbywa się poprzez wymiennik ciepła, na który skierowany jest nadmuch wentylatora. Ten rodzaj nagrzewnicy jest używany w połączeniu z systemem kotłowym lub innymi źródłami gorącej wody lub pary. W niektórych rozwiązaniach nagrzewnica może pełnić funkcję podobną do klimatyzatora, chłodząc pomieszczenie (<https://youtu.be/LIEue2oVB54>).

Nagrzewnice wodne są często używane jako uzupełnienie innych systemów grzewczych, takich jak system podłogowy lub system ogrzewania nablátowego (patrz Rysunek 3.4). Ogrzewanie przy pomocy nagrzewnic cechuje niewielka bezwładność, co powoduje, że są w stanie podnieść temperaturę powietrza w krótkim czasie.

3.1.5.4 Hydroponiczne chłodziarki/nagrzewnice

Najnowocześniejsze formy uprawy polegają na uprawie bezgelbowej na pożywkach wodnych. Umożliwia to produkcję roślinną w „sztucznych warunkach” zarówno na a skalę domową jak i przemysłową. Prawie każdą roślinę można uprawiać hydroponicznie, choć szczególnie dobrze udają się uprawy warzyw i kwiatów. Niezależnie od warunków klimatycznych pod osłoną podczas uprawy niezbędne jest utrzymanie temperatury wody (pożywki) na poziomie ok. 18-20°C. System wyposażony jest w sprężarkę, grzałkę oraz wymiennik ciepła.

Zalety i wady systemów centralnego ogrzewania przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 3.2 Zalety i wady systemów ciepłowniczych

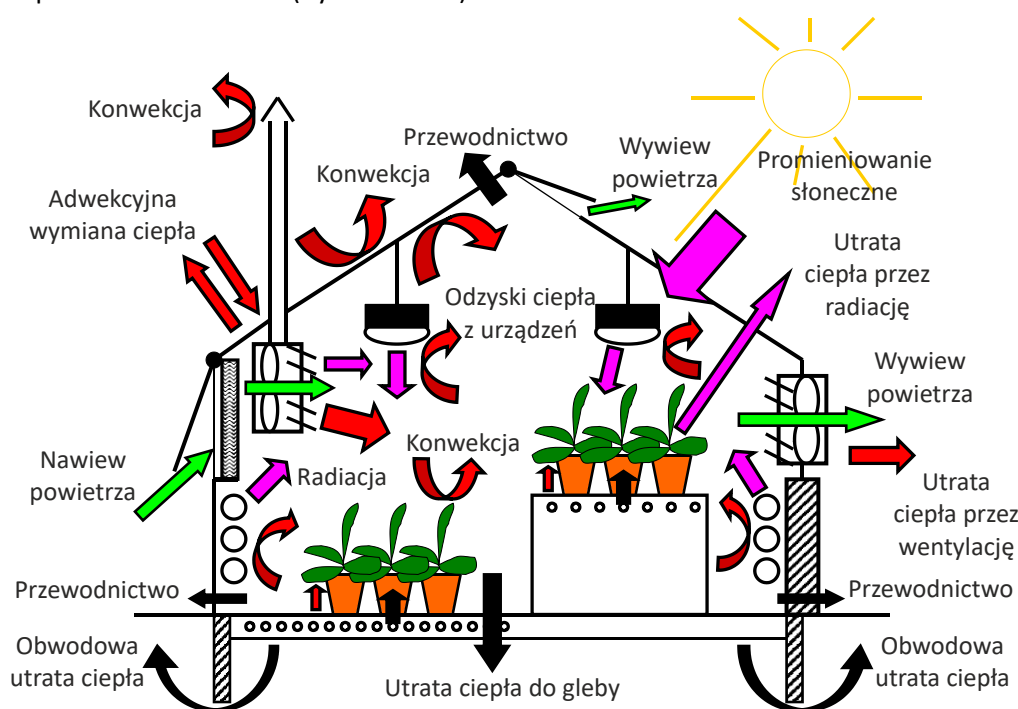
| Zalety | Wady |
|---|---|
| centralna instalacja oferuje większą elastyczność w korzystaniu z alternatywnych źródeł energii | wymagają znacznych nakładów początkowych na źródło ciepła oraz system jego dystrybucji |
| wykorzystuje mniej miejsca w szklarni, ponieważ centralna kotłownia znajduje się w oddzielnym budynku | wymagają systemu rezerwowego, zabezpieczającego ogrzewanie w razie awarii źródła |
| wydajność przy częściowym obciążeniu może być znacznie większa | brak, niewystarczająca kontrola procesów spalania mogą być źródłem zanieczyszczenia powietrza |
| konserwacja i kontrola są łatwiejsze | |

ponieważ spalanie odbywa się poza szklarnią, niewłaściwe spalanie nie zwiększa prawdopodobieństwa uszkodzenia upraw z powodu toksycznych spalin (np. etylenu)

3.1.6 Efektywność energetyczna w uprawach pod osłonami

Temperatury powietrza w klimacie umiarkowanym nie stwarzają optymalnych warunków dla rozwoju większości roślin przez cały rok. Rozwiązaniem są uprawy pod osłonami, pod warunkiem utrzymania stosownych warunków wegetacji roślin, w tym przede wszystkim temperatury. Powyższe wymogi mogą zostać spełnione poprzez zastosowanie optymalnego systemu obejmującego: oświetlenie, ogrzewanie, nawadnianie, wentylację i inne.

„Efekt cieplarniany” jest podstawą funkcjonowania szklarni. Fale krótkie promieniowania słonecznego wchodzące do szklarni są ponownie wypromieniowywane jako promieniowanie podczerwone (IR, o długości fali >700 nm) przez materiały znajdujące się wewnątrz szklarni i uwięzione wewnątrz przez materiał dachu (Rysunek 3.14).



Rysunek 3.14 Schemat wymiany energii w modelowej szklarni (na podst.: Both, 2019 - zmodyfikowany)

Słońce jest głównym źródłem pozyskiwania energii w szklarniach. Gdy nasłonecznienie nie wystarcza lub przekracza wymagania roślin uprawianych w szklarni, konieczne jest dogrzewanie lub klimatyzowanie szklarni. Wilgoć i ciepło są niezbędne do wzrostu wszystkich roślin. Ogrzewanie, chłodzenie i/lub kontrola wilgotności są stosowane, gdy warunki w szklarni nie spełniają optymalnych warunków wzrostu.

Kontrola temperatury panującej wewnątrz szklarni pozwala zapewnić roślinom optymalne warunki rozwoju i wzrostu, przedłużyć ich okres wegetacyjny, który niekiedy może trwać nawet przez cały rok. Dzięki ogrzewaniu szklarni możliwa jest uprawa najbardziej wymagających gatunków roślin.

Kwestia ogrzewania, obok nawodnienia gleby i wilgotności powietrza, jest jednym z głównych problemów, które towarzyszą uprawom szklarniowym (tunelowym), w szczególności w naszych szerokościach geograficznych. Dotyczy to nie tylko zachowania optymalnych warunków wegetacji

roślin, lecz także może wpływać bezpośrednio na efektywność ekonomiczną prowadzonej działalności rolniczej/gospodarczej. Wynika to przede wszystkim z kosztów związanych z zakupem i eksploatacją urządzeń grzewczych. Ogrzewanie obiektów stanowi do 70% kosztów, które są ponoszone w danym sezonie, a źle zaprojektowany lub awaryjny system grzewczy może negatywnie wpłynąć na produkcję roślinną, a w szczególnych okolicznościach doprowadzić do zniszczenia plantacji.

Ogrzewanie szklarni, w dobie nieustannego wzrostu cen energii, wymusza wyszukiwanie rozwiązań, które umożliwiają zredukowanie ponoszonych kosztów. Niekiedy wydajność systemu ogrzewania może być poprawiona sposobami nie wymagającymi pomocy specjalistów. Odpowiednie działania konserwacyjne oraz naprawcze mogą skutecznie zmniejszyć wydatki za ogrzewanie. Właściwie pracujący system ogrzewania jest podstawowym elementem, który wpływa na funkcjonowanie i zapotrzebowanie energetyczne szklarni.

Wybierając sposób ogrzewania szklarni, oprócz możliwości finansowych, należy wziąć pod uwagę warunki klimatyczne, wielkość pomieszczenia oraz rodzaj uprawianych roślin. Rośliny odporne na zimno, takie jak szpinak, koper czy seler, wymagają minimalnego ogrzewania, podczas gdy ciepłolubne pomidory, ogórki i papryka oraz kwiaty wymagają wyższej temperatury i stałego ogrzewania szklarni.

Dla przykładu produkcja polegająca na ukorzenianiu sadzonek, w tym kwiatów np. poinsejii, begonii, system ogrzewania musi być zapewniony nawet przez 10 miesięcy w roku. Ukorzenianie poinsejii wymaga dogrzewania szklarni nawet w sierpniu, z powyższego punktu widzenia w powyższym przypadku czerwiec i lipiec to najlepsza pora na remonty czy modernizacje albo na całkowitą zmianę systemu ogrzewania (<https://www.podoslonami.pl/opinie/czas-pomyslec-o-energii/>).

Dobór systemu ogrzewania, wentylacji, oświetlenia, nawadniania powinien uwzględniać szereg czynników, w tym:

- Wymagania termiczne roślin;
- Możliwości techniczne konstrukcji „kotłowni” i systemu rozprowadzenia ciepła;
- Dostępność paliwa;
- Ekonomiczne;
- Środowiskowe (prawo krajowe i lokalne, PONE i inne).

Każdy z systemów ma swoje zalety, ale ma też wady, które determinują zastosowanie w konkretnym przypadku. Wykorzystanie gazu do ogrzewania jest rozwiązaniem prostym i stosunkowo bezawaryjnym, jednakże kosztownym – w szczególności w perspektywie spodziewanego wzrostu cen nośników energii w Europie i w Polsce.

Dla przykładu w przypadku gazu koszty to nie tylko ilość spalonego paliwa, ale także opłaty stałe wynikające z tzw. zamówionej mocy cieplnej, stanowiące comiesięczne obciążenie finansowe - nawet w sytuacji, jeżeli gaz nie jest wykorzystywany. W powyższym przypadku istotne obniżenie stałych kosztów (opłaty za zamówioną moc) mogą być uzyskane przez zainstalowanie magazynu ciepła (zbiornika buforowego). Dodatkowo zwiększa to również elastyczność i bezpieczeństwo systemu ogrzewania.

Zastosowanie bufora sprzyja również implementacji różnych źródeł energii, gdy cena energii będzie niższa niż cena ciepła uzyskanego z gazu ziemnego. Na przykład energia elektryczna w taryfach dynamicznych może mieć cenę znacznie niższą niż w przypadku innych nośników, łącznie z cenami ujemnymi za energię, które zdarzają się w krajach Europy Zachodniej w okresach nadpodaży energii z odnawialnych niedyspozycyjnych źródeł energii. Wykorzystanie wielu źródeł energii podłączonych do wspólnego bufora umożliwia, obok wymienionych wcześniej - wyboru najtańszego źródła i zmniejszenia mocy przyłączeniowych - wykorzystanie w przyszłości źródeł ciepła, które obecnie nie są rozważane, jak np. ciepło odpadowe z procesów chłodniczych. Innym rozwiązaniem w zakresie

efektywności energetycznej w szklarniach jest stosowanie **systemu kurtyn**. Systemy kurtyn mają zapewnić efektywne cieniowanie, co daje duże możliwości regulowania warunków klimatycznych w obiekcie. Kurtyny umożliwiają wymianę powietrza i odprowadzanie wilgoci. Dodatkowo światło przenikające przez kurtynę ulega rozproszeniu, dzięki czemu rośliny są lepiej i bardziej równomiernie doświetlone. Dla przykładu w uprawie pomidorów niemal obowiązkowym rozwiązaniem jest instalowanie przynajmniej jednej kurtyny energooszczędnej co może przynieść 45% oszczędności w zakresie zużycia energii i 14-15% w zakresie cieniowania.

Większość nowoczesnych systemów jest sterowana automatycznie i jest zintegrowana z systemem ogrzewania, wentylacji mechanicznej i innymi. W trakcie trwania sezonu grzewczego nie należy zapominać o regularnym sprawdzaniu zautomatyzowanego systemu ogrzewania. Konieczne jest nanoszenie korekt, które odnoszą się do pór zachodu i wschodu słońca. Regularne kontrolowanie tych czynników umożliwia zgromadzenie znacznych oszczędności w trakcie sezonu zimowego. Istotnym jest, aby harmonogram pracy systemu kurtyn optymalizować przed wystąpieniem nadmierowej pracy systemu grzewczego.

W obliczeniach związanych z bilansem energetycznym szklarni zaleca się, aby zapotrzebowanie na moc grzewczą oraz warunki pracy instalacji grzewczej pochodziły z bazy danych do obliczeń energetycznych budynków: Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków (MFIPR, 2019). Dodatkowo zaleca się aby dane źródłowe opisujące warunki atmosferyczne pochodziły z najbliższej stacji meteorologicznej odpowiadającej analizowanej lokalizacji. Zaleca się przeprowadzenie korekty, polegającej na przypisaniu najniższej wartości temperatury zewnętrznej zarejestrowanej w typowych latach meteorologicznych minimalnej temperatury obliczeniowej zalecanej przez PN-EN 12831 i odpowiadającą strefie klimatycznej, w której znajduje się obiekt. Brak takiej korekty może powodować, że moc zainstalowana w źródle w wielu przypadkach nie odpowiadałaby wymaganej przez PN-EN 12831 mocy maksymalnej. Podział terytorium Polski na strefy klimatyczne (PN-EN 12831:2006) przedstawiono na Rysunek 3.15.



Rysunek 3.15. Podział terytorium Polski na strefy klimatyczne (na podst.: PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego)

3.1.7 Sprawność urządzeń grzewczych

Sprawność urządzeń grzewczych zależy w pewnym stopniu od rodzaju stosowanego paliwa. Kotły na gaz ziemny i propan-butan są zazwyczaj bardziej wydajne niż inne typy urządzeń grzewczych, a sprawność procesu ma również wpływ na ostateczny koszt w przeliczeniu na użyteczną jednostkę energii.

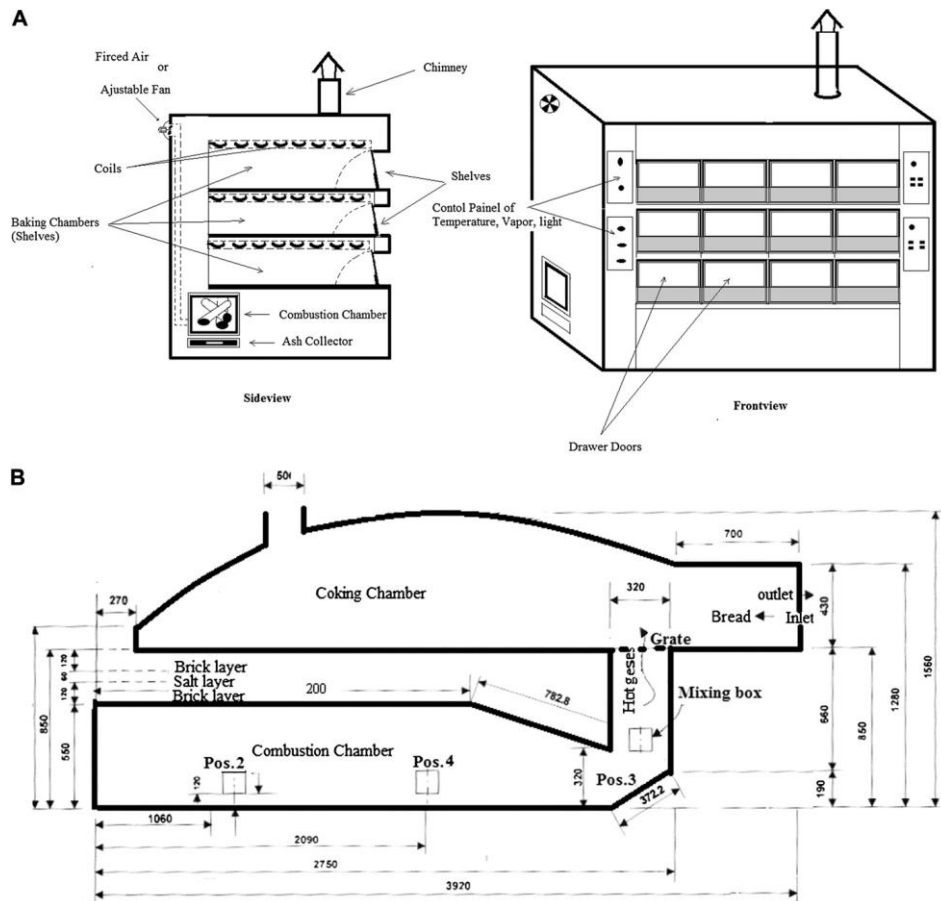
Większe systemy grzewcze mogą często wykorzystywać więcej niż jeden rodzaj paliwa i mogą przełączać się w zależności od tego, który ma najniższy bieżący koszt. W niektórych przypadkach może być opłacalna modernizacja istniejącego systemu do zasilania dwupaliwowego, aby poprawić wydajność i obniżyć koszty. Wymagania dotyczące grzejników szklarniowych zależą od wielkości strat ciepła z konstrukcji. Utrata ciepła ze szklarni zwykle występuje we wszystkich czterech trybach wymiany ciepła:

- Przewodzeniu;
- Konwekcji;
- Promieniowaniu;
- Adwekcji.

Wszystkie występują jednocześnie. Zapotrzebowanie na ciepło dla szklarni jest zwykle obliczane przez połączenie wszystkich czterech strat jako współczynnika w równaniu strat ciepła. Różnorodność technologii systemów grzewczych pozwala dostosować rozwiązanie do wymogów i specyfiki upraw. Podczas wyboru warto wziąć pod uwagę wymaganą temperaturę jako powinna panować w szklarni oraz źródła energii, z jakich planujemy korzystać. W tym zakresie wybór jest bardzo szeroki, na rynku dostępne są między innymi systemy ogrzewania gazem, prądem lub wodne. W powyższym zakresie nie bez znaczenia pozostaje wielkość szklarni. Przy niewielkiej powierzchni wydajne może okazać się zastosowanie prostych systemów, a tymczasem większe powierzchnie wymagają zastosowania bardziej złożonych systemów ogrzewania.

3.2 Piece do tradycyjnego wypieku chleba

Literatura naukowa dotycząca pieców chlebowych nie jest tematem popularnym, na co wskazuje nie tylko nieliczna literatura znaleziona przez Autorów niniejszego opracowania, ale także uwagi innych autorów (Cappelli et al. 2021). Emisja związana z procesem piekarniczym obejmuje nie tylko energochłonny proces wypieku ciasta, ale także samo przygotowanie ciasta, podczas którego wydziela się do powietrza szereg substancji – od pyłów mąki po produkty metabolizmu drożdży piekarniczych (Emissions Standards Division 1992). W niniejszym opracowaniu rozważane są jedynie emisje związane wprost z procesem piekarniczym prowadzonym w piecach z wykorzystaniem paliw stałych. Literatura wskazuje na dwa zasadnicze rodzaje tego typu pieców piekarniczych, w zależności od sposobu przekazania ciepła z komory paleniska – pośredni i półbepośredni (Cappelli et al. 2021; Manhiça et al. 2012).



Rysunek 3.16 Schematyczne przedstawienie pieców na paliwo stałe: A - z pośrednim przekazaniem ciepła do komory piekarniczej, B - z półbezpośrednim przekazaniem ciepła do komory piekarniczej (Manhiça et al. 2012)

Niezależnie od źródła ciepła wykorzystywanego w procesie pieczenia, obejmuje on szereg przemian fizykochemicznych w wypieku zachodzących w temperaturze od 160°C do 250°C, choć zależy ona od rodzaju wypieku, sposobu pieczenia oraz jego fazy. Przekazanie ciepła z jego źródła odbywa się na trzy sposoby: konwekcję (unoszenie w gazie), kondukcję (przewodnictwo) oraz radiację (promieniowanie podczerwone) (Cappelli et al. 2021; Kouemou Hatou et al. 2021; Manhiça et al. 2012). To właśnie odpowiednie proporcje pomiędzy trzema drogami przekazywania ciepła oraz prawidłowy rozkład temperatury warunkują dostarczenie wypieku uznawanego za smaczny i właściwy. Za odpowiednie relacje pomiędzy drogami przekazania ciepła odpowiada głównie konstrukcja pieca oraz sposób palenia i obsługi urządzenia.

Na przestrzeni lat wykonano nie tylko pomiary rozkładu temperatury wewnątrz komory piekarniczej w różnych fazach pieczenia – w tym w piecach tradycyjnych (Manhiça et al. 2012) oraz piecach do wypieku pizzy (Lima et al. 2020), ale także modele matematyczne opisujące pole termiczne w piecach piekarniczych na paliwa stałe (Kouemou Hatou et al. 2021), co umożliwiła ich optymalizację w przyszłości.

Badane były również emisje oraz energochłonność procesu wypiekania pieczywa. Cappelli et al. (Cappelli et al. 2021) podają za Manhica et al. (Manhiça et al. 2012), że zużycie drewna opałowego na potrzeby wypieku pieczywa w dwóch mozambijskich miastach wynosiło średnio 0,55 kg na kilogram zużytej mąki w przypadku pieców z pośrednim przekazaniem ciepła oraz 0,90 kg drewna na kilogram zużytej mąki w przypadku pieców z półbezpośrednim przekazaniem ciepła. Należy wskazać, że różnica może wynikać nie tylko z możliwości spalania paliwa w wyższej temperaturze, ale także z geometrii samej komory piekarniczej umożliwiającej wypieczenie większej ilości ciasta w jednym załadunku.

Uprawnionym jest zatem stwierdzenie, że **emisja zanieczyszczeń z pieców chlebowych na paliwa stałe odniesiona do wielkości produkcji zależy od ich konstrukcji.**

Z kolei stężenie emitowanych zanieczyszczeń w piecach przeznaczonych do wypieku chleba nie było przedmiotem zainteresowania naukowców publikujących w wiodących światowych czasopismach naukowych. Z opracowania poświęconego piecom wykorzystywanym w pizzeriach w Sao Paulo wynika, że typowy piec pizzowy jest piecem o półbezpośrednim sposobie przekazywania ciepła. Pomierzone w Brazylii emisje wskazują, że dla stężenia zanieczyszczeń w strumieniu spalin znaczenie ma nie tylko użyte paliwo (brykiet biomasowy mniej emisyjny niż drewno kawałkowe), ale także gramatura paliwa oraz temperatura pieca. Przeciętnie stężenie pyłu zawieszonego PM 2,5 w spalinach wynosiło około 6000 µg/m³, jednak w czasie rozpalania i po załadunku paliwa stężenia wzrastały nawet do 30 000 µg/m³, przy dużych odchyleniach standardowych (Lima i in., 2020). Należy stwierdzić, że w ujęciu bezwzględny wartości te odpowiadają wymaganiom Dyrektywy Ekoprojektu, jednak proste porównanie nie jest możliwe ze względu na konieczność przeliczenia na odpowiednią zawartość tlenu w spalinach.

Autorzy publikacji o piecach chlebowych generalnie nie poświęcają emisji z tych urządzeń szczególnej uwagi, skupiając się raczej na efektywności urządzenia (Kouemou Hatou et al. 2021) lub paliwochłonności procesu (Manhiça et al. 2012). Jednakże, autorzy opracowania o piecach do wypieku pizzy czynią istotne spostrzeżenie: piece opalane drewnem mogą stanowić zagrożenie dla jakości powietrza szczególnie w centrach miejskich ze względu na ich duże zagęszczenie².

Rekomendacje w oparciu o literaturę:

- Rozważenie możliwości wykonania projektu 2-3 typowych pieców piekarniczych o zoptymalizowanej konstrukcji i nie dopuszczać powstawania nowych pieców chlebowych niezgodnych z projektem. Licencja na projekt mogłaby być udostępniana zainteresowanym podmiotom nieodpłatnie. Konieczne byłoby opracowanie modeli matematycznych oraz prototypów urządzeń;
- Wzrost efektywności pieców poprzez zainstalowanie w kominie wymiennika ciepła spaliny/powietrze, w którym powietrze nawiewane do procesu spalania byłoby wstępnie ogrzewane przez spaliny;
- Zastosowanie elektrofiltrów w kominach pieców piekarniczych. Stężenie pyłów w spalinach wskazuje na możliwość poprawnego działania takich urządzeń, choć wymagana jest weryfikacja w instalacji pilotażowej.

3.3 Tradycyjne wędzarnie

Wędzenie to jedna z najstarszych praktyk utrwalania żywności. Najszerzej proces ten wykorzystywany jest w przetwórstwie mięsa, ryb i serów. Dzięki zawartym w dymie wędzarniczym składnikom osiadającym na powierzchni wędzonych produktów, proces utleniania tłuszczów oraz rozwój mikroflory jest znacznie spowolniony. Dodatkowo wpływa on na walory smakowe gotowych produktów. Źródło ciepła i dymu jest jednym z kluczowych czynników wpływających na proces wędzenia.

Wędliny to wyroby wytwarzane są z mięsa, tłuszczu i podrobów zwierząt rzeźnych, drobiu, wędliny z dodatkiem mięsa drobiowego, końskiego i dzicyzny, z surowcami uzupełniającymi lub bez nich, z dodatkiem przypraw. Bardzo ważną częścią procesu jest przygotowanie surowca i jego wstępna obróbka. Wykonuje się procesy takie jak peklowanie, plastyfikacja, marynowanie oraz inne czynności

² W Sao Paulo ma według autorów funkcjonować około 8000 pieców do wypieku pizzy, które razem z restauracjami serwującymi steki zużywają drewno eukaliptusowe w ilości odpowiadającej 7,5 ha lasu miesięcznie.

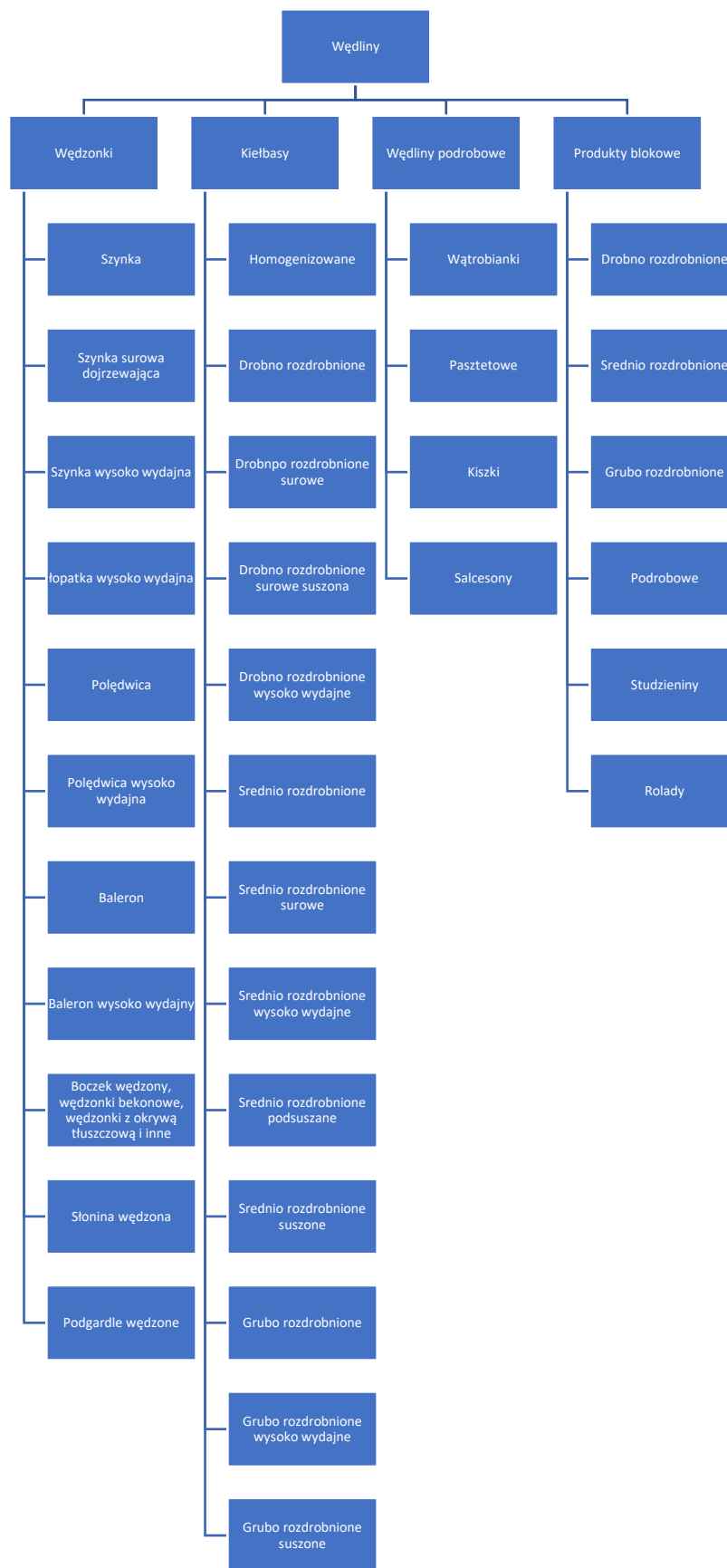
przygotowawcze nadające surowcowi charakterystyczne właściwości. Następnie przygotowywane są osłonki, formy w celu przygotowania produktów do wędzenia.

Wędzenie może się odbywać w komorach wędzarniczych bądź komorach wędzarniczo-parzelniczych. Używane w metodzie tradycyjnej są najczęściej komory wędzarnicze, gdzie o przebiegu procesu w sposób manualny całkowitą kontrolę nad procesem ma operator.

Wytwarzanie wędlin metodą tradycyjną odbywa się na tzw. „wyczucie” (wizje lokalne i wywiad środowiskowy) najczęściej bez użycia aparatury kontrolnej i związane jest z kontrolą wizualną zabarwienia wędlin, ich kształtu obserwacji paleniska oraz opływającego wyroby dymu. W trakcie procesu ze względu na niejednorodność dymu w komorze wędzarniczej dokonuje się często przewieszania wędlin w inne miejsce bądź wielokrotnie w trakcie wędzenia obraca się wózek w komorze, by uniknąć niedowędzonych partii wyrobów, bądź jasnych plam tzw. niedowędzonych styków.



Rysunek 3.17 Komora automatyczna wędzarniczo-parzelnicza. Komora wędzarnicza tradycyjna. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 3.18 Podział zasadniczy wędlin mięsnych na grupy technologiczne wg PN-A-82007:1996. „Przetwory mięsne. Wędliny”

Wędzenie ze względu na konstrukcję komory wędzarniczej można podzielić na zasadniczo dwie kategorie, gdzie:

- Palenisko znajduje się bezpośrednio pod komorą wędzarniczą;
- Palenisko znajduje się w oddaleniu od komory wędzarniczej.



Rysunek 3.19 Wędzenie serów tradycyjnych w bacówce. Palenisko znajduje się bezpośrednio w komorze wędzarniczej.
Źródło: <https://www.tasteaway.pl/>

Wędzarnia ogrodowa z paleniskiem oddalonym od komory wędzarniczej. Taka konstrukcja pozwala na znaczne obniżenie temperatury dymu i łatwiejszą kontrolę nad procesem.
(Źródło: <https://pankornik.pl/>)

Metody wędzenia wędlin

Tradycje wędzenia bardzo mocno różnią się w zależności od regionów. Zarówno konstrukcje służące do wędzenia jak i prowadzenie procesu często ma charakter indywidualny stanowiący o wyjątkowości wyrobu. Znane są np. tzw. szynki „Schwarzwaldzkie” które są wyrobami nieco mocniej solonymi, wędzone na zimno mające cechy mięsa niemalże surowego wizualnie.

Wędzenie na zimno to zwykle przedział temperatury dymu do 22°C, przy różnej gęstości dymu oraz niewielkim ruchu powietrza.

Wędzenie ciepłym dymem to wędzenie w przedziale temperatur 25-40°C, przy różnej gęstości dymu oraz niewielkim ruchu powietrza.

Wędzenie gorące przebiega w trzech fazach:

- Suszenie (Temperatura 40-60°C, przy różnej małej gęstości dymu oraz bardzo dużym ruchu powietrza);
- Wędzenie właściwe (Temperatura 45-60°C, przy stosunkowo wysokiej gęstości dymu oraz niewielkim ruchu powietrza);
- Pieczenie (Temperatura w przedziale 75-85°C, przy małej gęstości dymu oraz szybkim ruchu powietrza).

Charakterystyczne dla niemalże całego terytorium Polski jest wyrób wędlin metodą wykorzystujący dym gorący o temperaturze około 80°C. Większość wyrobów w Polsce wytwarza się z mięsa wieprzowego, dalej wołowiny drobiu i koniny. Najmniejszą skalę prawdopodobnie stanowią wędzone wyroby rybne.

Jeśli chodzi o nabiał to popularne są wędzone sery. Do najbardziej tradycyjnych wyrobów mlecznych zalicza się w naszym kraju sery górskie m.in. „osyпки”, pochodzące z Podhala. W ostatnich latach ze względu na popularność serów górskich coraz więcej na rynku wyrobów z mleka krowiego wytwarzanych w tej samej, bądź nieco zmienionej technologii. Stają się one coraz bardziej rozpowszechnione niemalże w całym południowym regionie Polski o charakterze górskim od Sudetów po Bieszczady.

Zasadniczo w procesie wędzarniczym dla wytwarzania wyrobów mięsnych można wyróżnić poszczególne fazy prowadzenia procesu:

- Suszenie;
- Parzenie;
- Wędzenie(zadymianie);
- Pieczenie;
- Odpoczywanie (studzenie);
- Chłodzenie.

Suszenie - jest wstępnym etapem, gdzie z powierzchni wyrobów odparowuje woda, zamykają się struktury komórkowe wyrobów, co pozwala na zatrzymanie wilgoci wewnątrz oraz ogranicza pękanie wyrobów.

Parzenie - to obróbka termiczna wędlin przy użyciu gorącej pary wodnej.

Wędzenie - jest to proces odpowiedniego zadymiania charakterystyczny dla danego wyrobu.

Pieczenie - to proces wygrzewania wędlin w podwyższonej temperaturze bez użycia spalin o składzie typowym dla wędzenia (np. z płomienia gazowego).

Odpoczywanie - to proces stygnięcia wędlin po procesie wędzarniczym nadający wędlinom ostateczną strukturę i parametry fizyczne.

Chłodzenie - to proces obniżania temperatury wyrobu do temperatury przechowywania w chłodni zwykle realizowany przy pomocy obniżania temperatury powietrza.

Czas trwania procesu

W przypadku metody tradycyjnej dymu gorącego proces trwa od kilku do nawet 6h w zależności od pory roku oraz warunków meteorologicznych. Czas trwania procesu w przypadku wędzenia na zimno to czasami proces cyklicznego zawędzania niewielką ilością wiórek drzewnych przed okres nawet tygodnia.

Nie bez znaczenia na długość procesu ma grubość wędlin (zdecydowanie krócej wędzi się np. kabanosy od kiełbas). Zdecydowanie krótszymi czasami zadymiania charakteryzują się komory wędzarniczo-parzelnicze, gdzie do pieczenia czy suszenia nie wykorzystuje się dymu pochodzącego ze spalania drewna. Komory wędzarniczo-parzelnicze pozwalają na zautomatyzowanie procesu i ujednorodnienie czasu trwania procesu niezależnie od warunków meteorologicznych. Pozwalają na skrócenie trwania procesu, jednak dostosowanie ich pracy, tak by uzyskać produkt o zbliżonych właściwościach do produktu otrzymywanego przy użyciu metody tradycyjnej w komorze wędzarniczej może stanowić spore wyzwanie. Czas zawędzania w komorze wędzarniczo-parzelniczej jest wielokrotnie mniejszy i zużywa się stosunkowo niewielkie ilości paliwa.

Drewno i dym

W Polsce, w tradycyjnych procesach wędzarniczych, najczęściej wykorzystuje się drewno olchowe, bukowe, dębowe oraz niemalże wszystkie gatunki drzew owocowych. Do najbardziej pożądanym należą wiśnia, śliwa czy czereśnia. Drewno przechowywane jest na zewnątrz i cechą pożądaną jest by było wilgotne, spala się wtedy wolniej a dym jest większej gęstości niż taki wytwarzający się przy drewnie suchym.

Kolejną pożądaną cechą w przypadku niektórych odmian wędlin jest, aby drewno spalane było smoliste o dużej zawartości żywic (np. wiśnia).

Drewno drzew iglastych nie nadaje się do wytwarzania wędlin, dym jest gryzący, zawiera wiele szkodliwych węglowodorów a w dodatku negatywnie wpływa na smak wyrobów.

Zużycie paliwa

Dla komory wędzarniczo-parzelniczej na jeden cykl produkcji przeznaczona jest zaledwie 3-5 kg paliwa w postaci wiórów drewna na 20-40 kg wędlin. Rozdrobnione paliwo podczas kontrolowanego zgazowania w niskiej temperaturze wytwarza dym o dużej i kontrolowanej gęstości. Pozwala to na nawet 20-krotne zmniejszenie zużycia paliwa w odniesieniu do metody tradycyjnej. Z danych uzyskanych w czasie wizji lokalnych wynika, iż komora wędzarnicza tradycyjna zużywa w ciągu godziny pracy około 15-30 kg drewna. Biorąc pod uwagę czas trwania procesu, to całkowite zużycie drewna zakładając czas trwania procesu na 3,5h wynosi niemalże 100 kg na 40-60kg wyrobów wędliniarskich.

Kształt i wielkość paliwa



Rysunek 3.20 Polana drewna drzew owocowych przechowywane na potrzeby wędzenia metodą tradycyjną. Wiórki drewnne wykorzystywane przy użyciu generatora dymu wędzarniczego. Źródło: opracowanie własne

Zróżnicowanie wielkości spalanych fragmentów paliwa ma olbrzymie znaczenie w wytwarzaniu aerozolu w procesie wędzarniczym. Wykorzystuje się zarówno polana o różnej grubości, jak również drewno w postaci zrębek i wiórów. Pożądane są gatunki ze względu na wysoką wartość opałową i dobrą jakość dymu. Wysokie temperatury można osiągnąć z procesu spalania, jeśli biomasa jest spalana w sposób zupełny. Z drugiej strony wysoką gęstość dymu można osiągnąć poprzez niezupełne spalanie biomasy. Faktem jest również, iż smoła tworząca się w procesie wędzenia wykazuje tendencję do

unoszenia się, ponieważ jest ona przenoszona przez dym, który ze względu na proces niepełnego spalania charakteryzuje się wysoką gęstością.

Dym wędzarniczy jest z kolei aerozolem, w różnym stopniu nasyconym parą wodną. Tworzy się on w następstwie mieszania się gazowych (szczególnie CO₂, CO, węglowodorów oraz NO_x), ciekłych i bardzo drobnych stałych produktów kontrolowanego spalania drewna przy ograniczonym dostępie powietrza (pirolizy) wraz z powietrzem. Składniki gazowe oraz powietrze stanowią ok. 10 % składu dymu. Na pozostałą część składają się płynne i stałe (o średnicy poniżej 0,14 μm) produkty spalania takiej jak: para wodna, związki organiczne, sadza, smoła i żywice.

W wyniku spalania drewna w obiektach wędzarniczych, niezwykle istotny jest fakt powstania znacznej ilości WWA, gdzie szczególną uwagę przykłada zawartość benzo(a)pirenu, wykazującego silne właściwości nowotworowe. Wykazano jednak, że dym uzyskiwany przy znikomym dopływie powietrza zawiera znacznie mniej BaP niż w przypadku pełnego dopływu.

Efektywność energetyczna procesu

Instalacje służące do procesów wędzarniczych metodami tradycyjnymi są stosunkowo prostymi konstrukcjami. Procesy te należą do procesów niskotemperaturowych. Wytwarzany dym wędzarniczy nie jest przesycony parą wodną, jednak jest nośnikiem aerozoli oraz sporej ilości węglowodorów i substancji smolistych. Aby wędliny uzyskały odpowiednie parametry należy dostarczyć odpowiednią ilość energii. Metoda tradycyjna wytwarzania wędlin wykorzystuje ciepło wytworzone w płomieniu do obróbki cieplnej produktu, natomiast w komorze parzelniczo-wędzarniczej należy wytworzyć parę w osobnym urządzeniu, gdzie również musi być dostarczona energia. Biorąc pod uwagę bilans energetyczny metoda alternatywna do tradycyjnej zużywa mniej zasobów energetycznych.

Rozpalanie paleniska i wygrzanie komory spalania, komory wędzarniczej i komina pociąga konieczność zużycia pewnej ilości paliwa bez załadunku, dopiero po ustabilizowaniu warunków spalania wyroby trafiają do komory. W komorze wędzarniczo-parzelniczej ciepło trafia do jej wnętrza w sposób kontrolowany, w zależności od zapotrzebowania. Ze względu na niską temperaturę gazów odlotowych nie stosuje się odzysku ciepła ze spalin. Ich fizykochemiczny charakter ogranicza ich bezpośrednie wykorzystanie. Dym jest gryzący i pełen produktów niepełnego spalania.

4 Wyniki oraz analiza wykonanych pomiarów w istniejących, eksploatowanych instalacjach

4.1 Zastosowane rozwiązania w tunelach foliowych i szklarniach w Małopolsce na podstawie wizji lokalnych

W dniu 17.09.2021r. wykonano wizję lokalną w gospodarstwie rolno-ogrodniczym specjalizującym się w uprawie kwiatów donicowych oraz warzyw w sezonie letnim. Główne nastawienie gospodarzy położone jest na uprawy pod okryciem. Wykorzystywane są obiekty szklarniowe szklane oraz tunele foliowe, zarówno jedno i wielonawowe. Gospodarstwo jest obecnie w modernizacji, polegającej na przebudowie obiektów szklarniowych na nowocześniejsze o większej kubaturze i lepszych parametrach użytkowych. Właściciele przymierzają się również do zmiany źródeł ciepła w systemach ogrzewania.



Rysunek 4.1 Uprawa kwiatów donicowych szklarni. Źródło: opracowanie własne

Obiekty te częściowo wyposażono w systemy ogrzewania pozwalające na wydłużenie sezonu wegetacyjnego bądź zapewniające całoroczne utrzymanie dla wybranych części upraw. W sezonie letnim pod okryciem uprawiane są papryka, ogórki, pomidory oraz inne warzywa. Dywersyfikacja produkcji zapewnia zabezpieczenie w wypadku klęski w uprawach a także pozwala na dobre wykorzystanie przestrzeni gospodarstwa.

Dosyć ważnym aspektem konstrukcyjnym obiektów użytkowanych w gospodarstwie jest możliwość podwieszenia pod elementy konstrukcyjne szklarni oświetlenia, kanałów teletechnicznych czy rozprowadzenie mediów. W przypadku systemów ogrzewania najczęściej wykorzystywane są podpory do stosunkowo ciężkich rurociągów i elementów hydraulicznych.

Niektóre uprawy wymagają specyficznej infrastruktury wewnętrznej np. podpory, ławy czy podwieszenia dla roślin. Wymusza to konkretne rozwiązania komunikacyjne oraz infrastrukturalne (przesył mediów).



Rysunek 4.2 *Uprawa kwiatów w szklarni. Rozsady umieszczono przy powierzchni gruntu, kwiaty starsze wiszą na konstrukcjach metalowych u góry. Źródło: opracowanie własne*

Rośliny są nawadniane poprzez systemy nawadniania kropelkowego, zraszacze ręczne i automatyczne.

Obiekty szklarniowe posiadają kilka różnych systemów ogrzewania (CO z wymiennikami rurowymi wodnymi, kotłem z rusztem podsuwnym zasilanym miazem węglowym oraz systemy ogrzewania nadmuchowego oparte o nagrzewnice gorącego powietrza połączone z retortowymi palnikami zasilanymi węglem kamiennym „sortymentu groszek”).

W dniu 11.10.2021 wykonano dwie wizje lokalne w gospodarstwach rolno-ogrodniczych. Pierwszą z nich była ponowna wizja lokalna na tym samym obiekcie, wizytowanym w dniu 17.09.2021 połączona z wykonaniem pomiarów emisji gazów odlotowych z dwóch systemów ogrzewania zasilanych paliwami stałymi (węgiel kamienny miazowy „sortymentu groszek”).



Rysunek 4.3 *Wymienniki boczne w obiekcie szklarniowym. Źródło: opracowanie własne*

Z uwagi na szczególne wymagania ogrzewania strefy przykorzeniowej w przypadku ogrzewania w dolnej części obiektów szklarniowych stosuje się temperatury obiegu grzewczego 30-40°C.

Temperatury obiegów w bocznych częściach naw zwykle są na poziomie 50-70°C i zależy to w głównej mierze od indywidualnych aspektów produkcyjnych (rodzaju upraw), właściwości obiektu oraz źródła zasilania w ciepło (kotłownia).

Rury bądź systemy rurowe są najczęściej stosowanymi wymiennikami ciepła w systemach szklarniowych, ze względu na stosunek koszt/efekt, są najlepszym rodzajem wymiennika dla tego typu konstrukcji. Ciepło oddawane jest powoli i równomiernie. Ceny wymienników tego rodzaju są umiarkowane, a urządzenia są stosunkowo żywotne.

Stosowane są materiały takie jak PE, PVC, stal. Elementy stalowe pokrywane są przy pomocy białej farby (odbijanie promieniowania słonecznego).

Najbardziej rozpowszechnione są systemy CO wieloobwodowe, wyposażone w obiegi wodne:

- Dolne, podgrzewające powietrze przy gruncie, grunt oraz strefę przykorzeniową roślin oparte o wymienniki rurowe metalowe bądź z tworzyw sztucznych;
- Boczne, podgrzewające powietrze w bocznych częściach naw szklarniowych najczęściej oparte o wymienniki rurowe;
- Górne, najrzadziej stosowane, używane do ograniczenia ucieczki ciepła z dolnej części naw.

Zdecydowanie największą powierzchnię wymiany ciepła mają nawy boczne, które odpowiadają za 40-60% przekazywanego ciepła, oraz dolne (odpowiadają za przekazanie do 40% ciepła), górne wymienniki najczęściej mają niewielkie przekroje i jest ich najmniej.

Uzupełniająco stosuje się systemy grzewcze oparte o nadmuch ciepłego powietrza, m.in. nagrzewnice nadmuchowe (wymenniki woda/powietrze wraz z wentylatorem) oraz systemy nadmuchu wyposażone w rury kolektorowe, gdzie źródłem ciepła jest piec z wymiennikiem spaliny/powietrze.

W przypadku obiektów używanych w okresie jesiennym i wiosennym dla wybranych upraw systemy nadmuchowe są głównymi źródłami ciepła. Zauważono taką tendencję w obiektach rozsadowych u producentów warzyw.

Istotnym problemem jest przesuszanie niektórych roślin w pobliżu nadmuchów ciepłego powietrza oraz zbyt duża prędkość powietrza wylatującego z nadmuchu. Zaleca się aby przepływ powietrza nie był wyższy niż 1,5 m/s.



Rysunek 4.4

Nagrzewnica nadmuchowa w pobliżu ciągu komunikacyjnego. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.5 System nadmuchu ciepłego powietrza w obiekcie szklarniowym wielonawowym. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.6 Wymiennik dolny około gruntowy oraz system nawadniania kropelkowego. Źródło: opracowanie własne

Ciężkie elementy wymienników w szczególności bocznych podwiesza się na stalowych konstrukcjach wsporczych. Całkowita powierzchnia wymiany ciepła wymienników w obiektach szklarniowych projektuje się na poziomie 45% powierzchni upraw w szklarni. Zabezpiecza się w ten sposób dostarczenie odpowiedniej ilości ciepła w przypadku skrajnie niskich temperatur zewnętrznych. Zakładane projektowo temperatury wewnątrz w zależności od rodzajów upraw to odpowiednio +4/+5/+8/+12C wewnątrz obiektu dla -20C na zewnątrz. Bardzo ważne przy projektowaniu wymienników jest źródło ciepła.

Obiekt drugi nastawiony był na produkcję roślin i kwiatów w sezonie jesiennym (chryzantemy). Posiadane obiekty szklarniowe wyposażone były w układ CO z ogrzewaniem dolnym w oparciu o kocioł z rusztem podsuwnym zasilanym węglem miałowym.



Rysunek 4.7 Widok na piec CO zasilany miatem węglowym o mocy około 500kW. Źródło: opracowanie własne

W dniu 18.11.2021r. wykonano dwie wizje lokalne w gospodarstwach rolnych nastawionych na produkcję warzyw wyposażonych we własne rozsadniki do produkcji sadzonek. Wizytowane obiekty były tunelami foliowymi wielonawowymi wyposażonymi w obu przypadkach w podobną technologię ogrzewania opartą o kotły rusztowe zasilane węglem „sortymentu groszek”, połączone w krótkich obiegach CO z systemami nadmuchowymi (wymieniki lamelowe). W trakcie wizji obserwowano również rozwiązania stosowane w innych gospodarstwach, bez wizytacji wewnątrz obiektów.

Produkcja rozsad najczęściej odbywa się na własną rękę. Wykorzystuje się najczęściej systemy ogrzewania nadmuchowego (Rysunek 4.8). Po lewej stronie rysunku system ogrzewania nadmuchowego produkcji własnej w jednym z wizytowanych obiektów.

Wykorzystywane paliwo to węgiel kamienny oraz drewno. Do widocznych króćców z boków oraz u góry kotła podpina się przewody rozprowadzające powietrze tzw. „rury spiro” Nadmuch realizowany wentylatorem nawiewnym. Długi rurociąg odprowadzający spaliny odzyskuje dodatkowo ciepło. Po prawej nagrzewnica lamelowa wykorzystywana w krótkim obiegu CO układu rusztowego kotła węglowego.



Rysunek 4.8 Przykładowy system ogrzewania nadmuchowego tzw. „własnej konstrukcji”. Źródła: opracowanie własne

W dniu 22.11.2021r. wykonano cztery wizje lokalne w gospodarstwach rolnych nastawionych na produkcję warzyw wyposażonych we własne rozsadniki do produkcji sadzonek. Wizytowane obiekty były tunelami foliowymi jednonawowymi oraz szklarniami jednonawowymi wyposażonymi w różne systemy ogrzewania:

- Pierwszy obiekt wyposażony był w nagrzewnice nadmuchowe zasilane kotłem CO na paliwa stałe z ręcznym załadunkiem;
- Drugi wizytowany obiekt posiadał piece akumulacyjne ceramiczne;
- Trzeci z wizytowanych obiektów wyposażono w piece nadmuchowe z rurowym rozprowadzeniem ciepła (zasilany węglem „sortymentu groszek”);
- Czwarty obiekt również posiadał tunele wyposażone w nagrzewnice nadmuchowe, jednak urządzenia te były źródłami ciepła własnej konstrukcji.

W trakcie wizji obserwowano również rozwiązania stosowane w innych gospodarstwach, bez wizytacji wewnątrz obiektów.



Rysunek 4.9 Tunel foliowy wolnostojący. Bardzo popularne i tanie rozwiązanie do upraw pod przykryciem w produkcji warzyw. Tego typu rozwiązania są demontowane co roku. Źródło: opracowanie własne

Obiekty foliowe w dużej mierze są obiektami nieogrzewanymi, ułatwiającymi rolnikom wydłużenie sezonu wegetacyjnego oraz ochraniającymi uprawy przed warunkami zewnętrznymi. Tunele foliowe często są corocznie demontowane i przenoszone, ułatwiają uprawę ziemi (zabiegi orne). Niestety często ulegają uszkodzeniom i wymagają wymiany okrycia w krótkim czasie.

Wiele obiektów foliowych służy do uprawy fasoli, pomidorów, ogórków, papryki, sałat, truskawek, czy też kwiatów. Bardziej zaawansowane budowle foliowe są konstrukcjami wieloletnimi, często na równi funkcjonalnymi do obiektów zbudowanych z innych materiałów.



Rysunek 4.10 Emisja z kotłowni szklarni zasilanej węglem kamiennym w pogodny dzień. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.11 Wnętrze szklarni wolnostojącej jednonawowej. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.12 *Tunel wielonawowy produkcji polskiej. Widoczny system ogrzewania nadmuchowego wraz z emitorem oraz rynny odprowadzające deszczówkę. Źródło: opracowanie własne*



Rysunek 4.13 *Późnojesienne zbiory sałaty i kalarep. Uprawa w tunelu foliowym. Źródło: opracowanie własne*

Coraz rzadszym widokiem są piece akumulacyjne budowane w technologii murowanej. Niemniej jednak nadal są one obecne w wielu obiektach oraz używane, chociaż są one sukcesywnie wymieniane z różnych względów (częstotliwości obsługi, niskiej wydajności, czy ilości zajmowanego miejsca)



Rysunek 4.14 Akumulacyjno-radiacyjne urządzenia grzewcze szklarni starego typu. Tego typu urządzeń jest nadal całkiem sporo, szczególnie u gospodarzy produkujących na małą skalę. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.15 Widok górnej części akumulacyjnego pieca grzewczego w szklarni. Źródło: opracowanie własne

Akumulacyjne murowane konstrukcje grzewcze w szklarniach charakteryzują się najmniejszą efektywnością oraz bardzo wysoką emisją gazów szkodliwych do atmosfery. Spalanie paliwa często odbywa się w nich w sposób nieprawidłowy, a same konstrukcje obarczone są wieloma wadami, często również są spękane i nieszczelne.

Konstrukcje takie pozwalają na spalanie paliw różnych sortymentów i często przyczyniają się do znacznego zadymiania okolicy. Szczególnie wysoka emisja gazów odlotowych zawierających dym ma miejsce na początku pracy paleniska. Zimny komin, wilgotne paliwo oraz jego spora ilość przyczyniają się do wytwarzania dymu o dużej gęstości i stosunkowo niskiej temperaturze co powoduje zatrzymanie dymu przy powierzchni ziemi i jego słabe wymieszanie ze świeżym powietrzem.



*Rysunek 4.16 Po lewej stronie widok na urządzenie ogrzewcze nadmuchowe własnej produkcji. Długi przewód odprowadzający gazy odlotowe dodatkowo odzyskuje ciepło. Po prawej stronie zgromadzone paliwo na okres zimowy.
Źródło: opracowanie własne*

W dniu 25.11.2021. wiedzowano nowoczesny obiekt szklarniowy, wybudowany w oparciu o technologie zachodnie. Nastawienie produkcji przedsiębiorstwa to kwiaty cięte (głównie róże). Przedsiębiorstwo wyposażone jest w system ogrzewania CO, oparty o palniki gazowe i olejowe, zautomatyzowany system nawadniania, dozowania CO₂. Wszystkie systemy kontroli pracują razem w oparciu o wskazania komputera klimatycznego.



Rysunek 4.17 Wnętrze szklarni wielonawowej. Uprawa kwiatów ciętych (róże). Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.18 *Kotłownia o dużej mocy zasilana miksem paliw w postaci oleju opałowego i gazu. Uprawa kwiatów ciętych (róże). Źródło: opracowanie własne*

Do ważnych aspektów należy obieg wilgoci wewnątrz obiektów szklarniowych. Woda jest niezbędnym elementem przy produkcji roślin, to dzięki niej rośliny otrzymują odpowiednią dawkę składników pokarmowych. Woda nieustannie odparowuje z powierzchni liści oraz jest wchłaniania przez system korzeniowy roślin. Jej odpowiednie dostarczanie bez względu na rodzaj upraw jest niezbędne.

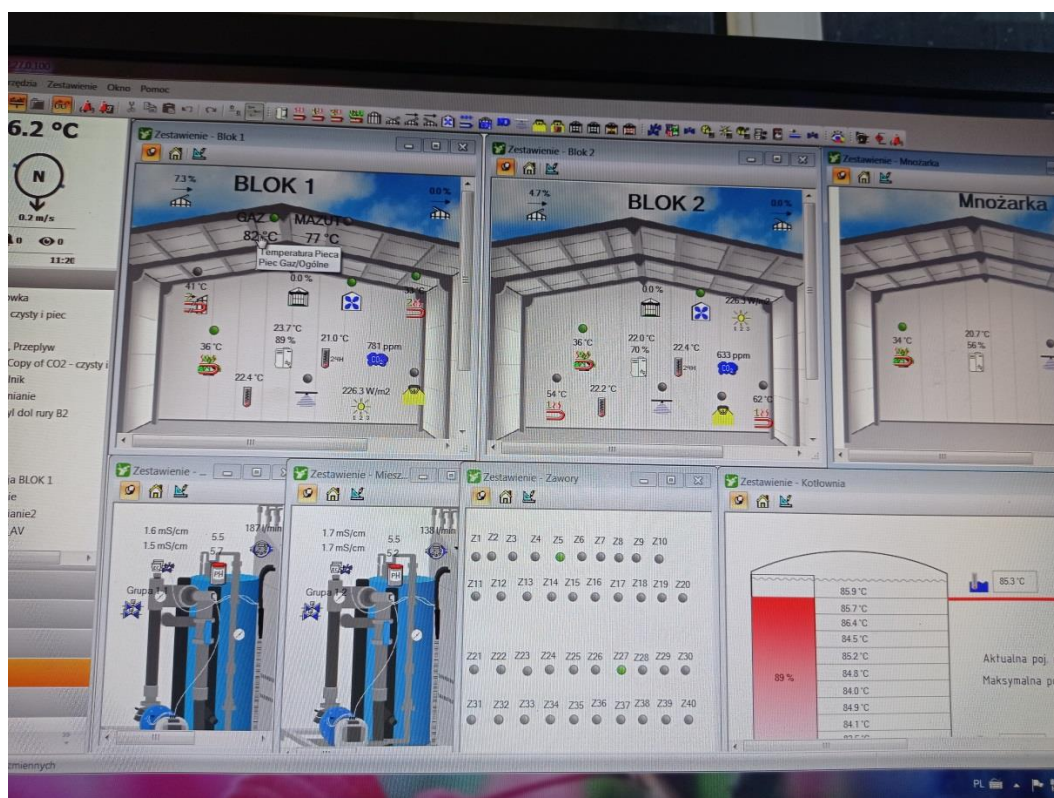


Rysunek 4.19 *System nawadniania oraz system ogrzewania wegetatywnego i dolnego w uprawie róż. Źródło: opracowanie własne*

Ze względu na rodzaje upraw, wilgotność upraw wewnątrz obiektów szklarniowych charakteryzuje się dużą zmiennością, szczególnie mając na uwadze rodzaje prowadzonych upraw szklarniowych (uprawy gruntowe i donicowe warzyw, kwiaty donicowe, kwiaty cięte, uprawy hydroponiczne, sadzonki, rośliny tropikalne).

Odpowiednie w uprawach szklarniowych musi również być uzupełnianie CO₂, którym rośliny niejako „oddychają”. Zasadnym jest zatem obliczenie zapotrzebowania roślin w dwutlenek węgla w odniesieniu do prowadzonej produkcji. Z punktu widzenia właściciela obiektu konieczne jest rozważenie montażu odpowiedniego systemu wymiany powietrza w obiekcie lub systemu dozowania CO₂ do szklarni, z uwzględnieniem potencjalnych problemów (długie trzymanie obiegu zamkniętego powietrza w obiekcie może prowadzić do powstawania patogenów, występowania chorób wśród roślin, a zatem prowadzić do konieczności stosowania substancji grzybobójczych, bakteriobójczych). Na Rysunek 4.21 znajduje się system dystrybucji zasilania roślin w CO₂, który zaobserwowano na wizjach lokalnych. System używany jest w okresie wiosny oraz jesieni, przy przewietrzaniu szklarni. Instalacja używana jest w okresie zimowym, układ wentylacji szklarni powietrzem atmosferycznym w okresie zimowym dla ograniczenia utraty ciepła jest zamknięty.

Stosowanie zautomatyzowanych systemów kontroli klimatu wewnątrz obiektów tzw. „komputerów klimatycznych” ułatwia zadanie uzyskania odpowiednich parametrów na dużą skalę, również w odniesieniu do zróżnicowania produkcji oraz wprowadza szereg udogodnień w odpowiedzi na zmiany parametrów zewnętrznych. Szybkość dostosowania pracy elementów na zmianę pogody jest bardzo cennym aspektem w odniesieniu do maksymalizacji efektywności produkcji oraz ograniczenia strat ciepła czy ryzyka utraty roślin.



Rysunek 4.20 Obraz ekranu komputera klimatycznego nadzorującego funkcjonowanie szklarni. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.21 System dystrybucji zasilania roślin w CO₂. Po lewej perforowany przewód dozujący wykonany z tworzywa. Po prawej stronie rura doprowadzająca schłodzone i osuszone na wymienniku spaliny z kotła gazowego do instalacji zasilania roślin w CO₂. Źródło: opracowanie własne



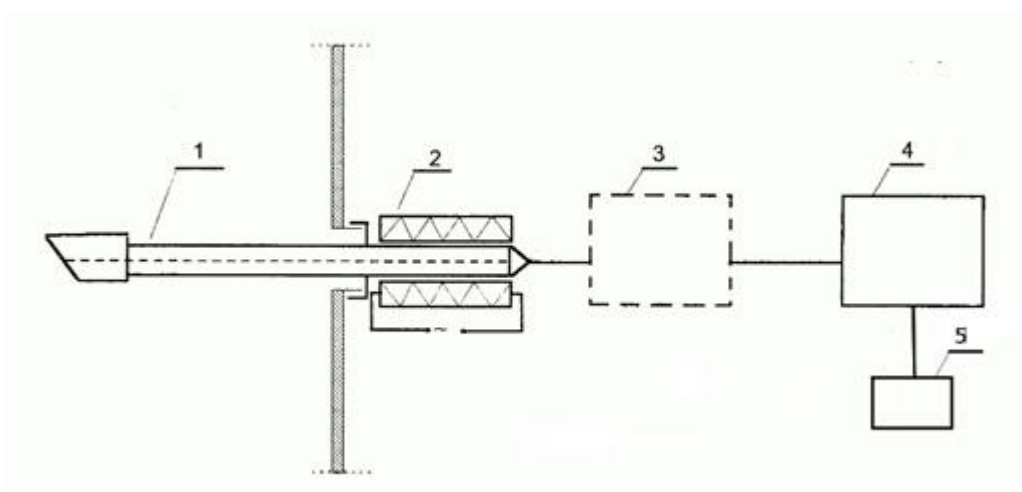
Rysunek 4.22 Zbiornik na CO₂ skroplony (na pierwszym planie) użytkowany w jednym z obiektów szklarniowych. Źródło: opracowanie własne

4.2 Tunele i szklarnie do produkcji rolnej – wyniki badań

Użyta aparatura pomiarowa oraz techniki pomiarowe

Tabela 4.1 Użyta aparatura pomiarowa

| Urządzenie | Metoda pomiarowa | Mierzone związki/parametry |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|
| Sensonic IR1 | NDIR, paramagnetyzm | CO, CO ₂ , O ₂ |
| Sensonic CLD | CLD | NO _x |
| Testo 380 | gravimetryczna | pył |



Rysunek 4.23 Schemat pomiarowy: 1,2 – ogrzewana sonda z filtrem, 3 – grzany przewód, 4 – urządzenie kondycjonujące gazy SENSONIC, 5 – analizator SENSONIC

Zestawienie toru pomiarowego oraz pomiar

Montuje się układ pomiarowy zgodnie ze schematem. Podłącza się grzany wąż do urządzenia kondycjonującego analizatora, przewody do transportu próbki pomiędzy urządzeniem kondycjonującym a modułami analizatora, następnie podłącza się złącza elektryczne komunikacyjne oraz zasilanie i przygotowuje miejsce pomiarowe oraz sondę pomiarową na końcu przewodu grzejnego.

Po upewnieniu się, że wszystkie elementy doprowadzenia badanego gazu zostały poprawnie podłączone oraz osiągnęły odpowiednie temperatury robocze, następuje załączenie analizatora. Faza uruchamiania (osiągnięcie ustalonej temperatury roboczej) trwa od 20 do 60 minut. Dopiero po ukończeniu fazy przygotowania urządzenie ma pełną gotowość do pracy.

Pomiar wykonano z ciągłą rejestracją parametrów mierzonych z częstotliwością zapisu 2 s.

Pomiar wykonano po ustabilizowaniu pracy źródła z zadaną 100% wydajnością paleniska.

4.2.1 Piec retortowy dla systemu nadmuchu ciepłego powietrza w tunelach foliowych o mocy 100kW – węgiel kamienny klasy III „sortymentu groszek”

Ogrzewanie tunelu foliowego opartego o system nadmuchu ciepłego powietrza (nagrzewnica opalana węglem kamiennym tzw. "sortymentu groszek" połączona z systemem rurowym rozpraszającym ciepło w sposób częściowo zautomatyzowany.



Rysunek 4.24 Opomiarowane źródło oraz widok paleniska. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.25 Aparatura pomiarowa oraz emitor odprowadzający gazy odlotowe ze źródła. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.2 Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym

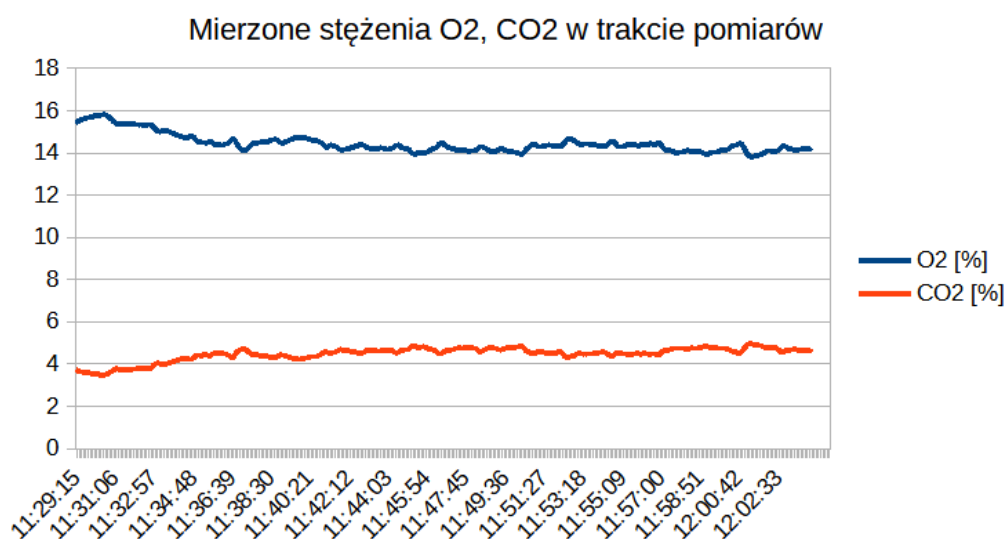
| | |
|--|---|
| Data wykonania pomiarów | 11.10.2021 |
| Czas wykonania pomiarów | 11:29-13:37 |
| Średnica kanału | 0,25 [m] |
| Pole powierzchni przekroju pomiarowego | 0,0491 [m ²] |
| Lokalizacja punktu pomiarowego | Kanał pionowy nieizolowany, kołowy za wentylatorem wyciągowym |
| Ciśnienie statyczne panujące w kanale | 10,7 [Pa] |
| Temperatura gazów odlotowych | 146,8 [°C] |
| Stopień zawilżenia (x) | 0,046 [kg/kg] |
| Prędkość przepływu gazów | Około 4,5 [m/s]* |
| Strumień objętości gazów odlotowych | Około 800 [m ³ /h]* |
| Strumień paliwa | Około 16 [kg/h]* |
| Rodzaj podawanego paliwa | Węgiel kamienny „sortymentu groszek” |

*parametry uzyskane metodą obliczeniową

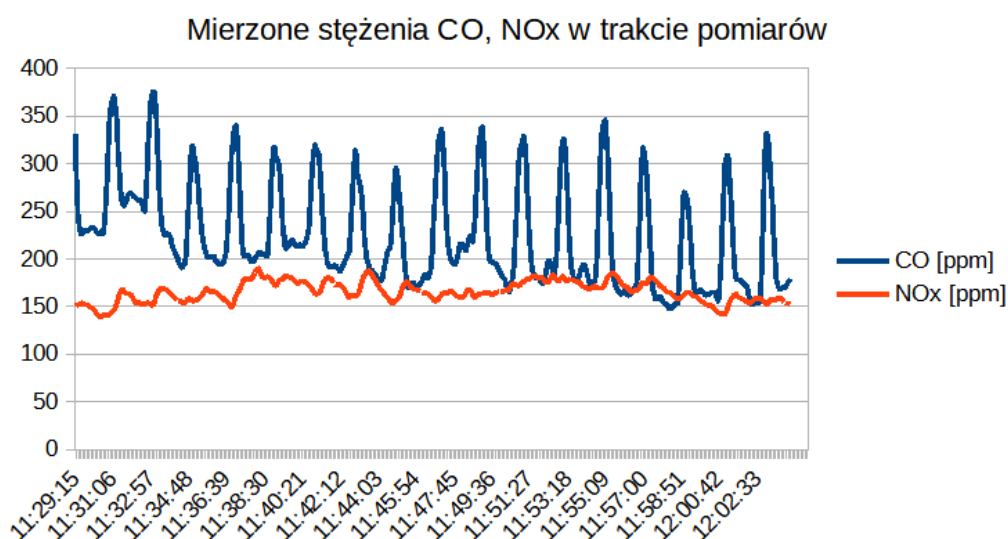
Tabela 4.3 Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z pieca retortowego na węgiel "sortymentu groszek" służącego do ogrzewania tunelu foliowego w dniu 11.10.2021 r.

| | Czas pomiaru | O ₂ | CO ₂ | CO | NO _x | pył |
|---|--------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| | Jednostka | % | % | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ |
| Wyniki | 13:05-13:20 | - | - | - | - | 20,8 |
| | 13:22-13:37 | - | - | - | - | 28,8 |
| | 11:29-12:04 | 14,46 | 4,45 | 343 | 415 | - |
| Średnia | | 14,46 | 4,45 | 343 | 415 | 24,8 |
| Niepewność ± | | 0,20 | 0,20 | 35 | 42 | 6,4 |
| Wymagania ekoprojektu dla miejscowego ogrzewacza pomieszczeń z otwartą komorą | | | | 2000 | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 50 |

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|
| spalania (rozporządzenie 1185/2015) | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|



Rysunek 4.26 *Mierzone stężenia O₂, CO₂ w trakcie pomiarów – kocioł retortowy*



Rysunek 4.27 *Mierzone stężenia CO, NO_x w trakcie pomiarów – kocioł retortowy*

4.2.2 Kocioł o mocy 700kW z rusztem podsuwnym dla systemu ogrzewania CO w szklarni – węgiel kamienny miałowy 24MJ/kg KWK „Murcki”

Ogrzewanie szklarni przy pomocy instalacji centralnego ogrzewania z wymiennikami kolektorowymi rurowymi.



Rysunek 4.28 Widok przekroju pomiarowego za urządzeniem odpylającym (cyklon) oraz lej zasypowy kotła. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.29 Widok paleniska oraz użyty w trakcie badań pyłomierz TESTO 380. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.4 Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym

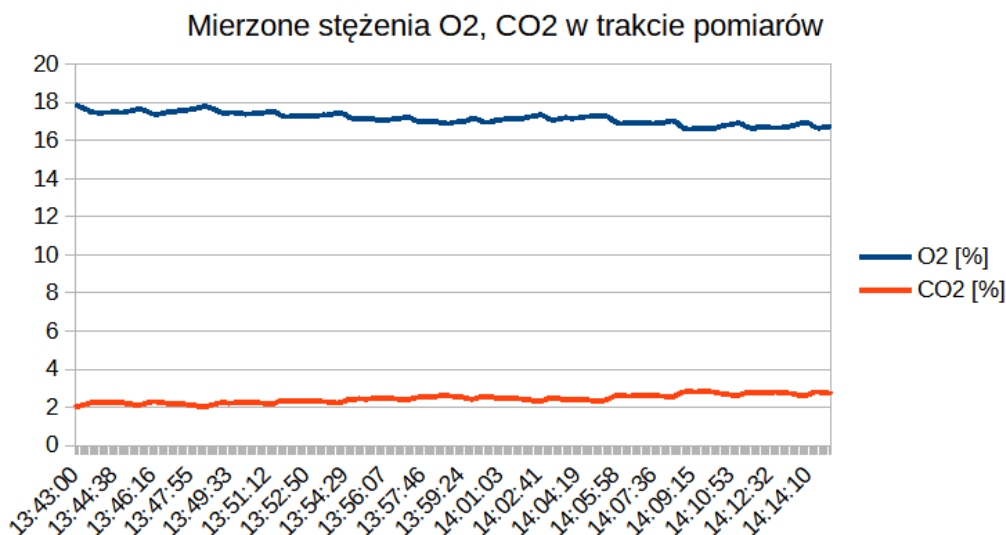
| | |
|--|--|
| Data wykonania pomiarów | 11.10.2021 |
| Czas wykonania pomiarów | 13:43-16:12 |
| Średnica kanału | 0,45 [m] |
| Pole powierzchni przekroju pomiarowego | 0,159 [m ²] |
| Lokalizacja punktu pomiarowego | Kanał poziomy nieizolowany, kotłowy za wentylatorem wyciągowym |
| Ciśnienie statyczne panujące w kanale | 1,2 [Pa] |
| Temperatura gazów odlotowych | 117,4 [°C] |
| Stopień zawilżenia (x) | 0,061 [kg/kg] |
| Prędkość przepływu gazów | ok. 10,1 [m/s]* |
| Strumień objętości gazów odlotowych | ok. 5800 [m ³ /h _{rz}]* |
| Strumień paliwa | ok. 110 [kg/h]* |
| Rodzaj podawanego paliwa | Węgiel kamienny miałowy 25 MJ/kg |

*parametry uzyskane metodą obliczeniową

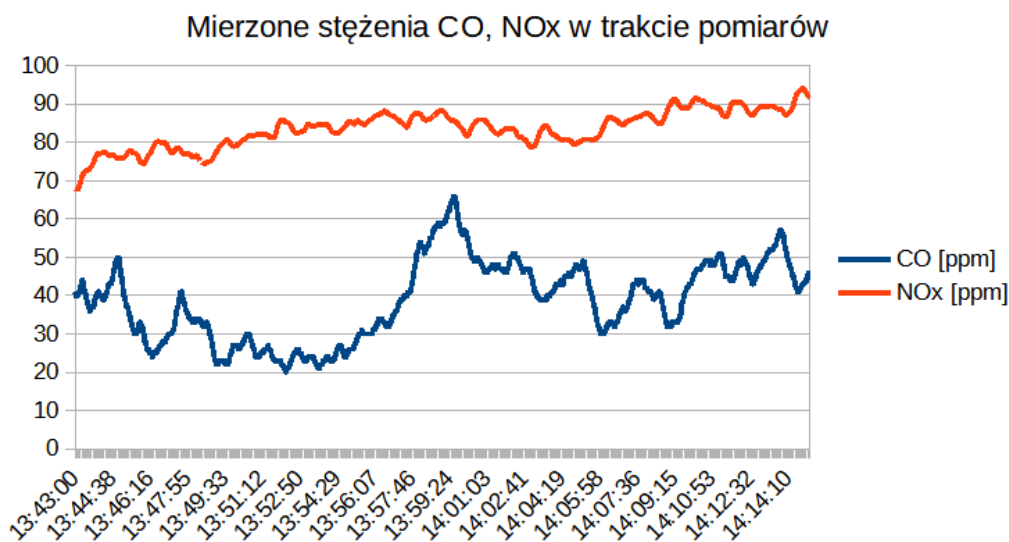
Tabela 4.5 Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z kotła z rusztem podsuwnym służącego do ogrzewania instalacji wieloobwodowej CO w szklarni w dniu 11.10.2021 r.

| Parametr | Czas pomiaru | O ₂ | CO ₂ | CO | NO _x | pył |
|--|--------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| | | % | % | mg/m ³ _{ref} 10% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 10% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 10% O ₂ |
| Wyniki | 15:27-15:42 | - | - | - | - | 310 |
| | 15:57-16:12 | - | - | - | - | 370 |
| | 13:43-14:15 | 17,17 | 2,44 | 139 | 492 | - |
| Średnia | | 17,17 | 2,44 | 139 | 492 | 340 |
| Niepewność ± | | 0,20 | 0,20 | 12 | 47 | 34 |
| Wymagania ekoprojektu dla kotła z automatycznym podawaniem paliwa (rozporządzenie 1189/2015) | | | | 500 | 350 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 40 |

Wykres 4.1



Rysunek 4.30 Mierzone stężenia O₂, CO₂ w trakcie pomiarów – kocioł z rusztem podsuwnym



Rysunek 4.31 Mierzone stężenia CO, NO_x w trakcie pomiarów - kocioł z rusztem podsuwnym

Szacunkowe zużycie paliw w szklarniach i tunelach foliowych przedstawia się następująco:

- Tunel foliowy wielonawowy o powierzchni około 400m² (czas pracy około 4 miesiące na sezon w okresie wiosennym) ogrzewany piecem na węgiel sortyment groszek – połączony z układem nadmuchu powietrzem zużycie paliwa 8T/sezon;
- Tunel foliowy wielonawowy o powierzchni około 450m² (czas pracy około 4 miesiące na sezon w okresie wiosennym) ogrzewany piecem na węgiel sortyment groszek. – połączony z układem nadmuchu powietrzem zużycie paliwa 9T/sezon;
- Tunele foliowe ogrzewane układem CO z ogrzewaniem dolnym o powierzchni około 4000m² (czas pracy 5-6 miesięcy na sezon w okresie wiosennym i jesiennym) ogrzewany miałem węglowym - zużycie paliw 80T/sezon;

- Szklarnia i tunele foliowe ogrzewane układem wieloobwodowym CO o powierzchni około 3600m² (czas pracy około 8 miesięcy w roku) ogrzewany kotłami na miał węglowy – zużycie paliwa 150T/sezon.

4.3 Piece do tradycyjnego wypieku chleba – wizja lokalna w Małopolsce

W województwie małopolskim zdecydowana większość piekarni zajmujących się wypiekiem chleba posiada piece piekarnicze typu RR, RK oraz RRK. Są to konstrukcje murowane z cegły, kilkudziesięcioletnie wyposażone w większości w archaiczny system kontroli nad paleniskiem. Cieszą się one wciąż popularnością i wielu piekarzy wraca do wyrobu chleba przy ich pomocy, gdyż na przestrzeni lat były gwarancją niezawodności i zachowywały najwyższe standardy wypieku pieczywa przy jednoczesnej prostocie obsługi i szybkiej regulacji temperatury.

Konstrukcja pieca RRK jest solidna i wytrzymała, bez problemu radzi sobie z dużym obciążeniem mechanicznym i cieplnym. W masywnej bryle pieca umiejscowiony jest system grzejny, składający się z paleniska i kanałów grzejnych, oraz układ roboczy przyjmujący ładunek ciasta na dużej powierzchni zwanej trzonem wypiekowym.

Elementami grzejnymi pieców rurowych są tzw. rurki Perkinsa zrobione z wysokiej jakości stali ciągnionej bez szwu, które zostały wypełnione wodą destylowaną. Jeden koniec rury jest wmontowany w palenisko, a drugi wprowadzony do komory wypiekowej. Rury wyprowadzane z paleniska ułożone są pokładami, przy czym jeden pokład rur jest ułożony pod trzonem wypiekowym natomiast drugi jest zawieszony ponad trzonem wypiekowym. Każdy pokład rur jest ułożony na specjalnych dźwigarach ułożonych na ścianach nośnych pieca. Działanie takiego układu grzewczego polega na wytworzeniu w rurach pary wodnej, a zwiększone w ten sposób ciśnienie podnosi w nich temperaturę wrzenia wody. Gdy temperatura komory wypiekowej wynosi 250-260°C temperatura wody w rurach wynosi około 310°C, a ciśnienie około 10 MPa. Pod najniższym trzonem znajduje się tzw. ślepy trzon zbudowany z warstwy kamienia, żwiru, tłoczni i piasku. Z tyłu komór wypiekowych znajduje się kanał odprowadzający nadmiar pary wodnej z komory wypiekowej. Najwyżej położona komora wypiekowa jest dogrzewana od góry za pośrednictwem kanału spalinowego. Przed wlotem do komina, spaliny opływają dwa kotły, których przeznaczeniem jest ogrzewanie wody do celów gospodarczych i produkcyjnych. W komorach wypiekowych do kontroli temperatury służą urządzenia zwane pirometrami.



Rysunek 4.32 Końcówki rurek Perkinsa w piecu RRK. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.33 Wnętrze komory wypiekowej pieca RRK, widoczne rurki Perkinsa w górnej części. Źródło: opracowanie własne

W zależności od sposobu ogrzewania komór wypiekowych wyróżniamy trzy podstawowe typy pieców rurowych:

- Piec RR – piec dwukomorowy rurowy – ma on dwie komory wypiekowe ogrzewanymi rurkami Perkinsa.
- Piec RK – piec dwukomorowy ogrzewany systemem rurowo-kanalowym – pierwsza dolna komora pieca jest ogrzewana za pomocą rur Perkinsa, natomiast druga komora za pośrednictwem kanału spalinowego, poprowadzonego nad komorą wypiekową.
- Piec RRK – piec trzykomorowy ogrzewany systemem rurowo-kanalowym – pierwsza i druga dolna komora pieca jest ogrzewana za pomocą rur Perkinsa, natomiast trzecia komora za pośrednictwem kanału spalinowego, poprowadzonego nad komorą wypiekową.

Specyfika pieczenia w takim urządzeniu polega na tym, że wypiek ciasta powinien się odbywać w atmosferze nawilżonej. Nawilżanie komór wypiekowych parą wodną odbywa się po odpowiednim ustawieniu zaworu, co powoduje, że woda dopływa na płyty parowe umieszczone pod trzonami wypiekowymi.

Do rzadkości należą piece murowane akumulacyjne z komorą paleniskowo-wypiekową wybudowane na przełomie minionych wieków. Można je spotkać głównie na wsiach u ludzi trudniących się pielęgnowaniem tradycji. Są one przeznaczone do wypieku niewielkich ilości pieczywa. Piece takie opalane są drewnem, a zasada ich działania opiera się na oddawaniu ciepła zakumulowanego w piecu w trakcie pieczenia. Piec taki po ostygnięciu należy ponownie rozpałać i cykl przeprowadzać od nowa.

Wypiek pieczywa odbywa się po usunięciu żaru z paleniska oraz wyczyszczeniu go z pozostałości popiołów. Pieczywo układa się na drewnianej łopacie i wprowadza do komory wypiekowej. Czasem piecze się chleb bezpośrednio na szamocie, w formach metalowych, bądź np. na liściu kapusty. Pieczywo w piecu piecze się w sposób nierównomierny i należy je obracać w trakcie wypieku.

Wizje lokalne

W dniu 09.11.2021 wykonano dwie wizje lokalne w piekarniach zajmujących się wyrobem pieczywa przy użyciu tradycyjnych już urządzeń jakimi są stosowane od dziesięcioleci piece piekarnicze typu RRK (RRK26 oraz RRK35).



Rysunek 4.34 Wyjmowanie pieczywa z pieca metodą ręczną. Źródło: opracowanie własne

Piece te są konstrukcjami ceramicznymi, ze względu na zbiorniki ciśnieniowe pary, podlegają pod kontrolę UDT. W piecach zabudowane są płyty parowe oraz szereg komór (dwie do zapiekania pieczywa oraz jedna tzw. "jaskółka" komora dopiekowa.

Ilość wytwarzanego pieczywa wynosiła odpowiednio około 1,2T wyrobów piekarniczych oraz 2,5T wyrobów piekarniczych na zakład.

Praca w tego typu obiektach zwykle odbywa się na dwie zmiany. Piece tego typu są lubiane przez piekarzy i charakteryzują się dużą wydajnością. Oba obiekty zasilane były gazem ziemnym metanowym, zużycie miesięczne gazu na potrzeby obsługi tego typu źródeł wynosi około 6-10tys m³ gazu. Z uwagi, iż oba źródła znajdowały się na terenie miejskim, źródła od początku swego użytkowania zostały dostosowane do opalania gazem ziemnym. Pierwotny projekt urządzeń dopuszczał opalanie paliwami stałymi.



Rysunek 4.35 *Piec RRK oraz urządzenia sterownicze. Urządzenie zasilane gazem ziemnym. Źródło: opracowanie własne*



Rysunek 4.36 *Widok na zbiorniki ciśnieniowe pary znajdujące się w górnej części pieca. Źródło: opracowanie własne*



Rysunek 4.37 Układ kontroli pracy paleniska oraz pirometry służące do pomiaru temperatury w komorach wypiekowych. Źródło: opracowanie własne

Masa murowanych pieców RRK sięga od kilkudziesięciu do nawet 100T. Powoduje to duże obciążenie fundamentów i wymaga posadowienia tych konstrukcji na specjalnych fundamentach „pływających”. Konieczność rozgrzania wnętrza konstrukcji o tak ogromnej masie, wykonanej w archaicznej technologii często bez odpowiedniej izolacji termicznej niesie za sobą spore nakłady energii. Są one urządzeniami częściowo akumulacyjnymi, jednak najbardziej opłacalne jest ich eksploatacja w trybie ciągłym, aby piec był cały czas gorący. Temperatura gazów sięga 280°C, co daje spory potencjał energetyczny spalin do wykorzystania na cele ogrzewnictwa CO/CWU w przedsiębiorstwie.



Rysunek 4.38 Widok komory paleniskowej pieca RRK. Widoczne palniki gazowe oraz układy zabezpieczające przed wybuchem (automatyczne zawory odcinające). Źródło: opracowanie własne

W dniu 6.12.2021r., przeprowadzono wizję lokalną w piekarni regionalnej, zajmującej się wypiekami tradycyjnego pieczywa, w technologii niezmienną od prawie 100 lat. Sercem zakładu jest kopułowy piec chlebowy zwieńczony sklepieniem na bazie łuku. Całość komory wyłożona jest szamotem. Wylot kominowy zlokalizowany jest nad otworem wsadowym pieca. Regulacja otwarcia kanału kominowego odbywa się za pomocą tzw. „cugów” (Rysunek), czyli przepustnicy, która pozostaje otwarta w trakcie spalania drewna i zamykana w czasie wypieku, aby wyeliminować straty ciepła przez komin. Powietrze do spalania pobierane jest z pomieszczenia, w którym zlokalizowany jest piec, a dostarczane jest ono za pomocą specjalnych otworów wentylacyjnych. Jednorazowo jest w nim wypiekane ok. 100 chlebów.



Rysunek 4.39 Widok akumulacyjnego tradycyjnego pieca chlebowego oraz elementy zaślepiające komin na czas wypieku. Źródło: opracowanie własne

Do rozgrzania pieca, wykorzystywane jest drewno sosnowe, które ze względu na dużą zawartość żywicy, nadaje pieczywu charakterystyczny, unikalny smak. Proces rozpoczyna się od spalania ok. 40 kg drewna w postaci polan o długości od 50 cm do 150 cm w tylnej części komory. Całość spala się przez ok. 2 godziny. Pozwala to na wygrzanie się komory i podłoża do odpowiedniej temperatury. W tym konkretnym zakładzie nie stosuje się żadnego systemu pomiarowego i automatyki, a całość procesu nadzorowana jest przez piekarza, na podstawie jego wieloletniego doświadczenia. Następnie popiół i żar jest usuwany z komory, a na dokładnie oczyszczonym, nagrzanym podłożu, umieszcza się formy z ciastem chlebowym. Konstrukcja pieca pozwala na utrzymanie odpowiednich warunków do wypieku przez ok. 3 godziny. Po tym czasie proces należy powtórzyć.

Ciepło jest wypromieniowywane przez szamotowe ściany i oddawane przez podłoże, ześrodkowywane i przenika równomiernie przez chleb, sprawiając, że piecze się on idealnie z każdej strony i wewnątrz. Z racji charakteru działalności zakładu, w ciągu jednej doby piec rozgrzewany jest dwukrotnie.



Rysunek 4.40 Widok na komorę wypiekową w trakcie przeprowadzania prac. Źródło: opracowanie własne

Na potrzeby opracowania dokonano pomiarów emisji spalin, wydobywających się z komina w trakcie całego procesu wygrzewania pieca chlebowego. Wyniki zostały przedstawione w postaci wykresów i tabel.

W dniu 14.12.2021 wykonano wizję lokalną w przedsiębiorstwie trudniącym się produkcją pieczywa. Wyposażone ono jest w piec zasilane w sposób pośredni przy użyciu obiegu gorącego oleju krążącego pomiędzy kotłem piecami piekarniczymi.



Rysunek 4.41 Po lewej widoczny palnik zasilany pelletem. Po prawej wymiennik odzyskujący ciepło ze spalin. Źródło: opracowanie własne

Źródło ciepła opalane jest palnikiem pelletowym. Średnie zużycie pelletu wynosi 4-5 palet pelletu na tydzień pracy zakładu i jest uzależnione od wolumenu produkcji. Za kotłem podgrzewającym zamontowano wymiennik ciepła służący do podgrzewania wody na cele CO/CWU, której zużycie w przedsiębiorstwie jest spore. W przedsiębiorstwie używa się dwa piec wypiekowe umieszczone na fotografii poniżej zasilane ciepłem ze wspólnego źródła oraz jeden piec obrotowy posiadający własny palnik (również pelletowy).

W przedsiębiorstwie spala się pellet z drzew iglastych, jednak w opinii użytkownika technologia ta nastęrcza problemów eksploatacyjnych (częste konserwacje i czyszczenie palnika, zacinaanie systemu podawania paliwa) i powodują nieplanowane przestoje, zabierają cenny czas. Właściciel zastanawia się nad wymianą tego systemu ogrzewania na inny, o bardziej bezobsługowym charakterze i większej niezawodności.



Rysunek 4.42 Po lewej piec zasilany ciepłem z wymiennika pośredniego zamontowanego w kotle z palnikiem pelletowym. Po prawej dystrybucja gorącego oleju z kotła do pieców piekarniczych. Źródło: własne

Pellet jest ciekawą alternatywą dla zakładów, które mają dostęp do taniego surowca, bądź nie posiadają w swoim otoczeniu infrastruktury zasilającej w inne paliwa. Obecnie stosowane palniki tego typu spełniają restrykcyjne wymogi odnośnie parametrów emisji gazów szkodliwych.

Podsumowanie wizji lokalnych piekarnie

- Około 80% respondentów nie wyrażała zgody na wizje lokalne w zakładach (częściowo z powodów przepisów sanitarnych, epidemii COVID19 lub innych bez podania przyczyny);
- W trakcie wizji lokalnych odwiedzono 5 obiektów, których właściciele trudnili się produkcją pieczywa;
- Większość obiektów RR, RK, RRK posiada zasilanie na gaz, olej opałowy bądź rozważa przejście na tego typu paliwo;
- Część z obiektów odzyskuje ciepło zawarte w gazach odlotowych na potrzeby zakładu oraz procesowe (np. wytwarzanie pary);
- Piece chlebowe wytwarzają dużą ilość ciepła a także je akumulują i w wielu obiektach nie ma dodatkowych systemów ogrzewania pomieszczeń;
- W piekarniach istnieje także duży potencjał odzysku ciepła z chłodzonego po wypieku pieczywa. Ciepło można w ten sposób odzyskiwać bezpośrednio, np. do ogrzewania powietrza nawiewanego do pomieszczeń (w centrali wentylacyjnej) i/lub z wykorzystaniem pomp ciepła do przygotowania wody użytkowej lub ogrzewania pomieszczeń;
- Żaden z wizytowanych obiektów nie miał systemów ochrony powietrza;
- W przypadku pieców tradycyjnych ceramicznych ze wspólną komorą paleniskowo-wypiekową nie zaobserwowano systemów odzysku ciepła z gazów odlotowych.

4.4 Piece do tradycyjnego wypieku chleba – wyniki pomiarów

W dniu 8.12.2021 wykonano pomiary emisji gazów odlotowych pochodzących z regionalnej tradycyjnej piekarni. W przedsiębiorstwie użytkuje się piece opalane drewnem sosnowym. Komin odprowadza gazy odlotowe z dwóch źródeł jednocześnie. Oba piece rozpalane są w tym samym czasie.



Rysunek 4.43 Tradycyjny piec chlebowy w trakcie wygrzewania. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.44 Aparatura pomiarowa oraz emitor odprowadzający gazy odlotowe ze źródła. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.6 Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym.

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Data wykonania pomiarów | 08.12.2021 |
| Czas wykonania pomiarów | 12:46-15:27 |
| Wymiary kanału | 0,20 x 0,30 [m] |

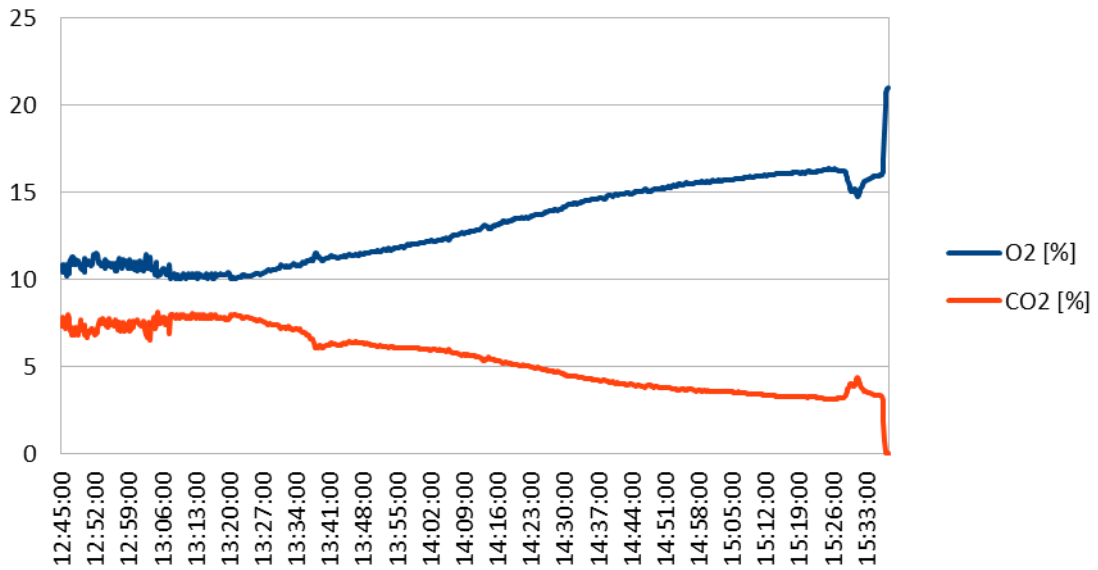
| | |
|--|---|
| Pole powierzchni przekroju pomiarowego | 0,060 [m ²] |
| Lokalizacja punktu pomiarowego | Kanał pionowy nieizolowany, ceramiczny o przekroju prostokątnym |
| Ciśnienie statyczne panujące w kanale | -0,5 [Pa] |
| Temperatura gazów odlotowych | 146,8 [°C] |
| Stopień zawilżenia (x) | 0,094 [kg/kg] |
| Prędkość przepływu gazów | Okolo 2,5 [m/s]* |
| Strumień objętości gazów odlotowych | Okolo 540 [m ³ /h]* |
| Strumień paliwa | Jednorazowy załadunek ok. 40 kg. |
| Rodzaj podawanego paliwa | Drewno sosnowe |

*parametry uzyskane metodą obliczeniową

Tabela 4.7 Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z tradycyjnego pieca chlebowego opalanego drewnem sosnowym

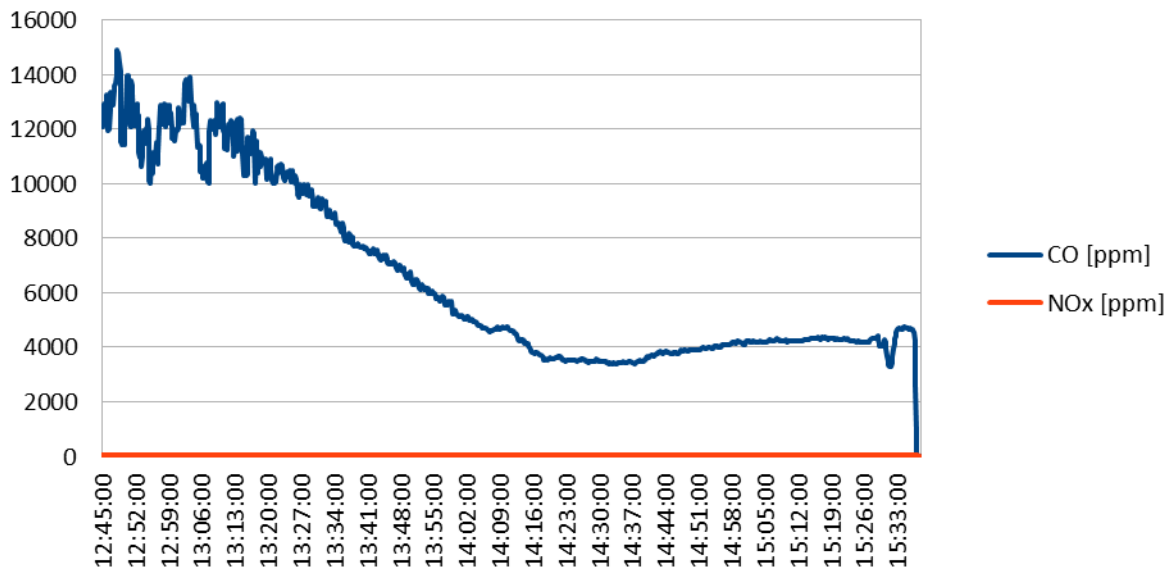
| Parametr | Czas pomiaru | O ₂ | CO ₂ | CO | NO _x | pył |
|---|--------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| | | % | % | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ |
| | 12:46-15:27 | 13,1 | 7,0 | 4778 | 81,8 | - |
| | 13:14-13:29 | - | - | - | - | 432 |
| | 15:01-15:16 | - | - | - | - | 151 |
| Średnia | | 13,1 | 7,0 | 4778 | 81,8 | 292 |
| Niepewność ± | | 0,2 | 0,2 | 340 | 18 | 40 |
| Wymagania ekoprojektu dla miejscowego ogrzewacza pomieszczeń z otwartą komorą spalania (rozporządzenie 1185/2015) | | | | 2000 | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 50 |

Wartości stężeń O₂, CO₂ uzyskane w trakcie pomiarów



Rysunek 4.45 Mierzone stężenia O₂, CO₂ w trakcie pomiarów – piec chlebowy

Wartości stężeń CO, NO_x uzyskane w trakcie pomiarów



Rysunek 4.46 Mierzone stężenia CO, NO_x w trakcie pomiarów – piec chlebowy

- Z uwagi na trudności w znalezieniu zakładów wyrażających zgodę na badania, wykonano pomiary na tylko jednym obiekcie, w którym pieczono chleb metodą tradycyjną. Źródło ciepła opalane było biomasą (drewno kawałkowe sosnowe);
- Wyniki pomiarów emisji wskazały na wysokie zawartości CO oraz pyłów, przekraczające wymagania ekoprojektu;

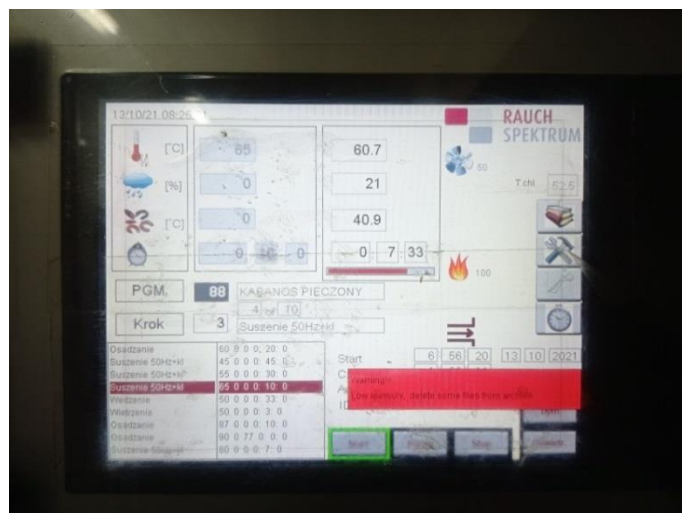
- Wyniki pomiarów NO_x wykazały, iż mierzone wartości były na poziomie mieszczącym się w wymaganiach;
- Z uwagi na podwyższone zawartości części substancji w gazach odlotowych wskazuje to na konieczność stosowania systemów ograniczenia emisji do powietrza;
- Podwyższony potencjał energetyczny gazów odlotowych z procesów piekarniczych zachęca do stosowania układów odzysku energii z gazów odlotowych na cele CO/CWU.

Wykonane badania są jedynie pojedynczą próbą i przekazane wyniki powinny być poszerzone o szereg badań branżowych ukazujący zakres stężeń emitowanych przez branżę.

4.5 Tradycyjne wędzarnie – wizja lokalna

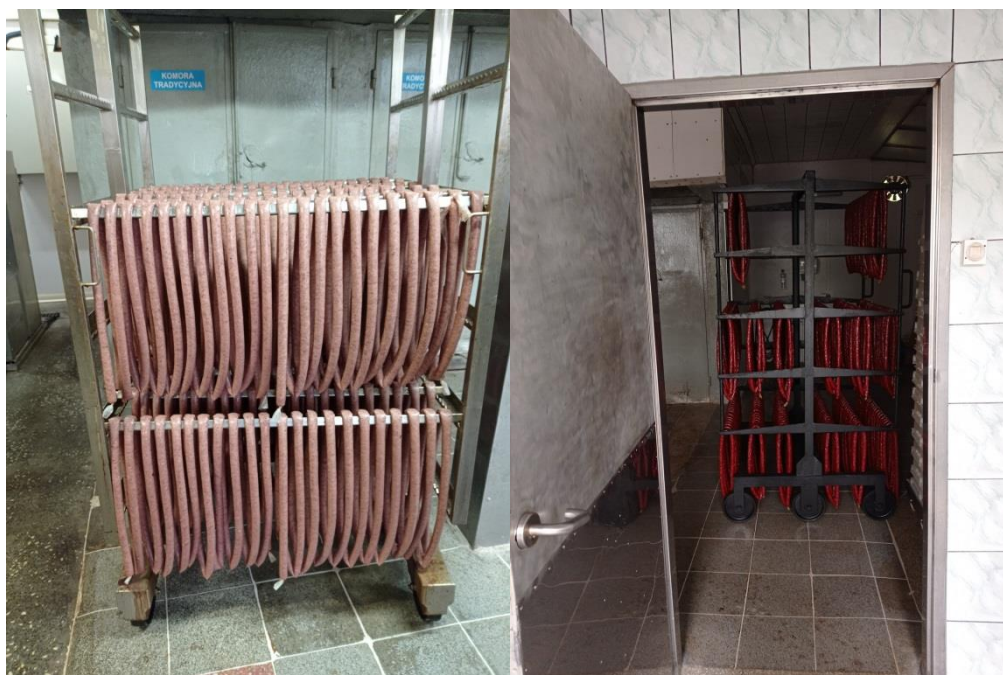
4.5.1 Wyrób wędlin

W dniach 13.10.2021, 18.11.2021 oraz 29.11.2021 wykonano wizje lokalne na obiektach służących do wytwarzania wyrobów mięsnych metodą wędzenia. W przypadku obiektu wizytowanego w dniu 13.10.2021 - komora wędzarniczo-parzelnicza, właściciel wykonywał wędzenie wyrobów z mięsa przy użyciu zrębków z drewna olchowo-bukowego. W dniu tym również wykonano pomiary emisji wybranych gazów odlotowych do atmosfery oraz dokonano pobrania próbki paliwa oraz popiołów paleniskowych w celu określenia stopnia dopalenia cząstek pozostałych po procesie.



Rysunek 4.47 Widok panelu sterującego dla komory wędzarniczo- parzelniczej. Źródło: opracowanie własne

W trakcie procesu zużyto około 5kg wiórków drzewnych. Całkowite roczne zużycie drewna na cele wędzenia w zakładzie, który wizytowano wynosi około 2-3 ton rocznie.



Rysunek 4.48 Widok wyrobów przed oraz po procesie wędzenia w komorze wędzarniczo-parzelniczej. Źródło: opracowanie własne

Proces wędzarniczy z użyciem komory wędzarniczo –parzelniczej jest zautomatyzowany i kontrolowany przez szereg czujników wchodzących w skład urządzenia. Operator zadaje na podstawie doświadczalnej długości trwania poszczególnych cykli obróbki wsadu do komory oraz ich kolejność. W trakcie badań wykonywano wędzenie na zimno (temperatura gazów odlotowych była na poziomie 45°C).



Rysunek 4.49 *Proces wędzenia widoczny jest za szyby umieszczonej w drzwiach frontowych urządzenia. Źródło: opracowanie własne*

Drugi z obiektów to komora wędzarnicza tradycyjna z paleniskiem zabudowanym obok komory wędzarniczej. Palenisko zasilane jest drewnem kawałkowym z drzew owocowych pozyskiwanym lokalnie lub zrębkami drzewnymi w zależności od produkowanego towaru.



Rysunek 4.50 *Odprowadzenie gazów odlotowych do atmosfery odbywa się przy pomocy kominów zabudowanych w górnej części komory wędzarniczej. Wewnątrz komory znajduje się na wlocie do kominu specjalna przesłona umożliwiająca regulację ciągu. Źródło: opracowanie własne*

W dniu 19.11.2021 wykonano wizję lokalną związaną z zapoznaniem się z obiektem oraz technologią, natomiast w dniu 29.11.2021 wykonano pomiary emisji w trakcie trwania procesu (od rozpalania do końca trwania wędzenia tj. wyjechania wózka z wędlinami z komory).

Urządzenie jest obsługiwane w sposób w pełni manualny. Z doświadczeń właściciela obiektu wynika, iż obsługa wymaga dużej uwagi, gdyż przebieg procesu jest zmienny w zależności od czynników zewnętrznych. W trakcie obu wizyt zakładu wykonywano wędzenie dymem gorącym (średnia temperatura gazów odlotowych była na poziomie $\sim 70^{\circ}\text{C}$).



Rysunek 4.51 Widok pustej komory wędzarniczej przygotowanej do odpalania paleniska oraz komory po rozpaleniu płomienia w palenisku. Źródło: opracowanie własne

W trakcie procesu zużyto około 60-90 kg drewna wiśniowo-śliwkowego w polanach (proces trwał nieco krócej niż zwykle ze względu na mały wsad).



Rysunek 4.52 Drewno przechowywane jest w pociętych kawałkach, jest łupane przy pomocy siekiery na drobniejsze elementy tuż przed włożeniem do paleniska. Źródło: opracowanie własne

Technologia i tradycja

Biorąc pod uwagę techniczne problemy wytwórców wędlin produkowanych przy użyciu metody tradycyjnej w uzyskaniu wyrobów o parametrach zbliżonych do tych wytworzonych w nowoczesnych urządzeniach parzelniczo-wędzarniczych, wydaje się zasadnym sporządzenie wniosków pozwalających na produkcję przy użyciu tych metod z założeniem, iż gazy odlotowe pochodzące z tego rodzaju źródeł będą oczyszczane z substancji smolistych, pyłu, węglowodorów oraz CO przed wprowadzeniem ich do atmosfery. Z uwagi na zmienność prowadzenia procesu wędzarniczego oraz charakter matrycy gazów odlotowych z procesu wydaje się zasadnym dobór urządzeń ze sporym zapasem konstrukcyjnym będącym zabezpieczeniem dla prawidłowości działania układu.

Warto zaznaczyć, że część wytwórców już w tej chwili odzyskuje część ciepła wytworzonego w palenisku np. do ogrzewania CWU na potrzeby wewnętrzne zakładu.

Instalacje oczyszczania gazów odlotowych powinny się cechować jak najniższym kosztem eksploatacyjnym oraz możliwie wydłużonym resem między przeglądowym/serwisowym, a także by w użytkowaniu pozwalały spełnić wymagania stawiane urządzeniom kotłowym.

Z powodu, iż instalacje kotłowe pracują z innym współczynnikiem nadmiaru powietrza przeliczanie stężeń mierzonych substancji do warunków odniesienia daje bardzo niekorzystne wyniki dla tego typu instalacji. Zmierzone w trakcie wizji lokalnych parametry gazów odlotowych potwierdzają założenia teoretyczne realizowanych procesów.

Obecnie, na terenie Polski nie obowiązują żadne krajowe normy, regulujące wartości emisji wydobywające się z wędzarni. Jest to niezwykle trudna kwestia ze względu na opisaną powyżej specyfikę danego procesu. Czynnikiem regulowanym natomiast jest zawartość WWA w gotowym produkcie. Zgodnie z rozporządzeniem Komisji (UE) nr 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 r., maksymalny poziom benzo(a)pirenu nie może przekraczać 2 µg/kg oraz 12 µg/kg dla sumy 4 WWA.

Wyrób serów wędzonych

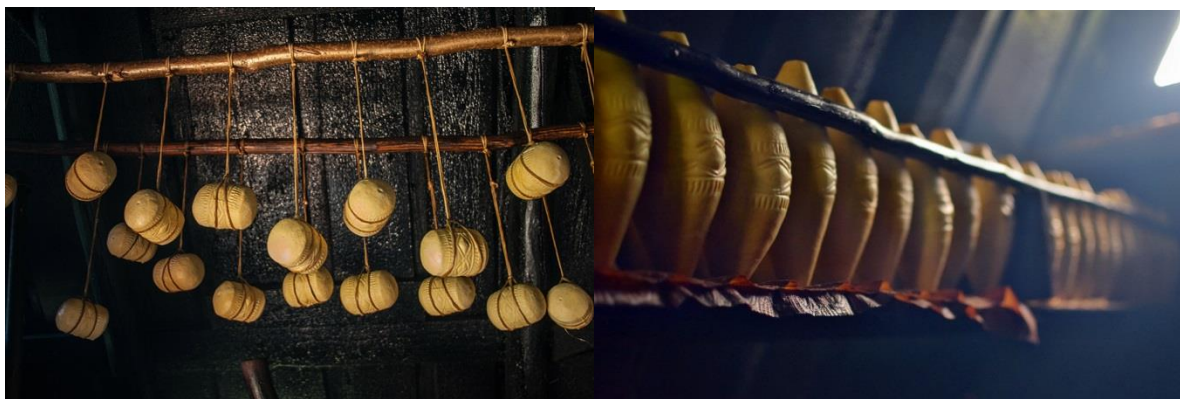
W dniu 9.12.2021r wykonano wizję lokalną u wytwórcy tradycyjnych górskich serów wędzonych. Właściciel obiektu w sezonie letnim wykonuje w tzw. baczowce sery owcze zarówno wędzone, jak również sery dojrzewające i sery białe, np. bundz. W sezonie owce wypasane są na halach i kilkakrotnie dojrzone w ciągu doby. Pozyskiwane mleko jest na bieżąco przetwarzane. Produkty przechowywane są w spiżarni tzw. "serowniku", jednocześnie służącej jako miejsce do przechowywania świeżych serów, soli, oraz słonej wody - tzw. „rosołu” służącego do solenia serów. Wewnątrz obiektu znajduje się palenisko, otoczone kamiennymi płytami zabezpieczającymi budynek przed pożarem.



Rysunek 4.53 Typowy wygląd bacówki. Źródła: www.tasteaway.pl

Właściciel obiektu do wędzenia używa drewna bukowego pozyskiwanego z własnych zasobów leśnych. Pożądane jest drewno świeżo ścięte, zawierające dużo soków, daje ono charakterystyczny słodki posmak oraz dużą ilość aerozoli w trakcie palenia.

W zależności od dostępności drewna bacowie używają różnego paliwa. W bacówkach używa się drewna liściastego, tj. buczyny, graba, wierzby, olchy. Nie używa się drewna drzew iglastych za wyjątkiem procesu rozpalania w palenisku (zwykle kilka kawałeczków suchej żywicznej świerczyny). Wszyscy praktycznie wykorzystują własne drewno, w zależności od regionu może być ono innych gatunków. Smak serów zatem będzie się różnił chociażby z tego powodu.



Rysunek 4.54 Wędzenie serów odbywa się na różne sposoby, najczęściej wykorzystuje się półki tzw. „podysorki”, na zdjęciu widoczne również sery wiszące na sznurkach. Źródła: www.tasteaway.pl

Wg informacji pochodzących ze źródła na bacówce w ciągu doby zużywa się średnio od 0,5 – 1,0 m³ drewna (buczyny). Wielkość ta jest głównie uzależniona od pogody oraz wolumenu produkcji.

Proces wędzenia serków typu oscypek w kształcie wrzeciona jest zwykle długotrwały i trwa pomiędzy 2 a nawet 7 dni w zależności od przebiegu pogody, która jest najbardziej znaczącym czynnikiem dla tego procesu. W czasie wędzenia sery wielokrotnie przekłada się na półkach i odwraca tak, by zawędzony produkt był równomiernie zarumieniony.

Wędzenie popularnych małych serków tzw. „redykołków” odbywa się krócej i zwykle wędzi się do 1 dnia.

Szczególną uwagę zwraca się na to, aby produktu nie przegrzać (pocenie serków) w trakcie procesu, gdyż negatywnie wpływa to na strukturę, zawartość tłuszczu i smak. W przypadku wysokiej temperatury w ciągu cieplejszych dni sery przekłada się jak najdalej od paleniska, odwrotnie w przypadku zimniejszych okresów.



Rysunek 4.55 Wyrób serów owczych to duża ilość ręcznej pracy. Na fotografiach widoczne odciskanie serwatki oraz solenie odcisniętych serów. Źródła: www.tasteaway.pl

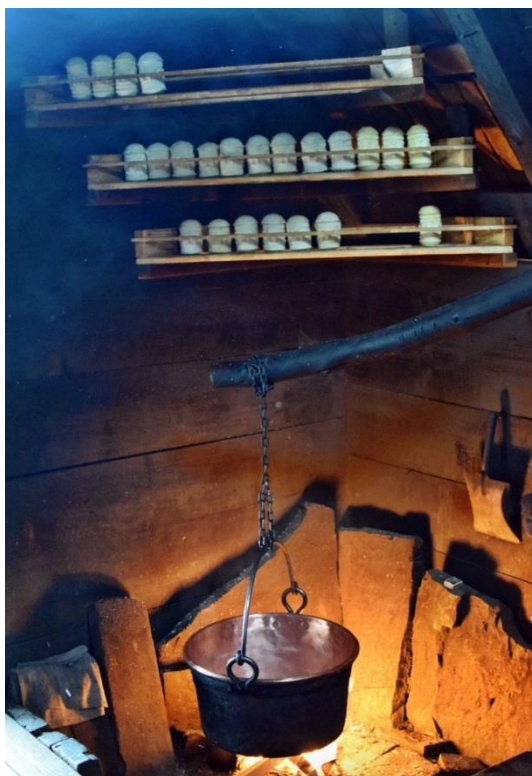
Wędzenie serków jest procesem nisko temperaturowym. Odbywa się na zasadzie doświadczeń osoby wykonującej proces, bez użycia jakiegokolwiek aparatury. Istnieje wiele różnic konstrukcyjnych pomiędzy poszczególnymi bacówkami. Różne jest położenie półek („podysorków”), paleniska oraz budowli względem otoczenia. Powoduje to, iż w każdej z nich wędzi się nieco inaczej. Główną zasadą geometrii budynku jest to, iż musi dobrze przytrzymywać dym.

Palenie w palenisku odbywa się cały dzień. Na noc, aby w palenisku nie wygasło wkłada się do paleniska grubą na 25-30cm kłodę tak, aby paliła się do rana tzw. „zawaternik” = wartownik. Wtedy bacia ma czas odpocząć bez pilnowania ognia.

Nad paleniskiem zwykle cały dzień gotuje się woda w kotłach. Jest ona potrzebna do mycia oraz używana jest przy procesie produkcji. Para wodna ulatująca z nad kotła dodatkowo sprzyja by sery nie wysuszyły się nadto w trakcie wędzenia.



Rysunek 4.56 Kocioł z gotującą się wodą nad paleniskiem. Źródła: www.tasteaway.pl



Rysunek 4.57 Półki z serkami blisko paleniska. Źródła: www.tasteaway.pl

Serki ze względu na popularność wytwarza się cały rok. W sezonie zimowym, gdy brakuje mleka owczego wykonuje się sery z mleka krowiego. Ze względu na to, iż baczówki są położone w górach, produkcja serków przenosi się do wsi, na podwórka „Baców”. Wytwarzanie serów na dużą skalę zwykle odbywa się w komorach wędzarniczych o podobnych konstrukcjach jak w przypadku wędzenia wędlin oraz ryb. Często komory są wyposażone w wózki na ich półkach rozkładane są serki. Ze względu na dużą skalę i rozproszenie produkcji serków górskich bardzo różne są również konstrukcje użytkowane przez właścicieli. Najwięksi producenci wędzonych serków wykorzystują komory wędzarnicze automatyczne.



Rysunek 4.58 Wyrób serów „redykołków” w przydomowej wędzarni. Po lewej komora wędzarnicza, po prawej palenisko. Używa się zarówno drewno kawałkowe jak i zrębki drzew liściastych. Źródło: opracowanie własne

Wędzenie ryb

W ramach opracowania w dniu 9.12.2021r. wykonano wizję lokalną w zakładzie zajmującym się wędzeniem ryb. Produkty wędzone w tym miejscu, są wpisane na listę produktów tradycyjnych a wyniki badań potwierdzają, że zawartość benzo(a)pirenu w gotowych produktach spełnia obecnie obowiązujące wymagania. Zakład funkcjonuje cyklicznie, a wędzenia odbywają się jeden raz w tygodniu. Całość procesu trwa od 3 do 6 godzin, w zależności od warunków atmosferycznych, głównie temperatury powietrza. Im temperatura niższa, tym dłuższy czas wędzenia. Czas ten obejmuje również rozpalanie paliwa i nagrzewanie komory wędzarniczej do odpowiedniej temperatury. W tym przypadku proces wędzenia zachodzi w temperaturze ok. 60°C. Jednorazowo wędzarnia może przygotowywać do 30 kg ryb.



Rysunek 4.59 Palenisko oraz wnętrze komory wędzarniczej w trakcie wędzenia. Źródło: opracowanie własne

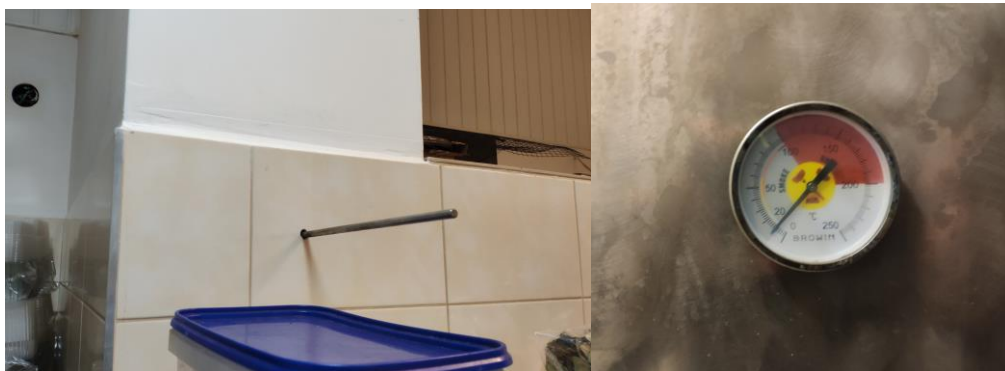
Ilość paliwa, niezbędna do przeprowadzenia procesu jest stała i nie zależy od ilości wędzonych produktów. Średnio zużywane jest ok. 25 kg. drewna. Zakład do celów technologicznych wykorzystuje drewno głównie olchowe lub bukowe, w postaci polan o średnicy od 5 – 10 cm, i długości nie przekraczającej 40 cm.

Drewno poddawane jest wcześniejszemu sezonowaniu, dlatego też odznacza się ono niską zawartością wilgoci (< 20%), w wyniku czego, proces spalania zachodzi efektywnie, a dym wydostający się z komina w trakcie procesu jest ledwo widoczny. Palenisko wędzarni wykonane jest z blachy stalowej o grubości 10 mm umieszczone jest na zewnątrz budynku. Dym wędzarniczy dostarczany jest za pomocą kanału o przekroju prostokąta, o wymiarach 22 x 15 cm.



Rysunek 4.60 Drewno bukowe w palenisku wędzarni. Źródło: opracowanie własne

Wnętrze komory wędzarniczej wymurowane jest z cegły klinkierowej, natomiast podłoga przykryta jest płytkami ceramicznymi (wcześniej wędzarnia funkcjonowała z paleniskiem wewnętrznym). Wewnętrzne wymiary komory wynoszą 100 x 70 x 200 cm. Dym odprowadzany jest poprzez komin o wysokości 6 m. i przekroju 22 x 15 cm. Ilość powietrza oraz temperatura we wnętrzu komory regulowana jest za pomocą przepustnicy regulacyjnej, umieszczonej we wnętrzu kanału dymowego.



Rysunek 4.61 Przepustnica regulacyjna oraz czujnik temperatury we wnętrzu komory wędzarniczej. Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie wizji lokalnych w wędzarniach

- W trakcie wykonywania opracowania wykonano 4 wizje lokalne na obiektach, w których wykorzystuje się proces wędzenia do produkcji żywności. Wykonano dwie wizje lokalne w zakładach trudniących się produkcją wędlin oraz po jednej u wytwórców wędzonych serów oraz ryb;
- Ponad 90% osób z branży na pytanie o możliwość wykonania wizji lokalnej bez podawania przyczyn odmawiało takiej możliwości. Zdecydowanie większe zaufanie wśród respondentów ma kontakt bezpośredni niż kontakt telefoniczny;
- Wyrób wędzonek metodami tradycyjnymi opiera się głównie na paleniskach opalanych drewnem kawałkowym czasami również zrębkami drzewnymi;
- Tylko w jednym wizytowanym obiekcie odzyskiwano część ciepła wytwarzanego w procesie na potrzeby własne zakładu;
- Żaden z wizytowanych obiektów nie miał zainstalowanych urządzeń ochrony powietrza atmosferycznego;
- Właściciele obiektów nie są świadomi przepisów prawa, które odnoszą się do użytkowanych przez nich urządzeń.

4.6 Tradycyjne wędzarnie – wyniki pomiarów

4.6.1 Komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi

W dniu 13.10.2021 w zakładzie produkcyjnym wyrobów wędliniarskich z użyciem komory wędzarniczo-parzelniczej wykonano pomiary emisji gazów odlotowych. Pomiary wykonano przy wylocie gazów do atmosfery. Proces trwał 33 minuty, pomiar obejmował jeden cykl zawędzania.



Rysunek 4.62 Widok na urządzenia pomiarowe w trakcie wykonywanych badań. Ze względu na warunki techniczne nie wykonywano otworów w przewodzie kominowym. Widoczna duża gęstość dymu. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.63 We wnętrzu wytwornicy dymu wędzarniczego znajduje się naczynie, w którym częściowemu zgazowaniu ulegają zrębki drzewne. Po prawej pozostałość po wiórkach. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.64 Elementy wykonawcze komory węzarniczej, po lewej widoczny wentylator wyciągowy. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.8 Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowego dla komory węzarniczej zasilanej wiórkami drzewnymi

| | |
|--|---|
| Data wykonania pomiarów | 13.10.2021 |
| Czas wykonania pomiarów | 11:24-11:52 |
| Średnica kanału | 0,25 m |
| Pole powierzchni przekroju pomiarowego | 0,0491 m ² |
| Lokalizacja punktu pomiarowego | Kanał pionowy nieizolowany, kołowy za wentylatorem wyciągowym |
| Ciśnienie statyczne panujące w kanale | -1,8 Pa |
| Temperatura gazów odlotowych | 45,5°C |
| Stopień zawilżenia (x) | 0,011 kg/kg |
| Prędkość przepływu gazów | ok. 2,0 m/s* |
| Strumień objętości gazów odlotowych | ok. 350 m ³ /h |
| Strumień paliwa | ~5 kg wiórków drzewnych na pojedynczy proces (partię wędlin) |
| Rodzaj podawanego paliwa | Wiórki z drewna olchowo-bukowego |

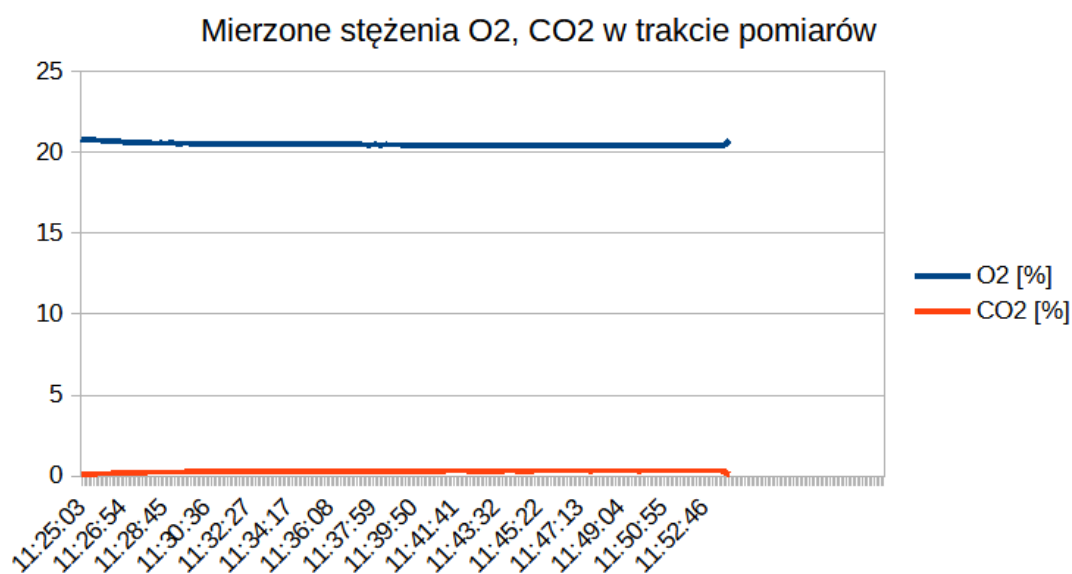
*parametry uzyskane metodą obliczeniową

Tabela 4.9

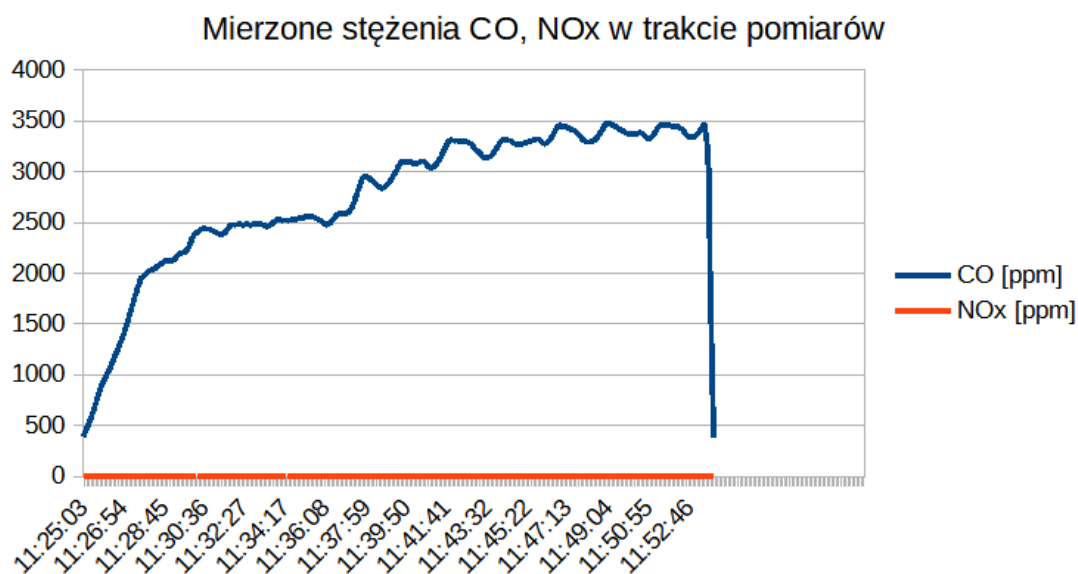
Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z emitora komory wędzarniczo-parzelniczej zasilanej wiórkami drzewnymi w dniu 13.10.2021 r.

| Parametr | Czas pomiaru | O ₂ | CO ₂ | CO | NO _x | pył |
|---|--------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| | | % | % | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ |
| Wyniki | 11:24-11:39 | - | - | - | - | 1716 |
| | 11:24-11:53 | 20,51 | 0,28 | 44945 | p.g.o. | - |
| Średnia | | 20,51 | 0,28 | 44945 | p.g.o. | 1716 |
| Niepewność ± | | 0,10 | 0,10 | 2600 | - | 220 |
| Wymagania ekoprojektu dla miejscowego ogrzewacza pomieszczeń z otwartą komorą spalania (rozporządzenie 1185/2015) * | | | | 2000 | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 50 |

*dla komory wędzarniczej porównanie do wymagań ekoprojektu (wg rozporządzenia Komisji 1185/2015 jak dla pieca z otwartą komorą spalania) wykonano dla celów poglądowych; p.g.o. oznacza wynik poniżej granicy oznaczalności; mg/m³_{ref} – stężenia dla referencyjnej zawartości O₂ 13%



Rysunek 4.65 Mierzone stężenia O₂, CO₂ w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi.



Rysunek 4.66 Mierzone stężenia CO, NOx w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi.

Po procesie wędzenia w palenisku pozostaje duża ilość produktów niecałkowitego spalania paliwa. Ubytek masy wiórów drewnianych w trakcie wędzenia wynosi ok. 60 %. Tak więc z 5 kg początkowej ilości paliwa pozostaje ok. 2 kg produktów spalania.

Po zakończonych pomiarach, pobrano próbkę paliwa po procesie wędzenia i dokonano analizy wartości opałowej i zawartości popiołu. Ze względu na pobranie próbek z pojemnika na popiół bez pokrywy, umieszczonego na zewnątrz obiektu w deszczowy dzień, przed przystąpieniem do badań, próbki poddano godzinnemu suszeniu w suszarce laboratoryjnej, w temperaturze 140°C. Zawartość wilgoci w próbkach w stanie roboczym wynosiła ok. 73 %.



Rysunek 4.67 Próbki zrębków olchowo – bukowych, od lewej: w stanie roboczym, po procesie wędzenia, po wysuszeniu w suszarce laboratoryjnej. Źródło: opracowanie własne

Oznaczenie zawartości popiołu w badanych próbkach przeprowadzono w oparciu o wytyczne zawarte w normie PN-80/G-04512 – Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości popiołu metodą spalania. Celem określenia ciepła spalania wykorzystano kalorymetr KL-11 Mikado. Metoda pomiaru opiera się

na całkowitym spalaniu próbki paliwa wewnątrz bomby kalorymetrycznej wypełnionej tlenem pod ciśnieniem, umieszczonej w kalorymtrze wodnym i odczytaniu przyrostu temperatury wody.

Tabela 4.10 Zawartość popiołu, ciepło spalania i wartość opałowa produktu niecałkowitego spalania zrębków drewnianych po procesie wędzenia w wytwornicy dymu wędzarniczego

| Parametr | Jednostka | Wartość |
|--------------------------|-----------|---------|
| Zawartość popiołu | % | 2,24 |
| Ciepło spalania | MJ/kg | 31,55 |
| Wartość opałowa | MJ/kg | 30,27 |

Jak wynika z analizy, pozostałości paliwa po procesie wędzenia odznaczają się wysoką wartością opałową, powyżej 30 MJ/kg oraz wciąż niską zawartością popiołu ok. 2,2 %. Proces spalania zrębków w wytwornicy dymu wędzarniczego jest zbliżony do procesu wypału węgla drzewnego, zachodzącego w przy ograniczonej ilości tlenu, w specjalnie przystosowanych do tego retortach. Z tego względu, racjonalnym z punktu widzenia efektywności energetycznej, wydaje się być wtórne ich wykorzystanie na cele energetyczne, po wcześniejszym ich wysuszeniu. Zakładając, że zakład w ciągu roku przetwarza ok. 2 tony zrębków, można uzyskać nawet 800 kg. węgla drzewnego o wysokich parametrach energetycznych. Należy jednak uwzględnić, że proces spalania, a więc również wytworzenia analizowanych próbek, ma charakter indywidualny dla danego zakładu i nie należy traktować powstałego w ten sposób węgla drzewnego jako punktu odniesienia na szeroką skalę.

4.6.2 Komora wędzarnicza tradycyjna

W dniu 29.11.2021r., w zakładzie produkcyjnym wyrobów wędliniarskich z użyciem tradycyjnej komory wędzarniczej wykonano pomiary emisji gazów odlotowych. Pomiary wykonano przy wylocie gazów do atmosfery. Proces trwał około 3 godziny, pomiar obejmował jeden cykl zawędzania.



Rysunek 4.68 Komora paleniskowa wypełniona paliwem przed rozpalaniem, po prawej komora wędzarnicza tradycyjna oraz widok pustego paleniska. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.69 Po lewej widoczne sondy urządzeń pomiarowych zainstalowane w kominie. Po prawej drzwi komór wędzarniczych. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.70 Widok komory paleniskowej w trakcie wędzenia. Widok na dach oraz urządzenia pomiarowe w trakcie przygotowań do badań. Z uwagi na trudne warunki pogodowe oraz silny wiatr zastosowano ochronę przeciw wietrzną, aby dym nie cofał się do wędzarni. Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.11 Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowego dla komory wędzarniczej tradycyjnej opalanej drewnem kawałkowym drzew owocowych (w trakcie badań używano drewno śliwy oraz wiśni)

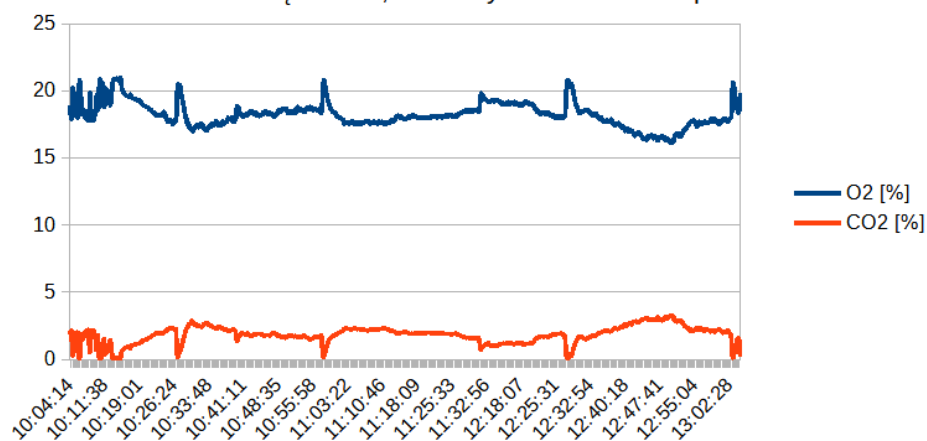
| | |
|--|---|
| Data wykonania pomiarów | 29.11.2021 |
| Czas wykonania pomiarów | 10:04-13:02 |
| Średnica kanału | 0,160 [m] |
| Pole powierzchni przekroju pomiarowego | 0,020 [m ²] |
| Lokalizacja punktu pomiarowego | Kanał pionowy nieizolowany, ceramiczny, kołowy za urządzeniem (ciąg naturalny) |
| Ciśnienie statyczne panujące w kanale | Zmienne około 0-1 [Pa] |
| Temperatura gazów odlotowych | Średnio 38,7 [°C] w trakcie suszenia Średnio 84,3 [°C] w trakcie wędzenia właściwego Średnio 126,2 [°C] w trakcie pieczenia |
| Stopień zawilżenia (x) | 0,013 [kg/kg] |
| Prędkość przepływu gazów | Okolo 2,0 [m/s] |
| Strumień objętości gazów odlotowych | Okolo 160 [m ³ /h] |
| Strumień paliwa | ~20-30 [kg/h] |
| Rodzaj podawanego paliwa | Kawałki drewna drzew owocowych |

Tabela 4.12 Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z emitora komory wędzarniczo-parzelniczej zasilanej wiórkami drzewnymi w dniu 13.10.2021 r.

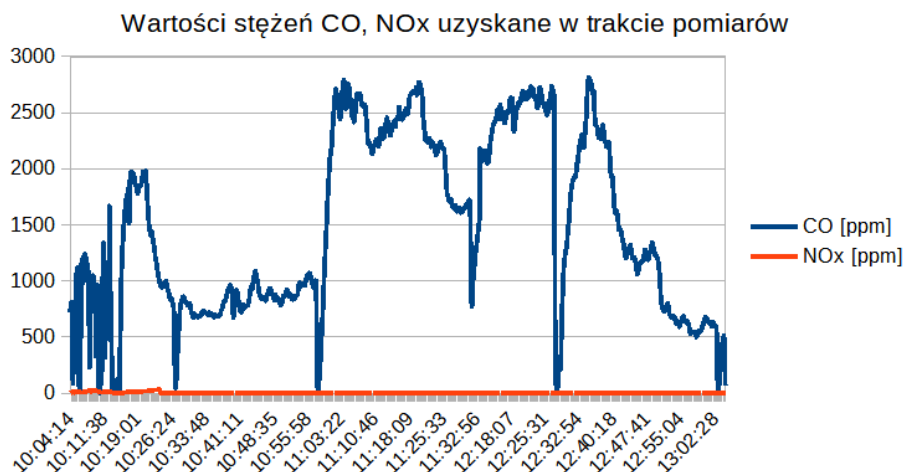
| Parametr | Czas pomiaru | O ₂ | CO ₂ | CO | NO _x | pył |
|--|--------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| | | % | % | Mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | Mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ | Mg/m ³ _{ref} 13% O ₂ |
| Wyniki | 10:04-10:20 | 19,4 | 1,07 | 4924 | 113 | - |
| | 10:20-12:32 | 18,3 | 1,78 | 4887 | p.g.o. | 316 |
| | 12:32-13:04 | 17,3 | 2,40 | 2676 | p.g.o. | - |
| Średnia | | 20,51 | 0,28 | 4269 | 11 | 316 |
| Niepewność ± | | 0,10 | 0,10 | 230 | 2,2 | 35 |
| Wymagania ekoprojektu dla miejscowego ogrzewacza pomieszczeń z otwartą komorą spalania (rozporządzenie 1185/2015)* | | | | 2000 | 300 – paliwa kopalne 200 - biomasa | 50 |

*dla komory wędzarniczej porównanie do wymagań ekoprojektu (wg rozporządzenia Komisji 1185/2015 jak dla pieca z otwartą komorą spalania) wykonano dla celów poglądowych; p.g.o. oznacza wynik poniżej granicy oznaczalności.

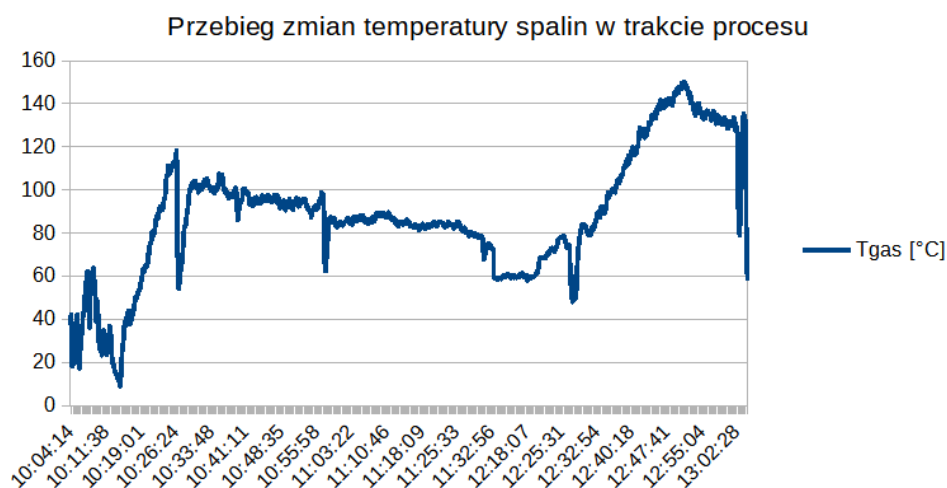
Wartości stężeń O₂, CO₂ uzyskane w trakcie pomiarów



Rysunek 4.71 Mierzone stężenia O₂, CO₂ w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna.



Rysunek 4.72 Mierzone stężenia CO, NOx w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna.



Rysunek 4.73 Temperatura gazów odlotowych w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna.

W początkowej fazie pomiarów od godziny 10:04-10:20 zanotowano wyniki stężeń oraz parametrów gazów odlotowych w czasie tzw „suszenia” wyrobów. W tym czasie drzwi do komory wędzarniczej są uchylone co powoduje dopływ powietrza atmosferycznego do komory. Zasuwy w kominie są otwarte, proces spalania drewna przebiega w sposób energetyczny, z małą ilością wytwarzanego dymu. Średnia temperatura gazów odlotowych w tym przedziale czasu wynosiła około 40°C.

Od godziny 10:20-12:30 realizowane były rejestracje wyników parametrów gazów odlotowych odprowadzanych do atmosfery otrzymywanych w procesie wędzenia właściwego z wytwarzaniem dymu o średniej gęstości. W tym czasie drzwi do komory były zamknięte a zasuwa w kominie wyregulowana wedle potrzeb operatora procesu. Średnia temperatura w trakcie tego interwału wynosiła około 80°C. Czas trwania procesu był stosunkowo krótki ze względu na niewielką ilość wsadu (około 20-30 kg wędlin) oraz charakter produktu. W tym okresie w godzinach 11:45-12:00 wykonano pomiar stężenia pyłu przy użyciu analizatora Testo.

Widoczne na niemalże każdym wykresie piki obserwowane w tym samym czasie są odzwierciedleniem otwierania drzwi do komory. W tym czasie operator sprawdzał zabarwienie oraz

ogólny wygląd wędlin, prowadzenie procesu spalania od strony komory oraz kilkakrotnie obracać wózek w celu równomiernego uwędzenia wsadu.

Podsumowanie badań uzyskanych w wędzarniach

- Wyniki stężeń NO_x w procesach wędzarniczych wskazują stężenia na niskim poziomie i spełniają wymagania ekoprojektu;
- Stężenia CO oraz pyłu przekraczają dopuszczalne wartości zarówno w przypadku komór wędzarniczo-parzelniczych z generatorem dymu wędzarniczego jak i komór tradycyjnych;
- Z uwagi na wysoką zawartość O₂ w gazach odlotowych przeliczenie wyników uzyskanych w warunkach rzeczywistych daje bardzo wysokie wskaźniki przeliczeniowe na O₂ ref;
- Uzyskane wyniki badań są jedynie próbką z kilku obiektów i reprezentują pojedyncze cykle procesów charakterystycznych tylko i wyłącznie dla pracy danego zakładu. W celu uchwycenia szerszego spektrum wyników zaleca się wykonanie szerszych badań branżowych w celu określenia poziomów stężeń emitowanych substancji przez branżę;
- Poziomy emitowanych substancji wskazują na konieczność oczyszczania gazów odlotowych przy użyciu znanych dostępnych metod. Dobór urządzeń oczyszczania gazów odlotowych powinien mieć charakter indywidualny oparty o pomiary emisji bądź danych opracowanych na większej próbie danego typu instalacji.

5 Opracowanie procedury ograniczającej emisję szkodliwych związków do powietrza w aktualnie stosowanych instalacjach grzewczych bez wprowadzania zmian technicznych

5.1 Przegląd dostępnych technik oczyszczania gazów odlotowych

Oczyszczanie gazów z pyłu

W przemyśle do odpylania gazów odlotowych stosuje się na masową skalę kilka sprawdzonych technologii oczyszczania gazów odlotowych z pyłów. Poniżej przedstawiono najpopularniejsze zastosowania, ich wady oraz zalety, a także orientacyjne koszty tego typu rozwiązań. Z uwagi na to, iż większość instalacji oczyszczania gazów odlotowych ma charakter indywidualny, uzależniony od źródła, w praktyce generuje to konieczność badania gazów odlotowych i charakteru popiołów lotnych z danego typu urządzenia w celu osiągnięcia pożądanych efektów - instalacje te powinny być "szyte na miarę".

Cyklony oraz multicyklony i baterie cyklonów

Są urządzeniami działającymi efektywnie przy dużych prędkościach przepływu i dużej masie cząstek pyłu. Są nieodpowiednie do odpylania cząstek o małej masie własnej (PM10 i mniejsze). Metoda działa na zasadzie przyspieszenia cząstki pyłu (wykorzystuje siłę odśrodkową, tarcie oraz grawitację) w celu osadzenia jej na ścianie cyklonu a następnie grawitacyjnemu opadaniu w celu oczyszczenia gazów. Metoda ta charakteryzuje się małym nakładem finansowym w fazie zakupu oraz bardzo małymi kosztami eksploatacyjnymi. Niestety wadą są niskie sprawności, szczególnie dla małych cząstek oraz narastającymi oporami przepływu przy układach kaskadowych (multicyklony, baterie cyklonów). Oczyszczanie zwykle realizowane jest metodą udarową (specjalne młoty lub wibratory elektryczne wprawiają urządzenia w drgania i pomagają pyłowi opadać w dół). Sprawność układów filtracyjnych opartych o cyklony zwykle nie przekracza 90-95%, czasami nieco wyższej przy założeniu dużej granulacji odpylanych cząstek. Dziś systemy oparte o cyklony używane są z instalacjami o emisji cząstek o dużej wielkości lub jako wstępne systemy odpylania. Układy oczyszczania oparte o nie są wypierane przez inne metody o większej wydajności.

Cyklony są urządzeniami stosunkowo tanimi ze względu na prostotę konstrukcji. Cena urządzenia dla przepływu gazów do 1400Nm³/h wynosi około 20 tys. zł.



Rysunek 5.1

Cyklon stanowi tanie, jednak nie zawsze wystarczające rozwiązanie do oczyszczania gazów odlotowych z pyłu. Źródło: <https://klimawent.com.pl>

Mokre systemy odpylania

Systemy mokre są systemami rzadko używanymi w przemyśle, niegdyś częściej spotykane, dziś nadal obecne są w niektórych branżach np. jako oczyszczacze bębnowe, kurtynowe oraz inne np. w procesach lakierniczych, hutnictwa czy obróbki metali. W celu osuszenia gazu za urządzeniem odpylającym, stosuje się pułapki wodne. Urządzenia tego typu mocno schładzają gaz odlotowy, potrzebują niewielkich nakładów finansowych w cyklu eksploatacji. Ze względu na użycie wody są jednak mocno narażone na korozję oraz zapychanie mechaniczne. Podczas pracy tworzy się szlam, który należy regularnie czyścić. Odpylacze mokre potrzebują znacznych ilości wody, część z niej może być zwracana do układu i pracować w trybie zamkniętym, jednak należy liczyć się z ubytkami. Powstały szlam można osuszać metodą prasowania co pozwala zmniejszać ilość powstałego odpadu. Szlam po filtracyjnym poddaje się utylizacji. Układy te charakteryzują się zmienną skutecznością odpylania z uwagi na różnice konstrukcyjne, jednak przy ich użyciu można osiągać zadowalające rezultaty nawet na poziomie powyżej 95% skuteczności odpylania.

Koszty tego typu rozwiązań dla urządzeń o przepływie około 7000 Nm³/h to około 80 tysięcy złotych.



Rysunek 5.2 Kompaktowy odpylacz mokry wykorzystujący wodę do oczyszczania gazów z pyłu. Źródło: <https://klimawent.com.pl>

Elektrofiltry

Elektrofiltry to urządzenia wykorzystujące efekt elektrostatyki. Wewnątrz komór, w których gazy odlotowe przepływają ze zmniejszoną znacznie prędkością znajdują się elektrody, oddziaływujące na transportowane wraz z nim cząstki.

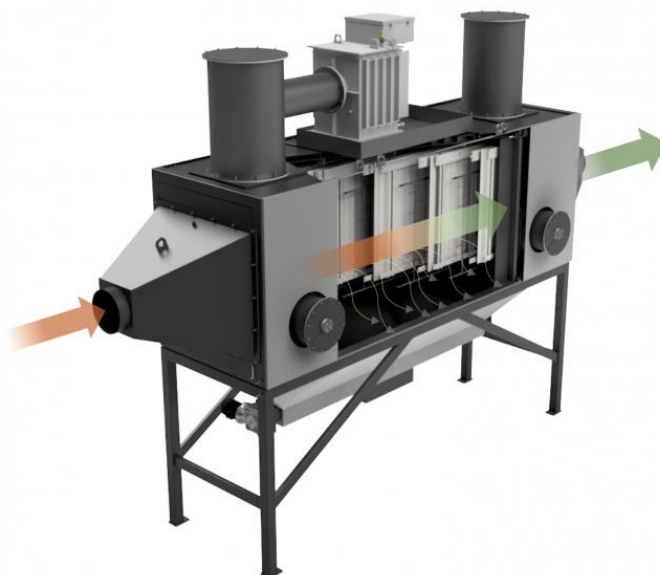
Elektrody zbiorcze stanowią powierzchnię osadczą dla pyłu, natomiast elektrody ulotowe zasilane są prądem stałym o wysokim napięciu, którego źródłem jest agregat wysokonapięciowy. Ładowanie cząstek pyłu pod wpływem jednoimiennych jonów odbywa się dzięki powstawaniu zjawiska ulotu elektrycznego. Występuje ono w momencie przekroczenia napięcia krytycznego, charakterystycznego dla danego układu elektrod. Naładowane cząstki stałe zawieszony w gazie przepływającym przez komorę elektrofiltru wędrują w kierunku przeciwnie naładowanej elektrody zbiorczej. Po zetknięciu z jej powierzchnią oddają swój ładunek i pod wpływem sił grawitacji

i wymuszeń mechanicznych (pneumatycznego bądź wibracyjnego strzepywania) opadają do leja osadczego, skąd usuwane są za pośrednictwem ślimaka wygarniającego do zbiornika zewnętrznego.

Sprawność elektrofiltrów wynosić może nawet powyżej 99%. Obecnie często stosowane są jako wstępny system odpylania w instalacjach o niskich wartościach dopuszczalnych emisji pyłu bądź jako główne urządzenia odpylające na obiektach energetycznego spalania paliw. Charakteryzują się niskimi oporami przepływu. Ich wadą jest stosunkowo duża wielkość i konieczność zasilania w energię elektryczną w trakcie pracy. Elektrofiltry dobrze radzą sobie z pyłami o granulacji PM10, jednak nieco gorzej to wygląda z emisją PM2,5.

Ceny tego typu urządzeń są stosunkowo wysokie i związane są z zaawansowaną budową. Urządzenie redukujące stężenie gazów do poziomu $<15\text{mg/m}^3$ na nominalny przepływ $1600\text{Nm}^3/\text{h}$ kosztuje w granicach 190tys. zł. Elektrofiltry często łączy się z innymi odpylaczami w zespoły. Jeśli pracują jako główne urządzenie odpylające stosuje się wstępny system oczyszczania w postaci cyklonów bądź baterii cyklonów.

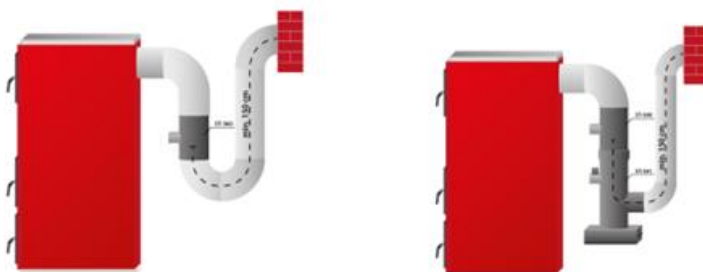
Dla małych instalacji wykorzystywanych do użytku domowego istnieje możliwość zastosowania elektrofiltru przedstawionego na Rysunek 5.4. Cena urządzenia to około 2 tys. zł.



Rysunek 5.3 Wizualizacja konstrukcji elektrofiltru. Widoczne elektrody oraz kierunek przepływu gazów. Źródło: <https://elenergy.pl/p/4/zasada-dzialania-elektrofiltrow>



Rysunek 5.4 Elektrofiltr. Źródło: <https://www.techsterowniki.pl/>



Rysunek 5.5 Schemat usytuowania elektrofiltru w przewodzie kominowym. Źródło: <https://www.techsterowniki.pl/>

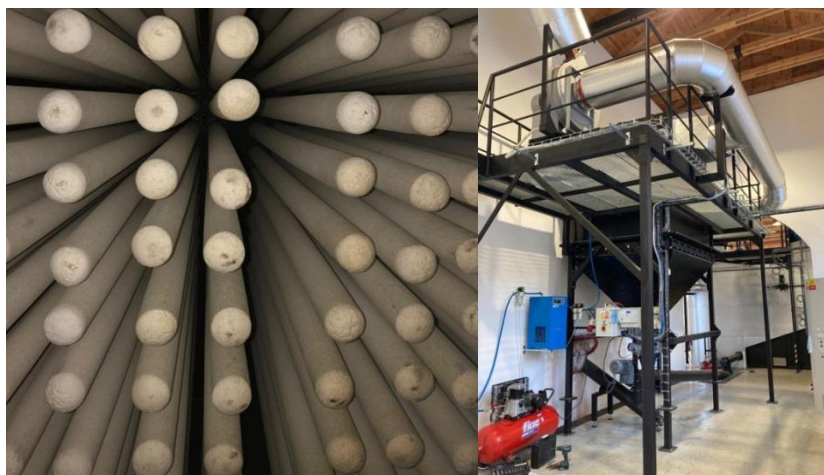
Odpylacze ceramiczne

Są urządzeniami o dużej wytrzymałości temperaturowej i o bardzo dużej skuteczności odpylania. Z uwagi na wysoką cenę zakupu są stosunkowo rzadko używane. W przypadku zapchania ciężko jest je regenerować / czyścić a wymiana wkładu ceramicznego na nowy jest kosztowna. Separacja cząstek pyłu realizowana jest poprzez odfiltrowanie gazu na spieku ceramicznym, oczyszczanie realizowane jest przez rewersyjny przedmuch sprężonym powietrzem sekcji odpylacza. Cząstki zatrzymane opadają do komory w sposób grawitacyjny. Urządzenia te działają na zasadzie mechanicznej nawet po wyłączeniu zasilania.

Filtrów tego typu nie można stosować do pyłów o charakterze lepkim oraz do gazów, w których wilgoć występuje w postaci kropelkowej (temperatura gazu poniżej punktu rosy).

Skuteczność odpylania wynosi nawet powyżej 99,95%. Oczyszczają skutecznie gazy nawet z cząstek o gradacji PM_{2,5}.

Odpylacze ceramiczne są urządzeniami bardzo żywotnymi i dobrze znoszącymi trudy eksploatacyjne. Cena tego typu urządzenia dla przepływu około 1900Nm³/h wynosi około 80 tys. zł.



Rysunek 5.6 Filtry ceramiczne rurowe oraz instalacja wykorzystujące filtrację z ich użyciem. Źródło: <https://www.ggfiltration.pl>

Filtry workowe/tkaninowe

Obecnie najbardziej wydajne i popularne odpylacze oparte są o filtry tkaninowe i workowe. Ich wysoka skuteczność odpylania równa się filtrom ceramicznym. W odróżnieniu od filtrów ceramicznych, koszty eksploatacyjne są umiarkowane, na rynku jest duża różnorodność materiałów filtracyjnych, jednak zwykle ich temperatury eksploatacji nie przekraczają 180°C dla najbardziej wytrzymałych tkanin. W przypadku gazów odlotowych o wyższych temperaturach konieczne jest ich schłodzenie, gdyż filtry uległy by uszkodzeniu bądź spaleni. Oczyszczanie gazu z pyłów odbywa się na zasadzie osadzenia się cząstek na tkaninie filtracyjnej, następnie poszczególne sekcje filtra są oczyszczane rewersyjnym strumieniem sprężonego powietrza podobnie jak w innych metodach i odbierane spod filtra podajnikiem ślimakowym. Urządzenia te działają na zasadzie mechanicznej i oczyszczają gazy nawet po wyłączeniu zasilania.

Filtry workowe oczyszczają skutecznie gazy nawet z cząstek o gradacji PM_{2,5}. Filtry tego typu nie powinny być używane dla gazów o charakterze lepkiem lub gdy wilgoć występuje w postaci kropelkowej.

Koszty eksploatacyjne oraz zakupu stawiają filtry tkaninowe na pierwszym miejscu w odniesieniu do relacji koszt/efekt dla zastosowań niskotemperaturowych. Zastosowanie tego typu filtrów w wysokich temperaturach podnosi znacznie koszty urządzenia, ze względu na konieczność użycia drogich tkanin opartych o PTFE i włókno szklane.

Orientacyjna cena filtra tkaninowego dla przepływu 1000 Nm³/h wynosi od 20 tys. zł dla zastosowań niskotemperaturowych. Cena takiego urządzenia dla zastosowań wysokotemperaturowych jest 3-5 razy wyższa.



Rysunek 5.7 Kompaktowe urządzenie filtracyjne wyposażone w filtry workowe kieszeniowe. Źródło: <https://www.ggfiltration.pl>

Oczyszczanie gazów z LZO oraz CO

Popularne na rynku obecnie są trzy główne metody oczyszczania z LZO:

Dopalacze katalityczne

Są urządzeniami drogimi w zakupie ze względu na wykorzystywanie metali szlachetnych jako katalizatorów procesów utlenienia i rozkładu materii organicznych na podłożu ceramicznym bądź metalowym. Katalizatory są konstrukcjami o bardzo dużej powierzchni czynnej. Redukcja zachodzi w podwyższonej temperaturze rzędu $>300^{\circ}\text{C}$, dlatego metoda jest nieodpowiednia dla gazów o niskiej temperaturze. Podgrzewanie gazów odlotowych jest najczęściej nieekonomiczne. Istnieją jednak rozwiązania kotłów „odzysknicowych”, które w wybranych zastosowaniach działają w sposób prawidłowy, jednak w sposób znaczący komplikują instalację i podwyższają jeszcze bardziej i tak już wysokie koszty. Metoda ta, ma wysoką skuteczność oczyszczania, redukuje również CO do niskich wartości. Do zalet należy również umiarkowana ilość zajmowanego miejsca oraz stosunkowo długa żywotność katalizatorów. Metoda ta nie nadaje się do zastosowania w gazach silnie zapyłonych, w takich przypadkach należy zastosować wstępny system oczyszczania gazów z cząstek stałych.

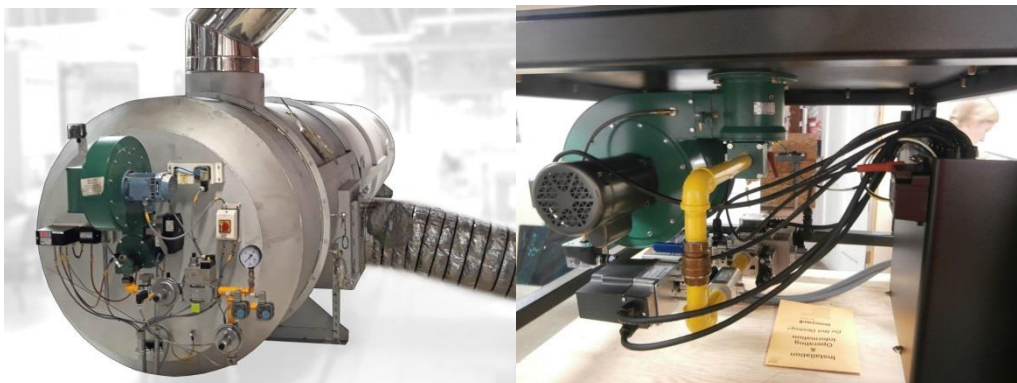
Metody katalityczne stosuje się również przy redukcji NO_x, należy wtedy dodatkowo dozować wodny roztwór amoniaku lub mocznik.



Rysunek 5.8 Dopalacz katalityczny połączony z systemem odzysku ciepła. Źródła: www.bodim.eu

Dopalacze płomieniowe

Dopalacz płomieniowy działa na zasadzie utlenienia w wysoko temperaturowym płomieniu najczęściej wytworzonym z gazu ziemnego i sprężonego powietrza w odpowiednio skonstruowanej komorze. Metoda ta daje dość dobre wyniki, jeśli chodzi o skuteczność oczyszczania jednak powoduje dodatkową emisję CO₂ do atmosfery na wskutek spalania paliwa jakim jest metan. Zaletą jest niewielka ilość miejsca zajmowanego przez instalację oraz uniwersalność w odniesieniu do utylizowanych substancji. Instalacje termicznego dopalania gazów mają umiarkowaną cenę zakupu jednak ze względu na zużycie gazu niosą koszty eksploatacyjne.



Rysunek 5.9 Dopalacze termiczne potrzebują duże ilości gazu. Najczęściej połączone są z systemami odzysku ciepła ze spalin. Źródło: www.selkirkmfg.com

Skuteczność instalacji płomieniowych do dopalania gazów odlotowych zwykle przekraczają 95% sprawności. Przy prawidłowej regulacji płomienia wartości te mogą być wyższe.

Koszt urządzenia dopalającego jest uzależniony od wielu czynników. Jednym z nich jest strumień objętości gazów. W przypadku najmniejszych urządzeń oferowanych na rynku ceny wydają się być atrakcyjne i wynoszą w przedziale 30-60tys zł, jednak brakuje im certyfikatów odnośnie skuteczności funkcjonowania. Ceny urządzeń dedykowanych do przemysłu wyposażone w kotły odzysknicowe na przepływy rzędu 2000Nm³/h wynoszą powyżej 500 tysięcy złotych.

Adsorbery zawierające substancje pochłaniające np. węgiel aktywny

Są to urządzenia służące do pochłaniania substancji organicznych z gazów odlotowych na powierzchni węgla aktywnego bądź innego adsorbentu. Zajmują sporą ilość miejsca, gdyż układy te mają duże opory przepływu a powierzchnia wymiany musi być dostosowana zarówno do pochłanianych stężeń, jak i strumienia objętości gazu. Do zalet należą niskie koszty budowy instalacji, jednak węgiel aktywny należy co jakiś czas wymieniać i utylizować a jego zakup jest kosztowny. Wadą jest również ograniczenie stosowania do wybranych składników oraz wilgotności gazów odlotowych, czy temperatury (możliwy zapłon). Skuteczność tego rodzaju rozwiązań sięga często do 100% jednak jest uwarunkowana zdolnościami złoża oraz pochłanianymi substancjami. Adsorbenty oparte o węgiel aktywny nie oczyszczają gazów z CO. Można stosować systemy kombinowane wykorzystujące sита molekularne bądź inne, jednak znacznie podwyższa to koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne.



Rysunek 5.10 Adsorber z węglem aktywnym. Źródło: <https://www.ekowave.pl>

Układy adsorpcyjne można łączyć z innymi układami takimi jak układy termicznej, bądź katalitycznej redukcji LZO. W ten sposób można długo eksploatować jedną partię złoża węgla aktywnego wykonując tzw. regenerację złoża.

Istnieją również złoża zeolitowe które pozwalają na podobne działanie jak złoża wypełnione węglem aktywnym, działają na zasadzie koncentratorów stężeń, pochłaniając LZO z gazów i w procesie regeneracji złoża trafiają do instalacji unieszkodliwiania. Niestety tego typu złoża najlepiej sprawdzają się w przypadku zastosowania jako systemy wentylacyjne z procesów lakierniczych i przemysłowych z użyciem rozpuszczalników, gdzie skład gazów jest bliski powietrzu atmosferycznemu.

Ceny układów adsorpcyjnych są bardzo zróżnicowane. Same konstrukcje zwykle są stosunkowo proste, jednak znaczny koszt inwestycji stanowią materiały konstrukcyjne (stal, stal nierdzewna w zależności od wykonania), wkład węglowy czy automatyka sterująca. Koszt adsorbentu jest kwestią indywidualną związaną z poziomem spodziewanych stężeń pochłanianych substancji i generuje kubaturę złoża. Dla instalacji o niewielkim przepływie do $1000\text{Nm}^3/\text{h}$ ceny urządzeń zaczynają się od około 100tys. zł.

5.2 Piece do tradycyjnego wypieku chleba

Piece chlebowe są urządzeniami o sporym zapotrzebowaniu na energię. Dążenie do osiągnięcia niskich wskaźników emisji można podzielić zasadniczo na kilka sposobów:

- Modernizacje pieców w celu zmniejszenia energochłonności i zwiększenia efektywności;
- Zmiana pieców na konstrukcje nowej generacji;
- Zmiana sposobu zasilania pieców w ciepło.

Piece tradycyjne o konstrukcji ceramicznej, gdzie komora wypiekowa jest jednocześnie komorą paleniskową są konstrukcjami, które praktycznie uniemożliwiają zastosowanie innych źródeł energii, a także zmian konstrukcyjnych. Tradycyjny wyrób wytwarzany niezgodnie z daną technologią może utracić swoje właściwości.

Piece typu RR, RK, RRK są natomiast urządzeniami o sporym potencjale modernizacyjnym.

Na rynku istnieje wiele podmiotów zajmujących się przebudową tychże pieców, zarówno pod kątem optymalizacji procesu produkcji pieczywa, jak i zwiększenia efektywności procesu pod kątem efektywności cieplnej i aspektów ekologicznych. Przy zmianie zasilania pieca w palniki o niskiej emisji wartości dopuszczalne stawiane przez ekoprojekt wydają się osiągalne, jednak może to się odbyć przy współdziałaniu instalacji oczyszczania gazów odlotowych, ze względu na konstrukcję paleniska odmienną niż w kotłach.

Podstawowym celem przeprowadzanych modernizacji pieca RRK jest zachowanie jego dotychczasowych walorów technologicznych (dobra jakość pieczywa – chleba) oraz wyeliminowanie mankamentów związanych z jego użytkowaniem.

W większości ofert modernizacja pieca RRK obejmuje:

- Poszerzenie komory dopiekowej pieca, tzw. "jaskółki" o ok. 25 cm, co pozwala na przemieszczenie do tej komory całej ilości pieczywa z komór wypiekowych – w efekcie czego zwiększona zostaje zdolność produkcyjna pieca;
- Zmniejszenie o 3-5 cm wysokość komór wypiekowych pieca, w wyniku czego kubatura komór jest mniejsza, a tym samym ilość energii potrzebnej na jej ogrzanie znacznie spada;
- Zmniejszony zostaje przekrój kanałów ogrzewających "jaskółkę" co zwiększa efektywność ogrzewania tej komory;
- Istniejącą konstrukcję obudowuje się blachą kwasoodporną, co poprawia estetykę pieca;
- Wprowadzone są zmiany w zakresie estetyki i funkcjonalności urządzeń sterowniczych pieca;
- Pełną mechanikę załadunku do komór wypiekowych przy użyciu aparatów załadowniczych, z równoczesną przebudową drzwiczek pieca.

Wszystkie wyżej wymienione zmiany dokonywane w piecach RRK zyskują aprobatę użytkowników, a dotychczasowa praktyka w pełni potwierdza celowość ich wprowadzenia. Zmodernizowane piece RRK zachowały w pełni swoje dotychczasowe walory w zakresie wypieku, a równocześnie stały się łatwiejsze w obsłudze i bardziej efektywne w eksploatacji. Proces załadunku pieca RRK – po modernizacji przedstawiono na Rysunek 5.11,

Rysunek 5.12, Rysunek 5.13.



Rysunek 5.11 Optymalizacja załadunku pieców jest jednym z rozwiązań przyczyniających się do zwiększenia efektywności urządzeń. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze



Rysunek 5.12 Proces załadunku pieca RRK. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze



Rysunek 5.13 Widok na poszerzone drzwi pieca RRK. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze

Przebudowa pieca RRK polega na wykorzystaniu rurek RRK oraz części innych elementów i zabudowanie ich w nowej stalowej konstrukcji, charakteryzującej się mniejszą pojemnością cieplną. Konstrukcję taką izoluje się przy pomocy materiałów termoizolacyjnych, wewnątrz wyłożona jest szamotem. Tego typu rozwiązanie skraca czas wygrzania pieca i straty upływu ciepła do otoczenia. Dodatkowo piec po przebudowie zajmuje mniej miejsca i jest łatwiejszy w obsłudze. Fundamenty dla tak przebudowanego pieca nie muszą być tak masywne jak dla konstrukcji murowanej. Murowana nadal zwykle jest komora paleniskowa, natomiast emisja gazów odlotowych realizowana jest rurami stalowymi co ułatwia również zabudowę ewentualnych systemów oczyszczania gazów odlotowych, bądź odzysku ciepła.

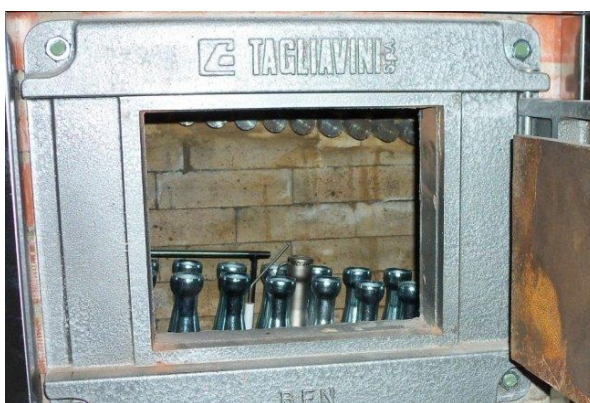


Rysunek 5.14 Widok pieców RRK w trakcie modernizacji. Źródło: www.bakeres.pl

W przypadku zasilania tego rodzaju źródeł gazem ziemnym nie stosuje się systemów oczyszczania gazów odlotowych. Niskoemisyjne palniki zaspokajają zapotrzebowanie źródła w ciepło jednocześnie spełniając wymogi odnośnie jakości spalin. Nieco trudniej jest w przypadku palników olejowych, gdyż od jakości paliwa oraz regulacji palnika zależy, czy będzie emitowana sadza. Również nieco mniej korzystnie wypada emisja tlenków siarki, czy NOx.



Rysunek 5.15 Przebudowa pieców RRK przynosi wymierne korzyści eksploatacyjne. Zarówno od strony finansowej, jak również w aspektach środowiskowych. Źródło: www.bakeres.pl



Rysunek 5.16 Zastosowanie palników gazowych w piecach piekarniczych (widoczne rozwiązania włoskie). Źródło: www.bakeres.pl

W piecach piekarniczych stosuje się różne rodzaje palników, począwszy od gazowych, olejowych jak również zasilane w paliwa stałe jak drewno, czy węgiel. W ostatnich latach stosuje się również adaptacje układów zasilania z paliw stałych jak drewno, czy węgiel na palniki proekologiczne pelletowe. Popularne są urządzenia na paliwa płynne, czy gaz, co czyni piec łatwiejszy w obsłudze i daje możliwość

automatyzacji. Zmiana zasilania z paliw stałych wpływa na ograniczenie emisji pyłu, tlenków siarki i CO. Coraz częściej instalacje piekarnicze wyposażone są w wymienniki ciepła odzyskujące energię ze spalin, co korzystnie wpływa na energetyczny bilans procesu i utrzymania przedsiębiorstwa. Ilość ciepła ze spalin pieców piekarniczych jest na tyle duża, że w przypadku większości przedsiębiorstw całkowicie zaspokaja zapotrzebowania budynków na ciepło w sezonie zimowym.

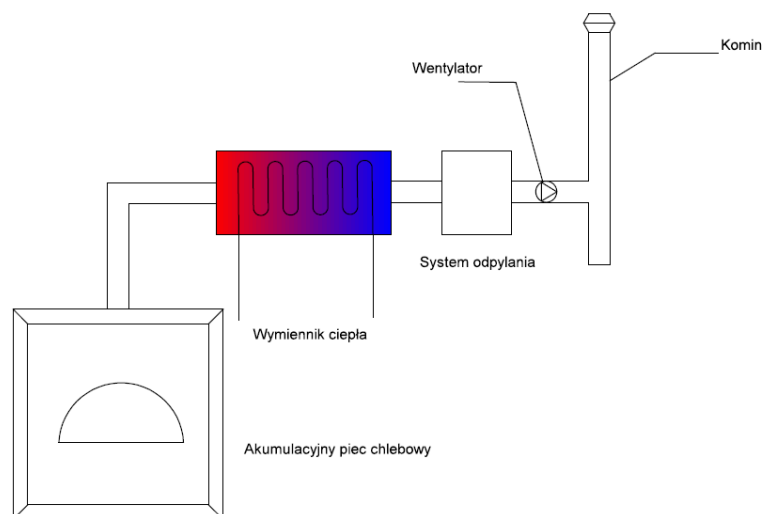
Koszt wymiennika ciepła o mocy 35kW dedykowanego do pieców piekarniczych z wbudowanym układem bezpieczeństwa to koszt około 20 tys. zł.



Rysunek 5.17 Zastosowanie wymienników kanałowych pozwala na zwiększenie efektywności energetycznej instalacji i wykorzystanie ciepła na potrzeb CO, CWU przedsiębiorstw. Źródła: www.ibis.net

Piece tradycyjne akumulacyjne

Użytkowanie pieców tradycyjnych akumulacyjnych powoduje zużycie paliw kopalnych oraz drewna. Najczęściej jest to drewno opałowe sosnowe, brzoźowe, bukowe lub dębowe. Spalanie tego typu paliw w palenisku o grawitacyjnym ciągu kominowym powoduje emisję pyłów, CO₂, tlenków węgla, siarki, azotu oraz w mniejszym stopniu LZO.



Rysunek 5.18 Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz katalityczny. Źródło: opracowanie własne

Temperatura gazów odlotowych odprowadzana do atmosfery z tego typu urządzeń wynosi około 160°C (wartości uzyskane w badaniach). Biorąc pod uwagę utratę części ciepła na odcinku od pieca do wylotu gazów do atmosfery (około 7m odcinek w postaci komina ceramicznego) temperatura spalin na wylocie z pieca zawiera się w przedziale 200-300°C. Gazy odlotowe zatem mają spory potencjał energetyczny, jednak należy mieć na uwadze, iż emisja odbywa się w sposób cykliczny (w wizytowanej piekarni 2x na dobę przez około 3h).

Stężenie pyłu zmierzone w trakcie badań wynosiło średnio około 400 mg/m³_{ref}. Biorąc pod uwagę lotny charakter pyłu ze spalania biomasy zastosowanie filtrów ceramicznych, workowych bądź elektrofiltrów jest odpowiednie.

W przypadku urządzeń piekarniczych ze wspólną komorą paleniskowo-wypiekową można jedynie wprowadzić zalecenia odnośnie jakości spalanego paliwa, dające wpływ na wielkości emisji.

Dostosowanie tego typu instalacji do wymogów ekoprojektu pod kątem zachowania wielkości emisji jest niemożliwe bez poważnych ingerencji w urządzenia. Zasada działania paleniska, jego konstrukcja powodują nadmierne emisje bez znaczących możliwości ograniczenia w sposób beznakładowy.

Możliwości zastosowania urządzeń oczyszczania gazów odlotowych za urządzeniami przed wprowadzeniem ich do atmosfery zależne są od warunków technicznych obiektów oraz charakteru pyłu związanego z użytkowanym paliwem. Zaleca się wykonanie badań granulometrycznych frakcji pyłu przed doбором urządzeń odpylających.

Zadowalające wyniki ograniczania emisji dają elektrofiltry, filtry workowe oraz ceramiczne. W przypadku ograniczania zawartości CO należy rozważyć montaż dopalacza termicznego wraz z układem odzysku ciepła z gazów odlotowych.

Przy doborze urządzeń oczyszczania gazów odlotowych należy wziąć pod uwagę indywidualne aspekty związane z użytkowanymi piecami chlebowymi takie jak przepływ gazów odlotowych, ciśnienie gazów, temperatura, wilgotność gazów, stężenie pyłu czy zawartość tlenków siarki. Uwzględnienie wybranych parametrów należy powierzyć osobom o odpowiednich kompetencjach w celu zachowania zasad bezpieczeństwa i odpowiedniego doboru urządzenia dla prawidłowej eksploatacji.

Koszt instalacji odzysku ciepła (Schemat Rysunek 5.18) wraz z urządzeniem odpylającym (filtr ceramiczny bądź tkaninowy) może w przybliżeniu wynosić 80-100tys. zł dla instalacji o przepływie gazów odlotowych <1000 Nm³/h.

5.3 Tradycyjne wędzarnie

Zastosowanie systemów oczyszczania w instalacjach wędzarniczych

Z uwagi na charakter procesu nie ma możliwości technicznych, aby uniknąć nadmiernych emisji z procesów wędzarniczych w komorach tradycyjnych. Wymagania ekoprojektu bez wprowadzenia systemów oczyszczania gazów odlotowych przed ich wprowadzeniem do atmosfery są nieosiągalne zarówno dla komór wędzarniczych tradycyjnych, jak i urządzeń wędzarniczo-parzelniczych.

Gazy odlotowe z procesów wędzarniczych mają stosunkowo niską temperaturę. Zawiera się ona w przedziale 10-80°C. Ich wilgotność bezwzględna zwykle wynosi pomiędzy 2-10%. Smolisty charakter aerozolu kieruje do zastosowania techniki, która da jednocześnie ograniczenie zawartości cząstek pyłu (sadza), jak i ograniczy emisje LZO oraz CO.

Stężenie pyłu osiągnięte w trakcie badań wynosiło od 430 mg/m³_{ref} dla wędzarni tradycyjnej do 2380 mg/m³_{ref} w przypadku komory wędzarniczo-parzelniczej. Generator dymu wędzarniczego daje dym o wysokiej gęstości i niskiej temperaturze, jednak krótkotrwale. W przypadku metody tradycyjnej

emisja gazów odlotowych jest długotrwała, jednak gęstość dymu jest zdecydowanie niższa. Aspekty te należy wziąć pod uwagę przy doborze urządzeń ochrony powietrza.

Stężenia tlenków azotu, ze względu na niskotemperaturowe prowadzenie procesów spalania są na niskim poziomie i nie stanowią problemu w emisji z tego typu źródeł. Stężenia CO zmierzono na poziomach odpowiednio 5 870 i 61 800 mg/m³ w przeliczeniu na 10% O₂.

Gazy z procesów wędzarniczych mają niską temperaturę, daje to niewielki potencjał do bezpośredniego wykorzystania na cele grzewcze. Najbardziej odpowiednią techniką ograniczania emisji z tego typu źródeł było by najprawdopodobniej zastosowanie systemu wstępnego oczyszczenia gazów z pyłu i substancji smolistych oraz dopalaczy płomieniowych bądź katalitycznych. Z ekonomicznego punktu widzenia w palenisku tradycyjnej wędzarni tracone są duże ilości ciepła. Założenie próby odzyskania ciepła z paleniska w celu wstępnego podgrzania gazów odlotowych za pomocą komory wędzarniczej na zasadzie kotła odzysknicowego pozwoliłoby na pracę katalizatora spalin bez konieczności dalszego dogrzewania gazów odlotowych, lub wprowadziłoby to znaczne oszczędności w użytkowaniu podgrzewacza spalin (mniejsze zużycie gazu).

Obecnie na rynku nie ma instalacji oczyszczania gazów dedykowanych do tego typu instalacji. Należałoby wykonać stosowne badania i rozpocząć pilotażowy program wdrażania instalacji ochrony powietrza mających charakter wdrożeniowy na wybranych instalacjach i z użyciem różnych technik w celu utworzenia szczegółowych wytycznych i zaleceń eksploatacyjnych szczególnie w ujęciu ekonomicznym i ekologicznym.

Komory wędzarniczo-parzelnicze dają wygodę użytkownika, pozwalają na zachowanie wysokich standardów czystości w przedsiębiorstwach oraz przyczyniają się do ograniczania emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Emisja dymów wędzarniczych w przypadku tego rodzaju urządzeń jest krótkotrwała, co pozwala na ekonomiczne użytkowanie systemów oczyszczania gazów odlotowych np. przy dopalaczach termicznych opartych o palnik gazowy bądź dopalacze katalityczne. Czas trwania procesu zawędzania jest nawet kilkunastokrotnie krótszy niż w przypadku metody tradycyjnej.

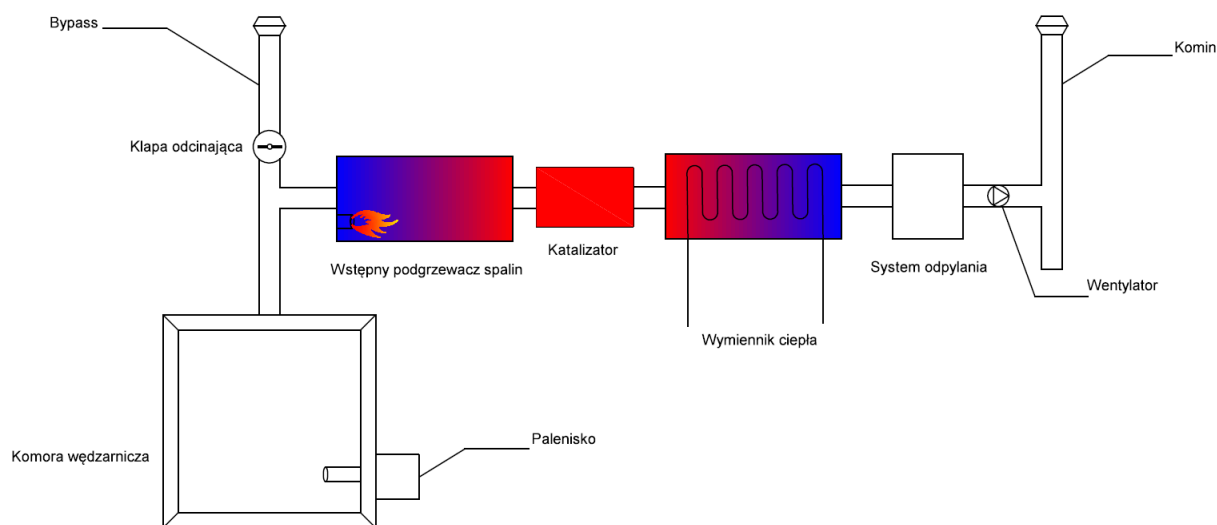
Z uwagi na dodatkową emisję CO₂ w płomieniu dopalacza warto rozważyć odzysk ciepła za pomocą instalacji oczyszczania gazów odlotowych i wykorzystać je do podgrzewania pary, wody na potrzeby CO, czy w szczególności CWU. Użytkownicy wędzarni zwracają uwagę na zapotrzebowanie na dużą ilość ciepłej wody do mycia urządzeń oraz powierzchni w zakładach, gdyż tłuszcze mocno przywierają do powierzchni.

Koszt instalacji oczyszczania gazów odlotowych wraz z odzyskiem ciepła (Schemat Rysunek 5.20) wyposażony w urządzenie katalitycznego dopalania oraz odpylacz może w przybliżeniu wynosić 200-300 tys. zł dla instalacji o przepływie gazów odlotowych <1000 Nm³/h.

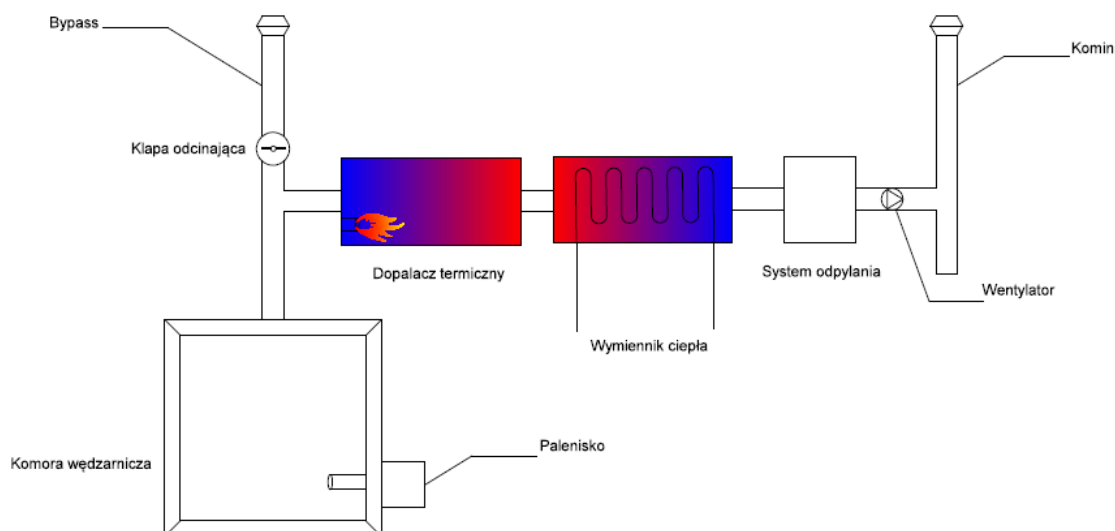
Koszt instalacji oczyszczania gazów odlotowych wraz z odzyskiem ciepła (Schemat Rysunek 5.21) wyposażony w urządzenie termicznego dopalania oraz odpylacz może w przybliżeniu wynosić 150-200 tys. zł dla instalacji o przepływie gazów odlotowych <1000 Nm³/h.



Rysunek 5.19 Kompaktowy wymiennik kominowy pozwalający na odzysk ciepła ze spalin. Źródło: <https://ibis.net.pl>



Rysunek 5.20 Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz katalityczny. Źródło: opracowanie własne



Rysunek 5.21 Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz termiczny.

5.4 Szklarnie i tunele foliowe

Zastosowanie systemów oczyszczania gazów odlotowych w układach grzewczych obiektów szklarniowych

Na podstawie przeprowadzonych wizji lokalnych można stwierdzić, iż część z użytkowanych urządzeń, szczególnie tych reprezentujących klasę III, bądź IV posiadają potencjał modernizacyjny pozwalający przy zastosowaniu urządzeń ochrony powietrza osiągnąć wymogi ekoprojektu. Badania pokazują jednak, że w zależności od źródła wielkości emisji są zmienne i zależne są od charakteru spalane go paliwa, czy chociażby konstrukcji urządzenia grzewczego.

Dla kotłów z rusztem podsuwnym zasilanych miałem węglowym, niewystarczające jest zastosowanie odpylacza typu cyklon, gdyż emituje on nadal zbyt wiele cząstek najprawdopodobniej o małej wielkości, zatem zaleca się wymianę systemu odpylania na elektrofiltr, filtr ceramiczny bądź workowy. Spaliny z obu opomiarowanych źródeł mają temperaturę powyżej 130°C i jest to energia którą można odzyskać przy zastosowaniu wymiennika kondensacyjnego podwyższając jednocześnie sprawność układu.

W przypadku kotła retortowego zapylenie natomiast nie jest istotnym problemem. Wspólnym problemem obu konstrukcji jest natomiast podwyższona zawartość tlenków azotu w gazach odlotowych. Ich obniżenie może odbywać się poprzez zmianę temperatury w palenisku (regulacja paleniska), bądź poprzez redukcję NOx w instalacji oczyszczania gazów odlotowych. W kwestii ekonomicznej tego rozwiązania, należy nadmienić, że mokre systemy redukcji NOx są urządzeniami kosztownymi i problematycznymi eksploatacyjnie.

Łatwiejszym rozwiązaniem jest wymiana źródeł ciepła na spełniające wymagania ekoprojektu, Dostępność rozwiązań technologicznych na rynku w tym zakresie jest szeroka. Duża ilość użytkowników zmienia źródło ciepła w swoich obiektach z zasilanego paliwem stałym na ciekłe bądź gazowe z powodów eksploatacyjnych.

Koszty modernizacji istniejących źródeł są uzależnione od wielkości źródła i w przypadku najmniejszych urządzeń działania modernizacyjne będą nieopłacalne. W przypadku największych urządzeń o mocy >500kW działania modernizacyjne mają uzasadnienie ekonomiczne.

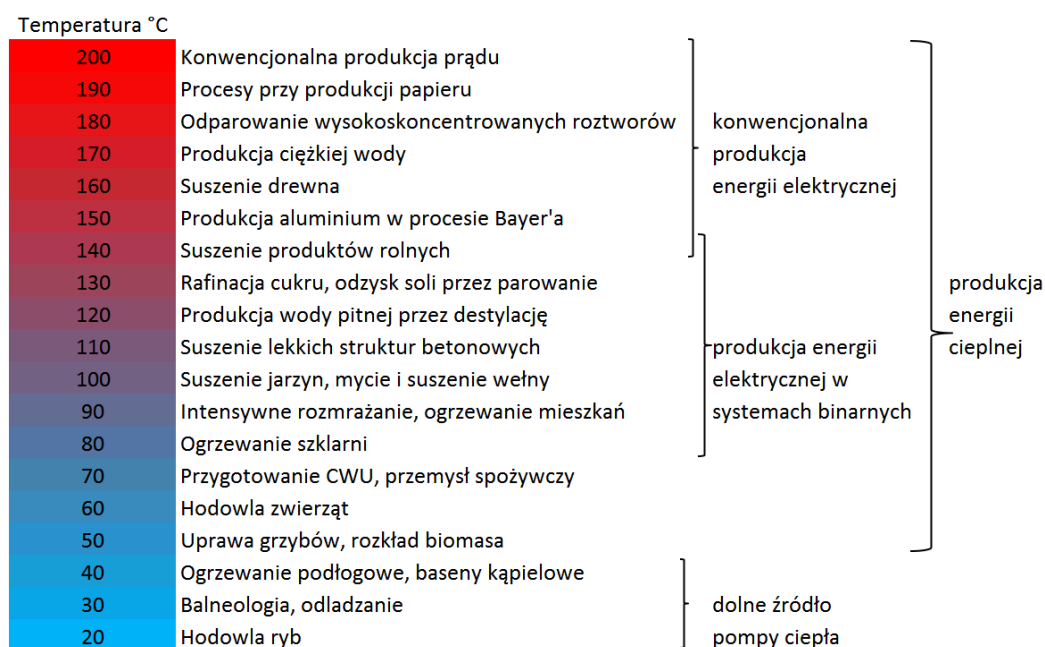
6 Analiza trendów i dobrych praktyk stosowanych rozwiązań w kraju i innych państwach europejskich dla szklarni

6.1 Tunele i szklarnie do produkcji rolnej

6.1.1 Zastosowanie technologii nieemisyjnych lokalnie

6.1.1.1 Wykorzystanie energii geotermalnej w uprawach i szklarnictwie

Energia geotermalna, w tym przede wszystkim niskotemperaturowe zasoby związane z wodami geotermalnymi o temperaturach poniżej 150°C są od zarania dziejów wykorzystywane w rolnictwie. Dotyczy to szeregu zastosowań począwszy od hodowli ryb, uprawy grzybów, hodowli zwierząt, poprzez szklarnictwo, pasteryzację produktów, a skończywszy na suszeniu produktów rolnych i innych zastosowaniach. Szeroki zakres zastosowań energii geotermalnej do tzw. celów bezpośrednich oraz do produkcji energii elektrycznej przedstawiono na Rysunek 6.1.



Rysunek 6.1 Diagram Lindala - pokazujący możliwości oraz przykłady wykorzystania zasobów geotermalnych w szerokiej skali temperaturowej (na podst.: Lindal, 1973)

Spośród ww. zastosowań szklarnictwo jest jednym z najbardziej perspektywicznych obszarów wykorzystania wód geotermalnych.

Kierunki zagospodarowania energii geotermalnej są ściśle powiązane z charakterem i wielkością lokalnych zasobów. W regionach aktywnych wulkanicznie, położonych w strefach kontaktów płyt litosfery dominuje wykorzystanie energii geotermalnej do produkcji energii elektrycznej. W pozostałych regionach, w szczególności w obrębie rozległych basenów sedymentacyjnych, np.: Basen Germański, Basen Niżu Polskiego, Basen Panoński, Basen Paryski i inne, wykorzystuje się zwykle wody termalne o temperaturach poniżej 150°C (niekiedy pary geotermalne), a dominującym kierunkiem wykorzystania tych wód jest ciepłownictwo, szklarnictwo, hydrouprawy oraz rekreacja, a niekiedy balneoterapia (Hajto, 2021).

Statystyki i zestawienia w zakresie światowego wykorzystania zasobów geotermalnych publikowane cyklicznie, co 5 lat podczas Światowych Kongresów Geotermalnych, wskazują, że w 2020 r. energia geotermalna w szklarnictwie wykorzystywana była w 32 krajach na świecie.

Zainstalowaną moc geotermalną w zakresie uprawy roślin pod osłonami oszacowano na ok. 2459 MWt, a zużycie energii na ok. 35826 TJ/rok (Lund, Toth, 2020; Hajto, 2021). W porównaniu z rokiem 2015 wykorzystanie energii geotermalnej w powyższym zakresie wzrosło odpowiednio o 24% - biorąc pod uwagę zainstalowaną moc oraz o 23% - biorąc pod uwagę roczne zużycie energii cieplnej.

Wiodącymi krajami pod względem rocznego zużycia energii (TJ/rok) są malejąco: Turcja, Chiny, Holandia, Rosja i Węgry. Łączne zużycie energii w 5 powyższych krajach stanowi aż ok. 83% całkowitego światowego zużycia energii geotermalnej w szklarnictwie.

Należy tutaj wspomnieć, że niestety większość krajów nie rozróżnia uprawy pod osłonami od upraw, gdzie stosuje się jedynie podgrzewanie gleby, w związku z tym powyższa statystyka może nie być miarodajna biorąc pod uwagę jedynie uprawy pod osłonami. Główne rośliny uprawiane w szklarniach to warzywa i kwiaty. Uprawiane są także sadzonki drzew, kaktusy, a także owoce, w tym np. banany na Islandii.

Ponadto w zakresie upraw pod osłonami wykorzystuje się także płytkie zasoby geotermalne, a ogrzewanie gruntu przy użyciu geotermalnych pomp ciepła ma miejsce m.in. w Islandii, gdzie uprawia się głównie warzywa oraz w Grecji – głównie szparagi (Lund, Toth, 2020).

Stosując średnie zapotrzebowanie na energię określone na podstawie WGC2000 wynoszące ok. 20 TJ/rok/ha (Lund, Toth, 2020), sumaryczne światowe zagospodarowanie energii na poziomie ok. 35826 TJ/rok odpowiada ok. 1791 ha ogrzewanych szklarni, co stanowi wzrost o 23,4% w porównaniu z 2015 r.

Przyspieszenie adopcji ciepła geotermalnego w sektorze rolno-spożywczym (IRENA, 2019).

Polska także posiada warunki i znaczący, niewykorzystany potencjał wód geotermalnych, które mogą być z powodzeniem wykorzystane w rolnictwie, w tym w akwakulturach (hodowla ryb, alg itp.), ale przede wszystkim w szklarnictwie. Prace badawczo-rozwojowe i wdrożeniowe w zakresie wykorzystania wód geotermalnych w Polsce prowadzone były w latach 90. na Podhalu przez IGSMiE PAN (m.in. Bujakowski i in., 2001) oraz Instytut Inżynierii Środowiska PAN (m.in. Rosik-Dulewska, Grabda, 2000). Eksperymentalna instalacja obejmowała system kaskadowy, w tym: hodowla ryb ciepłolubnych, ogrzewanie szklarni, podgrzewanie podłoża w uprawach pod folią oraz suszenie drewna.

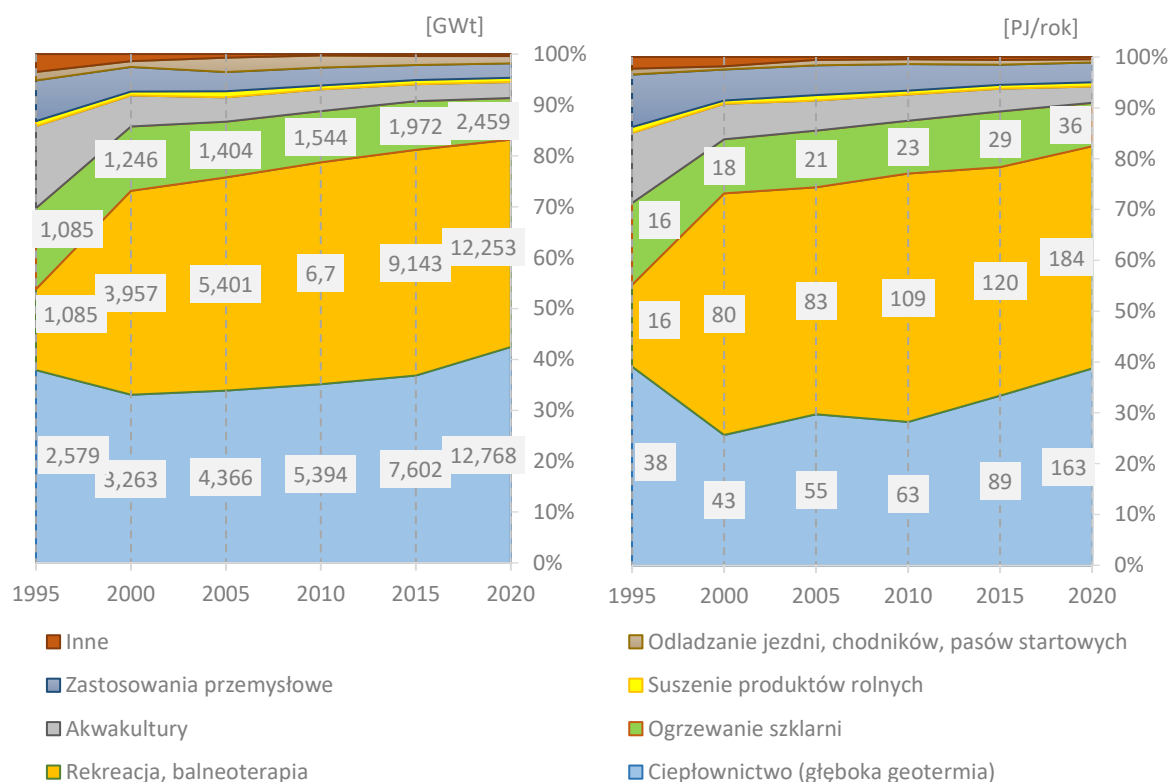
W 2018 roku na terenie ciepłowni geotermalnej w Poddębicach na Niżu Polskim rozpoczęto doświadczalną uprawę alg z wykorzystaniem wody geotermalnej, co można uznać za pierwsze zastosowanie wody i ciepła geotermalnego w biotechnologii w Polsce.

Wykorzystanie wód geotermalnych w rolnictwie, w tym w systemie kaskadowym, może przekładać się zarówno na produkcję wysokiej jakości żywności, jak i na poprawę efektywności energetycznej i finansowej projektów geotermalnych. Opisane powyżej sposób kaskadowego zagospodarowania wód geotermalnych w rolnictwie stanowi praktyczny przykład idei gospodarki w obiegu zamkniętym. Zestawienie dot. wykorzystania zasobów geotermalnych w sposób bezpośredni na świecie, uwzględniający różne sposoby zagospodarowania przedstawiono w Tabeli 6.1.

Tabela 6.1

Wykorzystanie zasobów geotermalnych w sposób bezpośredni na świecie, uwzględniający różne sposoby zagospodarowania, w tym rolnictwo – stan na rok 2020 (na podst.: Lund, Toth, 2020)

| Sposób wykorzystania | Zainstalowana moc geotermalna [GW _t] | Produkcja ciepła geotermalnego [PJ/rok] |
|--|--|---|
| Geotermalne pompy ciepła | 77,547 | 599,981 |
| Ciepłownictwo – „głęboka geotermia” | 12,768 | 162,979 |
| Rekreacja, balneoterapia | 12,253 | 184,07 |
| Ogrzewanie szklarni | 2,459 | 35,826 |
| Akwakultury | 0,95 | 13,573 |
| Zastosowania przemysłowe | 0,852 | 16,39 |
| Odladzanie jezdni, chodników, pasów startowych | 0,435 | 2,589 |
| Suszenie produktów rolnych | 0,257 | 3,529 |
| Inne | 0,106 | 1,95 |
| Razem | 107,727 (+52%) | 1 020,887 (+72%) |



Rysunek 6.2

Wykorzystanie energii geotermalnej do tzw. celów bezpośrednich, wraz z ogrzewaniem szklarni, z wyłączeniem technologii pomp ciepła (Hajto, 2021, na podst.: Lund, Toth, 2020).

6.1.1.1.1 Islandia

Islandia jako jedyny kraj na świecie może pochwalić się tym, że ok. 81% energii pierwotnej pochodzi z lokalnych źródeł odnawialnych, w tym 62% z energii geotermalnej, a 19% z energii wodnej (Ragnarsson i in., 2020).

Jednym z ważniejszych i mocno wpisanych w kulturę kraju zastosowań energii geotermalnej jest ogrzewanie szklarni. W 2016 r. uprawy szklarniowe pokrywały zapotrzebowanie krajowego rynku na poziomie ok. 50% - warzywa (pomidory, ogórki, papryka i truskawki), reszta to kwiaty, w tym doniczkowe. Produkcja krajowa ogórków zapewnia prawie 100% zapotrzebowania Islandczyków. Szacuje się, że całkowita powierzchnia szklarni geotermalnych na terenie Islandii wynosi blisko 200 tyś. m² (Ragnarsson i in., 2020).

Większość szklarni na Islandii ma automatyczną kontrolę klimatu w pomieszczeniu, dzięki czemu na przykład temperatura może być dostosowana do optymalnej temperatury dla różnych rodzajów upraw, od 10-15°C w szkólkach rozsady, do 20-25°C dla róż. Temperatura jest zwykle dostosowywana do optymalnych dziennych zmian. Główne parametry wpływające na utratę ciepła z szklarni, a tym samym zapotrzebowanie na ogrzewanie to temperatura zewnętrzna, prędkość wiatru, materiał pokrycia szklarni, temperatura wewnętrzna, sztuczne oświetlenie, układ ogrzewania i wentylacji. Badanie dotyczące zużycia energii na ogrzewanie grupy typowych szklarni w Islandii wskazuje, że średnie zużycie energii kształtuje się na poziomie 3,67 GJ/m² rocznie w szklarniach ze sztucznym oświetleniem i 5,76 GJ/m² rocznie w szklarniach bez sztucznego oświetlenia (Haraldsson i Ketilsson, 2010).

Popularne są także uprawy na zewnątrz, które wspomagane są przez ogrzewanie gleby wodą geotermalną. Powyższe rozwiązanie umożliwia rozmrażanie gleby, zwłaszcza wczesną wiosną, dzięki czemu warzywa mogą być szybciej wprowadzane na rynek. Szacuje się, że w ten sposób ogrzewa się około 120 tyś m² pól uprawnych. Ogrzewanie gleby to jednak rozwiązanie niszowe dlatego, że podobne wyniki uzyskuje się zwykle przy niższych kosztach, pokrywając rośliny foliami itp. (<https://nea.is/geothermal/direct-utilization/greenhouses/>).

Wg stanu na rok 2020 w szklarnictwie geotermalnym w Islandii zainstalowano moc ok. 57 MW_t, a wykorzystanie ciepła geotermalnego w szklarnictwie oszacowano na ok. 668 TJ/rok (Ragnarsson i in., 2020).

Naturalnie ciepła gleba była przez długi czas wykorzystywana do uprawy ziemniaków i innych warzyw. Początki ogrzewania geotermalnego szklarni w Islandii datuje się na 1924 roku. Większość szklarni znajduje się w południowej części wyspy. Większość szklarni jest pokryta szkłem, ponieważ folia nie sprawdza się w wietrznym klimacie Islandzkim.

Instalacje grzewcze są zawieszane na nieźebrowanych rurach stalowych na ścianach i nad roślinami. Powszechne jest również ogrzewanie umieszczone pod stołami lub podłogowe. Powszechnie stosuje się obojętne podłoża uprawowe (skoria wulkaniczna, ryolit) na betonowych podłogach z indywidualnym podlewaniem roślin. Rosnące wykorzystanie oświetlenia elektrycznego w ostatnich latach wydłużyło sezon wegetacyjny i poprawiło wykorzystanie szklarni. Wykorzystanie energii elektrycznej do naświetlania szklarni było nawet dotowane przez rząd Islandzki (Ragnarsson, 2005). Lokalizację szklarni w miejscowościach Hveragerði i Rykhold przedstawiono na Rysunek 6.3.



Rysunek 6.3 Przykłady zastosowań energii geotermalnej w szklarnictwie w Islandii (miejscowości: Hveragerði i Rykhold)

Miejscowość Hveragerði – szklarnie Garðyrkjuskólinn Reykjum (Uniwersytet Rolniczy Islandii)

Miejscowość Hveragerði („Ogrody gorących źródeł”) jest oddalona o 45 km na SW od Reykjavíku i słynie z występujących tam pól geotermalnych wykorzystanych do uprawy kwiatów, owoców i warzyw w szklarniach. Hveragerði jest znane także jako „Miasto kwiatów” (the flower Town).

Hveragerði jest częścią wulkanicznego rejonu Hengill, gdzie zidentyfikowano wysokotemperaturowe zasoby geotermalne. System ciepłowniczy Hveragerði działa od momentu powstania sieci ciepłowniczej w 1954 r. i dostarcza klientom dwufazowej mieszanki wody i pary o temperaturze 160°C.

Obecnie prawie całe Hveragerði wykorzystuje ciepło z dwóch odwiertów w mieście, z których jeden znajduje się w parku geotermalnym, a drugi pośrodku obszaru wyznaczonego przez ulice Laufskógar, Klettahlíð i Breiðamörk. W NE części, na obrzeżach miasta zlokalizowano obiekty Uniwersytetu Rolniczego Islandii (Rysunek 6.4).



Rysunek 6.4 Szklarnie Uniwersytetu Rolniczego Islandii w Hveragerði (fotografia: M. Buffa, 2017 r. – Google Maps - <https://goo.gl/maps/PeCMDNzSb8aV6cfu8>)

Uczelnia posiada własne otwory geotermalne o głębokości ok. 500 m, które dostarczają parę wodną o temperaturze od 120 do 135°C. Uczelnia nie płaci za dostawę ciepła, jednakże system – otwory geotermalne, ze względu na zjawiska korozji i scalingu (wytrącania się wtórnych minerałów), musi przechodzić regularne zabiegi oczyszczające.

Szklarnie wyposażone są w autorski system grzewczy, co ma pokazać, że kreatywność i pasja oraz niewielki budżet mogą prowadzić do interesujących rozwiązań. Podstawą ogrzewania szklarni jest rurowy system rozprowadzenia ciepła, jednakże na wydzielonych poletkach testowane są inne rozwiązania, w tym podgrzewanie gleby i inne nowatorskie rozwiązania. Rozbudowany system kontrolno-pomiarowy pozwala na szczegółowe monitorowanie warunków środowiskowych środowiska upraw.

Pod szkłem uprawia się m.in.: paprykę, pasiaste pomidory, ogórki i żółte pomidory, a także zioła, a także owoce egzotyczne, banany, figi, kawę i inne (Rysunek 6.5). Temperatura w szklarni, gdzie rosną banany musi być na poziomie 20-25°C, a wilgotność musi utrzymywać się na poziomie od 80 do 90 procent i jest ona wytwarzana przez rośliny.





Rysunek 6.5 Uprawy papryki, pomidorów, bananów oraz kwiatów egzotycznych (z rodziny różaneczników) w szklarniach Uniwersytetu Rolniczego Islandii w Hveragerði (fotografie: M. Hajto, 2017 r.)

Szklarnia Friðheimar – Reykholt

Gospodarstwo rolnicze Friðheimar położone jest w południowej Islandii, w miejscowości Reykholt, przy drodze 35, w tzw. Złotym Kręgu, ok. 70 km na wschód od Reykjavíku (10 km na północny zachód od miejscowości Flúðir). Dojazd z Reykjavíku to niemal 100 km (Rysunek 6.3).

Rodzinne gospodarstwo znane jest przede wszystkim z ekologicznej uprawy warzyw, głównie pomidorów, a właściciele posiadają także niewielką hodowlę koni. Gospodarstwo Friðheimar było pierwszymi na Islandii, gdzie przez cały rok uprawia się pomidory śliwkowe i koktajlowe odmiany *Flavorino*. Obecnie, w dużych ilościach, hoduje się także pomidory koktajlowe (Rysunek 6.6).

Szklarnie w Friðheimar (łącznie 5 tys. m² szklarni) dają średnio 1 tonę pomidorów dziennie – roczne zbiory wynoszą ok. 370 ton.

W procesie hodowli pomidorów, którą rozpoczęto w 1995 r., stosuje się autorską, ekologiczną filozofię upraw bez chemicznych środków upraw, pestycydów itp. Cały proces uprawy pomidorów – ogrzewanie szklarni, oświetlenie, pozyskanie wody, ochrona przed szkodnikami – realizowane jest w nowoczesny, ekologiczny sposób. Dla przykładu ochrona biologiczna wspierana jest przez odmianę drapieżnego pluskwiaka różnoskrzydłego z rodziny tasznikowatych – *Macrolophus pygmaeus*, który pożera wszystkie główne szkodniki nękające rośliny pomidora. Polska nazwa to *dziubateczek mączlikowy* - jest powszechnie stosowany do ochrony upraw przed mączlikiem szklarniowym oraz mączlikiem ostroskrzydłym oraz mszycy, przędziorki, wciornastki i innych (<https://royalbrinkman.pl>). Kwiaty pomidorów zapylane są przez trzmiele.

W Friðheimar pomidory są uprawiane na torfie (Rysunek 6.6), a rośliny odnawiane są dwa razy w roku. Ponieważ uprawa potrzebuje dużo czasu na owocowanie, stosuje się system przesadzania: młode rośliny sadi się pomiędzy starszymi roślinami – obie rosną obok siebie przez siedem do ośmiu tygodni. Tak jak ostatnie pomidory są gotowe do zbioru na starszych roślinach, pierwsze pomidory na młodych roślinach stają się czerwone (<https://www.fridheimar.is>).

Odwiedzający Friðheimar mogą nie tylko zwiedzać szklarnie i degustować produkty, ale również z bliska poznać szczegóły tej specyficznej techniki uprawy.



Rysunek 6.6 Uprawy pomidorów oraz restauracja w szklarniach Fríðheimar w rejonie Reykholt (fotografie: <https://www.facebook.com/fridheimar>, <https://www.sapphireelmtravel.com> oraz M. Hajto, 2017 r.)

Do ogrzewania szklarni wykorzystują się energię geotermalną (<https://youtu.be/3KepmDQfEHg?t=280>). Gospodarstwo posiada swój własny odwiert geotermalny, który znajduje się 200 m od szklarni. Woda zasilająca system ciepłowniczy ma temperaturę ok. 95°C, wydajność otworu to ok. 50 l/s gorącej wody. Aby zmaksymalizować nastłonecznienie szklarni, tafle szkła mają tylko 4 mm grubości, więc potrzebna jest ogromna ilość gorącej wody – ok. 100 tys. ton rocznie. Gorąca woda, poprzez system wymienników, rozprowadzana jest systemem rurowym (ok. 25 km instalacji), którego elementy rozprowadzone są na ścianach, przy suficie, pod stolikami oraz pomiędzy roślinami (Rysunek 6.6).

Pomidory zawierają ponad 90% wody, czysta, zimna, dobrej jakości woda używana do nawadniania pochodzi z systemu wodociągowego.

Islandia posiada znaczące zasoby „zielonej” energii elektrycznej, która pochodzi z elektrowni wodnych i geotermalnych. Tania energia elektryczna wykorzystywana jest do sztucznego oświetlenia, niezbędnego do uprawy roślin przez cały rok na tak północnej szerokości geograficznej (17 godzin w zimie, a 14 w lecie). Fotosynteza jest wzmacniana dzięki wykorzystaniu dwutlenku węgla wytwarzanego z naturalnej pary geotermalnej.

Każda szklarnia jest wyposażona w komputerowy system kontroli klimatu, w tym: temperaturę, wilgotność, zawartość CO₂ i natężenie oświetlenia. Dodatkowo automatyczny system kontroli połączony jest z mieszalnikami nawozów (roztwór wody), który dozowany jest przez system rurek wprost do podłoża rośliny zgodnie z zadanym harmonogramem.

System wyposażony jest w stację pogody, która dostarcza danych dotyczących: prędkości i kierunku wiatru, temperatury i natężenia światła – zintegrowany z systemem obsługi szklarni: ogrzewania, naświetlenia i inne. Cały system zarządzany jest komputerowo i pozwala na monitorowanie zarządzanie przez Internet.

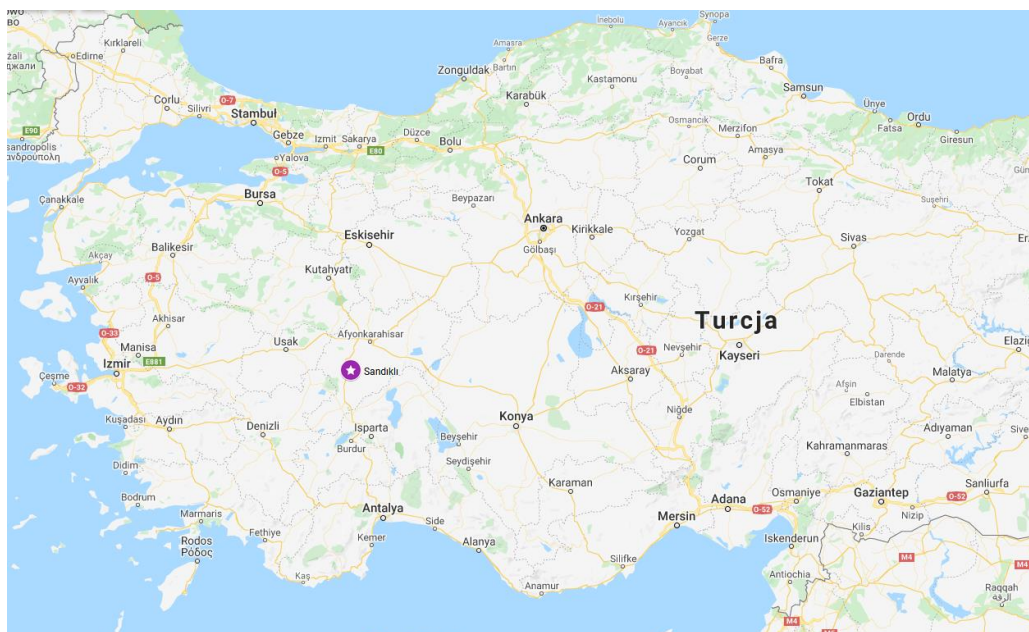
Jako ciekawostkę należy dodać, że część gastronomiczna obejmuje także niewielki browar, który umożliwia ważenie własnego piwa, w tym z wykorzystaniem hodowanych na miejscu pomidorów.

6.1.1.1.2 Turcja

Turcja jest jednym z potentatów w zakresie wykorzystanie energii geotermalnej w zakresie upraw pod osłonami. Dane opublikowane w trakcie ostatniego Światowego Kongresu Geotermalnego, który odbył się w Islandii (WGC2020+1) wskazują, że szklarnie geotermalne zajmują w Turcji 4,5 miliona m² (Mertoglu i in., 2020). W zakresie ogrzewania szklarni zainstalowana moc geotermalna wyniosła ok. 855 MW_t, a wykorzystanie ciepła oszacowano na ok. 16 178 TJ/rok (Mertoglu i in., 2020). Stanowi to aż ok. 27% całkowitego tzw. bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej (bez produkcji en. elektrycznej) w tym kraju. Dla porównania wykorzystanie ciepła w Krakowie, które dostarczane jest przez MPEC S.A. wynosi ok 10 000 TJ/rok.

W skali całego kraju ok 95% szklarni w Turcji jest wykorzystywanych do produkcji warzyw, a pozostałe do produkcji owoców. W 2018 r. w Turcji pod osłonami rocznie jest uprawianych ponad 8 mln. ton owoców i warzyw, z których 48% to pomidory, 14% ogórki, 11% arbuzy i melony, 9% to zielony pieprz, pozostałe to: bakłażany, banany i truskawki (<https://www.hortidaily.com>).

W skali całego kraju ok. 47% produkcji szklarniowej w Turcji pochodzi z rejonu Antalyi, 20% z Mersin i 12% z Adana i Mugli ok. 8 %, pozostałe to ok. 13%. Około 46% powierzchni upraw pokryte są folią, a tylko ok. 13% szkłem, pozostałe to niskie tunele i inne. Jednym z przykładów wykorzystania wód geotermalnych w uprawach warzyw pod osłonami jest projekt w miejscowości Sandikli w rejonie Afjonu (Rysunek 6.7).



Rysunek 6.7 Sandikli w rejonie Afyonu, gdzie zlokalizowano kompleks nowoczesnych szklarni o sumarycznej powierzchni ok. 104 tys m² (na podst. Google Maps)

W 25 nowoczesnych zespołach szklarni geotermalnych, o sumarycznej o powierzchni ok. 104 tys m², prowadzona jest uprawa pomidorów (<https://greencon.com.tr>).

Pomidory produkowane w szklarniach ogrzewanych wodą geotermalną w tureckim rejonie Afyon, w miejscowości Sandikli / Afyonkarahisar (w połowie drogi pom. Izmiem a Ankarą – zachodnia Anatolia).

Wykorzystanie wód geotermalnych pozwala na całoroczną produkcję pomidorów, pomimo tego, że zimą temperatury powietrza spadają nawet poniżej -25°C. Ponad 70% produkcji jest eksportowane do 10 krajów, w tym największymi odbiorcami są: Rosja, Bułgaria, Rumunia, Austria i Holandia. Produkcja roczna to ok. 100 tys. ton pomidorów. W całym powiecie jedynie w szklarnictwie zatrudnionych jest ok. 2 tys. osób (<https://ekonomi.haber7.com>). Szklarnie są ogrzewane wodą geotermalną o temperaturze od 50-55°C, a ciepła woda rozprowadzana jest poprzez sieć grzejników rurowych umieszczonych blisko podłogi oraz w obrębie roślin (Rysunek 6.8).

Epidemia Covid-19 oraz zmniejszenie produkcji w Europie spowodowała znaczny wzrost popytu na pomidory, w tym te uprawiane w szklarniach w rejonie Afyon (<https://www.trt.net.tr>).



A



B

Rysunek 6.8 Uprawa pomidorów w szklarni w rejonie Afyon, Sandikli Afyonkarahisar, Turcja. A) dolina Afyon wraz z lokalizacją szklarni (fotografie: <https://greencon.com.tr>), B) wewnątrz szklarni w miejscowości Sandikli Afyonkarahisar (zdjęcie: <https://greencon.com.tr>, <https://www.trt.net.tr>)

6.1.1.1.3 Polska - „Potencjał energii geotermalnej dla polskiego sektora ogrodnictwa szklarniowego”

W 2018 r. w konsorcjum: Wageningen University & Research Holandia, Akademia Górniczo-Hutnicza (Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska), Akademia Rolnicza w Krakowie, Blue Fifty B.V. Wageningen Holandia oraz Certhon Build B.V. Poeldijk Holandia został zrealizowany projekt naukowo-badawczy pn.: „Potencjał energii geotermalnej dla polskiego sektora ogrodnictwa szklarniowego” (<https://research.wur.nl/en/projects/smp-18001-geothermal-energy-potential-in-polish-greenhouse-sector-2>).

W ramach projektu dokonano oceny potencjału geotermalnego w rejonie Nizy Polskiego pod kątem możliwości wykorzystania ciepłych wód w szklarnictwie (Janowski, Hajto, 2018).

W wybranych obszarach perspektywicznych przeprowadzono identyfikację głównych upraw szklarniowych oraz projektowanych i planowanych inwestycji branży ogrodniczej. Zidentyfikowano sposoby wykorzystania energii cieplnej w szklarnictwie oraz zbadano zainteresowanie ewentualnym zagospodarowaniem ciepła geotermalnego ze strony potencjalnych odbiorców w miejscach charakteryzujących się znaczącym potencjałem geotermalnym.

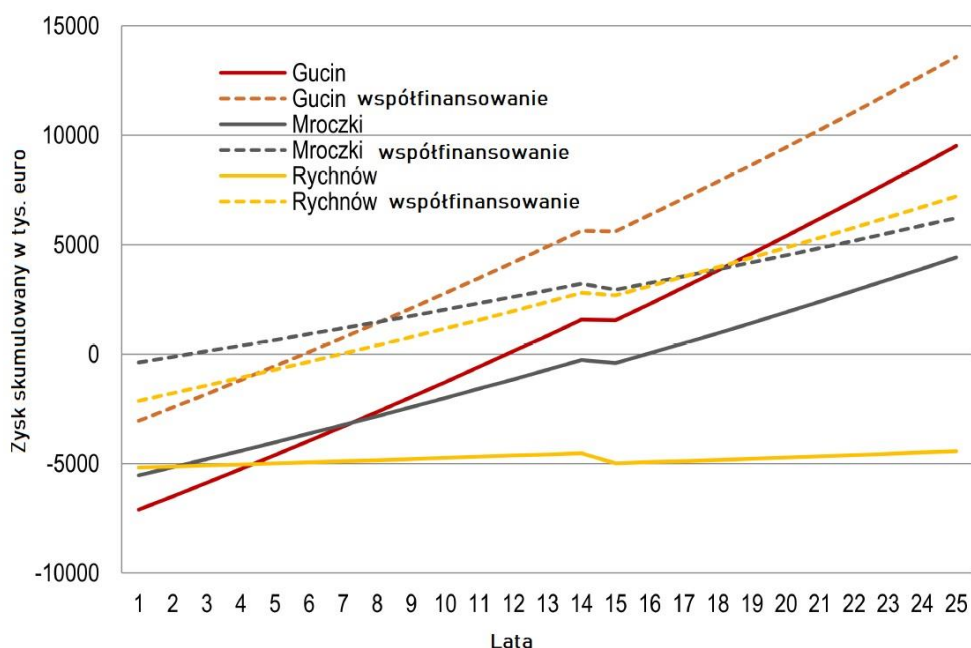
Całość przedstawiono w postaci map perspektywicznych lokalizacji. Obiekty szklarniowe pogrupowano w klastry o powierzchni uprawy pod osłonami powyżej 10 ha, z uwzględnieniem minimalnej powierzchni szklarni i maksymalnej opłacalnej odległości między szklarniami. Po weryfikacji potencjału geotermalnego dla wszystkich analizowanych 27 lokalizacji wybrano 3 najlepsze, które były przedmiotem późniejszych analiz (Janowski i in., 2018). Były to obiekty szklarniowe zlokalizowane w miejscowościach: Gucin, Mroczi Małe/Sędzimirowice oraz Rychnów. Wszystkie z powyższych znajdują się w rejonie najbardziej perspektywicznego obszaru występowania wód geotermalnych w Polsce centralnej (Łask-Kalisz) – Niecka Mogileńsko-Łódzka.

W projekcie opracowano także koncepcje systemu pozyskania ciepła geotermalnego oraz całkowity koszt inwestycji (odwiert geotermalny plus infrastruktura geotermalna), wraz z kosztami operacyjnymi. Dodatkowo opracowano koncepcję połączenia systemu geotermalnego z obecnym systemem energetycznym szklarni – dla każdej z trzech wybranych lokalizacji, wraz z określeniem całkowitych kosztów inwestycyjnych (Kurpaska i in., 2021).

Na podstawie dostępnych wieloletnich średnich wartości temperatury (uzyskanych dla miasta Kalisz) obliczono zapotrzebowanie na ciepło w okresie wegetacyjnym. Założono, że proces produkcji rozpoczyna się w połowie grudnia i trwa do połowy listopada. Założono również, że w sezonie uprawowym temperatura wewnątrz obiektu będzie wynosiła 12°C (noc) i 20°C (dzień). W okresie od połowy grudnia do końca stycznia przyjęto temperaturę nocną 14°C. W obliczeniach przyjęto, że temperatura w okresie likwidacji upraw od połowy listopada do połowy grudnia będzie wynosiła 4°C (noc) i 10°C (8:00 do 16:00).

Sumaryczne zapotrzebowanie na ciepło w skali roku, dla rozważanych szklarni wynosi 11,05 TJ (szklarnia o wysokości 4 m) lub 12,46 TJ ciepła (dla szklarni o wysokości 6 m).

Kalkulacja kosztów inwestycyjnych obejmowała projekt geologiczny dla każdej lokalizacji (445 tys. Euro) oraz budowę infrastruktury naziemnej, w tym koszty odwiertu produkcyjnego, koszty wyposażenia studni iniekcyjnej, koszty instalacji wymienników oraz koszty rurociągu geotermalnego – od 2 056 966 do 3 307 865 euro. Poniżej przedstawiono skumulowany zysk w okresie 25 lat dla poszczególnych lokalizacji oraz warianty obejmujące dofinansowanie kosztów inwestycji. Zysk obliczono jako różnica między oszczędnościami w kosztach ogrzewania geotermalnego a kosztami inwestycji.



Rysunek 6.9 Skumulowany zysk w okresie 25 lat dla trzech analizowanych lokalizacji. Źródło: *The Use of Geothermal Energy to Heating Crops under Cover*

Autorzy omawianego rozwiązania determinują ostateczną skuteczność projektu indywidualnymi warunkami ujęć geotermalnych. Straty ciepła wzrastają wprost proporcjonalnie do odległości ujęcia od obiektów szklarniowych. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że lokalizacja szklarni znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie ujęcia.

6.1.1.2 Ciepło odpadowe

Koncepcja ogrzewania obiektów szklarniowych ciepłem odpadowym nie jest nowa, na co wskazuje literatura pochodząca już z lat 80. XX wieku (Bredenbeck 1992, Manning et al. 1984, Walker i Rand 1980). Ówczesne rozwiązania skupiały się na wykorzystaniu wysokotemperaturowych zasobów ciepła odpadowego, np. ciepła odpadowego z elektrowni. Podobne pomysły były podnoszone w Polsce jeszcze w XXI wieku (<https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/76773-szklarnie-pod-opolem-skorzystaja-z-ciepła-z-elektrowni-pge>), co jest zjawiskiem pozytywnym. Podstawową jednakże trudnością jest znalezienie lokalizacji, które z jednej strony umożliwiają prowadzenie upraw pod osłonami, a z drugiej - znajdują się w pobliżu zakładów i obiektów generujących ciepło odpadowe. Przykładem takich obiektów są zakłady przetwórstwa mlecznego, serwerownie i centra obliczeniowe, zakłady produkujące wyroby z metali i szkła, jak również obiekty biurowe wymagające często chłodzenia nawet późną jesienią.

Trudno wskazać jednoznacznie sposób przekazania ciepła z obiektu chłodzonego do szklarni. W przypadku ciepła wysokotemperaturowego rozwiązania mogą być zbliżone do przyłączenia do sieci ciepłowniczej - zarówno obiekt chłodzony jak i szklarnie wyposażone muszą być w węzeł ciepłowniczy. W przypadku dostępu do ciepła odpadowego o niższych temperaturach - konieczne może być wykorzystanie pomp ciepła. Mogą one pracować z wodnym układem pośrednim (woda krążąca w sieci super niskotemperaturowej, która umożliwi zrzut nadmiarowego ciepła do sieci i jego odebranie w innym miejscu sieci) albo w układzie z bezpośrednim odparowaniem czynnika. Drugie rozwiązanie oferuje w teorii wyższą sprawność procesu, jednak mniejsza jest wówczas elastyczność rozwiązania, a odległości między obiektami - muszą być niewielkie.

6.1.1.3 Instalacje fotowoltaiczne

Szklarnie są obiektami o znacznej powierzchni, a ze swej natury - cechują się dobrą ekspozycją na słońce. Z tego względu wymagają niekiedy chłodzenia w okresie letnim. Właściciele upraw stosują różne rozwiązania w celu uniknięcia przegrzania wnętrza szklarni. Jednym z powszechniejszych jest bielenie lub matowienie szyb, dzięki czemu część światła nie dostaje się do wnętrza szklarni, a przedostające się - jest rozproszone i korzystniejsze dla niektórych upraw.

Istnieją jednak rozwiązania umożliwiające znaczące ograniczenie przezierności przeszkleń dachowych przy jednoczesnej produkcji energii elektrycznej – mowa o modułach przeziernych (double glass, bifacjalnych itp.), szybach z rozproszonymi ogniwami PV oraz szybach z powłoką fotowoltaiczną.

Wykorzystanie już zagospodarowanej powierzchni jest zgodne z założeniami zrównoważonego rozwoju, a uzyskanie lepszych warunków uprawy może przekładać się na dodatkowe zwiększenie produkcji z już i tak podwójnie wykorzystanego terenu. To założenie stało się podstawą oferty jednej z francuskich firm zajmujących się energią elektryczną (<https://www.cvegroupp.com/en/photovoltaic-solar/solar-solutions/photovoltaic-greenhouse/>). Kolejnym przykładem jest szklarnia o powierzchni 33 000 m², która świadczy nie tylko o możliwości zainstalowania fotowoltaiki na dachu szklarni, ale także o efektach synergicznych wynikających z odpowiednio zaprojektowanej inwestycji, gdyż, jak stwierdził prezes firmy Tenergy specjalizującej się w inwestycjach energetycznych związanych z rolnictwem "...szczególnie dzięki zainstalowaniu modułów fotowoltaicznych, to szyte na miarę rozwiązanie pozwala na lepsze rozproszenie światła, lepszą wentylację i bardziej jednolity rozkład temperatury" (<https://www.pv-magazine.com/2021/04/01/french-photovoltaic-greenhouse-delivers-3-1-gwh-and-4-tons-hectare-of-asparagus-in-one-year/>).

Innym tego typu przykładem jest włoska instalacja (SgROI et al. 2014) w której część dachu zamieniono na moduły fotowoltaiczne ustawione pod optymalnym kątem. Moduły chronią uprawy przed nadmiernym oświetleniem przez południowe słońce równocześnie gwarantując właścicielowi upraw zaopatrzenie we własną energię - może ona zostać przeznaczona do zasilania klimatyzatorów lub innych urządzeń albo sprzedana do sieci elektroenergetycznej. Inne rozwiązanie wykonane z myślą o terenach śródziemnomorskich zostało przedstawione w artykule o wydajnej mini szklarni z 3-kilowatową instalacją PV umieszczoną na dachu obiektu (Boccalatte et al. 2021). To kolejny przykład, w którym całą południową połąć dachu szklarni jest zastępowana instalacją fotowoltaiczną.

Częściowo przeziernie moduły zostały zastosowane w szklarni ukazanej w jednej z publikacji dotyczącej zaopatrzenia rolnictwa w energię (Bundschuh et al., 2017) – Rysunek 6.1.



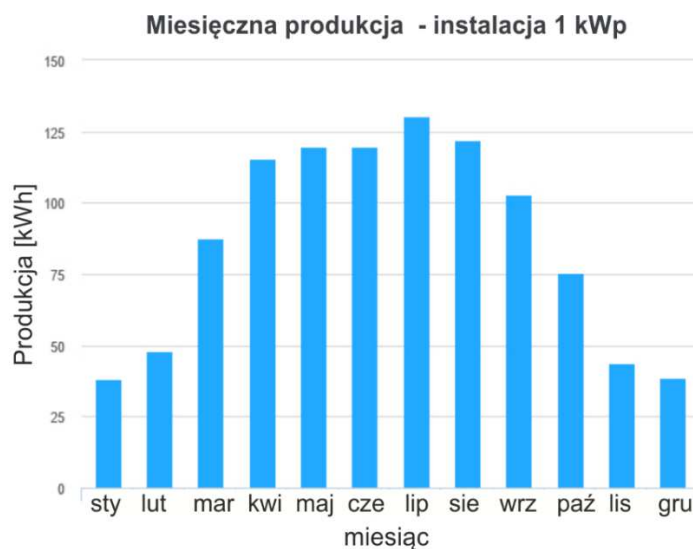
Rysunek 6.10 Uprawa w szklarni z przeziernymi modułami PV (źródło: Bundschuh et al., 2017)

W portfolio firm oferujących tego typu moduły z rozstrzelonymi ogniwami PV dostępne są z reguły moduły o różnym udziale powierzchni przeziernej, co umożliwia dostosowanie ilości przepuszczanego światła do specyficznych potrzeb planowanych upraw. Możliwe jest wówczas zastosowanie wyłącznie modułów fotowoltaicznych na wszystkich przeszkleniach o azymucie południowym, ponieważ panele nie tworzą ściany nieprzepuszczającej światła.

Kolejną możliwością, jednakże będącą w sferze wstępny badań, jest szkło z aktywną fotowoltaiczną powłoką pochłaniającą promieniowanie podczerwone i UV (<https://mlsystem.pl/q-glass-dla-budownictwa/>). Zbliżonym rozwiązaniem jest zastosowanie specyficznych modułów PV o niskiej absorpcji promieniowania, jak w szwajcarskim projekcie (<https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/105847/szwajcarzy-zamontuja-na-szklarniach-przezroczyste-panele-fotowoltaiczne>).

Wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych w celu zapewnienia ogrzewania jest wyzwaniem ze względu na brak korelacji pomiędzy zapotrzebowaniem na ciepło i dostępnymi zasobami energii pochodzącej z promieniowania słonecznego w naszych warunkach klimatycznych. Instalacji fotowoltaicznej skierowanej na południe pod uznawanym za optymalny kątem 35 stopni - według narzędzia PV GIS udostępnionego przez Joint Research Centre).

Możliwe jest ogrzewanie szklarni bezpośrednio w ciągu dnia, kiedy dostępna jest energia elektryczna z modułów PV którą można wykorzystać do zasilenia grzałki lub pompy ciepła, która przygotuje wodę do ogrzewania w nocy. Nadmiar energii – niewykorzystany latem może zostać zużytkowany przez inne obiekty w gospodarstwie lub odsprzedany do sieci elektroenergetycznej.



Rysunek 6.11 Rozkład uzysków energii elektrycznej z instalacji PV umiejscowionej w Krakowie. 1 kWp modułów PV skierowanych na południe pod kątem 35 stopni (uznawany za optymalny) (na podstawie: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP) Pompy ciepła

Rolnicy, których szklarnie nie znajdują się na terenie z udostępnionymi zasobami wód geotermalnych ani w zasięgu działania sieci ciepłowniczej, a interesuje ich odnawialne i bezobsługowe źródło ciepła mogą zastosować pompę ciepła. Pompy ciepła dostarczają energię, która w większości pochodzi z otoczenia, a 20-30% ciepła pochodzi z pracy sprężarki zasilanej energią elektryczną. Ciepło z otoczenia może być pobrane z powietrza atmosferycznego, gruntu, wód gruntowych lub powierzchniowych. Możliwe jest również wykorzystanie ciepła z chłodzenia (np. mleczarnie), oraz wentylacyjnego, jednak to wymaga specyficznej dostępności odpowiedniej infrastruktury (Marsh, Singh, 1994).

Najłatwiejszym do zastosowania rozwiązaniem są powietrzne pompy ciepła. Znalazły one uznanie w uprawach szklarniowych, zarówno w typowym wykorzystaniu powietrza zewnętrznego (przykład z Australii podają Aye i Fuller w swojej publikacji z roku 2010) oraz z wewnątrz szklarni – pozyskiwanego z przestrzeni w których występują nadwyżki energii (przykład z Korei (Yang, Rhee, 2013)). W polskich warunkach znane są przykłady powietrznych pomp ciepła wykorzystywanych całorocznie w celu zaopatrzenia w ciepło budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, w tym współpracujące z układami grzewczymi o parametrze zasilania do 65 stopni Celsjusza. Urządzenia te mogą być zatem z powodzeniem zastosowane w wielu szklarniach, a szczególnie w tych, które wymagają ogrzewania wyłącznie w okresach przejściowych. Mankamentem powietrznych pomp ciepła jest szum przepływającego powietrza, co przy większych instalacjach, zwłaszcza w terenie zabudowanym może być dyskwalifikujące dla tej technologii.

Inne źródło ciepła możliwe do wykorzystania przez pompy ciepła to grunt. Pompa ciepła może pozyskać ciepło z wymienników poziomych, kosзовych lub pionowych. Ze względu na zagospodarowanie terenu wymienniki poziome są obecnie rzadko stosowane nawet w niewielkich instalacjach przydomowych. Natomiast popularność zyskują wymienniki umieszczone w otworach wiertniczych o głębokości 100-200 metrów. Takie źródło ciepła jest polecane dla większych obiektów i zastosowań całorocznych. Wykazuje się bowiem wysoką stabilnością temperatury dolnego źródła ciepła, co przekłada się na łatwe do przewidzenia z góry koszty ogrzewania w ciągu roku. Gruntowe pompy ciepła są również ciche. Wykonanie gruntowego wymiennika ciepła wiąże się ze znaczącym kosztem, co jednak nie odstrasza inwestorów, w tym inwestorów na dużą skalę, co pokazuje przykład z Wielkiej Brytanii (<https://constructionmanagermagazine.com/photos-uks-biggest-heat-pump-system-powers-giant-greenhouses/>): 2 szklarnie o powierzchni około 150 000 m² każda, których

potencjał produkcji dochodzi do 10% krajowej uprawy pomidorów w Wielkiej Brytanii są ogrzewane pompami ciepła działającymi w ramach instalacji gruntowej okrzykniętej największym gruntowym systemem pomp ciepła w kraju.

Efektywnym energetycznie, choć rzadko spotykanym rozwiązaniem jest wykorzystanie ciepła wód gruntowych. Woda jest efektywnym nośnikiem energii, dzięki czemu ochłodzenie jej o zaledwie kilka stopni Celsjusza dostarcza istotnych porcji ciepła. W przypadku wód gruntowych o temperaturze kilkunastu stopni – do wykorzystania tego potencjału konieczne jest zastosowanie pomp ciepła, czego przykładami są rozwiązania z Chin (Chai et al. 2012), Turcji (Paskoy et al.. 2009, Paskoy et al.. 2010) oraz Holandii (Zwamborn 2021). W przypadku chłodzenia szklarni latem, można tak zorganizować pobór wody na cele grzewcze, by wykorzystywać warstwy wodonośne jako magazyn ciepła, co jest propagowane w Holandii. Warto zwrócić uwagę na możliwość zagospodarowania już istniejącej infrastruktury - ujęć wody do tej pory wykorzystywanych tylko do czerpania wody do podlewania roślin. Ujęcia te mogą być eksploatowane w większym stopniu dostarczając wodę do ogrzewania i chłodzenia. Nadal konieczne jednak będzie utworzenie miejsc zrzutu wykorzystanej energetycznie wody.

Analizowane jest w wielu miejscach (np. <https://gadzetomania.pl/pompa-ciepła-i-fotowoltaika-w-szklarni-to-rozwiazanie-dla-rolnikow,6705065524885633a> i <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/106159/pompy-ciepła-i-fotowoltaika-rozwiazaniem-dla-szklarni>) połączenie systemu fotowoltaicznego z pompą ciepła. Należy jednak zwrócić uwagę na następujące aspekty takiej złożonej instalacji. Po pierwsze, dotychczas funkcjonujący sposób rozliczania bilansowego (ang. net metering) nie będzie obejmował instalacji przyłączonych do sieci po marcu 2022 roku, co wynika z nowelizacji Ustawy o OZE. Funkcjonujące instalacje nadal będą objęte korzystnym sposobem rozliczania. Natomiast nowe instalacje będą objęte systemem rozliczenia handlowego (ang. net billing), stąd niemożliwe będzie wykorzystanie sieci elektroenergetycznej jako magazynu energii wyprodukowanej latem do wykorzystania w innych porach roku. Tak więc połączenie pomp ciepła i fotowoltaiki będzie dobrym rozwiązaniem, ale jedynie w obiektach wymagających aktywnego, precyzyjnego chłodzenia latem i ogrzewania w okresach przejściowych. Nadmiarowa produkcja latem może zostać oczywiście spożytkowana przez inne obiekty gospodarstwa lub sprzedana do sieci, jednak są to bardzo szczegółowe rozwiązania i nie sposób wskazać ogółem wszystkich odpowiednich przypadków. Tak więc fotowoltaika może stanowić wsparcie dla pomp ciepła ogrzewających uprawy na wiosnę lub jesienią, a także chłodzących je latem, jednak konieczne jest zastosowanie odpowiednich magazynów energii termalnej (uprzednio schłodzonej lub zagranej wody). Niedopuszczalny jest dobór komponentów instalacji uproszczoną metodą bilansową (<https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=3&AID=28288&CID=t1994&v=37&i=6&T=1>).

6.1.1.4 Kolektory słoneczne (PVt)

Kolektory słoneczne - podobnie jak wspomniana powyżej fotowoltaika – **większość energii produkują latem**, stąd niewielkie zastosowanie będą miały zastosowane w uprawach wymagających podgrzewania w całym okresie zimowym. Możliwe jest jednak wykorzystanie ciepła z kolektorów do podgrzania szklarni wiosną i jesienią. Próżniowe kolektory rurowe są w stanie dostarczyć ciepło również w zimie, jednak z natury rzeczy wymagają dostępu do światła, więc ich produkcja zimą będzie niewielka, niestała, zatem wystarczająca jedynie dla najmniej wymagających roślin.

Atrakcyjnym rozwiązaniem alternatywnym dla kolektorów słonecznych są moduły PVT - moduły fotowoltaiczne z dodatkowym orurowaniem i ociepleniem umożliwiającym odbiór ciepła wytworzonego w czasie pracy ogniw fotowoltaicznych. Urządzenia te oferują zatem kogenerację ciepła i energii elektrycznej przy jednorazowym wykorzystaniu określonej przestrzeni. Dla sprawnego działania wymagają stałego odbioru ciepła, co może być zapewnione w przypadku szklarni, np. dzięki

skierowaniu energii do zasobników na wodę do podlewania upraw. Podobnie jak kolektory słoneczne - oferują ciepło wiosną i jesienią, a przede wszystkim latem.

W okresie letnim, kiedy szklarnie nie wykazują zapotrzebowania na ogrzewanie należy rozważyć inne wykorzystanie produkowanego ciepła. Jedną z możliwości jest ich zastąpienie i zniwelowanie produkcji niepokrywającej się z zapotrzebowaniem. Alternatywnie ciepło może zostać skierowane do innych procesów, np., przygotowania ciepłej wody użytkowej w gospodarstwie agroturystycznym lub zagrzania wody technologicznej. Istnieje także możliwość wykorzystania kolektorów słonecznych lub PVT do zapewnienia ciepła dla sezonowego magazynu ciepła. Ciepło z niego mogłoby być wykorzystane zarówno bezpośrednio jak i z wykorzystaniem pomp ciepła. Istnieje także możliwość wygrzewania latem głębokich warstw ziemi pod uprawami tak, by migrujące ciepło docierało do nich zimą. Zarówno magazyn ciepła jak i wygrzewanie głębokich warstw gruntu wymagają szczegółowego zaprojektowania przystosowanego do sposobu użytkowania szklarni.

W przypadku upraw, które nawet latem generują zapotrzebowanie na ogrzewanie (np. nocą) możliwe jest wykorzystanie energii słońca przetworzonej do formy ciepła zmagazynowanej w buforze na gorącą wodę użytkową.

6.1.2 Zastosowanie technologii emisyjnych lokalnie

W zakres technologii emisyjnych lokalnie zaliczyć można biogazownie oraz kotły na biomasę.

W przypadku ogrzewania szklarni nadmiarowym ciepłem pochodzącym z biogazowni proces co do istoty sprowadza się do przyłączenia szklarni do nowoutworzonej sieci ciepłowniczej, z reguły wysokotemperaturowej. Szklarnia musi być zatem wyposażona w stosowny węzeł ciepłowniczy, co przy odpowiednio dobranym systemie rozprowadzenia ciepła i sterowniku ogrzewania – wyczerpuje wymagania. Operator biogazowni powinien uwzględnić brak odbioru ciepła latem, jednak korzystna dla niego będzie sama możliwość odbioru nadmiarowego ciepła w okresach, kiedy ogrzewanie budynków mieszkalnych oferuje niewielki potencjał. Biorąc pod uwagę potencjał rozwoju biogazowni rolniczych i rolniczo-utylizacyjnych, można rozważyć lokalizację takich biogazowni w bliskim sąsiedztwie gospodarstw szklarniowych. Przy takiej lokalizacji szklarnie zwiększyłyby potencjał wykorzystania ciepła z biogazowni, ponadto byłby także konsumentem stabilnie produkowanej w biogazowni energii elektrycznej. Takie lokowanie biogazowni w pobliżu gospodarstw szklarniowych tworzyłoby spółdzielnie energetyczne. Ponadto CO₂, które jest jednym ze składników biogazu mogłoby być wykorzystywane do wzbogacania powietrza w szklarniach, a także powstały poferment po odpowiednich badaniach laboratoryjnych (odnośnie zawartości substancji odżywczych i metali ciężkich) mógłby służyć szklarni w celach nawozowych. Odpady organiczne z upraw szklarniowych mogłyby służyć jako część wsadu do bioreaktora.

Celowym byłaby realizacja projektu pilotażowego w powyższym zakresie, np. w oparciu o współpracę gospodarstwa szklarniowego ze spółką, np. samorządową, która planuje budowę biogazowni utylizacyjnej (np. W celu utylizacji osadu ściekowego powstałego w komunalnych oczyszczalniach ścieków). W przypadku technologii wykorzystujących biomasę stałą możliwe jest wykorzystanie prostych lokalnych ogrzewaczy powietrza zaprezentowanych w poprzednich rozdziałach, nowoczesnych nagrzewnic powietrza lub kotłów współpracujących z istniejącymi systemami ogrzewania.

Nagrzewnice powietrza zasilane biomasą mogą stanowić alternatywę dla nagrzewnic gazowych, elektrycznych lub zasilanych gorącą wodą. Należy podkreślić, że w przypadku nowoczesnych nagrzewnic powietrza zasilanych biomasą produkty spalania – gazy odlotowe nie mieszają się z ogrzewanym powietrzem. Przykładowym rozwiązaniem jest seria nagrzewnic powietrza KIPI zasilanych pelletem (<https://kipi.pl/nagrzewnice-powietrza-ventura/>). Alternatywnie możliwe jest wykorzystanie zasobów rolniczych i opalenie nagrzewnic balotami słomy (załadunek ręczny - całe baloty)

(<https://kotlynaslome.pl/nagrzewnice-ekopal-s/>). Współczesne urządzenia z podajnikiem paliwa formowanego (pellet, zrębka, sieczka słomy) umożliwiają działanie w pełnym sterowaniu automatycznym, z rolą człowieka sprowadzoną do załadunku paliwa i usunięciu popiołu, przy czym obydwie zadania mogą zostać dodatkowo zautomatyzowane poprzez zastosowanie zasobników w formie silosów załadowywanych pneumatycznie oraz maszynowego odpopielania.

Podobne funkcje są oferowane przez kotły na biomasę, przy czym nie jest to szeroko obowiązujący standard. Istnieją bowiem kotły szczególnie predysponowane do wykorzystania w rolnictwie, przystosowane do spalania balotów słomy w całości (<https://kotlynaslome.pl/kotly-na-biomase-seria-ekopal-rm/>) wymagające załadunku ręcznego lub maszynowego, lecz nieautomatyzowanego. Kotły na biopaliwa formowane – pellet, zrębki, sieczkę słomy, a nawet ziarna zbóż nienadających się do spożycia przez ludzi i zwierzęta są seryjnie produkowanymi urządzeniami grzewczymi, które choć z reguły przeznaczone do ogrzewania pomieszczeń i hal – z powodzeniem można zastosować do ogrzewania szklarni. Tego typu instalacje znane są z literatury - zarówno w krajach o cieplejszym klimacie (Bibbiani et al. 2016), jak i zbliżonym (<https://www.host.nl/pl/case/horst-holandia/>), czy nawet chłodniejszym od polskiego (Chau et al. 2009). W artykule z roku 2009 wykazano nie tylko technologiczną gotowość urządzeń do stanowienia wyłącznego źródła ciepła dla szklarni, ale także korzyści ekonomiczne płynące z zastosowania pelletu drzewnego lub odpadów tartacznych zamiast gazu ziemnego.

Co do zasady zastąpienie kotła opalanego węglem lub miałem węglowym przez kocioł na biomasę nie wymaga modyfikacji instalacji, ponieważ urządzenia na paliwa stałe funkcjonują w zbliżonych zakresach temperatury. Atutem w przypadku spalania biomasy w kotłach wysokiej klasy jest możliwość kontrolowanego wypuszczenia spalin do przestrzeni z uprawami i podniesienie w związku z tym stężenia dwutlenku węgla. Spaliny wymagają jednak uprzedniego oczyszczenia (Chau 2009, Roy et al. 2014), a przestrzeń uprawna powinna zostać wyposażona w system ostrzegający przed niebezpiecznym dla ludzi stężeniem CO₂.

6.2 Nowe technologie w ogrzewnictwie, klimatyzacji – studium przypadku ze świata i Europy

6.2.1 Holandia

Holandia to kraj, który według zestawienia Global Innovation Index 2021 r. znajduje się w pierwszej szóstce krajów przodujących w innowacjach (WIPO, 2021). Holenderski sektor ogrodnictwa wyznacza światowe trendy, co w znacznej mierze odnosi się przede wszystkim do innowacyjnych technologii upraw szklarniowych. Holandia jest niekwestionowanym liderem na międzynarodowym rynku produkcji roślin, materiału przeznaczonego do reprodukcji roślin, kwiatów ciętych i cebulek.

Holandia jest największym eksporterem produktów rolnych w Europie i drugim na świecie po USA. W 2018 r. rolnictwo odpowiadało za ok. 22% eksportu. Szklarnie zajmują około 10 tys. ha – mniej więcej 1/3 pow. Krakowa. Pomidory, ogórki, papryka oraz kwiaty, w tym orchidee, tulipany i chryzantemy trafiają na europejskie rynki. W 2020 r. holenderski eksport produktów szklarniowych wyniósł 9,2 mld. Euro (Bloomberg, 2021). Silna pozycja jest wynikiem wysokiej intensywności upraw oraz hodowli. Głównymi klientami Holandii są Niemcy, Belgia oraz Wielka Brytania. Kraj znajduje się w centrum globalnej sieci ozdobnych drzew, cebul, kwiatów i owoców i warzyw.

Sukcesywnie wzrasta ilość gospodarstw (szklarni) gdzie do celów ogrzewania wykorzystuje się energię geotermalną, zarówno głęboką, jak i płytką. W 2018 r. w Holandii funkcjonowało 17 dubletów geotermalnych (2 otwory: eksploatacyjny i zatłaczający) – wszystkie były wykorzystywane do celów grzewczych w szklarniach (Rysunek 6.12). Produkcja ciepła wyniosła ok. 3 PJ/rok.

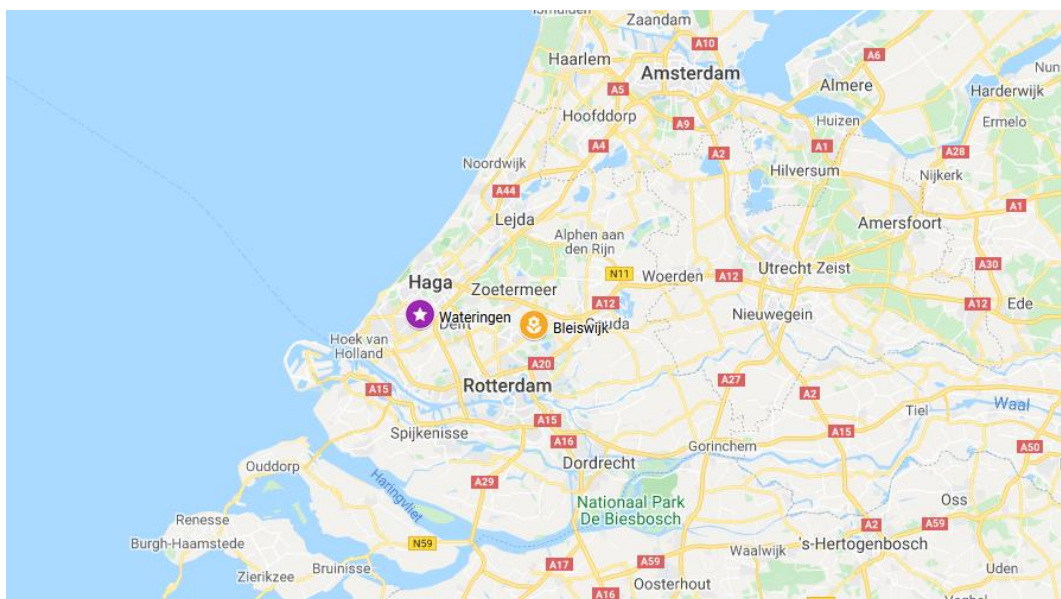


Rysunek 6.12 Lokalizacja instalacji geotermalnych (dubletów), w tym na potrzeby szklarnictwa w Holandii w roku 2018 (na podst.: McKinsey & Company, 2018, niebieskie punkty oznaczają instalacje geotermalne w szklarnictwie)

Badania potwierdzają, że do 2030 r., możliwa jest produkcja ok. 50 PJ/rok ciepła, co jest wystarczające na ogrzanie ok 700 tyś. gospodarstw. Według TNO około 700 dubletów może zapewnić lwią część (ok. 200 PJ/rok) holenderskiego zapotrzebowania na ciepło do 2050 roku (McKinsey & Company, 2018).

Holenderskie ogrodnictwo przyjęło deklarację by do roku 2040 osiągnąć status całkowitej neutralności pod względem emisji CO₂. W 2017 r. emisje CO₂ wytwarzane przez sektor oszacowano na ok. 5,7 Mton. Do 2030 r. zadeklarowano zmniejszenie emisji CO₂ do 2,2 Mton (<https://weblog.wur.eu/spotlight/emission-free-greenhouse/>).

Przewaga konkurencyjna w rolnictwie wynika przede wszystkim z innowacyjnego podejście do produkcji roślinnej i zwierzęcej. Lokalizację innowacyjnych projektów w zakresie systemów upraw szklarniowych w Holandii, miejscowości: Wieringen oraz Bleiswijk przedstawiono na [Rysunek 6.13](#).



Rysunek 6.13 Lokalizacja innowacyjnych projektów w zakresie systemów upraw szklarniowych w Holandii, miejscowości: Wateringen oraz Bleiswijk (źródło: google.com)

6.2.1.1 Holandia – projekt „Greenhouse2030: Zrównoważona uprawa z przyszłością”

Założeniem projektu realizowanego przez Uniwersytet Wageningen oraz centrum badań naukowych Greenhouse Horticulture „Greenhouse2030: Zrównoważona uprawa z przyszłością” równoważona uprawa z „przyszłością”, było zaprojektowanie systemu szklarni, której eksploatacja umożliwi zminimalizowanie emisji CO₂. Projekt łączy nowe techniki w zakresie zmniejszenia zużycia energii w uprawach szklarniowych, co realizowane jest w obrębie następujących zagadnień: ogrzewania, oświetlenia, gospodarki wodnej, sposobu nawożenia i zintegrowanej uprawy roślin.

Szklarnia *Greenhouse2030* znajduje się w Bleiswijk, w Holandii i została oddana do użytku w kwietniu 2019 roku (Greenhouse2030, 2019). Projekt był finansowany przez Ministerstwo Rolnictwa, Przyrody i Jakość Żywności (Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality), we współpracy z programem *Szklarnie jako źródło energii* („Greenhouse as a source of energy” - <https://transitiepraktijk.nl/en/experiment/example/greenhouse-as-a-source-of-energy-vision-creation-and-vision>).

Uprawiane są w niej cztery różne rośliny: truskawka, gerbera, frezja i anturium doniczkowe. Szklarnia nie wykorzystuje gazu do ogrzewania. Jest to szklarnia w pełni elektryczna, włącznie z pełnym oświetleniem LED. Do osuszania szklarni używane są **pompy ciepła**, które pozwalają również na odzysk ciepła z otoczenia. W utrzymywaniu odpowiednich warunków kluczowy jest dach izolacyjny wykonany w technologii *VenLowEnergykas* – z szybą podwójną. Powłoka niskoemisyjna umożliwia utrzymywanie niskiej wartości współczynnika przenikania ciepła U₃, a powłoka antyrefleksyjna (AR) na utrzymanie wysokiej przepuszczalności światła. Technologie te, choć kosztowne, pozwalają na oszczędność energii rzędu 50-70%.

Szklarnia nie odprowadza żadnych ścieków ani wody kondensacyjnej do kanalizacji, co zapewnia zachowanie składników odżywczych, a dodatkowo zapobiegają przedostawaniu się pozostałości środków ochrony roślin do środowiska. Do dezynfekcji wody wykorzystuje się ozon, dzięki czemu może

³ współczynnik przenikania ciepła (symbol U) – współczynnik określający przenikanie ciepła przez przegrody termiczne. Współczynnik dla powierzchni płaskiej określa ilość ciepła przenikającego przez przegrodę o jednostkowym polu powierzchni, gdy panuje między powierzchniami różnica temperatur równa jednostce temperatury. Im mniejszy jest współczynnik, tym lepsza izolacyjność cieplna przegrody. Jednostka: W/m²/K.

ona być ponownie wykorzystana w szklarni. Wnętrze szklarni ogrzewanej energią elektryczną, gdzie uprawia się truskawki przestawiono na Rysunek 6.14 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**



Rysunek 6.14 Uprawa truskawek w bezemisyjnej szklarni ogrzewanej energią elektryczną w Bleiswijk – Holandia. Automatyczny system, który unosi rzędy roślin, co pozwala zwiększyć liczbę roślin o 20% na tej samej przestrzeni) (źródło: <https://weblog.wur.eu>).

Więcej informacji: www.wur.nl/en/Research-Results.htm.

6.2.1.2 Holandia – zakład uprawy storczyków Ter Laak Orchids

Zakład uprawy storczyków *Ter Laak Orchids* wyróżnia się rozwiązaniami w zakresie efektywności energetycznej i jest przykładem tzw. dobrej praktyki dla branży szklarnianej i ogrodniczej w Europie.

W dwóch szkółkach zlokalizowanych w Wateringen w Holandii (Rysunek 6.13). uprawianych jest ok. 200 odmian storczyków (*Phalaenopsis*), które trafiają na rynek europejski. Całkowita powierzchnia upraw zajmuje 17,5 ha. Firma jest w stanie wyprodukować ok. 8 mln. roślin rocznie (<https://youtu.be/qyu7sACLiA0>).

W zakresie oszczędności energii, najnowsze osiągnięcia firmy to budowa szklarni *Daglicht Kas* (tłum. Światło Dienne) i podziemnego magazynu wody. Wysoce ekologiczna szklarnia *Daglicht Kas* ma powierzchnię 5 ha. Wyróżnia się ona 2-osiowym mechanizmem śledzenia słońca.

Specjalne soczewki w osłonie ogniskują promienie słoneczne (jedyna instalacja na świecie) na okrągłych kolektorach rurowych zawierających przepływającą wodę, która zostaje podgrzewana przez energię słoneczną i jest następnie magazynowana. Można wykorzystać to ciepło do ogrzania szklarni od razu bądź zmagazynować je do późniejszego użytku, na przykład w nocy bądź w zimie. Jest to zaawansowany technicznie system, który oszczędza firmie 45-50% energii, nie pogarszając przy tym jakości rośliny. Dodatkową zaletą konstrukcji są podwójne szyby dyfuzyjne w osłonie, które poprawiają jakość roślin.

Łącznie szklarnia posiada 3 jednostki kogeneracyjne o mocy 5,5 MW, 4 pompy ciepła, 16 warstw wodonośnych do przechowywania zimna i ciepła oraz 5 zbiorników buforowych o objętości ok. 15 500m³.

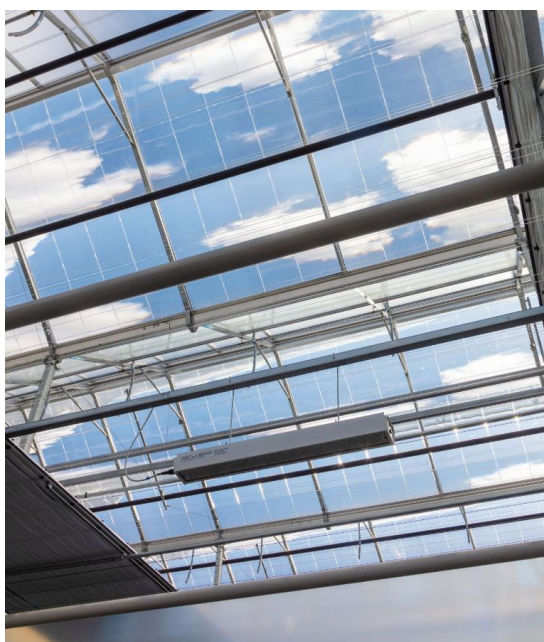
W celu oszczędności nie tylko energii, ale i wody, w 2017 roku wybudowany został podziemny magazyn pozwalający na magazynowanie w zasadzie nieograniczonej ilości wody deszczowej w

warstwie wodonośnej. Woda deszczowa może w razie potrzeby być wykorzystywana do podlewania roślin oraz chłodzenia szklarni. Działanie to pomaga także przeciwdziałać zasoleniu gleby i zapobiega lokalnym powodziom w okresach deszczowych. Firma *Ter Laak Orchids* działa w kierunku zrównoważonego rozwoju również poprzez optymalne wykorzystanie powierzchni użytkowej szklarni poprzez zagęszczenie upraw.

W szklarni stosowane jest oświetlenie LED, a wszystkie stosowane opakowania nadają się do recyklingu. Elementy systemu magazynowania energii z wykorzystaniem pomp ciepła przedstawiono na Rysunek 6.15, natomiast system pokrycia dachowego Rysunek 6.16.



Rysunek 6.15 System hydrauliki obsługujący magazynowanie energii z wykorzystaniem pomp ciepła (źródło: <https://www.certhon.com/en/projects/ter-laak>)



Rysunek 6.16 System pokrycia dachowego panelami ok. 2,60 x 1,67 wyposażonymi w soczewki Fresnela z PLEXIGLASu (źródło: <https://technokas.nl/>)

W 2018 r. firma Ter Laak Orchids uzyskała nagrodę - tytułu „Międzynarodowego Ogrodnika Roku” – International Grower of the Year (IGOTY), w konkursie organizowanym przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Producentów-Ogrodników, AIPH. W tym samym roku gospodarstwo otrzymało też nagrodę krajową – od holenderskiego Ministerstwa Ekonomii i Klimatu, za wkład w ekologiczne rozwiązania technologiczne. Wcześniej właściciele odbierali inne laury (jak „Ranking the Grower” w 2011 r.), co zapewne zachęcało ich do dalszych starań i podnoszenia poprzeczki.

Przedsiębiorstwo Ter Laak Orchids zostało ponadto wyróżnione Nagrodą Szklanego Tulipana (Glazen Tulp Award) 2021 w kategorii „Kwitnące rośliny pokojowe” – w konkursie organizowanym przez aukcję Royal FloraHolland i honorującym giełdowe nowości poprzedniego roku – za Phalaenopsis „Marvellous Pink” (<https://www.podoslonami.pl>).

Więcej informacji: www.orchidee.nl.

6.2.1.3 Holandia – projekt „Szkłarnia jako źródło energii” KAS2030 (*Kas als Energiebron*)

„Szkłarnia jako źródło energii” to wspólny projekt LTO Glaskracht Nederland i Ministerstwa Spraw Gospodarczych w Holandii, mający na celu ograniczenie zużycia energii w szklarniach i redukcję emisji dwutlenku węgla.

Dzięki współpracy pomiędzy rolnikami, dostawcami, instytucjami badawczymi i instytucjami rządowymi wdrażane są skuteczne, innowacyjne rozwiązania mające na celu zrównoważone wykorzystanie energii. Celem projektu jest wykazanie możliwości zmniejszenia emisji CO₂ sektora szklarniowego w Holandii o 2-3% rocznie, czego nie da się osiągnąć bez wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technicznych i technologicznych w zakresie poszanowania i zrównoważonego zarządzania zasobami energii. W projekcie wykorzystuje się źródło kogeneracyjne, biomasę oraz energię geotermalną (<https://youtu.be/5xKKNBONYtw>).

Jednym z największych osiągnięć projektu jest wzrost popularności modelu *Het Nieuwe Telen*, czyli uprawy nowej generacji. Model ten bazuje na uprawach niskoenergetycznych bez uszczerbku na plonach. Poprzez optymalną kontrolę upraw, w tym podstawowych parametrów, jak: temperatura, wilgotność, dozowanie CO₂, oświetlenie i badanie przesiewowe, można osiągnąć oszczędność energii rzędu 30% nawet bez konieczności dodatkowych inwestycji (https://www.kasalsenergiebron.nl/content/docs/Over_ons/Folder_Kas_als_Energiebron_in_English.pdf). Więcej informacji: www.kasalsenergiebron.nl.

6.2.2 Polska

6.2.2.1 Polska – Grupa Producentów Rozsad Krasoń

Historia Grupy Producentów Rozsad Krasoń sięga wczesnych lat 90, kiedy to właściciele gospodarstwa zajmowali się typową produkcją ogrodniczą – głównie uprawą pomidorów i chryzantem.

Profesjonalną produkcję rozsady rozpoczęto w 1997 roku. W ciągu ostatnich lat firma została unowocześniona i rozbudowana, dzięki czemu obecnie produkcja odbywa się na łącznej powierzchni 19 ha, z czego 15 ha stanowią nowoczesne obiekty szklarniowe. Marka "Krasoń" znana jest w wielu krajach europejskich, jak: Litwa, Łotwa, Estonia, Białoruś, Słowacja, Czechy. Eksport do tych krajów to ok. 30 mln sadzonek rocznie. Firma prowadzi produkcję w 3 zakładach: Piaski, Złotów i Kisiele, gdzie wykorzystuje się najnowsze osiągnięcia technologiczne i naukowe oraz wszystkie nowości firm nasiennych polskich i zagranicznych (https://youtu.be/pg5y_CINhM). Obiekt Kisiele został uruchomiony w 2019 r. Całość inwestycji obejmuje szklarnię o powierzchni 7,5 ha, kotłownię, składającą się z dwóch jednostek kogeneracji, zbiornika na wodę deszczową oraz hartownika.

W Kisielach zainstalowano jednostkę kogeneracji w oparciu o gaz ziemny, o mocy 2,7 MW do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Inwestycja była możliwa dzięki wsparciu z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014 – 2020 (wartość dofinansowania: 1 999 375 zł). Całość projektu została podzielona na dwa etapy. W pierwszym etapie wybudowano zaplecze techniczne oraz szklarnię o powierzchni 4 ha i hartownik typu SunRoof. Szacowany roczny spadek emisji gazów cieplarnianych – 7 061,22 ton równoważnika CO₂ (<http://www.krason.com.pl/projekty-t124/gpr-krason-t126>).



A



B

Rysunek 6.17 A) Nowy obiekt GPR Krason w Kisielach (fotografia: <https://www.e-warzywnictwo.pl>), B) Kotły kogeneracyjne na gaz ziemny o łącznej mocy 2,7 MW (źródło: <https://www.certhon.com>)

Szklarnia wyposażona jest w doświetlenie na poziomie 7000 lx (z możliwością regulowania natężenia światła), zalewowy system nawadniania, podgrzewaną posadzkę, system dozowania dwutlenku węgla, robot do rozstawiania tac, maszyna do cięcia selera oraz automatyczne ramiona do podlewania (<https://youtu.be/KFV24ives-4>).

6.2.2.2 Polska – JMP Flowers w Stężycy

Firma JMP Flowers Grupa Producentów Sp. z o.o. zlokalizowana jest w Stężycy, w pow. ryckim. Firma rodzinna z długimi tradycjami uprawia ponad 70 odmian róż na powierzchni 5,65 ha oraz 70 odmian anturium na powierzchni 2,7 ha, a przede wszystkim aż 200 odmian orchidei na powierzchni 10 ha (Rysunek 6.18).



Rysunek 6.18 Szklarnie firmy JMP Flowers Grupa Producentów sp z o.o. w Stężycy (fotografia: <https://www.jmpflowers.pl>)

JMP Flowers zarządza również największą w Polsce, własną hurtową siecią handlową, która posiada łącznie 15 reprezentacyjnych filii. JMP Flowers posiada także spółkę w Wiedniu, która obsługuje przede wszystkim rynek austriacki, czeski, słowacki, niemiecki i węgierski oraz spółkę w Moskwie, która rozwija sprzedaż na rosnącym rynku Federacji Rosyjskiej. Firma zatrudnia 240 pracowników z 9 krajów.

W 2019 r. otwarto nowy obiekt (<https://www.lublin.uw.gov.pl/aktualnosci/w-st%C4%99%C5%BCy-powsta%C5%82y-najnowocze%C5%9Bniejsze-szklarnie-na-%C5%9Bwiecie>). Planowano, że ogółem w szklarniach produkowanych będzie ok. 5 mln sztuk rocznie najwyższej jakości orchidei z gatunku *Phaeleonopsis*, co oznacza, że jest to największa szklarnia na świecie do produkcji orchidei w jednej lokalizacji. Firma posiada najwięcej odmian *Phalaenopsis* spośród wszystkich europejskich producentów. Wśród odmian znajdują się również te unikalne i niezwykle atrakcyjne, które można zaoferować, jako jedyny producent w Europie. W szklarniach o powierzchni 6,5 ha uprawianych jest też 70 odmian róż, a na powierzchni 1,6 ha anturium w 50 odmianach.

Gospodarstwo jest w ok. 90% samowystarczalne, jeśli chodzi o energię elektryczną. Produkuje się ją za pomocą wysokosprawnej kogeneracji (CHP). Paliwo grzewcze to gaz ziemny pochodzący z pobliskich odwiertów, które należą do PGNiG S.A. (<https://www.podoslonami.pl>). Z kolei ciepło wytwarzane podczas pracy agregatów kogeneracyjnych wykorzystywane jest do ogrzewania szklarni, a odzyskiwany ze spalin dwutlenek węgla służy do dokarmiania uprawianych roślin. Dodatkowo oszczędzaniu energii sprzyjają zbiorniki buforowe, w których gromadzona jest woda – zarówno gorąca (1,5 mln dm³), jak i zimna (2 mln dm³), używana do chłodzenia szklarni latem.

MP Flowers Power Sp. z o.o. prowadzi na podstawie koncesji Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki działalność związaną z wytwarzaniem energii elektrycznej, dystrybucją paliw gazowych, obrotem paliwami gazowymi. W ramach działalności firmy JMP Flowers Power wytwarzana jest energia elektryczna i ciepła w siedmiu źródłach o łącznej mocy 9,523 MW, każda z jednostek wytwórczych składa się z silnika tłokowego zasilanego paliwem, którym jest gaz ziemny. Silnik napędza generator trójfazowy wytwarzający energię elektryczną. Jednostki wytwórcze pracują w trzech zespołach (elektrowniach) – Rysunek 6.19.

Łączna wartość inwestycji, która była realizowana przez kilka lat w trzech etapach, wyniosła ok. 52 mln euro (<https://www.lublin.uw.gov.pl/aktualnosci/w-st%C4%99%C5%BCy-powsta%C5%82y-najnowocze%C5%9Bniejsze-szklarnie-na-%C5%9Bwiecie>).



A



B

Rysunek 6.19 A) Silnik kogeneracyjny gazowy MP Flowers Power Sp. z o.o. w Stężycy (fotografia: <https://www.jmpflowers.pl>), B) Instalacja do separacji CO₂ (fotografia: <https://www.podoslonami.pl>)

6.3 Trendy i innowacje

Nowoczesne szklarnictwo podąża w następujących kierunkach:

- Integracja i optymalizacja energetyczna systemów: ogrzewania, nawadniania, wentylacji i oświetlenia w szklarniach;
- Zwiększenie wykorzystania OZE;
- Uprawy w systemie zamkniętym;
- Automatyzacja procesów technologicznych na różnych etapach produkcji szklarniowej.

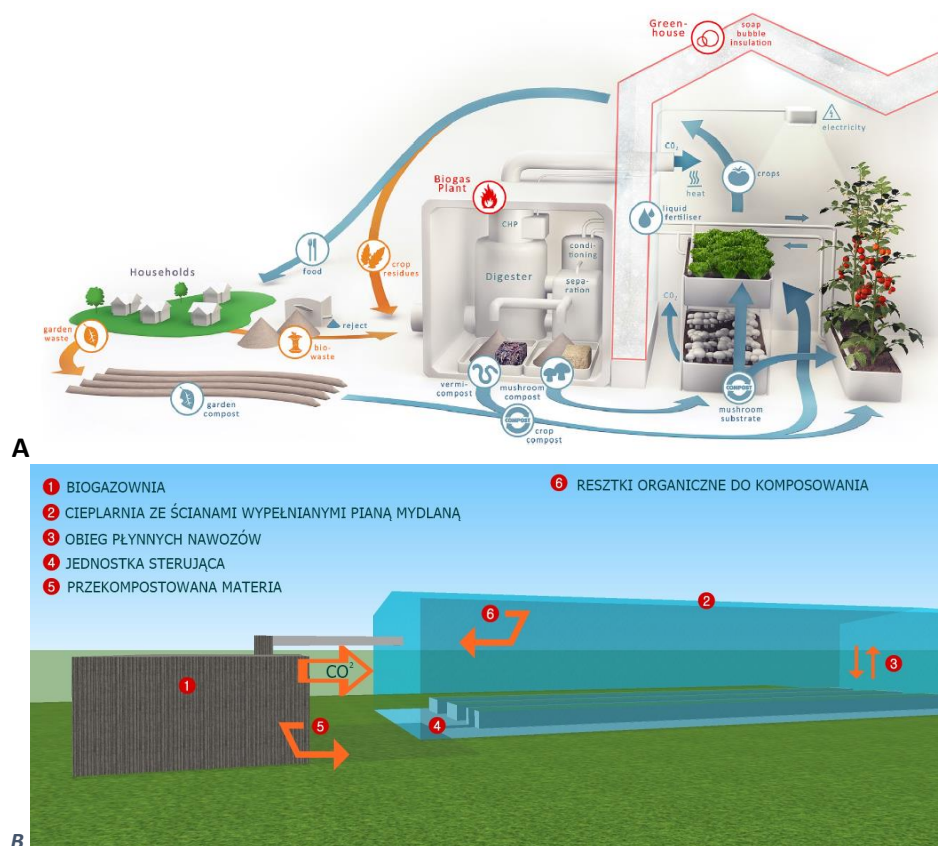
Barierą w powszechniejszym zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań jest niska świadomość oraz brak akceptacji często wysokich kosztów nowoczesnych rozwiązań.

6.3.1 Szklarnia bąbelkowa i biogazownia

Jednym z ciekawszych rozwiązań w zakresie zwiększenia efektywności energetycznej w szklarniach jest koncepcja tzw. szklarni „bąbelkowej”.

Technologia i konstrukcja szklarni jest wynikiem międzynarodowego projektu „Food to Waste to Food” (F2W2F) (tłum. Przetwarzanie odpadów na żywność) realizowanego w latach 2012-2015 przez konsorcjum: Lindum AS (Norwegia), Jacinto Environmental Solutions BV (Holandia), Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Polska) oraz BBBL Solutions AS (Norwegia). Projekt był finansowany ze środków Unii Europejskiej (<http://www.food2waste2food.eu/>).

Innowacyjny projekt „szklarni bąbelkowej” to element większego systemu, w skład którego wchodzi również: biogazownia oraz kogenerator. Połączenie tych składowych pozwoliło na otrzymanie systemu, w którym odpady organiczne są przetwarzane na żywność prawie bez emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Koncepcję systemu przedstawiono na Rysunek 6.20.



Rysunek 6.20 Koncepcja innowacyjnego systemu szklarni bąbelkowej w połączeniu z biogazownią (źródło: A) Stoknes i in., 2016; B) <http://ogrodnictwo.expert>)

Dzięki zaproponowanemu rozwiązaniu możliwe jest dostarczanie żywności przez cały rok przy zużyciu do produkcji 80% mniej energii i wody. Jednocześnie ogranicza się emisję do atmosfery CO₂ o 95%, metanu o 98%, pyłów i związków siarki o 97% (Stoknes i in., 2016).

Pomimo tego, że znaczne ilości wody wykorzystywane są do produkcji biogazu, wodę tą – po odpowiednim przygotowaniu, wykorzystuje się ponownie do fertygacji roślin. Dodatkową zaletą jest to, że zawiera ona wiele związków mineralnych.

Opracowany system ogranicza tradycyjne przetwarzanie odpadów, ponieważ są one zamieniane w podłoże do produkcji warzyw i grzybów, w formie masy pofermentacyjnej (stałej) i wysokoenergetycznego biogazu wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej w celu doświetlania szklarni. Frakcja stała służy także jako doskonały nawóz organiczny (<https://naukawpolsce.pap.pl>). Część płynna masy pofermentacyjnej jest wykorzystywana w produkcji warzyw – zastępuje nawożenie mineralne. Jednocześnie, uzyskiwane plony są porównywalne do upraw tradycyjnych (<https://n-16-5.dcs.redcdn.pl/webcache/pap-embed/iframe/48yo3vniq.html>).

Obiekt szklarni powstał na terenie Stacji doświadczalnej Marcelin UP w Poznaniu i ma powierzchnię 148 m². Ściany i dach szklarni są izolowane pianą z mydlaną (Rysunek 6.21). Piana znajduje się między dwiema ścianami (na zewnątrz szkło, wewnątrz folia). Technologia ta umożliwia izolację wnętrza obiektu od zimna lub ciepła jakie panują na zewnątrz. Ciepłarnia ma funkcję samoregulacji stopnia izolacji ścian i dachu, zależnie od pozycji słońca. Gdy nie jest to konieczne, piana jest usuwana, aby zapewnić jak najlepsze doświetlenie uprawy. Piana jest włączana i usuwana w systemie zamkniętym, dzięki czemu można ją wykorzystywać przez kilka miesięcy.

Konstrukcja szklarni bazuje na systemie modułowym – system szklarniowy typu Venlo, który umożliwia budowanie szklarni z kolejnych identycznych elementów. Ciepłarnia jest obiektem zamkniętym, którego nie ma potrzeby wietrzyć w okresach zimowych. W połączeniu z zastosowaniem lamp do doświetlania konstrukcja umożliwi całkowitą rezygnację z dodatkowego ogrzewania szklarni. Do ogrzania wnętrza wystarcza ciepło, które pochodzi z lamp do oświetlania roślin. Dodatkowo nadmiar ciepła jest gromadzony w zbiornikach buforowych i ogrzewa ciepłarnię w nocy, gdy lampy są wyłączone. Obiekt prototypu szklarni bąbelkowej przedstawiono na Rysunek 6.21.



Rysunek 6.21 Szklarnia bąbelkowa – włączanie piany w ściany (fot. Agnieszka Marczyńska, źródło: <https://www.wodr.poznan.pl/sir/aktualnosci/item/6201-innowacyjna-aktywna-cieplarnia-na-universytecie-przyrodniczym-w-poznaniu>)

W aktywnej cieplarni współczynnik przenikania ciepła przez ściany i dach jest bardzo niski ($U=0,5$ W/m^2K dla samej piany, średnio dla cieplarni z uwzględnieniem powierzchni bez piany $1,4$ W/m^2K), a w szklarniach użytkowanych obecnie $4-7$ W/m^2K (<http://www.katedrawarzywnictwa.edu.pl/F2W2F/>). Zastosowanie wyłącznie lamp do doświetlania roślin, pozwala przy $-20^{\circ}C$ na zewnątrz, utrzymać wewnątrz szklarni przez całą dobę temperaturę $+20^{\circ}C$.

Cały system, obejmujący biogazownię i aktywna cieplarnię wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, jednak nakłady te szybko się zwracają ze względu na efekt synergii. Połączenie cieplarni z biogazownią umożliwia zmniejszenie do minimum użycie nawozów mineralnych, gdyż mogą one być zastąpione masą pofermentacyjną z biogazowni. Masa ta jest bogata we wszystkie składniki mineralne potrzebne roślinom.

Dzięki biogazowni rośliny mogą mieć zawsze optymalny poziom CO_2 . Biogaz spalany w odpowiednich warunkach i przy zastosowaniu odpowiednich filtrów jest znakomitym źródłem CO_2 do dokarmiania roślin.

6.3.2 Nagrzewnice z rekuperacją powietrza

Jednym z rozwiązań dedykowanych do upraw pod osłonami są nagrzewnice, które umożliwiają nie tylko ogrzewanie, ale także osuszanie powietrza, pomagają chronić przed bakteriami, chorobami oraz grzybami. Od lat stosowane na całym świecie w ogrodnictwie i sadownictwie.

Urządzenia jest w stanie ogrzać, osuszyć powietrze w szklarni o powierzchni od 1000 do 2000 m^2 – w zależności od jej typu oraz rodzaju uprawy. Nagrzewnica wyposażona jest w system rekuperacji powietrza oraz wkład solny do osuszania i oczyszczania, który umożliwi poprawę komfortu użytkowania szklarni oraz może obniżyć koszty upraw. System może współpracować z kotłem na biomasę, w tym biomasę odpadową i agro: łupiny, łuski, brykiety, pellet, słomę, zrębki, wióry lub trociny. Do zalet systemu można zaliczyć:

- automatyczna kontrola temperatury oraz wilgotności;
- kompaktowość urządzenia zapewniająca: oczyszczanie, osuszanie i nagrzewanie powietrza w jednym urządzeniu;
- zmniejszenie ryzyka chorobami grzybowymi i pleśnią;
- relatywnie krótki okres zwrotu kosztów inwestycji (nawet 1-2 sezony).

Nagrzewnice zasilane są wodą o temperaturze $70-90^{\circ}C$, przy czym najlepsze parametry i wydajność uzyskuje się górnych granicach przedziału temperatur. System zbudowany jest z części absorbującej powietrze ze szklarni, regeneratora, w którym odbywa się suszenie powietrza i oczyszczenie go w specjalnym wymienniku z solą, po czym powietrze ponownie tłoczone jest do szklarni.

Dzięki konstrukcji, powietrze jest ciągle wykorzystywane do ogrzewania hali, podgrzewane, osuszane i oczyszczane, co eliminuje konieczność wietrzenia szklarni. Pozwala to na zwiększenie ogólnego komfortu upraw oraz poprawę efektywności ekonomicznej systemu ogrzewania szklarni, które w stosunku do tradycyjnych rozwiązań mogą przynieść znaczące, nawet 40% oszczędności (<http://www.fcc-innowacje.pl/nagrzewnice-z-rekuperacja-i-osuszaniem-powietrza>).

6.3.3 Kogeneracja w szklarniach

Systemy kogeneracji w szklarniach realizowane są zazwyczaj przy pomocy dwóch głównych elementów: silnika gazowego na gaz ziemny i generatora. Razem wytwarzają one energię elektryczną. Około 91% wytworzonej energii jest faktycznie zużywana. Wytworzona energia cieplna oraz elektryczna mogą być wykorzystane na miejscu, np. do oświetlania i ogrzewania szklarni lub tuneli.

Jednym z dobrych przykładów zastosowania układu kogeneracji są nowopowstałe szklarnie GPR Krasoń Sp. z o.o., gdzie w miejscowości Kisiele zainstalowano jednostkę kogeneracji w oparciu o gaz ziemny o mocy 2,7 MW. Inwestycja była możliwa dzięki wsparciu z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014 – 2020. Dzięki temu produkcja w zakładzie, w tym oświetlenie szklarni korzysta z własnej energii elektrycznej.

Inny przykład to wykorzystanie systemu kogeneracji w oparciu o silniki gazowe w firmie JMP Flowers w Stężycy. Instalacja CHP4 wytwarza energię elektryczną i ciepło w siedmiu źródłach o łącznej mocy 9,523 MW. Silnik napędza generator trójfazowy wytwarzający energię elektryczną. Jednostki wytwórcze pracują w trzech zespołach. W procesie spalania CHP wytwarza CO₂, który, jak to mam miejsce w instalacji JMP Flowers, poprzez system separatorów, może być wykorzystany do wspomagania upraw szklarniowych.

Innym rozwiązaniem jest produkcja energii elektrycznej oraz ciepła w systemach kogeneracyjnych, gdzie wykorzystuje się biogaz pochodzący z własnej biogazowni.

Wytworzony nośnik energii w postaci ciepła może częściowo zużywany na własne potrzeby gospodarstwa, jednak może być także sprzedawany, po konkurencyjnej cenie właścicielom sąsiadujących z biogazownią odbiorcom. Produkcja biogazu rolniczego może stać się nowym kierunkiem rozwoju dla polskich gospodarstw. Wykorzystanie biogazu powstałego w wyniku fermentacji beztlenowej biomasy może być dobrym sposobem na zagospodarowanie odpadów produkcji rolniczej, w tym produkcji pod osłonami.

6.3.4 Akumulator ciepła w szklarnictwie

Zastosowanie buforów ciepła w szklarni niesie ze sobą wiele korzyści, w tym zmniejszenie wahań temperatury w ciągu doby, co wpływa korzystnie na zwiększenie ciepła podłoża oraz bryły korzeniowej uprawianych roślin. Instalacja akumulatora ciepła powoduje redukcję wilgotności powietrza, a przez to wpływa pozytywnie na utrzymanie właściwego mikroklimatu.

Poprawienie warunków uprawy pozwala na ograniczenie środków ochrony roślin, dzięki czemu produkuje się zdrowsze warzywa. Warto wspomnieć, że bufor ciepła będzie optymalizował pracę źródła ogrzewania nawet o 95% i pozwoli na znaczne oszczędności (<http://ogrodnictwo.expert/uprawy-pod-oslona/akumulator-ciepla-w-szklarni/>).

6.3.5 Robotyzacja szklarni

W 2021 r. japońska firma INAHO Inc. (<https://en.inaho.co/>) specjalizująca się w innowacyjnych rozwiązaniach z zakresu AI oraz automatyki zaprezentowała robota, który zaprojektowano do zbioru pomidorów koktajlowych w szklarniach. Filia INAHO Europe zademonstrowało swoje rozwiązanie w Tomatoworld (<https://www.tomatoworld.nl>) – centrum informacji i edukacji ogrodniczej w Westland w Holandii (Rysunek 6.22).

Robot jest w pełni automatycznym urządzeniem do zbioru owoców pomidora. Algorytm AI identyfikuje dojrzałe owoce według koloru i rozmiaru, a następnie zbiera dojrzałe okazy. INAHO przeprowadziło wcześniej testy we współpracy z plantatorami w Japonii, co wykazało, że możliwe jest skrócenie czasu pracy ludzi o około 16%. Roboty zbierają plony w nocy, po czym w dzień robią to wykwalifikowani pracownicy.

Proces zbiorów jest w pełni programowalny, co zapewnia dostosowanie wymagań plantatorów i rynku co do wielkości, koloru owoców oraz innych parametrów (<https://youtu.be/tcfEtP130fo>).

4 ang. Combined Heat and Power – elektrociepłownia, skojarzona produkcja en. elektrycznej oraz ciepła



Rysunek 6.22 Autonomiczny robot zbierający pomidory firmy (fotografia: <http://vegetables.news>)

6.4 Ciekawostki

6.4.1 Podgrzewanie gleby piecem szamotowym

Ogrzewanie szklarni piecem to staromodny sposób na utrzymanie dodatniej temperatury. Mimo znacznego wieku jest nadal aktualny, w szczególności w niewielkich, przydomowych konstrukcjach osłon. Idea metody polega na ułożeniu długiego kanału z pieca zakopanego w ziemi, przez który przemieszczają się gorące gazy. Ogrzewają glebę, a gorący korpus pieca wypromieniowuje ciepło w powietrze (Rysunek 6.23).



Rysunek 6.23 Oryginalna konstrukcja pieca szamotowego ogrzewającego glebę (źródło: <https://buildex.techinfus.com/es/obogrevateli/dymohod-v-teplice.html>)

6.4.2 Kompostownik

Kompostowanie polega na rozkładzie substancji organicznej przez mikroorganizmy – bakterie tlenowe, nicienie, grzyby i inne. Jest to proces przetwarzania substancji w kontrolowanych warunkach w obecności tlenu (powietrza), w odpowiedniej temperaturze i wilgotności.

Produktami procesu są ciepło, CO₂ i związki amonowe przyswajalne przez rośliny (które pod wpływem bakterii nityfikacyjnych mogą zostać przekształcone w azotany). Kompost jako podłoże bogate w łatwo przyswajalne przez rośliny składniki stosowany jest jako substancja poprawiająca właściwości gleby w miejskich zieleńcach, w ogrodnictwie, rolnictwie. Aby wyżywić najbardziej aktywne mikroby, w skład materii poddanej kompostowaniu muszą wchodzić następujące składniki: węgiel, azot i tlen z powietrza oraz woda.

Kompostowanie znajduje zastosowanie w rolnictwie i ogrodnictwie, pozwalając na wykorzystanie odpadków z gospodarstw rolniczych. Kompostowanie przeprowadza się w przyrmach kompostowych. Kompost uzyskany w wyniku tego zabiegu jest nawozem organicznym. Podczas kompostowania zachodzą dwa równoległe procesy biochemiczne, a mianowicie mineralizacja i humifikacja. Istnieją dwie podstawowe metody kompostowania, wszystkie stosowane są kombinacją tych dwóch podstawowych:

- aktywna (gorąca) – pozwala na rozwój najbardziej efektywnych bakterii, zabija większość zarasków chorobotwórczych i nasion, szybko daje gotowy kompost;
- pasywna (zimna) – pozostawia się materiał, by został poddany naturalnemu, powolnemu kompostowaniu, które pozostawia mikroorganizmy chorobotwórcze i nasiona.

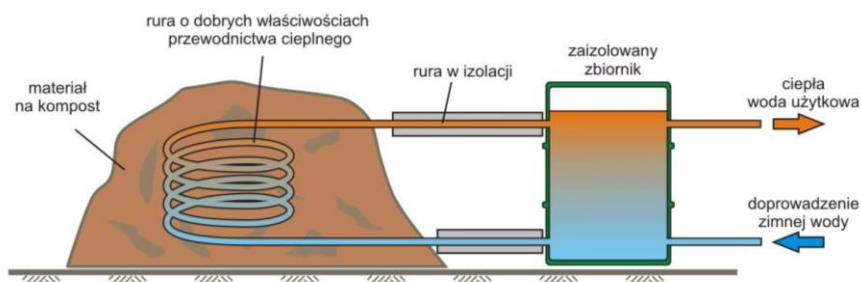
Kompostownik dzięki zachodzącym procesom egzogenicznym może być zastosowany jako źródło ciepła w uprawach pod osłonami: szklarniach, tunelach foliowych, inspektach i innych.

Może to dotyczyć zastosowania bezpośredniego – ogrzewanie gleby pod uprawami lub zastosowanie pośrednie, polegające na wykorzystaniu przyrmy kompostu do ogrzewania c.w.u.



Rysunek 6.24 Mikrokompstownik wraz z podłożem do hodowli roślin (źródło: <https://www.ruralsprout.com/heat-greenhouse>)

Metodę pośredniej opracował w 1972 r. francuz Jean Pain. System polega ona na umieszczeniu w kompoście kolektora rurowego, najlepiej w kształcie spirali dla zwiększenia powierzchni zewnętrzna wymiany ciepła. Materiał na rurę powinien zapewniać dobre przewodnictwo ciepłne (np. z dodatkiem miedzi), a zarazem odporność na korozję, wynikającą z obecności kwasów organicznych.



Rysunek 6.25 Schemat ogrzewanie szklarni kompostem (źródło: <http://www.drewnozamiastbenzyny.pl>)

Temperatura w przyźmie może wynosić 60-75°C (Olszewski i in., 2005), a minimalna niezbędna do prawidłowego przebiegu procesów wynosi 55°C. W związku z tym otrzymujemy nadwyżkę energii, która może być wykorzystana do przygotowania c.w.u. i innych celów.

Proces kompostowania nie jest skomplikowany, należy jednak pamiętać o zachowaniu pewnych reguł związanych m.in. z zakładaniem kompostownika i doбором materiału organicznego na przyźmę. Badania wskazują, że proces kompostowania zachodzi najlepiej (najszybciej i bez nadmiernych strat azotu) jeśli materiały na kompost mają stosunek węgla do azotu wynoszący 25:1 (<http://ogrodnictwo.expert/uprawy-pod-osloną/pod-oslonami-technika/ogrzewanie-szklarni-kompostem/>). Dobór optymalnego składu mieszanki kompostowej można przeprowadzić na podstawie odpowiednich tabel.

Studenci z Uniwersytetu Poznańskiego w latach 2007-2008 przeprowadzili badania możliwości wykorzystania ciepła generowanego w fazie termofilnej kompostowania do ogrzewania budynków i prezentowali wyniki na kilku sesjach naukowych. Okazuje się, że np. 80 kg kompostowanego obornika (0,2 m³) jest w stanie podgrzać dziennie 20 litrów c.w.u. przez około 2 tygodnie do temp. 35-38°C, ale następuje wtedy obniżenie temperatury kompostu średnio o ok. 15°C (<http://ogrodnictwo.expert/uprawy-pod-osloną/pod-oslonami-technika/ogrzewanie-szklarni-kompostem/>).

Powyższe rozwiązanie wykorzystujące węzownicę umieszczoną w przyźmie kompostowej może być wykorzystywane w instalacjach na małą skalę. Przemysłowe wykorzystanie procesu wymaga zastosowania bardziej wyrafinowanej technologii, w tym głównie konstrukcji kompostownika o większej kubaturze (kilku, 5-10 m³) w formie bioreaktora, który umożliwi m.in. jego zasilanie (wymianę materii organicznej) oraz napowietrzanie (wymieszanie) w celu utrzymania optymalnych warunków kompostowania (reakcji termofilnych).

Tabela 6.2 Zalety i wady ogrzewania kompostownikiem

| Zalety | Wady |
|--|--|
| efektywne ogrzewanie | znaczný koszt budowy bioreaktora |
| wzrost plonów | synchronizacja budowy bioreaktora z terminami produkcji rolnej |
| wykorzystanie odpadów z produkcji rolnej | konieczność kontrolowania przebiegu procesów w przyźmie |
| tania produkcja nawozu organicznego | |
| metoda przyjazna dla środowiska | |

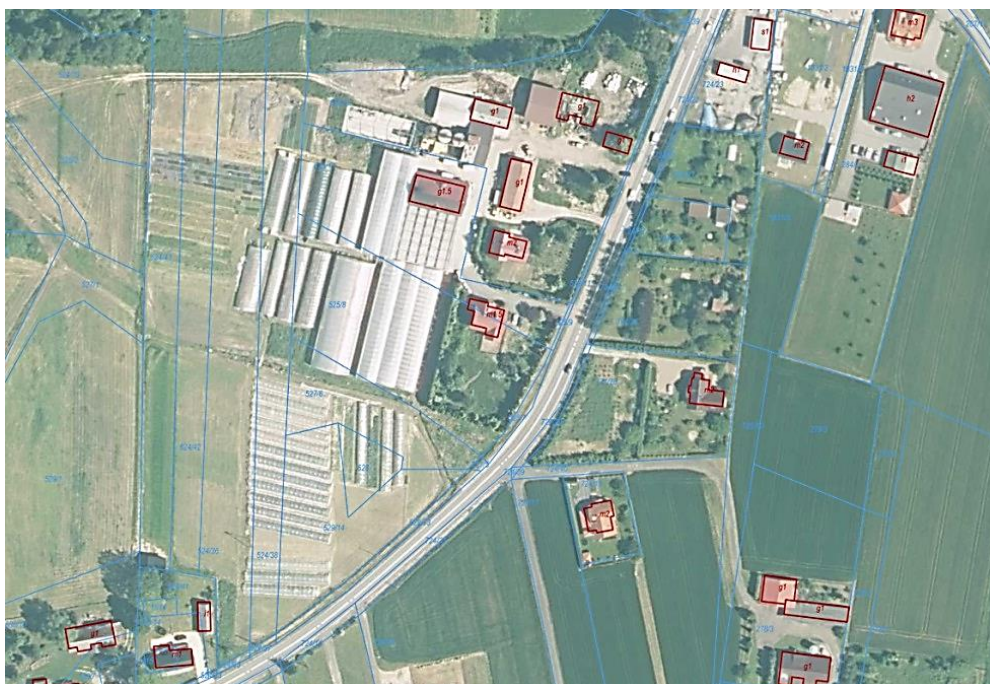
7 Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w tunelach foliowych i szklarniach

Modernizacja szklarni polega na wdrażaniu nowych rozwiązań, zarówno usprawniających pracę jak i mających bezpośredni wpływ na wzrost upraw. To także działania mające na celu poprawę wyników finansowych przedsiębiorstwa. Modernizacja poszczególnych elementów wyposażenia szklarni, może w znacznym stopniu wpływać na:

- mniejsze zużycie zasobów;
- lepszą efektywność wykorzystanych surowców;
- większy zysk;
- szybszą realizację dostaw.

Wzrosty upraw osiągnane w szklarni jednoznacznie określają wysokość zysków. Tempo wzrostu oraz jakość osiąganych plonów zależą z kolei w znacznej mierze od efektywności pracy systemów wyposażenia obiektów szklarniowych. Stabilne warunki szklarniowe wymagają dobrego systemu ogrzewania. Nowoczesne układy grzewcze pozwalają nie tylko na uzyskanie stabilnych warunków klimatycznych dla upraw, ale również zmniejszyć ilość zużywanej energii.

Omawiana koncepcja dotyczy gospodarstwa rolnego o charakterze produkcji nastawionym w głównej mierze na kwiaty donicowe. Pomniejszą produkcję w sezonie letnim obejmują m.in. pomidory, ogórki oraz sałata i inne. Zdecydowana większość upraw znajdujących się na terenie gospodarstwa realizowana była pod okryciami.

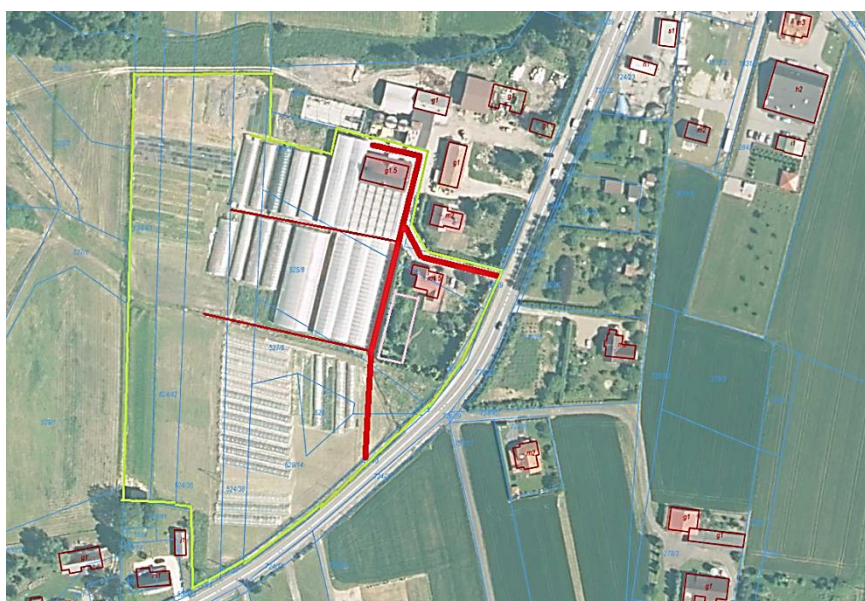


Rysunek 7.1 Ogólny widok na gospodarstwo z lotu ptaka. Zdjęcie nieaktualne. Źródło: geoportal.gov.pl



Rysunek 7.2 Połączenie sieci wodnej oraz CO pomiędzy bud. gospodarczym a domem właścicieli. Źródło: www.geoportal.gov.pl

Obecnie zmieniany jest układ komunikacyjny gospodarstwa oraz budowane jest kilka obiektów szklarniowych w miejsce dotychczas istniejących, o lepszych parametrach i większej kubaturze. W ostatnim czasie na południowy-zachód od budynku mieszkalnego stworzono obiekt szklarniowy o charakterze prezentacyjnym, służący ekspozycji towarów dla klientów. Mieści się on przy nowo powstałym ciągu komunikacyjnym.



Rysunek 7.3 Aktualny układ komunikacyjny gospodarstwa. Źródło: www.geoportal.gov.pl

Część obiektów w gospodarstwie (obiekty szklarniowe szklane) ogrzewana jest systemem wieloobwodowym c.o. w oparciu o 2 kotły o łącznej mocy 1,4 MW na miał węglowy, natomiast tunele foliowe wielonawowe powstałe w ostatnich latach ogrzewane są systemami nadmuchu ciepłego powietrza w oparciu o piece retortowe zasilane węglem kamiennym kl.3 sortyment groszek. W oparciu o zużycie paliwa oraz wywiad przeprowadzony z właścicielem obliczono, że sumaryczne zapotrzebowanie na moc grzewczą nie przekracza 1,2 MW. Ze względu na charakter upraw, poszczególne części obiektów nie są ogrzewane przez całość sezonu grzewczego.

Tabela 7.1 Powierzchnia i system ogrzewania poszczególnych obiektów na terenie analizowanego gospodarstwa

| Obiekt | Powierzchnia | Okres ogrzewania | System ogrzewania | Wymagana temperatura |
|---------------|---------------------|--|-------------------------------------|--|
| Tunel foliowy | 2460 m ² | Całoroczne, z wyłączeniem okresu letniego. | Kocioł węglowy, miał węglowy | ok. 20°C |
| Tunel foliowy | 736 m ² | Luty – Maj, Październik | Kocioł węglowy, miał węglowy | W zależności od upraw |
| Tunel foliowy | 1536 m ² | Październik – Maj | Kocioł retortowy 100 kW, ekogroszek | Październik – według potrzeb Listopad – Luty – powyżej 0°C Marzec – Maj – według potrzeb |
| Tunel foliowy | 1020 m ² | Październik, Luty – Maj | Kocioł retortowy 75 kW, ekogroszek | W zależności od upraw |
| Szklarnia | 440 m ² | Całorocznie, z wyłączeniem okresu letniego | Kocioł węglowy, miał węglowy | W zależności od upraw, w okresie największych mrozów do ok. 15°C |

Z uwagi na trendy zmierzające do odstąpienia od paliw kopalnych w produkcji ciepła dla urządzeń o małej mocy, proponuje się zamianę źródeł na alternatywne.

Zużycie paliw w gospodarstwie na cele grzewcze:

- Węgiel kamienny – miał węglowy 24MJ/kg 130-150 T/sezon grzewczy
- Węgiel kamienny „ekogroszek” – ok. 40 t/sezon

W gospodarstwie w 2019r. zamontowano dwie instalacje fotowoltaiczne. Jedna z nich znajduje się na budynku gospodarczym 19,2 kWp, druga natomiast na dachu budynku mieszkalnego o mocy przyłączeniowej 7 kWp.

7.1 Wariant 1 - Zamiana kotłów węglowych na kotły pelletowe

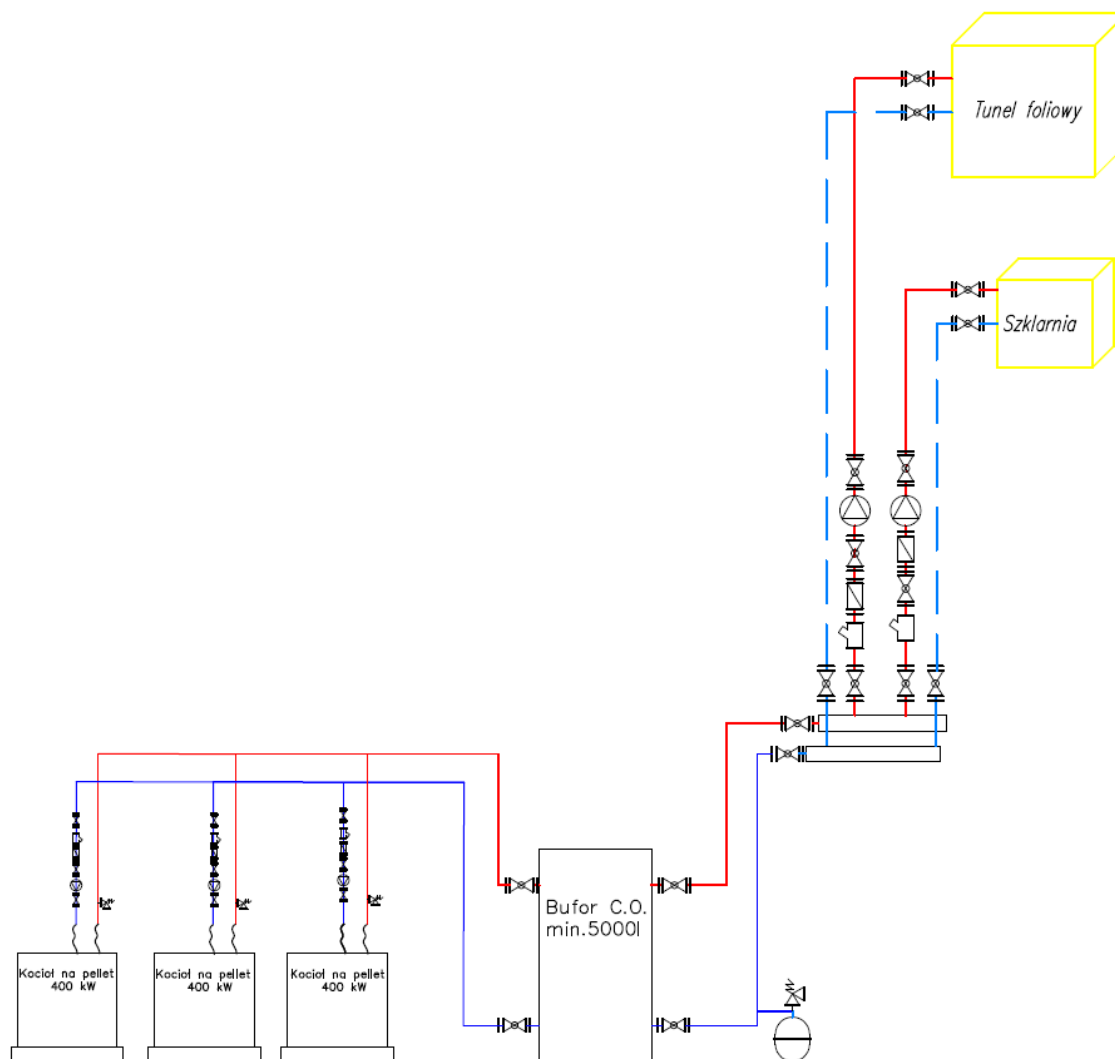
Rozpatrywaną koncepcją jest wymiana obecnych kotłów zasilanych węglem kamiennym na nowoczesne, automatyczne kotły zasilane pelletedem. Kotły na biomasę pozwolą na wytwarzanie energii potrzebnej do ogrzewania szklarni w sposób zrównoważony. Sugerowanym kierunkiem modernizacji układu c.o. (obecnie 2x700kW opalanego miałem węglowym) jest zainstalowanie kaskady trzech kotłów pelletowych o mocy 400 kW każdy. W branży grzewczej kaskada jest innowacyjnym sposobem na optymalizację wysokowydajnych urządzeń wytwarzających ciepło. Jeden kocioł o dużej mocy pracowałby nawet przy niskim zapotrzebowaniu na ciepło, przegrzewając system. Stosując przełączanie kaskadowe, można włączyć dokładnie taką liczbę kotłów, jaka jest aktualnie potrzebna, co jest regulowane przez elektroniczną automatyzację mikroprocesora. Takie rozwiązanie pozwoli na ograniczenie pracy urządzeń z mocą minimalną, co przełoży się na wyższą, całoroczną sprawność systemu, a także w znaczącym stopniu wpłynie na redukcję emisji substancji szkodliwych do atmosfery, przede wszystkim pyłu i tlenku węgla. Sprawność takich urządzeń wynosi > 88%. Obecnie właściciel gospodarstwa deklaruje, że w ciągu jednego sezonu grzewczego spalane jest ok. 150 ton miału węglowego o wartości opałowej 24 MJ/kg. Sprawność obecnie funkcjonującego systemu opartego na kotłach węglowych wynosi ok. 80%.

Tabela 7.2 Szacowane zużycie i cena paliwa w przypadku wymiany kotła węglowego na kocioł pelletowy

| Rodzaj urządzenia | Sprawność urządzenia | Paliwo | Wartość opałowa | Roczne zużycie | Cena paliwa |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|-------------|
| Kocioł węglowy | 80 % | Węgiel kamienny typu „groszek” | 24 MJ/kg | 150 ton | 97 500 zł |
| Kocioł pelletowy | 90 % | pellet drzewny | 18 MJ/kg | 180 ton | 111 600 zł |

Taka konfiguracja pozwoli nie tylko na całkowite pokrycie obecnego zapotrzebowania na ciepło obiektów, ale również w przyszłości pozwoli na rozbudowę kotłowni o dodatkowe urządzenie. Jest to korzystne rozwiązanie w kontekście rozbudowy gospodarstwa. Dodatkowo, w przypadku wykonywania prac serwisowych i konserwacyjnych, lub w przypadku awarii jednego z urządzeń, możliwa jest dalsza praca całego systemu. Instalacja powinna współpracować z buforem ciepła o pojemności min. 5 000 dm³. Zadaniem bufora jest zmagazynowanie energii wytworzonej przez kocioł lub inne źródło ciepła i wykorzystanie jej do zasilania instalacji c.o. Czynnikiem akumulacyjnym jest zazwyczaj woda kotłowa. Kotły na paliwa stałe uzyskują najlepsze efekty spalania jeżeli ich praca odbywa się w wysokich temperaturach na poziomie 70-85 °C, a proces spalania jest ciągły. Wtedy uzyskujemy najwyższą sprawność urządzeń grzewczych a emisja substancji szkodliwych do atmosfery jest najniższa. Niestety jeżeli kotły pracują zasilając bezpośrednio instalację c.o. utrzymywanie wysokich temperatur i utrzymanie ciągłości spalania jest trudne do osiągnięcia. W przypadku analizowanego obiektu, zbiornik buforowy będzie pełnił funkcję głównie regulacyjną, ze względu na dużą pojemność instalacji i stały odbiór ciepła.

W razie szczególnych wymagań producenta urządzeń wytwarzających ciepło np. odnośnie jakości wody kotłowej należy rozważyć konieczność montażu wymiennika ciepła pomiędzy istniejącym układem odbioru ciepła a źródłami.



Rysunek 7.4 Schemat instalacji z kotłami na pellet. Źródło: opracowanie własne

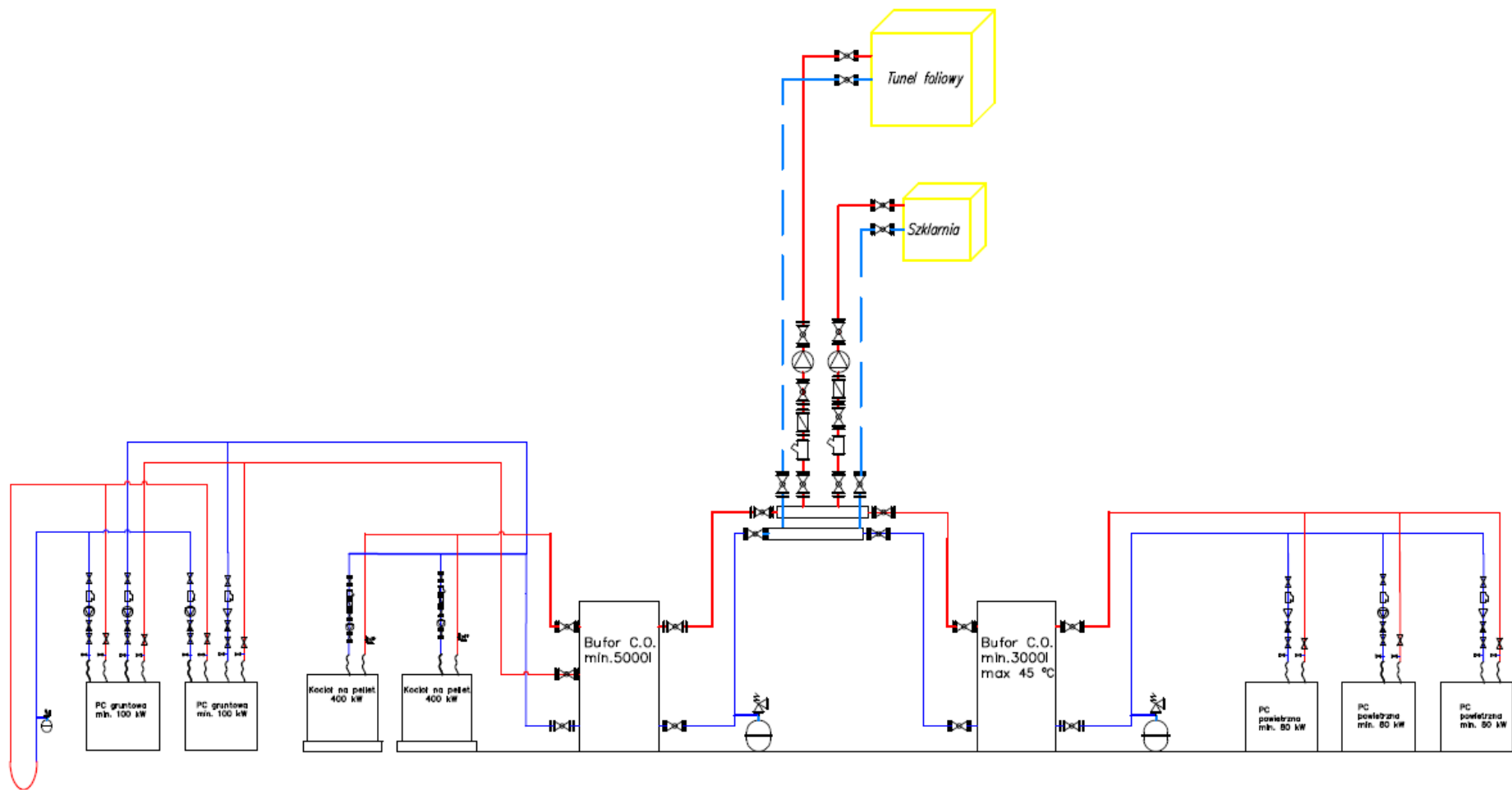
7.2 Wariant 2 - Zamiana kotłów węglowych na kotły pelletowe oraz gruntowe i powietrzne pompy ciepła

Innym możliwym do zastosowania wariantem jest instalacja hybrydowa z wykorzystaniem gruntowych i powietrznych pomp ciepła, gdzie rolę źródła szczytowego pełnić będzie kaskada kotłów pelletowych. W tym przypadku kaskada składać będzie się z dwóch urządzeń o łącznej mocy 800 kW. Pompy ciepła, działają bardzo efektywnie w ciągu całego roku, szczególnie gdy ciepło odbierane jest z gruntu, gdyż na głębokości od 15 m charakteryzuje się on stosunkowo stałą, dodatnią temperaturą, zbliżoną do średniej rocznej temperatury powietrza na danym obszarze, nawet w okresie największych mrozów. W przypadku wyższych warstw, temperatura zmienia się nieznacznie w ciągu roku, jednak w naszych warunkach klimatycznych, poniżej głębokości 1,5 m temperatura gruntu nie spada poniżej 0°C. Dodatkowo, pompy ciepła do swojej pracy wykorzystują energię elektryczną, a więc wytwarzanie ciepła w ten sposób jest bezemisyjne.

Zakłada się wykonanie kotłowni w systemie kaskadowym, działającej w oparciu o dwie gruntowe pompy ciepła o łącznej mocy 200 kW. Proponuje się wykorzystanie wysokotemperaturowych pomp, które są przystosowane do pracy w starszych instalacjach, wymagających wyższych temperatur zasilania. Jest to optymalne rozwiązanie, szczególnie w obiektach bez możliwości pełnej modernizacji instalacji grzewczej. Urządzenia te mogą pracować efektywnie, nawet przy temperaturze zasilania

równej 70°C. Do prawidłowego działania urządzeń, niezbędne jest wykonanie dolnego źródła, które zapewni odpowiednią ilość ciepła. Z doświadczenia branżowego wynika, że na każde 5 kW mocy grzewczej gruntowej pompy ciepła należy wykonać pionowy wymiennik o głębokości 100 m. W tym przypadku należy wykonać 40 odwiertów. Koszt wykonania jednego wymiennika wynosi obecnie ok. 15 000 zł. Z racji bardzo dużej powierzchni wymiennika, poziomy kolektor gruntowy nie jest brany pod uwagę jako optymalne rozwiązanie.

Dodatkowym proponowanym rozwiązaniem jest budowa kotłowni pracującej w oparciu o powietrzne pompy ciepła. Rozwiązanie to dedykowane jest przede wszystkim do niskotemperaturowych systemów grzewczych. Z tego też względu, za pomocą pomp powietrznych zakłada się możliwość zasilania dolnego systemu ogrzewania szklarni i tuneli foliowych, którego parametr wody grzewczej zwykle nie przekracza 40°C. Ze względu na niższe koszty inwestycyjne, a także niższą efektywność w ciągu roku względem gruntowych pomp ciepła, zakłada się budowę kotłowni o mocy 180 kW, pracującej w systemie kaskadowym składającym się z trzech urządzeń. System zakłada wykorzystanie dwóch zbiorników buforowych. Większy o pojemności 5 000 dm³, pełniący funkcję regulacyjną dla kaskady kotłów pelletowych i gruntowych pomp ciepła oraz drugi mniejszy o pojemności min. 3 000 dm³, przeznaczony dla kaskady pomp powietrznych.



Rysunek 7.5 Schemat instalacji z powietrznymi i gruntowymi pompami ciepła. Źródło: opracowanie własne

7.3 Szacowane koszty modernizacji źródła ciepła w analizowanym gospodarstwie upraw szklarniowych

Szacowane koszty przykładowych rozwiązań technologicznych dla szklarni przedstawiono w Tabeli 7.3.

Tabela 7.3 Szacowane koszty przykładowych rozwiązań dla szklarni

| Technologia | Wariant 1 | Wariant 2 |
|---|------------------|--|
| | Kocioł na pellet | Kocioł na pellet + gruntowa pompa ciepła + powietrzna pompa ciepła |
| Kocioł na pellet | 3 | 2 |
| Gruntowa pompa ciepła | 0 | 2 |
| Powietrzna pompa ciepła | 0 | 3 |
| Liczba urządzeń | 3 | 7 |
| Kocioł na pellet | 1,2 MW | 800 kW |
| Gruntowa pompa ciepła | 0 | 210 kW |
| Powietrzna pompa ciepła | 0 | 180 kW |
| Moc urządzeń | 1,2 MW | 1,19 MW |
| Zapotrzebowanie na ciepło na cele ogrzewania | 800 000 kWh | 800 000 kWh |
| Kocioł na pellet | 100 % | 46,64 % |
| Gruntowa pompa ciepła | 0 % | 28,76 % |
| Powietrzna pompa ciepła | 0 % | 24,6 % |
| Udział źródła | 100 % | 100 % |
| Koszty inwestycyjne | | |
| Kocioł na pellet | 540 000 zł | 360 000 zł |
| Gruntowa pompa ciepła | 0 | 240 000 zł |
| Powietrzna pompa ciepła | 0 | 330 000 zł |
| Liczba odwiertów | 0 | 20 |
| Koszt odwiertów | 0 | 300 000 zł |
| Pozostałe koszty (montaż, system automatyki, elementy wyposażenia kotłowni) | 124 500 zł | 230 000 zł |
| Koszt instalacji | 664 500 zł | 1 485 500 zł |
| Koszty eksploatacyjne | | |
| Kocioł na pellet | 800 000 kWh | 373 120 kWh |
| Gruntowa pompa ciepła | 0 | 230 080 kWh |
| Powietrzna pompa ciepła | 0 | 196 800 kWh |
| Ciepło wytworzone | 800 000 kWh | 800 000 kWh |
| Kocioł na pellet | - | - |
| Gruntowa pompa ciepła | - | 73 041 kWh |
| Powietrzna pompa ciepła | - | 9 56 552 kWh |
| Energia elektryczna | - | 129 593 kWh |
| Zapotrzebowanie na pellet | 180 ton | 83 tony |
| Roczne koszty ogrzewania | 111 600 zł | 147 359 zł |

Instalacja fotowoltaiczna

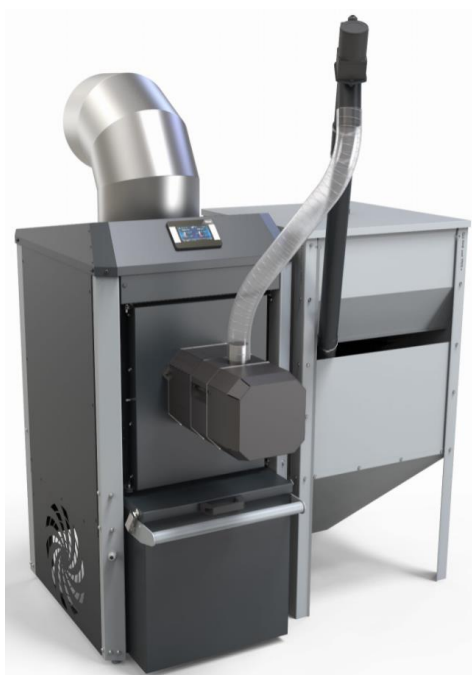
W wariantcie 2, wykorzystującym pompy ciepła jako źródło ciepła, z racji na bardzo wysokie zużycie energii elektrycznej, niezbędnej do pracy urządzeń, rozważa się wykonanie instalacji fotowoltaicznej o mocy 100 kW. Ze względu na dużą przestrzeń gospodarstwa oraz dużą powierzchnię instalacji, zaleca się zlokalizowanie małej elektrowni fotowoltaicznej na gruncie. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, wytwórca planujący wytwarzanie energii elektrycznej z instalacji o łącznej mocy większej niż 50 kW, lecz nie przekraczającej 500 kW, zwolniony jest z obowiązku koncesyjnego. Podlega wyłącznie obowiązkowi wpisu do rejestru wytwórców energii na uproszczonych zasadach. Instalacja o mocy nie przekraczającej 200 kW, przyłączona jest do sieci niskiego napięcia, a więc nie istnieje potrzeba zakupu dodatkowego transformatora.

Obecnie koszt wykonania takiej instalacji wynosi ok. 3 500 zł/kW. Okres najwyższej produkcji energii elektrycznej z paneli PV przypada na okres letni, kiedy system grzewczy pozostaje nieeksploatowany. Z tego też względu w celach analizy ekonomicznej, współczynnik autokonsumpcji przyjęto na poziomie 0,25. Ze względu na bardzo nieduży stopień pokrycia produkcji energii z jednoczesną konsumpcją energii elektrycznej przez pompy ciepła, większość energii będzie gromadzona w sieci. W Polsce, przyjmuje się, że instalacja o mocy 1 kW, w ciągu roku wyprodukuje ok. 1000 kWh energii elektrycznej.

Tabela 7.4 Szacowane koszty instalacji PV i okres zwrotu w przypadku pracy instalacji wyłącznie na potrzeby pomp ciepła

| | |
|--|--------------------|
| Zużycie energii elektrycznej na pracę pomp ciepła | 129 593 kWh |
| Moc instalacji PV | 100 kWp |
| Koszt instalacji PV | 350 000 zł |
| Roczna produkcja | 100 000 kWh |
| Współczynnik autokonsumpcji | 0,25 |
| Zapotrzebowanie na zakup energii elektrycznej po uwzględnieniu autokonsumpcji | 104 593 kWh |
| Cena z sprzedaż energii elektrycznej | 0,30 zł/kWh |
| Cena za 1 kWh energii (wg taryfy) | 0,74 zł/kWh |
| Sprzedaż energii elektrycznej | 22 500 zł/rok |
| Zakup energii elektrycznej po uwzględnieniu sprzedaży energii | 54 899 zł |
| Roczna oszczędność względem braku instalacji PV | 41 000 zł |
| Okres zwrotu instalacji | 8,5 roku |
| Roczne koszty ogrzewania | 242 053 zł |
| Okres zwrotu instalacji pomp ciepła | 33 lata |
| Okres zwrotu instalacji pomp ciepła względem wariantu 1 | 16,7 lat |

Oprócz systemu ogrzewania wodnego, ogrzewanie szklarni i tuneli foliowych, przydatnym rozwiązaniem jest stosowanie nagrzewnic powietrza. W stanie obecnym, część tuneli foliowych na terenie gospodarstwa ogrzewana jest za pomocą systemu nadmuchu punktowego, wykorzystującego nagrzewnice powietrza opalane węglem kamiennym sortymentu groszek. Jednak ze względu na nasilającą się tendencję do odchodzenia od spalania węgla oraz wysokie wartości emisji pyłu oraz tlenków azotu, sugeruje się wymianę pieców nadmuchowych na piece spalające biomasę drzewną w postaci pelletów, o równoważnej mocy znamionowej. Takie rozwiązanie zapewni optymalną ilość ciepła pozwalającą na pokrycie zapotrzebowania w okresie największych mrozów, jednocześnie pozwalając na znaczne ograniczenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery, które ma miejsce w przypadku spalania węgla. W przypadku tego rozwiązania należy jednak wziąć pod uwagę konieczność wygospodarowania pomieszczenia do przechowywania pelletu w pobliżu urządzeń.



Rysunek 7.6 Piec nadmuchowy zasilany pelletem o mocy znamionowej 100 kW. Źródło: ekosystems.pl

W wielu przypadkach możliwa jest przeróbka kotła (szczególnie w przypadku kotłów 5 klasy na węgiel kamienny) tak, aby mógł on spalać pellet. Niezależnie od rodzaju urządzenia, obecne urządzenie musi spełnić kilka wymagań technicznych, a mianowicie musi posiadać odpowiednią wielkość komory spalania, układ modulacji siły nadmuchu i podawania paliwa, kanał przepływu spalin o odpowiedniej średnicy i odporny na chemizm gazów odlotowych. Aby w obecnie eksploatowanym kotle możliwe było spalanie pelletu, konieczna jest wymiana palnika. Ważne aby dobrany palnik posiadał możliwie zbliżoną moc do parametrów urządzenia. W celu efektywniejszego wykorzystania ciepła, komorę spalania można wyłożyć szamotem oraz zastosować katalizatory ceramiczne.

Tabela 7.5 Szacowane zużycie i cena paliwa w przypadku wymiany kotła węglowego na piec pelletowy

| Rodzaj urządzenia | Sprawność urządzenia | Paliwo | Wartość opałowa | Roczne zużycie | Szacunkowa cena paliwa / rok (stan na grudzień 2021) |
|-------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|--|
| Piec nadmuchowy | 85 % | Węgiel kamienny sortyment „groszek” | 26 MJ/kg | 40 ton | 48 000 zł |
| Piec nadmuchowy | 90 % | pellet drzewny | 18 MJ/kg | 57 ton | 35 340 zł |

Tabela 7.6 Szacowane koszty modernizacji pieców nadmuchowych opalanych węglem kamiennym

| Rodzaj urządzenia | Wariant 1 | Wariant 2 |
|----------------------------------|---------------------------|---|
| | Piec nadmuchowy na pellet | Wymiana palnika na pelletowy w istniejącym urządzeniu |
| Piec nadmuchowy na pellet | 3 | 0 |
| Palnik na pellet | 0 | 3 |
| Liczba urządzeń | 3 | 3 |
| Piec nadmuchowy na pellet | 125 000 | - |
| Palnik na pellet | - | 42 000 |
| Pozostałe koszty | 10 000 | 8 000 |
| Koszt modernizacji | 135 000 | 50 000 |

Jak wynika z powyższej analizy, w przypadku modernizacji systemu ogrzewania w gospodarstwie, w oparciu o odnawialne źródła energii, najbardziej ekonomicznym z punktu widzenia inwestora jest wymiana dotychczas funkcjonujących urządzeń na urządzenia zasilane pelletem. Ze względu na wysoki udział wysokotemperaturowego ogrzewania w całkowitej strukturze ogrzewania szklarni, sezonowy współczynnik efektywności dla pomp ciepła jest stosunkowo niski, przez co koszty ogrzewania tymże źródłem plasują się na zdecydowanie wyższym poziomie niż w przypadku spalania biomasy w postaci pelletów. Z racji niskiego współczynnika autokonsumpcji i braku możliwości rozliczania energii w systemie prosumenckim, budowa małej elektrowni fotowoltaicznej jest w stanie w dużym stopniu zmniejszyć roczne koszty ogrzewania pompami ciepła, jednak okres zwrotu takiej instalacji wynosi aż 33 lata.

8 Studium przypadku– odzysk ciepła odpadowego z piekarni

W omawianym przypadku znajdują się następujące źródła ciepła odpadowego (procesowego):

- Elektryczny piec piekarniczy (emitujący ciepło do otoczenia– pomieszczenia pracowni cukierniczej w czasie swojej pracy oraz emitujący w krótkich okresach czasu dodatkową porcję ciepła z chłodzenia wypieków),
- Gazowy piec piekarniczy (emitujący ciepło do otoczenia – pomieszczenia pracowni cukierniczej w czasie swojej pracy oraz emitujący w krótkich okresach czasu dodatkową porcję ciepła z chłodzenia wypieków),
- Stanowisko chłodzenia wypieków,
- Ciepło od innych maszyn wykorzystywanych w produkcji cukierniczej.

Pracownia cukiernicza posiada centralę wentylacyjną nawiewno-wywiewną, która realizuje wymianę oraz obróbkę cieplną powietrza nawiewanego do pomieszczeń pracowni.

Najbardziej stabilne jest wykorzystanie ciepła odpadowego, wywiewanego za pomocą centrali wentylacyjnej z pomieszczeń pracowni. Schemat technologiczny proponowanego rozwiązania znajduje się na Rysunek 8.1.

Instalacja umożliwi odzysk ciepła odpadowego w przypadku wystąpienia zapotrzebowania na ciepło na cele ciepłej wody użytkowej lub centralnego ogrzewania. Wywiewane z hali produkcyjnej powietrze będzie ochłodzone o około 4K.

Zastosowanie zasobnika CWU dedykowanego do pomp ciepła z dodatkową wężownicą pozwoli na efektywne przekazywanie ciepła odpadowego pobieranego przez pompę ciepła, a jednocześnie w okresach niedoboru tego ciepła umożliwi dogrzanie ciepłej wody istniejącym kotłem gazowym. Bufor ciepła o pojemności minimum 200 litrów stanowi rolę sprzęgła hydraulicznego instalacji co.

Opis pracy systemu:

Centrala wentylacyjna pracuje na swojej nominalnej wydajności przez czas, w którym odbywa się produkcja cukiernicza w zakładzie. Nominalna wydajność centrali wentylacyjnej wynosi około 3000 m³/h. W czasie produkcji cukierniczej występuje główne zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową. Instalacja odzysku ciepła działa, gdy występuje potrzeba podgrzewania c.w.u. lub dostarczania ciepła do budynku. Wówczas powietrze wywiewane z pomieszczeń produkcyjnych jest ochładzane o kilka Kelwinów (około 4) w parowniku pompy ciepła i jest usuwane na zewnątrz budynku.

Główne komponenty odzysku ciepła to:

- monoblokowa pompa ciepła typu powietrze-woda do montażu wewnętrznego. Posiada sprężarkę z modulacją mocy. Moc grzewcza modulowana w zakresie 5,4 do 11 kW dla parametrów A10W35 (A10 – temperatura powietrza dolnego źródła, W35 – temperatura wody po stronie górnego źródła),
- Zasobnik ciepłej wody użytkowej do pomp ciepła z potrójną wężownicą o pojemności 300l,
- Bufor ciepła o pojemności 200l,
- System doprowadzenia powietrza wentylacyjnego do pompy ciepła (wraz z by-passem),
- Automatyka sterująca pracą pompy ciepła i by-passem powietrza,
- Istniejący kocioł gazowy jako dodatkowe źródło ciepła.

Analiza efektu ekologicznego:

Z wiedzy ogólnej:

- Emisja CO₂ ze spalania metanu: 1,96 kg CO₂/m³ metanu;
- Udział metanu w gazie ziemnym: minimum 97,8% (źródło: <http://pgnig.pl/dla-domu/poradnik/czym-jest-gaz-ziemny>);
- Emisja CO₂ ze spalania gazu ziemnego: 0,978*1,96 kg CO₂/m³ metanu=1,92 kg CO₂/m³ gazu ziemnego;
- Wartość opałowa gazu ziemnego: minimum 34 MJ/m³, tj. 9,44 kWh/m³. (źródło: <http://pgnig.pl/dla-domu/poradnik/czym-jest-gaz-ziemny>);
- Liczba dni pracujących w roku: 250 dni/rok.

Założenia:

W przygotowaniu c.w.u. gaz ziemny zostanie zastąpiony przez pompę ciepła odzyskującą ciepło odpadowe, zasilaną energią z instalacji fotowoltaicznej.

Emisja CO₂ dla energii produkowanej przez pompę ciepła (przy 100% wykorzystaniu energii z fotowoltaiki w systemie prosumenckim) wynosi 0 kg CO₂/kWh energii.

Zastępujemy 100% ciepła, którego wytworzenie z gazu ziemnego powodowało emisję CO₂ na poziomie 5,77 MgCO₂/rok.

Obliczenia:

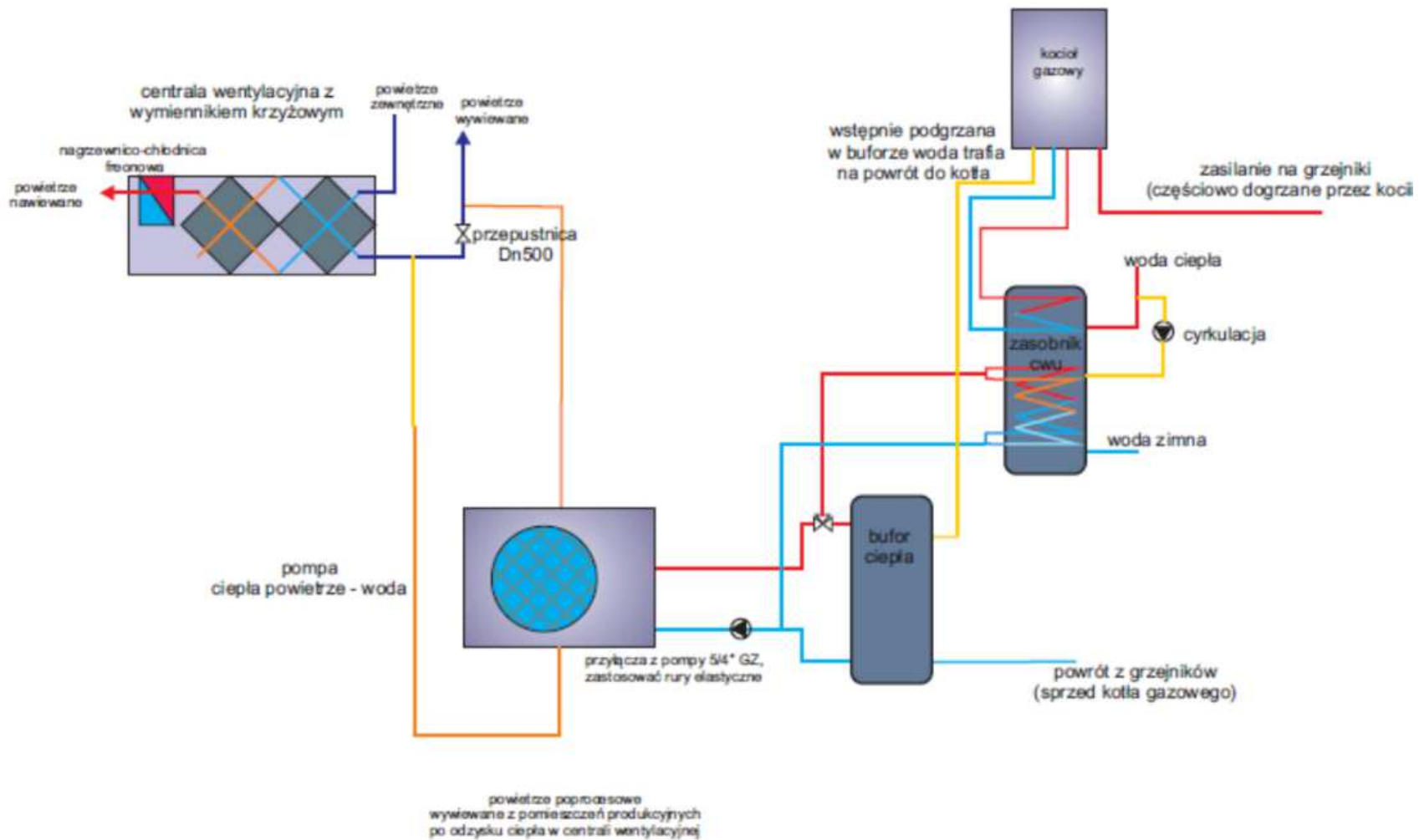
- Spalona ilość gazu ziemnego powodująca roczną emisję na poziomie 5,77 MgCO₂/rok: 3005m³/rok, co przy sprawności odzysku ciepła równej 98% daje 27 801 kWh energii rocznie.
- Przy liczbie dni pracujących w roku wynoszącej 250 dni, daje to dziennie 111 kWh energii;
- Zakładając czas pracy instalacji przygotowania c.w.u. na poziomie 16h/dobę (tylko dla dni pracujących), godzinowe zapotrzebowanie na energię do przygotowaniu c.w.u. wynosi: 6,93 kWh/h, tj. 6,9 kW;
- pompa ciepła będzie pracować na ciepłe odpadowym, co powoduje, że dolne źródło ciepła będzie posiadać stabilną temperaturę nie niższą niż 7°C. Dla takich wartości temperatury i temperatury zasilania górnego źródła ciepła wynoszącej 35°C (A7W35) moc grzewcza proponowanej pompy ciepła może być modulowana w zakresie 5,4 do 11 kW, a dla parametru A7W55 w zakresie 4,5-11 kW.

Wnioski:

- Oszczędność energii na poziomie co najmniej 17,11%;
- Redukcję emisji CO₂ na poziomie co najmniej 5,77 Mg CO₂/rok.

Szacowany koszt:

W rozważanym przypadku systemu odzysku ciepła z pompą ciepła (o mocy w zakresie 5,4 do 11 kW), zasobnikiem c.w.u. i buforem ciepła należy przyjąć koszty na poziomie 72 000 zł netto (stan na rok 2021). Dodatkowo, przy braku systemu wentylacji mechanicznej w piekarni należy doliczyć koszt centrali wentylacyjnej (o wydajności około 3000 m³/h) i systemu wentylacji na poziomie 55 000 zł netto.



Rysunek 8.1 Schemat instalacji z odzyskiem ciepła. Źródło: opracowanie własne

9 Rekomendacje i kierunki działań dla poszczególnych aktywności gospodarczych

Rekomendacje dotyczące ograniczenia emisji ze szklarni, tradycyjnych pieców chlebowych i wędzarni nawiązują do przeglądu literaturowego, dostępnych technologii oraz wizji lokalnych. Mają na celu ukazanie możliwości rozwiązań i należy je traktować jako wstępny scenariusz umożliwiający przeprowadzenie dokładnych analiz dla każdej instalacji indywidualnie.

Ważnym elementem osiągnięcia celu, jakim jest dostosowanie opisywanych branż do wymagań tzw. uchwały antysmogowej dla Małopolski, jest szerokie przeprowadzenie kampanii informacyjnej oraz stworzenie programu dofinansowań szczególnie intensywnego w odniesieniu do najmniejszych przedsiębiorstw, którym może grozić utrata rentowności oraz przedsiębiorców wpisanych na listę wyrobów tradycyjnych. Wsparcie powinno obejmować również doradztwo merytoryczne i prawne pod kątem spełnienia wymagań w tym zakresie. Nieodłącznym elementem omawianych działań są cykle szkoleń dla pracowników gmin, podobnie jak w przypadku wymiany kotłów.

Ze względu na brak doświadczeń, a tym samym dedykowanych rozwiązań technicznych ograniczających emisję i utratę energii z pieców chlebowych i wędzarni tradycyjnych, konieczne jest stworzenie instalacji pilotażowych. Instalacje te umożliwią promocję tego typu rozwiązań oraz wybór najlepszych technologii dedykowanych do omawianych instalacji. Cenne informacje eksploatacyjne zebrane przez monitoring przyczynią się do rozwoju i dostosowania technologii do spełnienia wymagań ekoprojektu.

Zasadnym wydaje się również ujednoczenie klasyfikacji źródeł ze względu na ich konstrukcję, aby wykluczyć możliwość nadużyć, które mogą prowadzić do zmiany zaklasyfikowania źródła np. komora wędzarnicza pozbawiona komina staje się otwartym paleniskiem (równie ognisku). Obiekty, w których nie ma możliwości zorganizowania emisji powinny zostać włączone do kategorii emisji nieorganizowanej, której zakazuje się w okresach o szczególnie złej jakości powietrza.

W przypadku dopuszczenia modernizacji istniejących urządzeń w celu doprowadzenia ich emisyjności do wymagań ekoprojektu (np. wymiana palników, zastosowanie odpylaczy itp.) konieczne powinno być przeprowadzenie badań potwierdzających osiągnięcie wymaganego stężenia zanieczyszczeń w spalinach lub certyfikat producenta zastosowanego urządzenia potwierdzający spełnianie takich wymagań.

Osobnym aspektem są przydomowe piece chlebowe i wędzarnie, w których proces wypieku czy wędzenia odbywa się okazjonalnie, raz w tygodniu lub nawet kilka razy w roku. Modernizacjach tych instalacji może być nieuzasadniona ekonomicznie ze względu na częstotliwość i czas użytkowania. W takich przypadkach zaleca się zastosowanie elektrofiltrów (w przypadku piecy chlebowych) oraz szeroką kampanię informacyjną na temat stosowania paliwa standaryzowanego o odpowiedniej wilgotności. Należy także rozważyć rezygnację z tych aktywności podczas ogłoszonych stopni zagrożenia zanieczyszczeniem powietrza, ponieważ w szczególności w te dni nie powinno się wykonywać czynności pogarszających dodatkowo stan powietrza. Jest to niskokosztowe działanie przyczyniające się do ograniczenia emisji oraz wzrostu świadomości ekologicznej.

Podsumowując całość opracowania można wyróżnić następujące kierunki działań.

9.1 Tunele i szklarnie do produkcji rolnej

- 1) Dążenie do zmniejszenia strat energetycznych w obiektach szklarniowych poprzez ich modernizację oraz wymianę na nowoczesne o podwyższonej termoizolacyjności.

Rozwiązania technologiczne przyjazne środowisku to maksymalne ograniczenie strat ciepła poprzez zastosowanie materiałów o właściwościach hermetycznych oraz termoizolacyjnych. Przekłada się to na energooszczędność oraz na łatwość w sterowaniu klimatem wewnętrznym. Możliwa oszczędność energii na podstawie przykładów m.in. z Holandii wynosi 50-70%. Przykładem rozwiązań jest piana do samoregulacji stopnia izolacji ścian szklarni w zależności od pozycji słońca tzw. folia bąbelkowa testowana na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu, dach izolacyjny z szybą podwójną oraz powłoka niskoemisyjna umożliwiająca utrzymanie niskiej wartości współczynnika przenikania ciepła i powłoki antyrefleksyjnej na utrzymanie wysokiej przepuszczalności światła. Popularne i dostępne na rynku są również kurtyny termoizolacyjne. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię skutkuje w praktyce zastosowaniem źródła ogrzewania o mniejszej mocy lub całkowitej rezygnacji ze źródła w zależności od rodzaju upraw i charakteryzującego ją okresu wegetacyjnego. Dodatkowo należy pamiętać o modernizacji budynków gospodarczych przylegających do obiektów szklarniowych.

- 2) Stosowanie układów pomiarowych i kontroli klimatu wewnątrz szklarni w celu zachowania minimalnych bezpiecznych temperatur w okresie zimowym (bez przegrzewania obiektów) przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnych parametrów dla produkcji.

Precyzyjne sterowanie systemami ogrzewania, wentylacji, nawadniania umożliwia spełnienie minimalnych wymagań roślin niezbędnych do ich prawidłowego wzrostu, co gwarantuje minimalne zużycie energii. Wpływa to na oszczędności eksploatacyjne - mniejsza zużycie energii, a tym samym zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do powietrza.

- 3) Stosowanie układów odzysku ciepła z instalacji grzewczych w celu maksymalizacji sprawności układów szczytowych.

Gazy odlotowe (spaliny) odprowadzane do atmosfery posiadają wysoki potencjał energetyczny. Zastosowanie wymienników ciepła odzyskujących ciepło odpadowe wpływają na podwyższenie sprawności układów grzewczych. Energię tą można wykorzystać np. do c.w.u. bądź c.o. w zależności od potrzeb.

- 4) Stosowanie źródeł ciepła połączonych w układy kaskadowe w celu eliminacji pracy źródeł przy niskich obciążeniach (często prowadzi to do wysokich emisji szczególnie CO bądź przyspieszonego zużycia źródła ciepła).

Niektóre źródła ciepła posiadają wyraźne optimum pracy – przy określonej mocy, zbliżonej do mocy nominalnej, osiągają najwyższe sprawności i emitują najmniej zanieczyszczeń. Praca przy niskiej mocy dla dużych źródeł opalanych paliwami stałymi prowadzi do problemów eksploatacyjnych i nadmiernej emisji spalin. Z tego względu zaleca się demontaż mało obciążanych źródeł o dużej mocy i zastąpienie ich kilkoma jednostkami o mniejszej mocy włączanymi kaskadowo w zależności od potrzeb.

- 5) Wykorzystanie instalacji OZE

W celu zaspokojenia całości lub części potrzeb energetycznych obiektów (indywidualnie dla każdego przypadku) można zastosować montaż pomp ciepła, instalacji fotowoltaicznych, wykorzystanie biogazu bądź biomasy. W obiektach szklarniowych istnieje możliwość zastosowania szerokiego spektrum produkcji energii ze źródeł odnawialnych począwszy od wymiany kotłów

węglowych na kotły na biomasę drzewną lub pompy ciepła, co zostało zobrazowane dla konkretnego przypadku wraz z uwzględnieniem kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w rozdziale 7. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie paneli fotowoltaicznych o odpowiedniej przezierności jako element konstrukcji szklarni (rozdział 6.1.1.3) oraz wykorzystanie biogazowni (rozdział 6.1.2 oraz 6.3.1), która częściowo może być zasilana odpadami z produkcji upraw.

Stosowanie urządzeń, które nie powodują emisji „in situ” korzystne jest dla regionów ze szczególnym narażeniem na złą jakość powietrza atmosferycznego.

6) Poprawa efektywności energetycznej małych obiektów szklarniowych

Wiele obiektów to wytwór własny właścicieli o nieodpowiedniej konstrukcji i niskiej efektywności energetycznej. Poprawienie parametrów termoizolacyjnych, szczelności powietrznej oraz zastosowanie profesjonalnych systemów wentylacji i ogrzewania umożliwi lepsze wykorzystanie ciepła dostarczonego do upraw. W małych uprawach niekorzystna jest relacja powierzchni przegród zewnętrznych do objętości obiektu (wysoki współczynnik A/V), co przyczynia się do zwiększonych strat ciepła. Zaleca się wspieranie rolników w agregacji ich upraw w większe obiekty, przy utrzymaniu bezpieczeństwa sanitarnego upraw.

7) Właściwa kontrola wilgotności w obiektach

Właściwe nawodnienie roślin przyczynia się do odpowiedniego ich wzrostu, a równocześnie – nieodpowiednia wilgotność powietrza sprzyja rozwojowi chorób i ogólnej złej kondycji roślin. Równocześnie z energetycznego punktu widzenia, wilgotne powietrze wymaga większych nakładów energetycznych do ogrzania obiektów z uprawami (woda na odparowanie pobiera znaczne ilości energii). Pojawiająca się zbyt wysoka wilgotność powietrza wymusza intensywne przewietrzanie, przez co zwiększają się straty energii. Nadto, wilgoć skraplająca się na przegrodach zewnętrznych wpływa negatywnie na ich przezierność. Zaleca się stosowanie precyzyjnych systemów nawadniania, skoordynowanych z systemem ogrzewania i wentylacji przez stosowanie sterowników – komputerów klimatycznych.

8) Stosowanie źródeł ciepła o wysokiej sprawności energetycznej i niskiej emisji gazów odlotowych, w tym spełniające wymogi ekoprojektu.

Źródła ciepła do wykorzystania w szklarni opisano w rozdziale 3.1. Należy zauważyć, że są to typowe źródła ciepła – często stosowane w układach c.o. (z wyłączeniem nagrzewnic powietrza). Rynek oferuje szeroki asortyment tych urządzeń spełniających wymagania ekoprojektu dla różnych nośników energii (kotły na paliwa stałe, pompy ciepła, grzałki elektryczne itp.).

9) Popularyzacja instalacji dozowania CO₂ w obiektach pracujących w sezonie zimowym.

W celu zmniejszenia przewietrzania obiektu w okresie zimowym oraz ograniczenia strat energii ulatującej na zewnątrz obiektów zaleca się stosowanie dozowników CO₂, potrzebnego roślinom do prawidłowego wzrostu, bez wpuszczania do wnętrza powietrza atmosferycznego wymagającego ogrzania. Na rynku dostępne są urządzenia dobrane do różnej wielkości upraw.

Stosowanie takiego urządzenia opisano w sprawozdaniu z wizji lokalnej (rozdział 4.1)

10) Eliminacja akumulacyjnych pieców grzewczych oraz kotłów węglowych pozaklasowych.

Na wizjach lokalnych, w szczególności u najmniejszych wytwórców, zaobserwowano stosowanie instalacji „chałupniczych”, w których wprowadzenie zmian technologicznych poprawiających wskaźniki emisji zanieczyszczeń nie jest uzasadnione ekonomicznie.

Zaleca się wymianę tego rodzaju źródeł na kotły spełniające wymagania ekoprojektu.

9.2 Piece do tradycyjnego wypieku chleba

- 1) Wprowadzenie układów oczyszczania gazów odlotowych dla źródeł, w których jest to możliwe do zastosowania.

Podstawowym elementem jest system odpylania ograniczający emisję pyłu. Warto połączyć instalacje z układem odzysku ciepła, gdyż spaliny odprowadzane do atmosfery w tych instalacjach mają wysoką temperaturę. W celu ograniczenia ilości CO i LZO uwalnianych do atmosfery zaleca się zainstalowanie systemów dopalania spalin, jednak w przypadku części tego rodzaju rozwiązań technologicznych będzie to miało negatywny wpływ na koszt produkcji.

W małych piecach chlebowych, w których wypiek odbywa się na potrzeby własne gospodarstwa domowego istnieje możliwość redukcji emisji pyłów w elektrofiltrach (Rozdział 5), jednakże możliwość instalacji elektrofiltru należy dobrać indywidualnie dla każdej instalacji.

- 2) Zastosowanie źródeł ciepła o niskiej emisji gazów odlotowych.

Zmiana palników, jeśli źródło obecnie jest eksploatowane przy użyciu palników nie spełniających wymogów odnośnie emisji, umożliwi znaczące zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Całe urządzenie może pozostać w niezmienionej formie, a modernizacja samego palnika pozwala na osiągnięcie wymagań stawianych przez ekoprojekt przy niskich kosztach (w porównaniu do wymiany całego pieca).

- 3) Zmniejszenie energochłonności pieców piekarniczych poprzez modernizację i wymianę na nowsze konstrukcje.

Możliwe modernizacje pieców piekarniczych zostały przedstawione w rozdziale 5.2.

W przypadku niektórych konstrukcji takie modyfikacje są niemożliwe do wykonania (piece piekarnicze ze wspólną komorą paleniskowo-wypiekową). Zasadność wprowadzenia modyfikacji powinna być rozpatrywana indywidualnie i generalnie sprowadza się do zmniejszenia masy akumulacyjnej pieca oraz odpowiedniej izolacji termicznej wykonanej z wełny mineralnej.

- 4) Stosowanie systemów odzysku ciepła gazów w celu poprawy efektywności energetycznej procesów i zaspokojenia potrzeb przedsiębiorców w c.o., c.w.u.

Gazy odlotowe (spaliny) odprowadzane do atmosfery posiadają wysoki potencjał energetyczny. Zastosowanie wymienników ciepła odzyskujących ciepło odpadowe wpływa na podwyższenie sprawności układów grzewczych. Energię tą można wykorzystać np. do c.w.u. bądź c.o. w zależności od potrzeb. Przykład takiego rozwiązania wraz z kosztami przedstawiono w rozdziale 8 - Studium przypadku – odzysk ciepła odpadowego z piekarni.

- 5) Stosowanie układów pomiarowych i kontroli procesu spalania w celu optymalizacji procesów wygrzewania pieców i niespalania nadmiernych ilości paliwa.

Skutecznym środkiem służącym ograniczeniu zużycia energii w piecach piekarniczych jest wyposażenie urządzeń w cyfrowe kontrolery temperatury z precyzyjnym jej pomiarem we wnętrzu komory piekarniczej. W urządzeniach ze wspólną komorą paleniskowo-wypiekową dobrą, choć trudną do osiągnięcia praktyką, jest prowadzenie procesu spalania od góry (mała wysokość przy dużej powierzchni nie sprzyja równomiernemu spalaniu paliwa w stosie).

- 6) Stosowanie paliwa standaryzowanego o odpowiedniej wilgotności i wysokiej wartości opałowej.

Spalanie paliw wysokiej jakości przyczynia się do ograniczenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Odpowiedni rozmiar polan (grubość max. 7-8 cm) oraz ich właściwe rozmieszczenie w komorze pozytywnie wpływa na proces spalania. Krytycznym momentem procesu jest moment rozpalania, w czasie którego emitowane jest najwięcej szkodliwych zanieczyszczeń. Zalecane jest etapowe prowadzenie procesu spalania tak, aby w momencie rozpalania w komorze paleniskowej nie znajdowała się nadmierna ilość paliwa. Zbyt duży załadunek powoduje intensywne odgazowanie części lotnych zawartych w paliwie, które ze względu na zbyt niską temperaturę w komorze spalania nie ulegają dopaleni. Ponadto, wysoka wilgotność paliwa nie sprzyja efektywnemu procesowi spalania.

9.3 Tradycyjne wędzarnie

- 1) Wprowadzenie układów oczyszczania gazów odlotowych dla źródeł, w których jest to możliwe do zastosowania.

Gazy odlotowe z procesów wędzarniczych charakteryzują się problematyczną do oczyszczenia zawartością. Z punktu widzenia procesowego należy stosować wieloetapowe systemy oczyszczania gazów odlotowych ze względu na zawartości węglowodorów i CO konieczne jest stosowanie systemów dopalania katalitycznych lub termicznych. Ważnym elementem jest jednocześnie system odpylania ograniczający emisję pyłu. Warto połączyć instalacje z układem odzysku ciepła, gdyż spaliny za systemami dopalania mają wysoką temperaturę.

- 2) Wyłączenie części wytwórców wyrobów tradycyjnych z przepisów

Niniejsze opracowanie wskazuje na brak możliwości dostosowania się niektórych instalacji do wymagań ekoprojektu, a tym samym do przepisów uchwały antysmogowej, ale jednocześnie emisja z tych instalacji znacznie przekracza standardy dla urządzeń ekoprojektu i może stanowić uciążliwe lokalne źródło zanieczyszczenia. Zasadnym jest zmiana przepisów na poziomie krajowym, która wprowadzi dla tych instalacji instrumenty nadzoru przy jednoczesnym wyłączeniu z przepisów uchwał antysmogowych. Zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (POŚ) i jej art. 96, tzw. uchwały antysmogowe podejmowane przez sejmiki województw, nie mają zastosowania do instalacji, dla których wymagane jest uzyskanie pozwolenia zintegrowanego albo pozwolenia na wprowadzanie gazów lub pyłów do powietrza, albo dokonanie zgłoszenia. Objęcie takich instalacji obowiązkiem zgłoszenia lub innej formy wpisu do ewidencji we właściwej gminie mogłoby być powiązane z wyłączeniem z wymagań przepisów antysmogowych.

Tradycyjne instalacje wędzarnicze znajdują się często na terenach niezurbanizowanych. Przy tym często zajmują się produkcją wyrobów wpisanych na listę wyrobów tradycyjnych, co ma wysoką wartość kulturową. Brak możliwości dostosowania się do przepisów może skutkować brakiem możliwości użytkowania tych instalacji.

- 3) Propagowanie dobrych nawyków oraz technik wędzenia pozwalających na ograniczenie powstawania szkodliwych substancji w trakcie realizacji procesu.

Proces wędzarniczy powinien być tak prowadzony, aby nie dopuścić do palenia się tłuszczu (dotyczy to konstrukcji instalacji oraz sposobu użytkowania). Do innych praktyk zaliczyć można niespalanie nadmiernych ilości paliwa oraz możliwie wysokie obciążenie komory wędzarniczej (maksymalny załadunek wędlin), co przełoży się na zmniejszenie ogólnej emisji z danej instalacji. W tym zakresie zaleca się przeprowadzenie kampanii informacyjnej dla producentów.

- 4) Stosowanie systemów odzysku ciepła z palenisk oraz za układami oczyszczania gazów odlotowych, jeśli zastosowano w celu poprawy efektywności energetycznej procesów i zaspokojenia potrzeb przedsiębiorców w c.o., c.w.u..

Gazy odlotowe (spaliny) odprowadzane do atmosfery posiadają wysoki potencjał energetyczny. Zastosowanie wymienników ciepła odzyskujących ciepło odpadowe wpływają na podwyższenie sprawności układów grzewczych. Energię tą można wykorzystać np. do c.w.u. bądź c.o. w zależności od potrzeb.

Spis rysunków

| | | |
|--------------|--|----|
| Rysunek 1.1 | Ograniczenia obowiązujące na mocy wprowadzonych Uchwał antysmogowych, stan na luty 2021 (źródło: Materiały Projektu LIFE-MAPPING/PL - Uchwały Antysmogowe w Polsce - Aktualizacja) | 18 |
| Rysunek 2.1 | Odpowiedzi na ankiety przesłane do gmin. Opracowanie własne..... | 20 |
| Rysunek 2.2 | Wykres pudełkowy –rozkład liczebności szklarni o określonej powierzchni. Opracowanie własne..... | 21 |
| Rysunek 2.3 | Wykres pudełkowy – rozkład liczebności szklarni o określonej powierzchni (zakres 5-95% obiektów z pominięciem skrajnych przypadków), opracowanie własne | 21 |
| Rysunek 2.4 | Rozmieszczenie upraw pod osłonami na terenie województwa małopolskiego, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych | 22 |
| Rysunek 2.5 | Ilość upraw pod osłonami w gminach w województwie małopolskim, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych, opracowanie własne | 22 |
| Rysunek 2.6 | Wykres powierzchni i liczby szklarni w gminach w województwie małopolskim, opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Ogólnotopograficznych..... | 23 |
| Rysunek 2.7 | Powierzchnia upraw pod osłonami w gminach w województwie małopolskim, opracowywanie własne na podstawie ankiet przesłanych do gmin | 24 |
| Rysunek 2.8 | Rodzaj paliwa stosowanego do ogrzewania szklarni na podstawie ankiet przesłanych do gmin, opracowywanie własne na podstawie ankiet przesłanych do gmin | 25 |
| Rysunek 3.1 | Przekroje ław fundamentowych. Ławy o przekroju: a) prostokątnym, b) trapezowym, c) schodkowym. ława p przekroju Źródło: https://www.locja.pl | 30 |
| Rysunek 3.2 | Typy osłon: A) tunel foliowy (źródło: http://ogrodnictwo.expert/uprawy-pod-oslonami/pod-oslonami-technika/systemy-szklarni-i-tuneli-foliowych-dobor-oslony-do-gatunku-i-sposobu-uprawy), B) szklarnia typu Venlo (gospodarstwo szklarniowe w Porębie Spytkowskiej k. Brzeska - https://www.ogrodinfo.pl/szklarnie-tunele-oslony/gospodarstwo-szklarniowe-w-porebie-spytkowskiej) | 31 |
| Rysunek 3.3 | Uproszczona klasyfikacja systemów ogrzewania szklarni (PC – pompy ciepła). Źródło: opracowanie własne..... | 32 |
| Rysunek 3.4 | Systemy rozprowadzenia ciepła w szklarniach (grafika na podst.: Both, 2019)..... | 35 |
| Rysunek 3.5 | Holenderskie kotły opalane miałem o mocy ok. 5 MW (źródło: A) http://fhcrone.nl , B) http://www.boetersbkc.nl) | 37 |
| Rysunek 3.6 | Nagrzewnice gazowe (https://www.szklarnia24.pl/220782025/systemy-grzewcze-w-szklarniach-i-tunelach-foliowych,p2072615083)..... | 37 |
| Rysunek 3.7 | Piec nadmuchowy i nagrzewnice powietrza z nawiewem dolnym "down-flow" – pozioma. A) jednostka centralna, B) system rozprowadzenia ogrzanego powietrza (źródło: https://www.tecnoclima.pl) | 38 |
| Rysunek 3.8 | Przykładowe rozwiązanie systemu ogrzewania szklarni w oparciu o kocioł gazowy. A) instalacja wodna (źródło: https://buildex.techinfus.com), B) gazowa nagrzewnica powietrza (źródło: https://k-bausysteme.com)..... | 38 |
| Rysunek 3.9 | Przykładowy kocioł na lekki olej opałowy znanej firmy niemieckiej (źródło: https://www.technika-szklarniowa.pl) | 39 |
| Rysunek 3.10 | Przykładowy kocioł na mazut (źródło: https://www.technika-szklarniowa.pl) | 40 |
| Rysunek 3.11 | Piec kanadyjski typu Buleryana do ogrzania szklarni – uprawa kwiatów (źródło: https://en-n.decorexpro.com)..... | 41 |

| | | |
|---------------|--|----|
| Rysunek 3.12 | Kocioł na biomasę znanego producenta (sprawność ok 87%) z układem kondensacji pracujący w gospodarstwie szklarniowym w miejscowości Międzybłocie w Wielkopolsce (źródło: https://www.warzywa.pl/technika/jak-obnizyc-koszty-ogrzewania-upraw-szklarniowych/) | 42 |
| Rysunek 3.13 | Nagrzewnica na brykiet lub pellet (moc 70 kW) z rekuperacją i osuszaniem powietrza (http://www.fcc-innowacje.pl/nagrzewnice-z-rekuperacja-i-osuszaniem-powietrza) | 43 |
| Rysunek 3.14 | Schemat wymiany energii w modelowej szklarni (na podst.: Both, 2019 - zmodyfikowany) | 47 |
| Rysunek 3.15. | Podział terytorium Polski na strefy klimatyczne (na podst.: PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego)..... | 49 |
| Rysunek 3.16 | Schematyczne przedstawienie pieców na paliwo stałe: A - z pośrednim przekazaniem ciepła do komory piekarniczej, B - z półpośrednim przekazaniem ciepła do komory piekarniczej (Manhiça et al. 2012) | 51 |
| Rysunek 3.17 | Komora automatyczna wędzarniczo-parzelnicza. Komora wędzarnicza tradycyjna. Źródło: opracowanie własne | 53 |
| Rysunek 3.18 | Podział zasadniczy wędlin mięsnych na grupy technologiczne wg PN-A-82007:1996. „Przetwory mięsne. Wędliny” | 54 |
| Rysunek 3.19 | Wędzenie serów tradycyjnych w bacówce. Palenisko znajduje się bezpośrednio w komorze wędzarniczej. Źródło: https://www.tasteaway.pl/ | 55 |
| Rysunek 3.20 | Polana drewna drzew owocowych przechowywane na potrzeby wędzenia metodą tradycyjną. Wiórki drzewne wykorzystywane przy użyciu generatora dymu wędzarniczego. Źródło: opracowanie własne | 57 |
| Rysunek 4.1 | Uprawa kwiatów donicowych szklarni. Źródło: opracowanie własne | 59 |
| Rysunek 4.2 | Uprawa kwiatów w szklarni. Rzosady umieszczono przy powierzchni gruntu, kwiaty starsze wiszą na konstrukcjach metalowych u góry. Źródło: opracowanie własne | 60 |
| Rysunek 4.3 | Wymienniki boczne w obiekcie szklarniowym. Źródło: opracowanie własne | 60 |
| Rysunek 4.4 | Nagrzewnica nadmuchowa w pobliżu ciągu komunikacyjnego. Źródło: opracowanie własne | 61 |
| Rysunek 4.5 | System nadmuchu ciepłego powietrza w obiekcie szklarniowym wielonawowym. Źródło: opracowanie własne | 62 |
| Rysunek 4.6 | Wymiennik dolny około gruntowy oraz system nawadniania kropelkowego. Źródło: opracowanie własne | 62 |
| Rysunek 4.7 | Widok na piec CO zasilany miałem węglowym o mocy około 500kW. Źródło: opracowanie własne | 63 |
| Rysunek 4.8 | Przykładowy system ogrzewania nadmuchowego tzw. „własnej konstrukcji”. Źródła: opracowanie własne | 64 |
| Rysunek 4.9 | Tunel foliowy wolnostojący. Bardzo popularne i tanie rozwiązanie do upraw pod przykryciem w produkcji warzyw. Tego typu rozwiązania są demontowane co roku. Źródło: opracowanie własne | 64 |
| Rysunek 4.10 | Emisja z kotłowni szklarni zasilanej węglem kamiennym w pogodny dzień. Źródło: opracowanie własne | 65 |
| Rysunek 4.11 | Wnętrze szklarni wolnostojącej jednonawowej. Źródło: opracowanie własne | 65 |
| Rysunek 4.12 | Tunel wielonawowy produkcji polskiej. Widoczny system ogrzewania nadmuchowego wraz z emitorem oraz rynny odprowadzające deszczówkę. Źródło: opracowanie własne | 66 |
| Rysunek 4.13 | Późnojesienne zbiory sałaty i kalarep. Uprawa w tunelu foliowym. Źródło: opracowanie własne | 66 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Rysunek 4.14 | Akumulacyjno-radiacyjne urządzenia ogrzewcze szklarni starego typu. Tego typu urządzeń jest nadal całkiem sporo, szczególnie u gospodarzy produkujących na małą skalę. Źródło: opracowanie własne | 67 |
| Rysunek 4.15 | Widok górnej części akumulacyjnego pieca ogrzewczego w szklarni. Źródło: opracowanie własne | 67 |
| Rysunek 4.16 | Po lewej stronie widok na urządzenie ogrzewcze nadmuchowe własnej produkcji. Długi przewód odprowadzający gazy odlotowe dodatkowo odzyskuje ciepło. Po prawej stronie zgromadzone paliwo na okres zimowy. Źródło: opracowanie własne..... | 68 |
| Rysunek 4.17 | Wnętrze szklarni wielonawowej. Uprawa kwiatów ciętych (róże). Źródło: opracowanie własne | 68 |
| Rysunek 4.18 | Kotłownia o dużej mocy zasilana miksem paliw w postaci oleju opałowego i gazu. Uprawa kwiatów ciętych (róże). Źródło: opracowanie własne | 69 |
| Rysunek 4.19 | System nawadniania oraz system ogrzewania wegetatywnego i dolnego w uprawie róż. Źródło: opracowanie własne..... | 69 |
| Rysunek 4.20 | Obraz ekranu komputera klimatycznego nadzorującego funkcjonowanie szklarni. Źródło: opracowanie własne..... | 70 |
| Rysunek 4.21 | System dystrybucji zasilania roślin w CO ₂ . Po lewej perforowany przewód dozujący wykonany z tworzywa. Po prawej stronie rura doprowadzająca schłodzone i osuszone na wymienniku spaliny z kotła gazowego do instalacji zasilania roślin w CO ₂ . Źródło: opracowanie własne..... | 71 |
| Rysunek 4.22 | Zbiornik na CO ₂ skroplony (na pierwszym planie) użytkowany w jednym z obiektów szklarniowych. Źródło: opracowanie własne | 71 |
| Rysunek 4.23 | Schemat pomiarowy: 1,2 – ogrzewana sonda z filtrem, 3 – grzany przewód, 4 – urządzenie kondycjonujące gazy SENSONIC , 5 – analizator SENSONIC | 72 |
| Rysunek 4.24 | Opomiarowane źródło oraz widok paleniska. Źródło: opracowanie własne | 73 |
| Rysunek 4.25 | Aparatura pomiarowa oraz emitor odprowadzający gazy odlotowe ze źródła. Źródło: opracowanie własne..... | 73 |
| Rysunek 4.26 | Mierzone stężenia O ₂ , CO ₂ w trakcie pomiarów – kocioł retortowy | 75 |
| Rysunek 4.27 | Mierzone stężenia CO, NO _x w trakcie pomiarów – kocioł retortowy | 75 |
| Rysunek 4.28 | Widok przekroju pomiarowego za urządzeniem odpylającym(cyklon) oraz lej zasypowy kotła. Źródło: opracowanie własne | 76 |
| Rysunek 4.29 | Widok paleniska oraz użyty w trakcie badań pyłomierz TESTO 380. Źródło: opracowanie własne | 76 |
| Rysunek 4.30 | Mierzone stężenia O ₂ , CO ₂ w trakcie pomiarów – kocioł z rusztem podsuwnym | 78 |
| Rysunek 4.31 | Mierzone stężenia CO, NO _x w trakcie pomiarów - kocioł z rusztem podsuwnym | 78 |
| Rysunek 4.32 | Końcówki rurek Perkinsa w piecu RRK. Źródło: opracowanie własne | 79 |
| Rysunek 4.33 | Wnętrze komory wypiekowej pieca RRK, widoczne rurki Perkinsa w górnej części. Źródło: opracowanie własne | 80 |
| Rysunek 4.34 | Wyjmowanie pieczywa z pieca metodą ręczną. Źródło: opracowanie własne | 81 |
| Rysunek 4.35 | Piec RRK oraz urządzenia sterownicze. Urządzenie zasilane gazem ziemnym. Źródło: opracowanie własne..... | 82 |
| Rysunek 4.36 | Widok na zbiorniki ciśnieniowe pary znajdujące się w górnej części pieca. Źródło: opracowanie własne..... | 82 |
| Rysunek 4.37 | Układ kontroli pracy paleniska oraz pirometry służące do pomiaru temperatury w komorach wypiekowych. Źródło: opracowanie własne..... | 83 |
| Rysunek 4.38 | Widok komory paleniskowej pieca RRK. Widoczne palniki gazowe oraz układy zabezpieczające przed wybuchem (automatyczne zawory odcinające). Źródło: opracowanie własne..... | 83 |
| Rysunek 4.39 | Widok akumulacyjnego tradycyjnego pieca chlebowego oraz elementy zaślepiające komin na czas wypieku. Źródło: opracowanie własne..... | 84 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Rysunek 4.40 | Widok na komorę wypiekową w trakcie przeprowadzania prac. Źródło: opracowanie własne | 85 |
| Rysunek 4.41 | Po lewej widoczny palnik zasilany pelletelem. Po prawej wymiennik odzyskujący ciepło ze spalin. Źródło: opracowanie własne | 85 |
| Rysunek 4.42 | Po lewej piec zasilany ciepłem z wymiennika pośredniego zamontowanego w kotle z palnikiem pelletowym. Po prawej dystrybucja gorącego oleju z kotła do pieców piekarniczych. Źródło: własne | 86 |
| Rysunek 4.43 | Tradycyjny piec chlebowy w trakcie wygrzewania. Źródło: opracowanie własne | 87 |
| Rysunek 4.44 | Aparatura pomiarowa oraz emitor odprowadzający gazy odlotowe ze źródła. Źródło: opracowanie własne | 87 |
| Rysunek 4.45 | Mierzone stężenia O ₂ , CO ₂ w trakcie pomiarów – piec chlebowy | 89 |
| Rysunek 4.46 | Mierzone stężenia CO, NO _x w trakcie pomiarów – piec chlebowy | 89 |
| Rysunek 4.47 | Widok panelu sterującego dla komory wędzarniczo- parzelniczej. Źródło: opracowanie własne | 91 |
| Rysunek 4.48 | Widok wyrobów przed oraz po procesie wędzenia w komorze wędzarniczo- parzelniczej. Źródło: opracowanie własne | 91 |
| Rysunek 4.49 | Proces wędzenia widoczny jest zza szyby umieszczonej w drzwiach frontowych urządzenia. Źródło: opracowanie własne | 92 |
| Rysunek 4.50 | Odprowadzenie gazów odlotowych do atmosfery odbywa się przy pomocy kominów zabudowanych w górnej części komory wędzarniczej. Wewnątrz komory znajduje się na wlocie do kominu specjalna przesłona umożliwiająca regulację ciągu. Źródło: opracowanie własne | 92 |
| Rysunek 4.51 | Widok pustej komory wędzarniczej przygotowanej do odpalania paleniska oraz komory po rozpaleniu płomienia w palenisku. Źródło: opracowanie własne | 93 |
| Rysunek 4.52 | Drewno przechowywane jest w pociętych kawałkach, jest łupane przy pomocy siekiery na drobniejsze elementy tuż przed włożeniem do paleniska. Źródło: opracowanie własne | 93 |
| Rysunek 4.53 | Typowy wygląd bacówki. Źródła: www.tasteaway.pl | 95 |
| Rysunek 4.54 | Wędzenie serów odbywa się na różne sposoby, najczęściej wykorzystuje się półki tzw. „podysorki”, na zdjęciu widoczne również sery wiszące na sznurkach. Źródła: www.tasteaway.pl | 95 |
| Rysunek 4.55 | Wyrób serów owczych to duża ilość ręcznej pracy. Na fotografiach widoczne odciskanie serwatki oraz solenie odcisniętych serów. Źródła: www.tasteaway.pl | 96 |
| Rysunek 4.56 | Kocioł z gotującą się wodą nad paleniskiem. Źródła: www.tasteaway.pl | 96 |
| Rysunek 4.57 | Półki z serkami blisko paleniska. Źródła: www.tasteaway.pl | 97 |
| Rysunek 4.58 | Wyrób serów „redykołków” w przydomowej wędzarni. Po lewej komora wędzarnicza, po prawej palenisko. Używa się zarówno drewno kawałkowe jak i zrębki drzew liściastych. Źródło: opracowanie własne | 97 |
| Rysunek 4.59 | Palenisko oraz wnętrze komory wędzarniczej w trakcie wędzenia. Źródło: opracowanie własne | 98 |
| Rysunek 4.60 | Drewno bukowe w palenisku wędzarni. Źródło: opracowanie własne | 99 |
| Rysunek 4.61 | Przepustnica regulacyjna oraz czujnik temperatury we wnętrzu komory wędzarniczej. Źródło: opracowanie własne | 99 |
| Rysunek 4.62 | Widok na urządzenia pomiarowe w trakcie wykonywanych badań. Ze względu na warunki techniczne nie wykonywano otworów w przewodzie kominowym. Widoczna duża gęstość dymu. Źródło: opracowanie własne | 100 |
| Rysunek 4.63 | We wnętrzu wytwornicy dymu wędzarniczego znajduje się naczynie, w którym częściowemu zgazowaniu ulegają zrębki drzewne. Po prawej pozostałość po wiórkach. Źródło: opracowanie własne | 100 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Rysunek 4.64 | Elementy wykonawcze komory wędzarniczej, po lewej widoczny wentylator wyciągowy. Źródło: opracowanie własne | 101 |
| Rysunek 4.65 | Mierzone stężenia O ₂ , CO ₂ w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi. | 102 |
| Rysunek 4.66 | Mierzone stężenia CO, NO _x w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza zasilana wiórkami drzewnymi. | 103 |
| Rysunek 4.67 | Próbki zrębków olchowo – bukowych, od lewej: w stanie roboczym, po procesie wędzenia, po wysuszeniu w suszarce laboratoryjnej. Źródło: opracowanie własne | 103 |
| Rysunek 4.68 | Komora paleniskowa wypełniona paliwem przed rozpalaniem, po prawej komora wędzarnicza tradycyjna oraz widok pustego paleniska. Źródło: opracowanie własne | 105 |
| Rysunek 4.69 | Po lewej widoczne sondy urządzeń pomiarowych zainstalowane w kominie. Po prawej drzwi komór wędzarniczych. Źródło: opracowanie własne | 105 |
| Rysunek 4.70 | Widok komory paleniskowej w trakcie wędzenia. Widok na dach oraz urządzenia pomiarowe w trakcie przygotowań do badań. Z uwagi na trudne warunki pogodowe oraz silny wiatr zastosowano ochronę przeciw wietrzną, aby dym nie cofał się do wędzarni. Źródło: opracowanie własne | 106 |
| Rysunek 4.71 | Mierzone stężenia O ₂ , CO ₂ w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna. | 107 |
| Rysunek 4.72 | Mierzone stężenia CO, NO _x w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna. | 108 |
| Rysunek 4.73 | Temperatura gazów odlotowych w trakcie pomiarów - komora wędzarnicza tradycyjna. | 108 |
| Rysunek 5.1 | Cyklon stanowi tanie, jednak nie zawsze wystarczające rozwiązanie do oczyszczania gazów odlotowych z pyłu. Źródło: https://klimawent.com.pl | 110 |
| Rysunek 5.2 | Kompaktowy odpylacz mokry wykorzystujący wodę do oczyszczania gazów z pyłu. Źródło: https://klimawent.com.pl | 111 |
| Rysunek 5.3 | Wizualizacja konstrukcji elektrofiltru. Widoczne elektrody oraz kierunek przepływu gazów. Źródło: https://elenergy.pl/p/4/zasada-dzialania-elektrofiltrow | 112 |
| Rysunek 5.4 | Elektrofiltr. Źródło: https://www.techsterowniki.pl/ | 113 |
| Rysunek 5.5 | Schemat usytuowania elektrofiltru w przewodzie kominowym. Źródło: https://www.techsterowniki.pl/ | 113 |
| Rysunek 5.6 | Filtry ceramiczne rurowe oraz instalacja wykorzystujące filtrację z ich użyciem. Źródło: https://www.ggfiltration.pl | 114 |
| Rysunek 5.7 | Kompaktowe urządzenie filtracyjne wyposażone w filtry workowe kieszeniowe. Źródło: https://www.ggfiltration.pl | 115 |
| Rysunek 5.8 | Dopalacz katalityczny połączony z systemem odzysku ciepła. Źródła: www.bodim.eu | 116 |
| Rysunek 5.9 | Dopalacze termiczne potrzebują duże ilości gazu. Najczęściej połączone są z systemami odzysku ciepła ze spalin. Źródło: www.selkirkmfg.com | 116 |
| Rysunek 5.10 | Adsorber z węglem aktywnym. Źródło: https://www.ekowave.pl | 117 |
| Rysunek 5.11 | Optymalizacja załadunku pieców jest jednym z rozwiązań przyczyniających się do zwiększenia efektywności urządzeń. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze | 119 |
| Rysunek 5.12 | Proces załadunku pieca RRK. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze | 119 |
| Rysunek 5.13 | Widok na poszerzone drzwi pieca RRK. Źródło: www.piecemakuch.pl/piece-piekarnicze | 119 |
| Rysunek 5.14 | Widok pieców RRK w trakcie modernizacji. Źródło: www.bakeres.pl | 120 |
| Rysunek 5.15 | Przebudowa pieców RRK przynosi wymierne korzyści eksploatacyjne. Zarówno od strony finansowej, jak również w aspektach środowiskowych. Źródło: www.bakeres.pl | 120 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Rysunek 5.16 | Zastosowanie palników gazowych w piecach piekarniczych (widoczne rozwiązania włoskie). Źródło: www.bakeres.pl | 120 |
| Rysunek 5.17 | Zastosowanie wymienników kanałowych pozwala na zwiększenie efektywności energetycznej instalacji i wykorzystanie ciepła na potrzeb CO, CWU przedsiębiorstw. Źródła: www.ibis.net | 121 |
| Rysunek 5.18 | Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz katalityczny. Źródło: opracowanie własne | 121 |
| Rysunek 5.19 | Kompaktowy wymiennik kominowy pozwalający na odzysk ciepła ze spalin. Źródło: https://ibis.net.pl | 123 |
| Rysunek 5.20 | Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz katalityczny. Źródło: opracowanie własne | 124 |
| Rysunek 5.21 | Uproszczony schemat rozwiązania systemu oczyszczania gazów odlotowych opartego o dopalacz termiczny..... | 124 |
| Rysunek 6.1 | Diagram Lindala - pokazujący możliwości oraz przykłady wykorzystania zasobów geotermalnych w szerokiej skali temperaturowej (na podst.: Lindal, 1973) | 126 |
| Rysunek 6.2 | Wykorzystanie energii geotermalnej do tzw. celów bezpośrednich, wraz z ogrzewaniem szklarni, z wyłączeniem technologii pomp ciepła (Hajto, 2021, na podst.: Lund, Toth, 2020). | 128 |
| Rysunek 6.3 | Przykłady zastosowań energii geotermalnej w szklarnictwie w Islandii (miejscowości: Hveragerði i Rykhold) | 130 |
| Rysunek 6.4 | Szklarnie Uniwersytetu Rolniczego Islandii w Hveragerði (fotografia: M. Buffa, 2017 r. – Google Maps - https://goo.gl/maps/PeCMDNzSb8aV6cfu8) | 131 |
| Rysunek 6.5 | Uprawy papryki, pomidorów, bananów oraz kwiatów egzotycznych (z rodziny różaneczników) w szklarniach Uniwersytetu Rolniczego Islandii w Hveragerði (fotografie: M. Hajto, 2017 r.) | 132 |
| Rysunek 6.6 | Uprawy pomidorów oraz restauracja w szklarniach Fríðheimar w rejonie Reykholt (fotografie: https://www.facebook.com/fridheimar , https://www.sapphireeltravel.com oraz M. Hajto, 2017 r.)..... | 133 |
| Rysunek 6.7 | Sandikli w rejonie Afyonu, gdzie zlokalizowano kompleks nowoczesnych szklarni o sumarycznej powierzchni ok. 104 tyś m ² (na podst. Google Maps)..... | 135 |
| Rysunek 6.8 | Uprawa pomidorów w szklarni w rejonie Afyon, Sandikli Afyonkarahisar, Turcja. A) dolina Afyon wraz z lokalizacją szklarni (fotografie: https://greencon.com.tr), B) wewnątrz szklarni w miejscowości Sandikli Afyonkarahisar (zdjęcie: https://greencon.com.tr , https://www.trt.net.tr) | 135 |
| Rysunek 6.9 | Skumulowany zysk w okresie 25 lat dla trzech analizowanych lokalizacji. Źródło: The Use of Geothermal Energy to Heating Crops under Cover | 137 |
| Rysunek 6.10 | Uprawa w szklarni z przeziernymi modułami PV (źródło: Bundschuh et al., 2017) | 139 |
| Rysunek 6.11 | Rozkład uzysków energii elektrycznej z instalacji PV umiejscowionej w Krakowie. 1 kWp modułów PV skierowanych na południe pod kątem 35 stopni (uznawany za optymalny) (na podstawie: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)Pompy ciepła..... | 140 |
| Rysunek 6.12 | Lokalizacja instalacji geotermalnych (dubletów), w tym na potrzeby szklarnictwa w Holandii w roku 2018 (na podst.: McKinsey & Company, 2018, niebieskie punkty oznaczają instalacje geotermalne w szklarnictwie) | 144 |
| Rysunek 6.13 | Lokalizacja innowacyjnych projektów w zakresie systemów upraw szklarniowych w Holandii, miejscowości: Wateringen oraz Bleiswijk (źródło: google.com) | 145 |
| Rysunek 6.14 | Uprawa truskawek w bezemisyjnej szklarni ogrzewanej energią elektryczną w Bleiswijk – Holandia. Automatyczny system, który unosi rzędy roślin, co pozwala zwiększyć liczbę roślin o 20% na tej samej przestrzeni) (źródło: https://weblog.wur.eu). | 146 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Rysunek 6.15 | System hydrauliki obsługujący magazynowanie energii z wykorzystaniem pomp ciepła (źródło: https://www.certhon.com/en/projects/ter-laak) | 147 |
| Rysunek 6.16 | System pokrycia dachowego panelami ok. 2,60 x 1,67 wyposażonymi w soczewki Fresnela z PLEXIGLASu (źródło: https://technokas.nl/) | 147 |
| Rysunek 6.17 | A) Nowy obiekt GPR Krasoń w Kisielach (fotografia: https://www.e-warzywnictwo.pl), B) Kotły kogeneracyjne na gaz ziemny o łącznej mocy 2,7 MW (źródło: https://www.certhon.com) | 149 |
| Rysunek 6.18 | Szklarnie firmy JMP Flowers Grupa Producentów sp z o.o. w Stężycy (fotografia: https://www.jmpflowers.pl) | 149 |
| Rysunek 6.19 | A) Sinik kogeneracyjny gazowy MP Flowers Power Sp. z.o.o. w Stężycy (fotografia: https://www.jmpflowers.pl), B) Instalacja do separacji CO2 (fotografia: https://www.podoslonami.pl) | 150 |
| Rysunek 6.20 | Koncepcja innowacyjnego systemu szklarni bąbelkowej w połączeniu z biogazownią (źródło: A) Stokes i in., 2016; B) http://ogrodnictwo.expert) | 151 |
| Rysunek 6.21 | Szklarnia bąbelkowa – włączanie piany w ściany (fot. Agnieszka Marczyńska, źródło: https://www.wodr.poznan.pl/sir/aktualnosci/item/6201-innowacyjna-aktywna-cieplarnia-na-universytecie-przyrodniczym-w-poznaniu) | 152 |
| Rysunek 6.22 | Autonomiczny robot zbierający pomidory firmy (fotografia: http://vegetables.news) | 155 |
| Rysunek 6.23 | Oryginalna konstrukcja pieca szamotowego ogrzewającego glebę (źródło: https://buildex.techinfus.com/es/obogrevateli/dymohod-v-teplice.html) | 155 |
| Rysunek 6.24 | Mikrokompostownik wraz z podłożem do hodowli roślin (źródło: https://www.ruralsprout.com/heat-greenhouse) | 156 |
| Rysunek 6.25 | Schemat ogrzewanie szklarni kompostem (źródło: http://www.drewnozamiastbenzyny.pl) | 157 |
| Rysunek 7.1 | Ogólny widok na gospodarstwo z lotu ptaka. Zdjęcie nieaktualne. Źródło: geoportal.gov.pl | 158 |
| Rysunek 7.2 | Połączenie sieci wodnej oraz CO pomiędzy bud. gospodarczym a domem właścicieli. Źródło: www.geoportal.gov.pl | 159 |
| Rysunek 7.3 | Aktualny układ komunikacyjny gospodarstwa. Źródło: www.geoportal.gov.pl | 159 |
| Rysunek 7.4 | Schemat instalacji z kotłami na pellet. Źródło: opracowanie własne | 162 |
| Rysunek 7.5 | Schemat instalacji z powietrznymi i gruntowymi pompami ciepła. Źródło: opracowanie własne | 164 |
| Rysunek 7.6 | Piec nadmuchowy zasilany pelletem o mocy znamionowej 100 kW. Źródło: ekosystems.pl | 167 |
| Rysunek 8.1 | Schemat instalacji z odzyskiem ciepła. Źródło: opracowanie własne | 171 |

Spis tabel

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 1 | Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - szklarnie i tunele foliowe..... | 5 |
| Tabela 2 | Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - piekarnie..... | 8 |
| Tabela 3 | Porównanie emisji z przeprowadzonych pomiarów z wymaganiami ekoprojektu - wędzarnie..... | 11 |
| Tabela 1.1 | Graniczne wartości emisji dla poszczególnych klas ekologicznych kotłów wg PN EN 303-5. Kolorem szarym zaznaczone klasy nieaktualne (źródło: opracowanie własne)..... | 16 |
| Tabela 1.2 | Porównanie wartości granicznych emisji określonych w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i wymagań ekoprojektu wg Rozporządzenia Komisji Europejskiej 2015/1189 dla kotłów na paliwa stałe [źródło: opracowanie własne]..... | 16 |
| Tabela 1.2 | Graniczne wartości emisji wg Rozporządzenia Komisji Europejskiej 2015/1185 dla miejscowych ogrzewczy powietrza [źródło: opracowanie własne na podstawie rozporządzenia 2015/1185]..... | 17 |
| Tabela 2.1 | Porównanie zebranych danych w ankiecie..... | 25 |
| Tabela 3.1 | Wartość opałow podstawowych paliw konwencjonalnych, w tym paliw stosowanych w systemach upraw pod osłonami (na podst.: KOBIZE, 2019 - zmodyfikowane)..... | 35 |
| Tabela 3.2 | Zalety i wady systemów ciepłowniczych..... | 46 |
| Tabela 4.1 | Użyta aparatura pomiarowa..... | 72 |
| Tabela 4.2 | Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym..... | 74 |
| Tabela 4.3 | Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z pieca retortowego na węgiel "sortymentu groszek" służącego do ogrzewania tunelu foliowego w dniu 11.10.2021 r..... | 74 |
| Tabela 4.4 | Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym..... | 77 |
| Tabela 4.5 | Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z kotła z rusztem podsuwnym służącego do ogrzewania instalacji wieloobwodowej CO w szklarni w dniu 11.10.2021 r..... | 77 |
| Tabela 4.6 | Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowym..... | 87 |
| Tabela 4.7 | Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z tradycyjnego pieca chlebowego opalanego drewnem sosnowym..... | 88 |
| Tabela 4.8 | Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowego dla komory wędzarniczej zasilanej wiórkami drzewnymi..... | 101 |
| Tabela 4.9 | Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z emitora komory wędzarniczo-parzelniczej zasilanej wiórkami drzewnymi w dniu 13.10.20212 r..... | 102 |
| Tabela 4.10 | Zawartość popiołu, ciepło spalania i wartość opałowa produktu niecałkowitego spalania zrębków drewnianych po procesie wędzenia w wytwornicy dymu wędzarniczego..... | 104 |
| Tabela 4.11 | Parametry gazów odlotowych w kanale oraz przekroju pomiarowego dla komory wędzarniczej tradycyjnej opalanej drewnem kawałkowym drzew owocowych (w trakcie badań używano drewno śliwy oraz wiśni)..... | 106 |
| Tabela 4.12 | Średnie stężenia związków nieorganicznych w gazach odlotowych pochodzących z emitora komory wędzarniczo-parzelniczej zasilanej wiórkami drzewnymi w dniu 13.10.20212 r..... | 106 |
| Tabela 6.1 | Wykorzystanie zasobów geotermalnych w sposób bezpośredni na świecie, uwzględniający różne sposoby zagospodarowania, w tym rolnictwo – stan na rok 2020 (na podst.: Lund, Toth, 2020)..... | 128 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabela 6.2 | Zalety i wady ogrzewania kompostownikiem | 157 |
| Tabela 7.1 | Powierzchnia i system ogrzewania poszczególnych obiektów na terenie analizowanego gospodarstwa..... | 160 |
| Tabela 7.2 | Szacowane zużycie i cena paliwa w przypadku wymiany kotła węglowego na kocioł pelletowy | 161 |
| Tabela 7.3 | Szacowane koszty przykładowych rozwiązań dla szklarni | 165 |
| Tabela 7.4 | Szacowane koszty instalacji PV i okres zwrotu w przypadku pracy instalacji wyłącznie na potrzeby pomp ciepła | 166 |
| Tabela 7.5 | Szacowane zużycie i cena paliwa w przypadku wymiany kotła węglowego na piec pelletowy | 168 |
| Tabela 7.6 | Szacowane koszty modernizacji pieców nadmuchowych opalanych węglem kamiennym | 168 |

Literatura

- Stoknes, K., Scholwin, F., Krzesiński, W., Wojciechowska, E., Jasińska, A. 2016. Efficiency of a novel “Food to waste to food” system including anaerobic digestion of food waste and cultivation of vegetables on digestate in a bubble-insulated greenhouse. *Waste Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.027>.
- Sotirios Anifantis, A., Colantoni, A., Pascuzzi, S. 2017. Thermal energy assessment of a small scale photovoltaic, hydrogen and geothermal stand-alone system for greenhouse heating, *Renewable Energy*, Volume 103, p. 115-127, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.031>.
- Biernatzki, R., Meinecke, R., 2014. Closed greenhouse concept integrating thermal energy storage (TES) applied to aquaponics systems. 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). doi:10.1109/upec.2014.6934669.
- Boulard, T., Razafinjohany, E., Baille, A., Jaffrin, A., & Fabre, B. (1990). Performance of a greenhouse heating system with a phase change material. *Agricultural and Forest Meteorology*, 52(3-4), 303–318. doi:10.1016/0168-1923(90)90088-N.
- Drabik, A., Sowizdzał, A., Tomaszewska, B. 2016. Doświadczenia Islandii w zakresie wykorzystania niskotemperaturowych zasobów energii geotermalnej. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1/2016.
- Dzurenda L., Jabłowski M., Dobrowolska E., Kłosińska T., 2011: Wykorzystanie energetyczne dendromasy, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2011
- Haraldsson, I.G. and Ketilsson, J. 2010. Utilization of geothermal resources for electricity generation and direct applications, Orkustofnun (National Energy Authority, Iceland), report OS-2010/02, (in Icelandic), 62 pp.
- Hajto, M.; Janowski, M. Geothermal Potential for the Greenhouse Sector in Poland: Phase 3—Final Report. Stage 5, Checking Geothermal Potential of 3 Locations (More in-Depth Analysis); Wageningen University & Research; AGH University of Science and Technology; Agricultural University in Krakow; Blue Fifty B.V.; Certhon Build B.V.: Krakow, Poland, 2018; p. 14.
- Harjunowibowo, D.; Cuce, E., Omer, S.A.; Riffat, S.B. 2016. Recent passive technologies of greenhouse systems: a review. <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/800359>.
- Janowski, M., Hajto, M., Kurpaska, S., Latała H., Gliniak, M., Herbuś, H. Potencjał energii geotermalnej dla polskiego sektora ogrodnictwa szklarniowego. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1/2018. <https://min-pan.krakow.pl/wydawnictwo/wp-content/uploads/sites/4/2018/10/23-Janowskiinni.pdf>.
- Kaczmarczyk M., Kaczmarczyk M., Pełka G., Luboń W., Będowska A., Ciapała B., Malik D., Podlewska E., Zboina M., 2017. Niska emisja efektywność energetyczna w gminach i samorządach, GLOBEnergia, Kraków, 2017
- Klonowski A., 2019: Spalanie i analiza spalin – Część 1, Merserwis 12/2019.
- Kranz, K., 2006. Geothermal Energy in Iceland. Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- Krupaska, S., 2007. Szklarnie i tunele foliowe. Inżynieria i Procesy. PWRiL, Poznań 2007.
- Kubica K., 2007. Efektywne i przyjazne środowisku źródła ciepła – ograniczenie niskiej emisji. Poradnik, Katowice, 2007.
- Lindal, B., 1973. Industrial and other applications of geothermal energy, except power production and district heating.[in]: Geothermal energy, Earth Sciences (ed. by H.C.H. Amstead). Vol. 12, UNESCO.
- Makała, Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego 2017 t. 72 nr 1, ROLA DYMU WĘDZARNICZEGO W KSZTAŁTOWANIU BARWY PRZETWORÓW MIĘSNYCH

- Manos, D.-P., Xydis, G. 2019. Hydroponics: are we moving towards that direction only because of the environment? A discussion on forecasting and a systems review. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-04933-5.
- Mateja K., 2020: Kotle i systemy ogrzewania w świetle aktualnych wymagań prawnych dotyczących możliwości ich stosowania, *Mieszkanie i wspólnota*, nr 216, Luty, 2020
- Olszewski, T., Dach, J., Jędrus., 2005. Modelowanie procesu kompostowania nawozów naturalnych w aspekcie generowania ciepła. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 50, nr 2; 40-42 (http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-0012-0033/c/httpwww_pimr_poznan_plbiul200528odj.pdf).
- Orkurstofnun, 2011. Geothermal Development and Research in Iceland. Orkurstofnun – National Energy Authority, Reykjavik.
- Radsak D., 2017: Redukcja emisji tlenków azotu w kotłach energetycznych jako konieczność spełnienia europejskich standardów emisyjnych, Poznań, 2017
- Ragnarsson Á.R., Steingrímsson B., Thorhallsson S. 2020 – Geothermal Development in Iceland 2015–2019. *Proceedings World Geothermal Congress 2020*, Reykjavik, Iceland, <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01063.pdf> (dostęp 13.11.2021).
- Ragnarsson, Á.R. 2005. Geothermal Development in Iceland 2000-2004. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Robert Dell, C.S. Wei, George Sidebotham, Vito Guido, Joseph Cataldo, Kelly Smolar, Alexander Bronfman, Rúnar Unnþórsson, Magnus Thor Jonsson, Tryggvi Þórðarson. 2016. Geothermal heat in agriculture: preliminary results of an energy intensive system in Iceland.
- Rosik-Dulewska, C. and Grabda, M. 2000. Geothermal waters as a clean source of energy needed for plant production. (Wody geotermalne jako czyste źródło energii dla potrzeb produkcji żywności). *Chemia i Inżynieria ekologiczna* 3, pp. 263–271 (in Polish, English abstract).
- Różycki A. *Krakowskie Wyroby Wędliniarskie*, Kraków 1926
- Skrzypczak R., Kępińska B., 2020. Geothermal water as a raw material for the agricultural sector in Poland. *Mineral Resources Management*. Volume 36 Issue 4 Pages 217–230 DOI: 10.24425/gsm.2020.133940.
- Tomeczek J., Gradoń B., Rozpondek M., 2009: Redukcja emisji zanieczyszczeń z procesów konwersji paliw i odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2009.
- Turgut, B., Dasgan, H. Y., Abak, K., Paksoy, H., Evliya, H., & Bozdag, S., 2009. Aquifer thermal energy storage application in greenhouse climatization. *Acta Horticulturae*, (807), 143–148. doi: 10.17660/ActaHortic.2009.807.17.
- Wach E., 2005: *Drewno i słoma jako paliwa. Właściwości i technologie spalania*. Poradnik, BAPE SA, Gdańsk, 2005.
- Mertoglu, O., Simsek, S., Basarir, N., 2020. Geothermal Energy Use: Projections and Country Update for Turkey. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1* Reykjavik, Iceland, April - October 2021 <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2020/01049.pdf>.
- Lars Christensen, L. 2016. OUR ENERGY 2030. Efficiency, competitiveness and transparency in the Icelandic energy sector. *Markets & Money Advisory Markets & Money Advisory / Gl. Kongevej 1 / DK-1610 Copenhagen V / Denmark*. <https://www.si.is/media/orku-og-umhverfismal/Iceland-Energy-2030.pdf>.
- <https://nea.is/the-national-energy-authority/energy-data/data-repository/>
- Ginalski, Z., 2013. *Odnawialne źródła energii w gospodarstwach rolnych*. Centrum Doradztw Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu.

- <https://cdr.gov.pl/images/wydawnictwa/2013/2013-ODNAWIALNE-ZRODLA-ENERGII-W-GOSPODARSTWACH-ROLNYCH.pdf>
- Lekowska, A., Kowalczyk, J. 2020 – Zamykamy obieg w rolnictwie – zrównoważone wykorzystanie energii w produkcji rolnej i szklarniowej. Circular week 2020.
<https://innowo.org/userfiles/publikacje/Energia%20w%20rolnictwie%20-%20raport.pdf>
- Greenhouse management – http://www.greenhouse-management.com/greenhouse_management/greenhouse_management_chapters/ch08_carb_on_dioxide_greenhouses.htm
- Smit, B., Janssens, B., Haagsma, W., Hennen, W., Adrados, J.L., Kathage, J. (Ed): Kathage, J., Pérez Domínguez, I. 2012. Adoption of cover crops for climate change mitigation in the EU. Joint Research Centre (European Commission). ISSN 1831-9424. ISBN 978-92-76-11312-6. DOI: <https://doi.org/10.2760/638382>. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0638ab96-f939-11e9-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>.
- WIPO, 2021. Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. Geneva: World Intellectual Property Organization.
https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf.
- McKinsey & Company, 2018. Master Plan Geothermal Energy in the Netherlands. A broad foundation for sustainable heat supply. In collaboration with the Ministry of Economic Affairs and Climate and the Ministry of the Interior and Kingdom Relations.
https://geothermie.nl/images/bestanden/Masterplan_Aardwarmte_in_Nederland_ENG.pdf
- Both A.J., 2019. Farm Energy IQ. Farms Today Securing Our Energy Future. Greenhouse Energy Efficiency (Heating). Prezentacja: <https://farm-energy.extension.org/wp-content/uploads/2019/04/Greenhouse-Energy-Efficiency-Farmer-Presentation.pdf>.
- Kurpaska, S., 2015. Szklarnie i tunele foliowe. Inżynieria i procesy. PWRIL Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. s 303.
- IRENA, 2019. Accelerating geothermal heat adoption in the agri-food sector. *Key lessons and recommendations*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-105-8. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Geothermal_agri-food_2019.pdf.
- MFIPR, 2019. Dane do obliczeń energetycznych budynków: Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej RP. Link: <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, dostęp 2021.11.28.
- PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. <https://docplayer.pl/2662785-Michal-strzeszewski-piotr-wereszczynski-norma-pn-en-12831-nowa-metoda-obliczania-projektowego-obciazenia-cieplnego-poradnik.html>.
- Cykle, P, Mazur, M. 1997. Wytwarzanie energii cieplnej, WSiP, Warszawa.
- Gnutek, Z. 1994. Maszynoznawstwo energetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/skrypt_Maszyny/08.pdf
- Bredenbeck H. THE USE OF WASTE HEAT FROM A POWER PLANT FOR GREENHOUSE HEATING IN COMMERCIAL APPLICATION IN GERMANY. Acta Hortic. International Society for Horticultural Science (ISHS); 1992 Jul;(312):29–36.
- Manning TO, Buganski II MB, Mears DR. ENGINEERING PERFORMANCE OF A 1.1 HECTARE WASTE-HEATED GREENHOUSE. Acta Hortic. International Society for Horticultural Science (ISHS); 1984 Jun;(148):209–18.

- Walker PN, Rand HJ. Surface-heating greenhouses with waste heated water. Final report. Argonne, IL (United States); 1980 Dec 1 [cited 2021 Dec 22]; Available from: <http://www.osti.gov/servlets/purl/7072523/>.
- Szklarnie pod Opolem skorzystają z ciepła z elektrowni PGE - SERWIS INFORMACYJNY CIRE 24 [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/76773-szklarnie-pod-opolem-skorzystaja-z-ciepla-z-elektrowni-pge>
- Al-Ibrahim A, Al-Abbadi N, Al-Helal I. PV greenhouse system - System description, performance and lesson learned. *Acta Hortic. International Society for Horticultural Science*; 2006;710:251–64.
- Sgroi F, Tudisca S, Di Trapani AM, Testa R, Squatrito R. Efficacy and Efficiency of Italian Energy Policy: The Case of PV Systems in Greenhouse Farms. *Energies* 2014, Vol. 7, Pages 3985-4001 [Internet]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2014 Jun 24 [cited 2021 Dec 21];7(6):3985–4001. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/7/6/3985/htm>
- Photovoltaic greenhouse and agricultural photovoltaic greenhouse | CVE [Internet]. [cited 2021 Dec 21]. Available from: <https://www.cvegroup.com/en/photovoltaic-solar/solar-solutions/photovoltaic-greenhouse/>
- French photovoltaic greenhouse delivers 3.1 GWh and 4 tons/hectare of asparagus in one year – pv magazine International [Internet]. [cited 2021 Dec 21]. Available from: <https://www.pv-magazine.com/2021/04/01/french-photovoltaic-greenhouse-delivers-3-1-gwh-and-4-tons-hectare-of-asparagus-in-one-year/>
- Bundschuh J, Chen G, Tomaszewska B, Ghaffour N, Mushtaq S, Hamawand I, et al. Geothermal, wind and solar energy applications in agriculture and aquaculture. *Geothermal, Wind Sol. Energy Appl. Agric. Aquac.* 2017;(October):1–359.
- Boccalatte A, Fossa M, Sacile R. Modeling, Design and Construction of a Zero-Energy PV Greenhouse for Applications in Mediterranean Climates. *Therm. Sci. Eng. Prog. Elsevier*; 2021 Oct 1;25:101046.
- Marsh LS, Singh S. Economics of Greenhouse Heating with a Mine Air-assisted Heat Pump. *Trans. ASAE* [Internet]. American Society of Agricultural and Biological Engineers; 1994 Nov [cited 2021 Dec 17];37(6):1959–63. Available from: <https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=3&AID=28288&CID=t1994&v=37&i=6&T=1>
- Aye L, Fuller RJ, Canal A. Evaluation of a heat pump system for greenhouse heating. *Int. J. Therm. Sci. Elsevier Masson*; 2010 Jan 1;49(1):202–8.
- Yang SH, Rhee JY. Utilization and performance evaluation of a surplus air heat pump system for greenhouse cooling and heating. *Appl. Energy. Elsevier*; 2013 May 1;105:244–51.
- Chai L, Ma C, Ni JQ. Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China. *Biosyst. Eng. Academic Press*; 2012 Jan 1;111(1):107–17.
- Paksoy H, Evliya H, Bozdogan Ş, Mazman M, Konuklu Y, Turgut B, et al. CO2 mitigation with thermal energy storage. *Int. J. Glob. Warm.* 2009;1(1–3):253–69
- Paksoy H, Turgut B, Beyhan B, Dasgan HY. Greener Greenhouses. 21st World Energy Congr. 2010, Montr. Quebec (Canada), 12-16 Sep 2010 [Internet]. Montreal, Quebec (Canada); 2010 [cited 2021 Dec 20]. Available from: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21397659>
- Zwamborn M. HT-ATES Aquifer thermal energy storage in greenhouses ULTIMATE CS2 Nieuw-Prinsenland. 2021
- Photos | UK's biggest heat pump system powers giant greenhouses - Construction Manager [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://constructionmanagermagazine.com/photos-uks-biggest-heat-pump-system-powers-giant-greenhouses/>

- Pompa ciepła i fotowoltaika w szklarni. To rozwiązanie dla rolników [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://gadzetomania.pl/pompa-ciepła-i-fotowoltaika-w-szklarni-to-rozwiazanie-dla-rolnikow,6705065524885633a>
- Nagrzewnice powietrza VENTURA - KIPI [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://kipi.pl/nagrzewnice-powietrza-ventura/>.
- Nagrzewnice EKOPAL S – Kotły na słomę [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://kotlynaslome.pl/nagrzewnice-ekopal-s/>.
- Kotły na biomase serią Ekopal RM – Kotły na słomę [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://kotlynaslome.pl/kotly-na-biomase-seria-ekopal-rm/>.
- Bibbiani C, Fantozzi F, Gargari C, Campiotti CA, Schettini E, Vox G. Wood Biomass as Sustainable Energy for Greenhouses Heating in Italy. *Agric. Agric. Sci. Procedia*. Elsevier; 2016 Jan 1;8:637–45.
- Chau J, Sowlati T, Sokhansanj S, Preto F, Melin S, Bi X. Techno-economic analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry. *Appl. Energy*. Elsevier; 2009 Mar 1;86(3):364–71.
- Roy Y, Lefsrud M, Orsat V, Filion F, Bouchard J, Nguyen Q, et al. Biomass combustion for greenhouse carbon dioxide enrichment. *Biomass and Bioenergy*. Pergamon; 2014 Jul 1;66:186–96.
- Horst, Holandia - HoSt Bioenergy Systems [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: <https://www.host.nl/pl/case/horst-holandia/>.
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission [Internet]. [cited 2021 Dec 22]. Available from: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP.

Strony internetowe

<https://innowo.org/userfiles/publikacje/Energia%20w%20rolnictwie%20-%20raport.pdf>.

<https://promiennik.pl/kategoria/promienniki-gazowe-ex/>.

Greenhouses on Iceland – <https://nea.is/geothermal/direct-utilization/greenhouses>.

https://www.kasalsenergiebron.nl/content/docs/Energiemonitor/Infographic_Energy_Data_2018.pdf.

https://www.kasalsenergiebron.nl/content/docs/Over_ons/Folder_Kas_als_Energiebron_in_English.pdf.

<https://www.trt.net.tr/espanol/ciencia-y-tecnologia/2021/11/11/gran-demanda-para-los-tomates-crecidos-en-invernaderos-calentados-con-agua-geotermica-en-turquia-1732682>.

<https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/plant-research/greenhouse-horticulture.htm>.

<https://www.hortidaily.com> – Turkey tops Europe with its greenhouses and generates 2 billion USD revenue from greenhouse products (<https://www.hortidaily.com/article/9141750/turkey-tops-europe-with-its-greenhouses-and-generates-2-billion-usd-revenue-from-greenhouse-products/>).

<https://ekonomi.haber7.com> – Sandikli. Kaplıca suyuyla büyütüyorlar! 10 ülke sıraya girdi (<https://ekonomi.haber7.com/ekonomi/haber/3160938-kaplica-suyuyla-buyutuyorlar-10-ulke-siraya-girdi>).

Greenhouse2030, 2019. The climate-neutral greenhouse is getting closer and closer – <https://www.wur.nl/en/newsarticle/the-climate-neutral-greenhouse-is-getting-closer-and-closer.htm>.

Bloomberg – <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-30/your-tomatoes-may-cost-more-as-gas-prices-hit-dutch-greenhouses>.

Saving energy and sustainable energy in greenhouse horticulture – https://www.kasalsenergiebron.nl/content/docs/Over_ons/Folder_Kas_als_Energiebron_in_English.pdf.

Ogrzewanie elektryczne podłogi ogrodnich - <https://www.ogrodinfo.pl/ogrodinfo/ogrzewanie-elektryczne-podlozy-ogrodnich/>.

Szklarnia bąbelkowa:

<https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C408183%2Cpolscy-naukowcy-opracowali-unikatowa-szklarnie---10-razy-mniejsze-koszty-ogrzewania.html>;

W Poznaniu powstała szklarnia przyszłości – <http://ogrodnictwo.expert/aktualnosci/w-poznaniu-powstala-szklarnia-przyszlosci/>

http://www.twojebieszczady.net/rozmaitosci/wypal_wegla.php

Inspiracje

Earth Lab. How Geothermal Energy Revolutionised Iceland's Greenhouses -

<https://youtu.be/3KepmDQfEHg>.

The Futuristic Farms That Will Feed the World – <https://youtu.be/KfB2sx9uCkl>.

Farmers in the Netherlands are growing more food using less resources. Pioneers for Our Planet –

<https://youtu.be/5clOYWsnhhk>.

Next Gen Farming Without Soil and 90% Less Water – https://youtu.be/3Ww2TP_tU7o.

Salad boxes made on future farms /korean street food – <https://youtu.be/7oA1LLYDIvY>.

Fundusze Europejskie - Innowacje - Lampy LED w szklarni - https://youtu.be/8C_LjuOPK7M.

Kogeneracja w szklarniach – webinar:

<https://register.gotowebinar.com/recording/recordingView?webinarKey=8352282164570371340®istrantEmail=mhajto%40agh.edu.pl>.

INAHO Inc. Autonomous Tomato Harvesting Robot – <https://youtu.be/tcfEtP130fo>.

Innowacje dla oszczędności w uprawach pod osłonami – webinar: <https://youtu.be/LBDdbDBOZ4g>

Szklarnia bąbelkowa UP Poznań – <https://n-16-5.dcs.redcdn.pl/webcache/pap-embed/iframe/48yo3vniq.html>.