



„Projekt otrzymał finansowanie z programu Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i innowacji Horyzont 2020 w ramach umowy o dofinansowanie nr 101000801”



Thermochemical Fluids in **Greenhouse Farming**

Podręcznik szkoleniowy

KOORDYNATOR



Zurich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



MEYER
ORCHIDEEN



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA



ZASTRZEŻENIE

Wszelkie rozpowszechnianie wyników musi wskazywać, że odzwierciedlają one jedynie pogląd autora oraz że Agencja i Komisja Europejska nie ponoszą odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie zawartych w nich informacji.

Spis treści

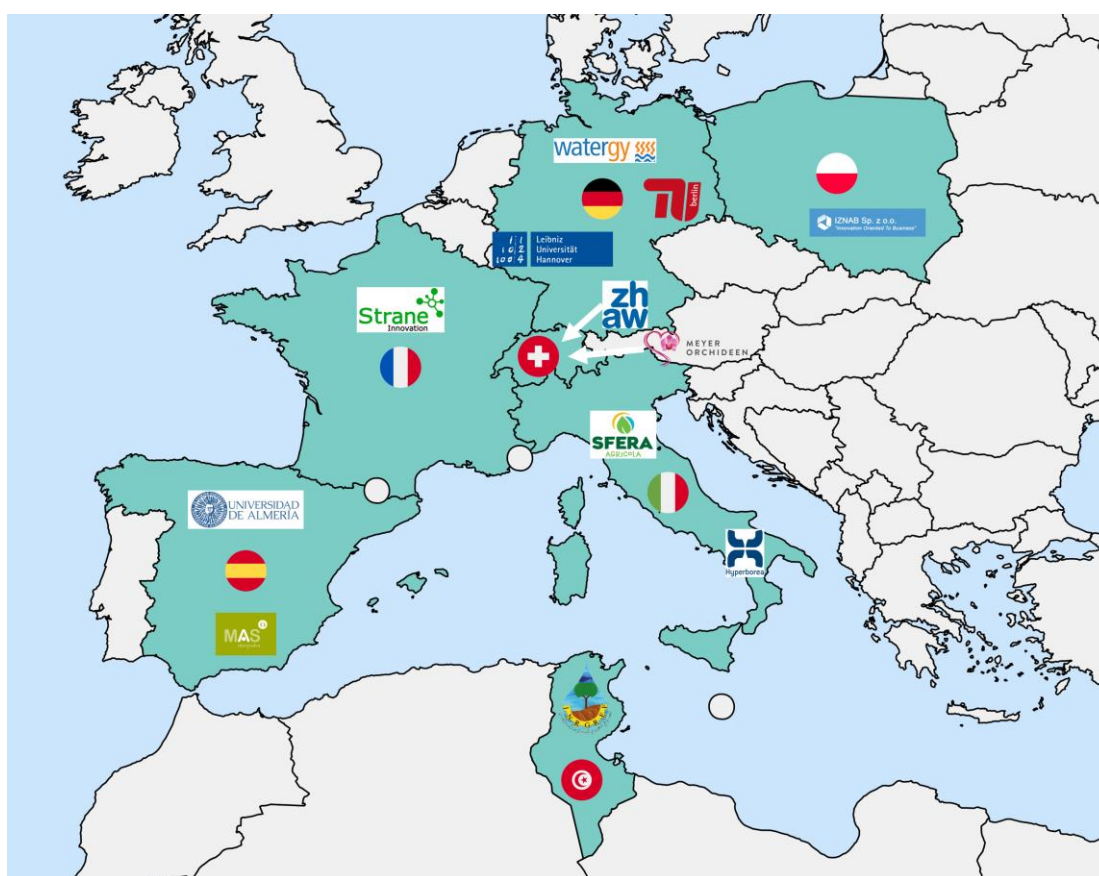
1. Wprowadzenie	4
1.1. Konsorcjum.....	4
1.2. Zarys projektu.....	4
1.3. Koncepcja projektu.....	5
1.4. Zastosowanie w szklarniach	6
1.5. Zastosowanie procesu suszenia do przygotowywania żywności	7
1.6. Regeneracja TCF	7
1.7. Płyny wykorzystywane w TheGreefa.....	8
2. Demonstracja technologii TheGreefa	9
2.1. Demonstracja w Szwajcarii.....	13
2.2. Demonstracja w Tunezji	20
3. Symulacje i optymalizacja – Studia przypadków	29
3.1. Studia przypadków	29
3.2. Studium przypadku 1 – Nieogrzewana szklarnia typu Almería.....	34
3.3. Studium przypadku 2 - Nieogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe w Hiszpanii.....	36
3.4. Studium przypadku 3 - Ogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe w Hiszpanii.....	37
3.5. Studium przypadku 4 - Nieogrzewana szklarnia wielopanelowa we Włoszech	39
3.6. Studium przypadku 5 - Zaawansowane technologicznie ogrzewane szklarnie wielopanelowe we Włoszech.....	40
3.7. Wnioski.....	42
4. Wpływ TheGreefa	43
4.1. Wpływ na środowisko	43
4.2. Wpływ ekonomiczny	52
4.3. Wnioski.....	56
5. Aspekty społeczne i polityczne	57
5.1. Europejskie ramy strategiczne dla rolnictwa	57
5.2. Europejskie ramy regulacyjne w dziedzinie energii	58
5.3. Europejskie ramy regulacyjne dotyczące wody	58
5.4. Europejskie ramy regulacyjne dotyczące chemikaliów.....	59
5.5. Wnioski.....	59
Odnośniki	61
Partnerzy i osoby zaangażowane w TheGreefa	62

1. Wprowadzenie

Dokument ten przedstawia strukturę i wyniki projektu *TheGreefa – Ciecze termochemiczne w uprawach szklarniowych* (program badawczo-rozwojowy Horyzont 2020, LC-FNR-06-2020, umowa grantowa nr 101000801) oraz zawiera przegląd jego głównych etapów i osiągnięć.

1.1. Konsorcjum

TheGreefa to projekt badawczo-innowacyjny finansowany przez Komisję Europejską i realizowany przez 12 partnerów z 7 krajów (Rys. 1). Konsorcjum, zespół instytucji badawczych, MŚP, operatorów rolnych i ekspertów prawnych, zostało utworzone w celu zapewnienia równowagi umiejętności i wiedzy specjalistycznej w celu opracowania opłacalnej i innowacyjnej technologii, która znacznie zmniejszy zużycie energii ze źródeł kopalnych w rolnictwie.



Rys. 1. Partnerzy konsorcjum TheGreefa.

1.2. Zarys projektu

Zakres projektu obejmuje opracowanie i przetestowanie opłacalnej i innowacyjnej technologii, która znacznie zmniejszy zużycie energii kopalnej w rolnictwie.

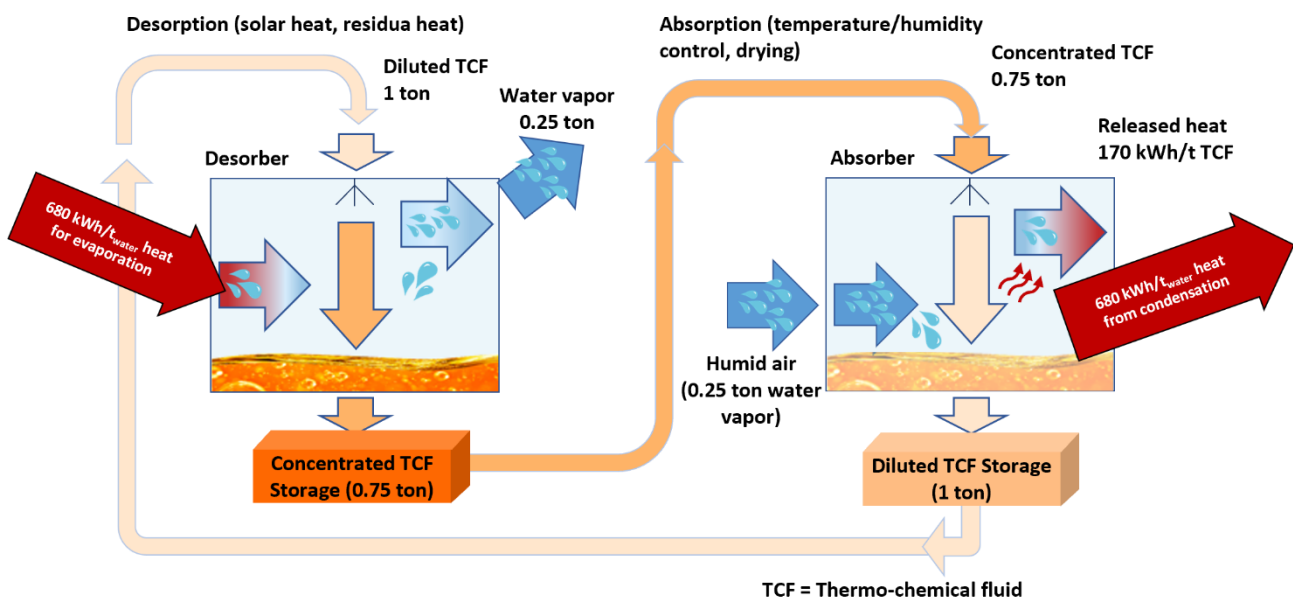
Proponowane przez TheGreefa rozwiązania bezpośrednio wpisują się w kluczowe cele Unii Europejskiej dotyczące zwiększenia wykorzystania energii odnawialnej w rolnictwie, gdzie szklarnie nabierają coraz większego znaczenia. W krajach rozwiniętych wysoka jakość życia dotyczy w szczególności diety, która musi być świeża, zdrowa i zróżnicowana. Często konieczne są długie trasy

transportowe. Transport świeżych owoców i warzyw powoduje wysoką emisję CO₂ i znaczną część śladu środowiskowego żywności. Biedne regiony o niekorzystnych warunkach dla kultur nie mogą sobie pozwolić na import żywności. W obu przypadkach szklarnie z suszarnią i odzyskiem wody będą właściwym rozwiązaniem, o ile spełniają konkretne wymagania, tak jak TheGreefa.

1.3. Koncepcja projektu

TheGreefa koncentruje się na zastosowaniach w szklarniach i procesach suszenia. Technologia szklarniowa obejmuje zastosowania do kontroli klimatu w szklarniach, w tym ogrzewania, chłodzenia i kontroli wilgotności powietrza. Proponowana technologia wykorzystuje ciekłe środki osuszające, tzw. płyny termochemiczne (TCF). Typowe płyny TCF to roztwory soli na bazie wodorotlenku sodu lub chlorku magnezu. Wspólnym efektem we wszystkich zastosowaniach są higroskopijne właściwości TCF, umożliwiające pobieranie pary wodnej z powietrza, a tym samym uwalnianie ciepła jawnego przekształconego z ciepła utajonego zmagazynowanego w parze. Aby przybliżyć ten proces:

- 1 tona wilgoci z powietrza wchłonięta do TCF, zgodnie z przemianą fazową związaną z energią, uwalnia 680 kWh ciepła (prawa część Rys. 2). Wilgoć jest następnie skraplana do postaci ciekłej wody.
- Wchłanianie wody powoduje rozcieńczenie czynnika TCF. Gdy TCF zostanie rozcieńczony do pewnego stopnia, proces nie może być kontynuowany i TCF musi zostać zregenerowany. Zaabsorbowana woda musi zostać ponownie usunięta.
- W celu ponownego zagęszczenia (regeneracji) należy ponownie wprowadzić do systemu taką samą ilość energii, jaka została uwolniona w procesie absorpcji, ponownie ok. 680 kWh/tonę odparowanej wody. Źródła ciepła pracujące w temperaturach poniżej 60°C są w dużej mierze wystarczające dla procesu regeneracji, dokładna temperatura zależy od równowagi fazowej pary ciśnieniowej między TCF a otaczającym powietrzem.



Rys. 2. Koncepcja TheGreefa.

Woda może być uwalniana w postaci pary wodnej pochłanianej przez suche powietrze (lewa część Rys. 2) lub może być skraplana i odzyskiwana jako czysta woda.

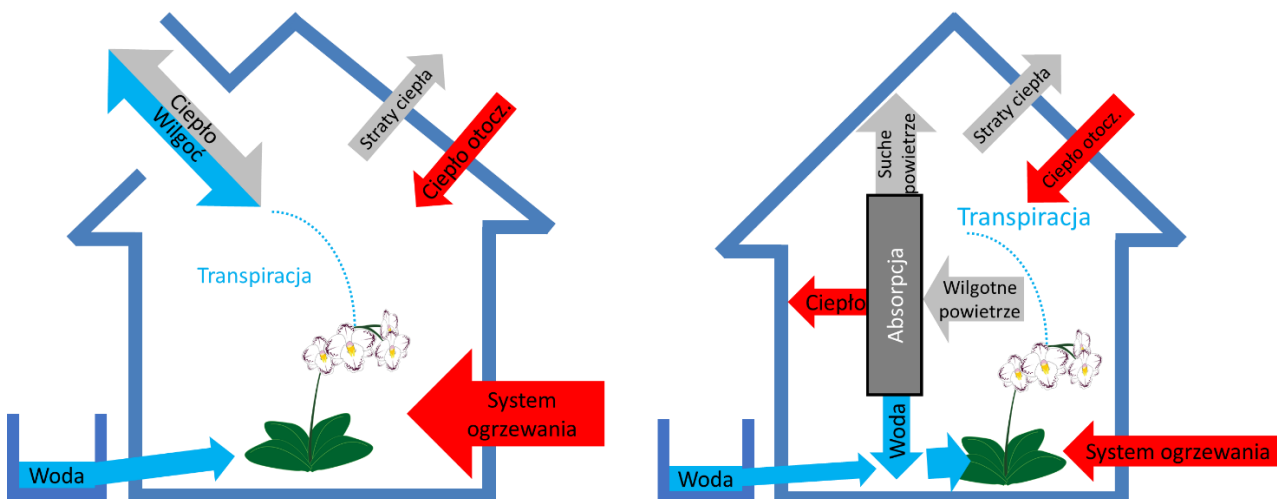
Rozcieńczony TCF może być przechowywany i regenerowany, gdy dostępne jest ciepło, na przykład podczas słonecznych dni z wykorzystaniem energii słonecznej lub ciepła resztkowego. Skoncentrowany TCF może być przechowywany w prostych plastikowych pojemnikach (np. zbiornikach IBC do małych zastosowań) tak długo, jak jest to konieczne, na przykład do przechowywania sezonowego. Przesunięcie w czasie i przestrzeni między procesem regeneracji a efektywnym wykorzystaniem TCF jest dużą zaletą proponowanego rozwiązania w porównaniu z istniejącymi procesami sorpcji, na przykład osuszającymi kołami obrotowymi.

W trybie regeneracji proces może być obsługiwany z efektem nawilżania i chłodzenia (wyparnego) jako dodatkowa usługa.

1.4. Zastosowanie w szklarniach

Ogrzewanie szklarni jest najistotniejszym czynnikiem kosztowym dla biznesu szklarniowego w Europie Środkowej. System TheGreefa może być z powodzeniem stosowany w tych regionach, zmniejszając ilość energii potrzebnej do ogrzewania.

Zastosowanie to wyjaśniono na Rys. 3 poniżej, który porównuje przepływy energii i wody w standardowej szklarni (po lewej) ze szklarnią, w której zainstalowano proponowaną technologię (po prawej).



Rys. 3. Zastosowanie technologii w szklarniach - standardowa szklarnia (po lewej) i proponowana technologia (po prawej).

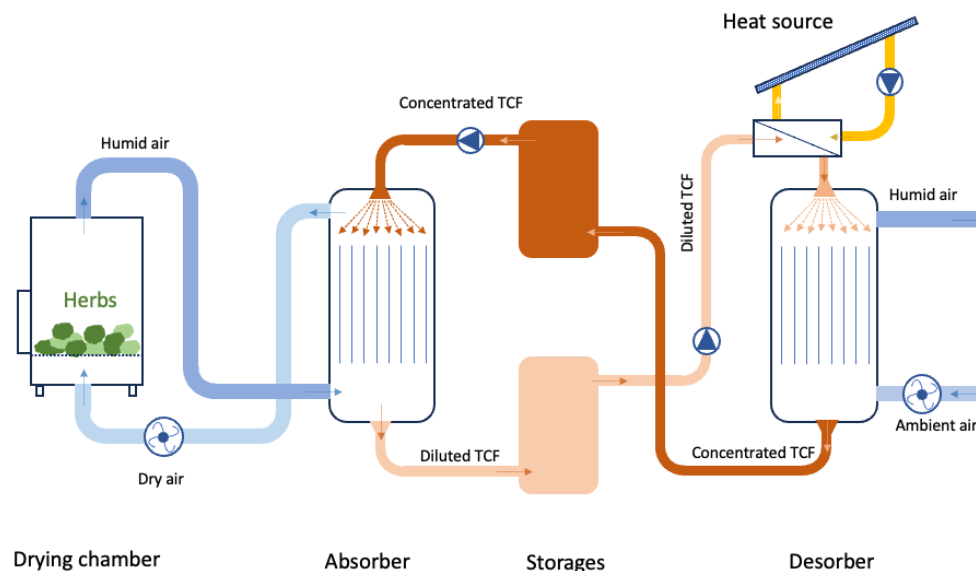
Całkowite zużycie energii (czerwone strzałki) zostanie znacznie zmniejszone: z jednej strony nastąpi wyzerowanie strat ciepła na wentylację, ponieważ powietrze jest recyrkulowane, a wilgoć usuwana przez TCF. Z drugiej strony, ciepło jest uwalniane w procesie absorpcji.

Technologia ta składa się z otwartego przeciwprądowego wymiennika ciepła i masy (absorbera), który osusza i ogrzewa/chłodzi powietrze przy użyciu TCF poprzez absorpcję. Absorbowana woda może być odzyskiwana jako czysta woda. Ciepło termiczne może być sezonowo magazynowane w postaci skoncentrowanego TCF. Istnieje możliwość odzyskiwania ciepła termicznego z przesunięciem w czasie i miejscu.

1.5. Zastosowanie procesu suszenia do przygotowywania żywności

Proces ten jest również bardzo odpowiedni do suszenia produktów rolnych, takich jak zioła i owoce, które muszą być suszone natychmiast po zbiorach, niezależnie od warunków pogodowych.

Zastosowanie to wyjaśniono na Rys. 4. Powietrze jest osuszane w absorberze w przeciwnym kierunku ze stężonym TCF, ale niekoniecznie jest podgrzewane, ponieważ ciepło mogłoby zaszkodzić liściom/warzywom i wpłynąć na ich jakość. W cyklu zamkniętym uwolnione suche powietrze jest następnie wtryskiwane do komory suszarki, gdzie można odessać wilgoć z warzyw. Rozcieńczony TCF może być następnie przechowywany bez strat termicznych i regenerowany, gdy ciepło odnawialne (np. ciepło słoneczne) jest ponownie dostępne. W porównaniu z najnowocześniejszymi instalacjami wykorzystującymi osuszacze kompresyjne, w osuszaczu sorpcyjnym zużycie energii elektrycznej ogranicza się do pracy wentylatorów i pomp ciecży, podczas gdy wymagana energia cieplna może być w całości dostarczona przez niskotemperaturowe źródło ciepła, np. odnawialne (ciepło słoneczne, ciepło odpadowe). Po procesie regeneracji dostarczona energia może być również magazynowana bez żadnych strat w postaci skoncentrowanego TCF.

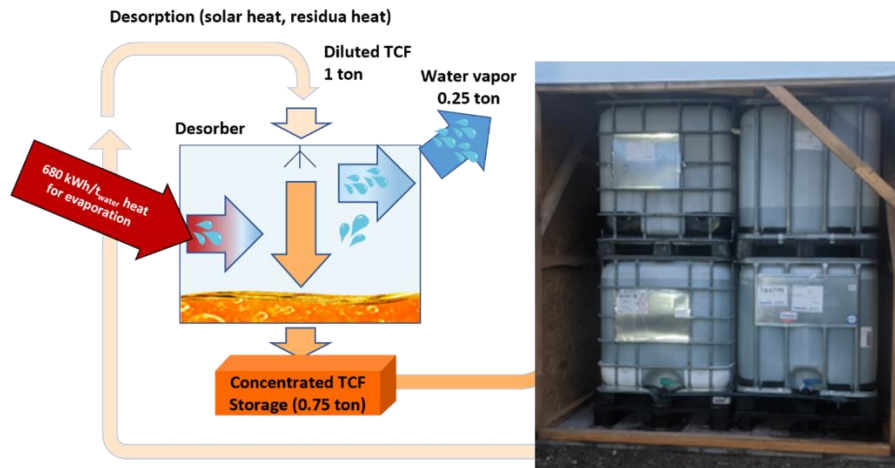


Rys. 4. Proces suszenia z wykorzystaniem absorbera i desorbera.

1.6. Regeneracja TCF

Po absorpcji płyn termochemiczny osiąga punkt nasycenia i jest niewystarczający do celów osuszania/odwilżania. TCF musi zostać zregenerowany, aby uwolnić zaabsorbowaną wodę. Regeneracja jest procesem odwrotnym do absorpcji. TCF ma kontakt z suchym powietrzem, a część wody z roztworu TCF jest odparowywana do powietrza przepływającego przez urządzenie. Aby wymusić ten proces, zwykle konieczna jest niewielka ilość ciepła w niskiej temperaturze, aby zwiększyć temperaturę powietrza, zmniejszając w ten sposób jego wilgotność względną. Poziom temperatury zależy od równowagi ciśnienia pary między powietrzem a TCF, w każdym przypadku będzie to w temperaturze poniżej 60°C. Podczas tego procesu "ciepło" jest magazynowane wewnątrz TCF w postaci potencjału termochemicznego (skoncentrowany TCF).

Absorpcja i desorpcja mogą odbywać się w tej samej kolumnie (zwanej absorberem) w różnych okresach. Równowaga ciśnienia pary między powietrzem a TCF określi kierunek przepływu wody/wilgoci.



Rys. 5. Regeneracja TCF.

1.7. Płyny wykorzystywane w TheGreefa

Płyny termochemiczne wykorzystywane w tym projekcie to $MgCl_2$ i $NaOH$.

$MgCl_2$ nie jest powszechnie stosowany w procesach suszenia, ponieważ jego higroskopijność jest znacznie niższa niż higroskopijność $LiBr$ lub $LiCl$; roztwory $MgCl_2$ mogą zmniejszyć wilgotność względną powietrza do 30% w temperaturze otoczenia ($20^\circ C$), ale nie poniżej. Jednak wymagana wilgotność dla zastosowań szklarniowych mieści się w zakresie 40-70%, co oznacza, że higroskopijność $MgCl_2$ jest wystarczająca.

Zaletą $MgCl_2$ jest jego wysoka dostępność, ponieważ jest on częścią wody morskiej w stężeniu 1 kg/m^3 , oraz bardzo niski koszt, który wynosi około 100 €/m^3 .

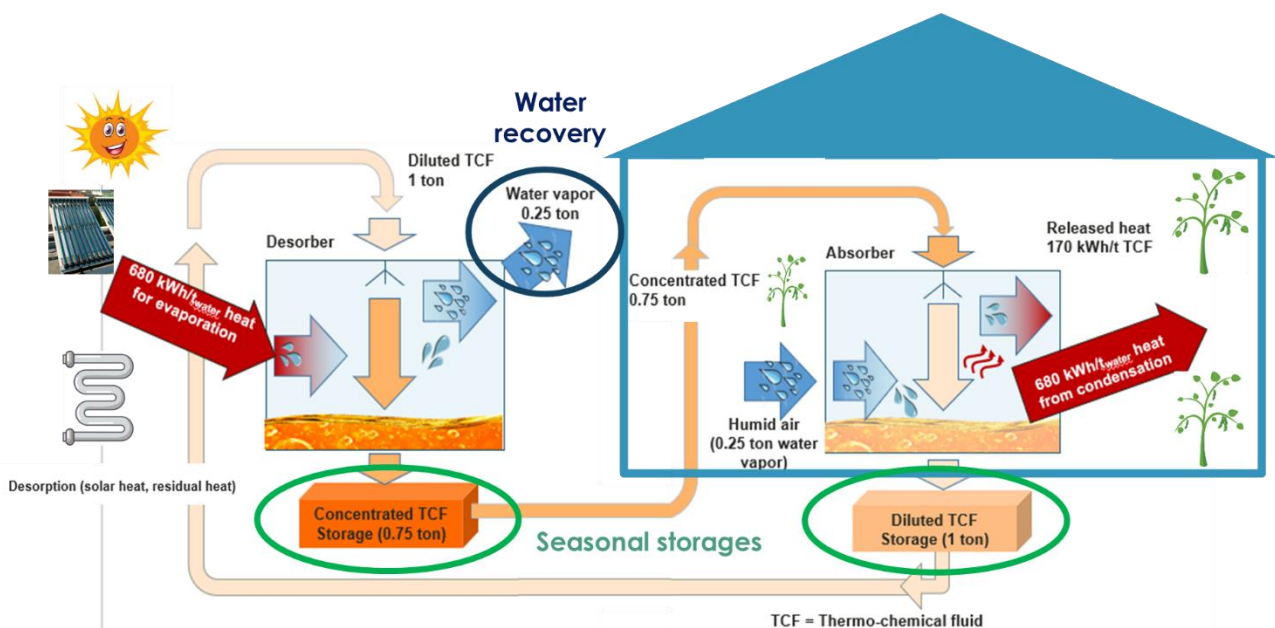
$NaOH$ jest używany do suszenia. $MgCl_2$ nie jest odpowiedni ze względu na niską higroskopijność. W przypadku suszenia upraw wilgotność powietrza należy zmniejszyć do około 10% na wylocie absorbera. Jest to możliwe przy użyciu $NaOH$, którego dostępność jest również wysoka, a koszt niski. Ograniczeniem w stosowaniu $NaOH$ jest jego reakcja z CO_2 zawartym w powietrzu. Reakcja ta nie wpływa w znaczący sposób na proces suszenia, ponieważ powietrze jest recykulowane w zamkniętej pętli absorber-komora suszenia.

Te dwa płyny termochemiczne są nieszkodliwe: $MgCl_2$ jest produktem przygotowania soli do gotowania, podczas gdy $NaOH$ jest stosowany jako składnik specjalnego preparatu hodowlanego.

2. Demonstracja technologii TheGreefa

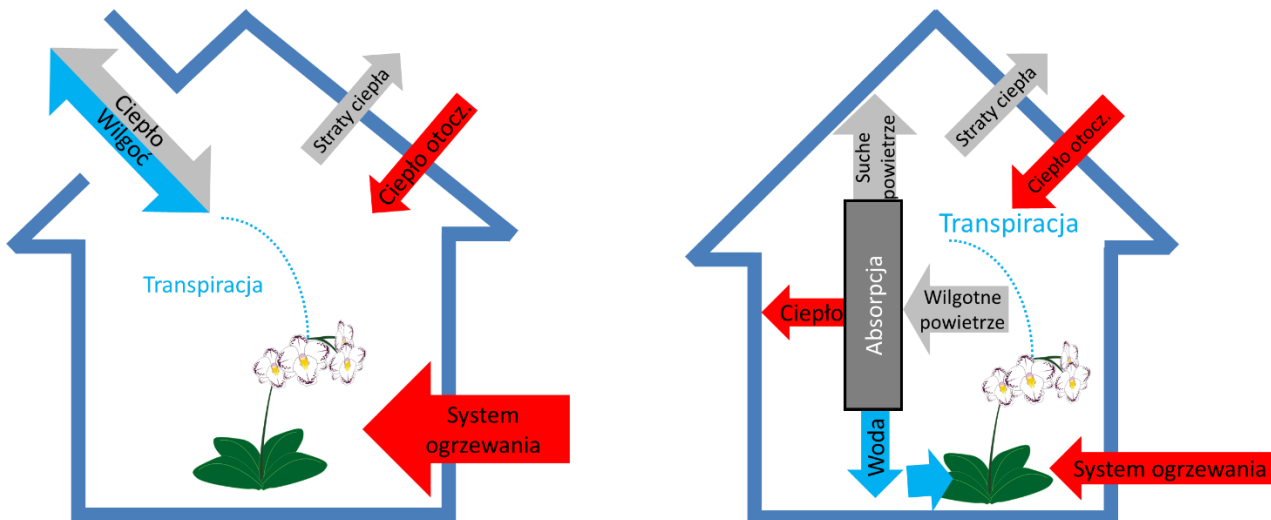
Jak już wspomniano w 1.3, TheGreefa wykorzystuje ciekłe środki osuszające, tzw. płyny termochemiczne (TCF). Typowe TCF to roztwory soli na bazie wodorotlenku sodu lub chlorku magnezu. Wspólnym efektem we wszystkich zastosowaniach są higroskopijne właściwości TCF, umożliwiające pochłanianie pary wodnej z powietrza, a tym samym uwalnianie ciepła jawnego przekształconego z ciepła utajonego zmagazynowanego w parze. Aby przybliżyć ten proces:

- 1 tona wilgoci z powietrza pochłonięta w szklarni, zgodnie z przemianą fazową związaną z energią, uwalnia 680 kWh ciepła. Wilgoć (para) zamienia się w ciekłą wodę. W efekcie szklarnia jest jednocześnie ogrzewana i osuszana.
- Wchłanianie wody rozcieńcza TCF. Gdy TCF zostanie rozcieńczony do pewnego stopnia, proces nie może być kontynuowany i TCF musi zostać zregenerowany. Zaabsorbowana woda musi zostać ponownie usunięta.
- Rozcieńczony TCF może być przechowywany przez długi czas bez żadnych strat, rozcieńczony TCF zostanie zregenerowany, gdy dostępne będzie ciepło.
- Gdy dostępne jest ciepło, na przykład podczas słonecznych dni lub gdy dostępne jest ciepło resztkowe, rozcieńczony czynnik TCF jest transportowany do regeneracji, która może odbywać się w tym samym miejscu szklarni lub w innym miejscu (lewa część rysunku 6 poniżej), ponieważ podczas transportu nie występują straty. Energia cieplna nie jest magazynowana, ale istnieje potencjał do jej uwolnienia.
- W celu ponownego zagęszczenia (regeneracji) należy ponownie wprowadzić do systemu taką samą ilość energii, jaka została uwolniona w procesie absorpcji, ponownie około 680 kWh/tonę odparowanej wody. Źródła ciepła pracujące w temperaturach poniżej 60°C są w dużej mierze wystarczające dla procesu regeneracji, dokładna temperatura zależy od równowagi fazowej pary ciśnieniowej między TCF a otaczającym powietrzem.
- Woda może zostać uwolniona w postaci pary wodnej pochłoniętej przez suche powietrze lub może zostać skroplona i odzyskana jako czysta woda (środkowa część Rys. 6).
- Skoncentrowany czynnik TCF może być przechowywany tak długo, jak jest to konieczne, a także przez długi czas.



Rys. 6. Pętla cieczy dla szklarni.

TheGreefa jest wykorzystana w regionach o klimacie kontynentalnym do regulacji temperatury i wilgotności wewnątrz szklarni. Zastosowanie TheGreefa może zmniejszyć ilość energii potrzebnej do ogrzewania, co w tych regionach ma znaczący wpływ na ogólny bilans. Kontrolując wilgotność bez otwierania okien, a tym samym nie uwalniając ciepła na zewnątrz, zmniejsza się straty ciepła na zewnątrz. Dodatkowo, proces absorpcji uwalnia dalsze ciepło, jeszcze bardziej zmniejszając energię potrzebną do ogrzewania. Na Rys. 7 po lewej stronie przedstawiono tradycyjną szklarnię, a po prawej szklarnię TheGreefa. Proces regeneracji odbywa się na zewnątrz szklarni, a wilgotne powietrze jest następnie uwalniane do atmosfery. W regionie kontynentalnym nie ma potrzeby odzyskiwania wody.



Rys. 7. Zastosowanie TheGreefa w porównaniu do standardowej szklarni.

Absorber

Absorber jest bardzo prostym komponentem. Jest to plastikowa płuczka wypełniona losowym wypełnieniem. Plastik jest niezbędny ze względu na wysoki poziom korozji TCF (roztwór soli).

Powietrze przepływa od dołu do góry, a TCF od góry do dołu. Wypełnienie zwiększa powierzchnię kontaktu i czas kontaktu między powietrzem a TCF.



Rys. 8. Wypełnienie absorbera.

Aby zapewnić wysoki stopień absorpcji, wymagany jest minimalny czas przebywania dwóch płynów wewnątrz absorbera. Odbywa się to poprzez ustawienie maksymalnej prędkości powietrza i minimalnej gęstości przepływu TCF.

W szwajcarskim demonstratorze czas przebywania wynosi 1,5 sekundy, a dwie wartości są stałe: 1 m/s dla prędkości powietrza (pusty absorber) i 12 m³/(h m²) dla gęstości przepływu TCF.

Ten parametr projektowy skutkuje średnicą 0,4 m i wysokością aktywną 1,3 m (wysokość aktywna to część absorbera, w której występuje kontakt między powietrzem a TCF).

Prostą konstrukcję pokazano na Rys. 9: po lewej stronie przezroczysty prototyp jest używany w obiekcie ZHAW. "Biała" część jest wypełniona wypełnieniem i stanowi wysokość aktywną. Po prawej stronie znajduje się absorber zainstalowany w szwajcarskim demonstratorze.

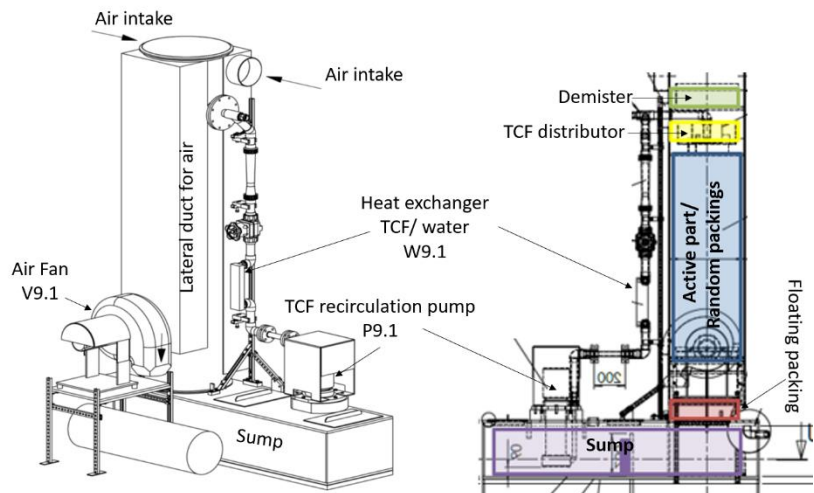


Rys. 9. Przezroczysty absorber w laboratorium ZHAW (po lewej) i absorber zainstalowany w szwajcarskim demonstratorze (po prawej).

Absorber: komponenty

Pochłaniacz składa się z różnych części oznaczonych różnymi kolorami na Rys. 10:

- Żółty: Dystrybutor TCF zapewnia, że TCF jest rozprowadzany równomiernie w całej sekcji absorbera;
- Niebieski: Część aktywna / losowe upakowanie: ta część jest wypełniona małymi losowymi wypełnieniami. Tutaj odbywa się proces absorpcji;
- Czerwony: pływające wypełnienie zapobiega tworzeniu się aerozoli w skruberze;
- Fioletowy: zbiornik zbiera TCF pochodzący z części aktywnej i stąd TCF jest ponownie pompowany do absorbera.
- Zielony: odmgławiacz zapobiega opuszczaniu absorbera przez krople cieczy.



Rys. 10. Komponenty absorbera.

Powietrze jest zasysane do absorbera przez wentylator. Wentylator (V9.1) znajduje się na wylocie powietrza, absorber działa pod ciśnieniem otoczenia. Rozwiązanie to pozwala uniknąć wycieku nieoczyszczonego powietrza z absorbera.

Po stronie TCF, TCF jest pobierany ze studzienki przez pompę recyrkulacyjną (zatapialna pompa odśrodkowa-P9.1) i pompowany przez płytowy wymiennik ciepła (W9.1) do głowicy absorbera, gdzie jest równomiernie rozprowadzany na uszczelnieniu przez rozdzielacz cieczy.

Skruber stoi całkowicie w studzience i ma otwory wylotowe dla roztworu soli na dnie. Syfon oddziela powietrze w skruberze od atmosfery w zbiorniku odbiorczym, dzięki czemu może on pracować w atmosferze otwartej na środowisko szklarniowe. Pomiędzy płuczką a pompą cyrkulacyjną roztworu znajduje się przelew w zbiorniku magazynowym, który zapewnia równomierny przepływ, a tym samym zapobiega występowaniu niejednorodnego rozkładu stężenia TCF.

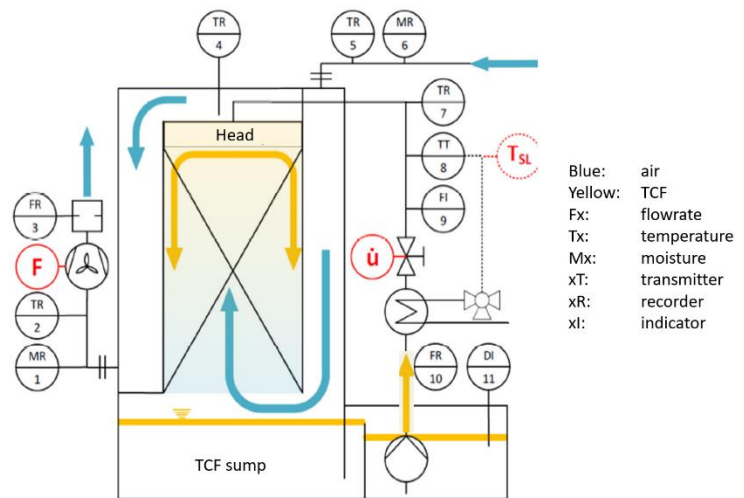
Wszystkie części absorbera mające kontakt z TCF są wykonane z polipropylenu lub polichlorku winylu. Wymiennik ciepła ma powłokę z Parylenu po stronie roztworu.

Absorber: kontrola temperatury powietrza i wilgotności

Wilgotność powietrza jest kontrolowana przez stężenie TCF, podczas gdy temperatura powietrza jest kontrolowana przez temperaturę TCF.

Stężenie TCF wewnątrz absorbera powinno być utrzymywane na określonym poziomie procentowym, aby umożliwić proces absorpcji. Tylko w ten sposób możliwe jest kontrolowanie wilgotności powietrza w szklarni. Zbyt rozcieńczony TCF nie może już kontrolować wilgotności powietrza.

Proces kontroli wilgotności jest realizowany jako proces wsadowy. Gdy tylko punkt pomiarowy MR1 wskaże zbyt wysoką wilgotność, zbiornik TCF jest opróżniany i napełniany stężonym TCF.



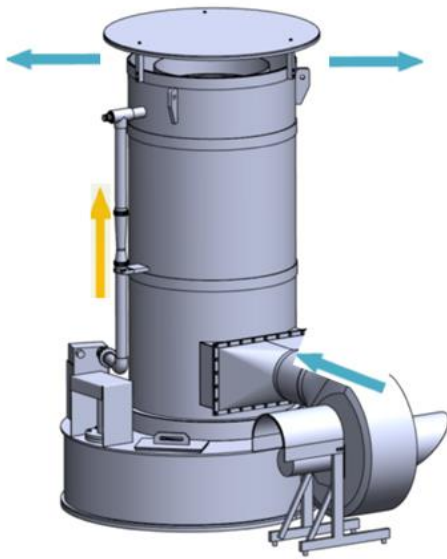
Rys. 11. Absorber: kontrola temperatury powietrza i wilgotności.

Temperatura powietrza jest mierzona na wylocie absorbera (TR 2). Jeśli temperatura jest poza wymaganym zakresem, np. zbyt niska lub zbyt wysoka, TCF jest podgrzewany lub schładzany w wymienniku ciepła pokazanym na Rys. 11. W szwajcarskiej szklarni wymiennik ciepła to wymiennik typu TCF/woda.

Desorber: Regeneracja

Desorber służy do regeneracji (zwanej również koncentracją) rozcieńczonego TCF.

Desorber ma taką samą konstrukcję jak absorber, ale działa w nadciśnieniu, a wentylator znajduje się na wlocie powietrza. Powietrze dostaje się do desorbera bezpośrednio z dołu i opuszcza go z góry.



Rys. 12. Model desorbera.

Wymiennik ciepła służy do dostarczania energii wymaganej do procesu desorpcji.

Temperatura w desorberze w procesie regeneracji (np. proces parowania wody zawartej w TCF i jej absorpcja przez powietrze) wpływa na prędkość potrzebną do osiągnięcia wymaganego stężenia TCF.

Działanie desorbera jest również procesem wsadowym. Zbiornik desorbera jest zwykle pusty. W celu regeneracji jest ona napełniana rozcieńczonym TCF, który jest recykulowany z i do miski przez desorber. Na podstawie pomiaru gęstości i temperatury roztworu określone jest stężenie TCF. Po osiągnięciu maksymalnego stężenia TCF (w szwajcarskim demonstratorze 32%), proces desorpcji zostaje zakończony, a stężony TCF jest pompowany ze studzienki desorbera do zbiornika magazynowego stężonego TCF.

Więcej szczegółów można znaleźć na stronie internetowej Cordis lub na stronie internetowej TheGreefa w zakładce *Do pobrania > Publikacje*, w dokumencie **Concept for a fully automated system and operating manual**.

Odnosiniki do dokumentacji:

Cordis: <https://cordis.europa.eu/project/id/101000801/results/>

TheGreefa: https://thegreefa.eu/wp-content/uploads/2024/06/THEGREEFA_D1.3-Control-system-and-operating-manual.pdf

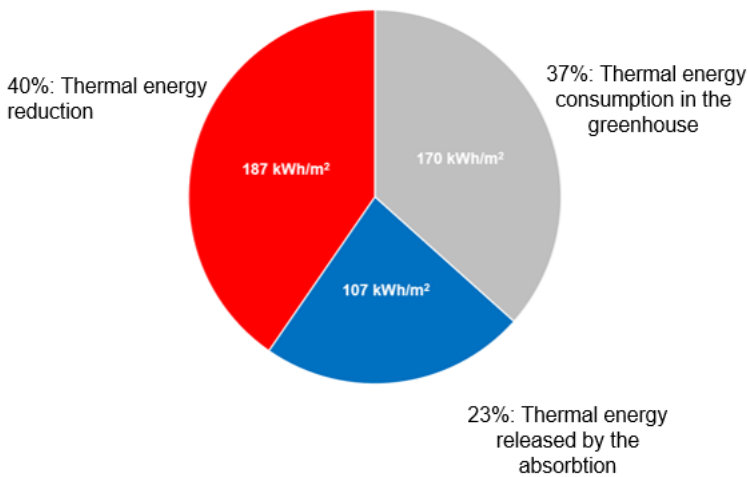
2.1. Demonstracja w Szwajcarii

Przedstawione tutaj wyniki dotyczą szwajcarskiego demonstratora projektu TheGreefa. Szwajcarski demonstrator to szklarnia o powierzchni 600 m², położona w pobliżu Zurychu w Szwajcarii. Została ona specjalnie zaprojektowana do uprawy orchidei. Zamiast umieszczać rośliny bezpośrednio na podłodze, umieszczono je na stołach, jak pokazano na Rys. 13.



Rys. 13. Stoły uprawne w szwajcarskim demonstratorze. Na zielono zaznaczono absorber.

Bilans energetyczny szwajcarskiego demonstratora

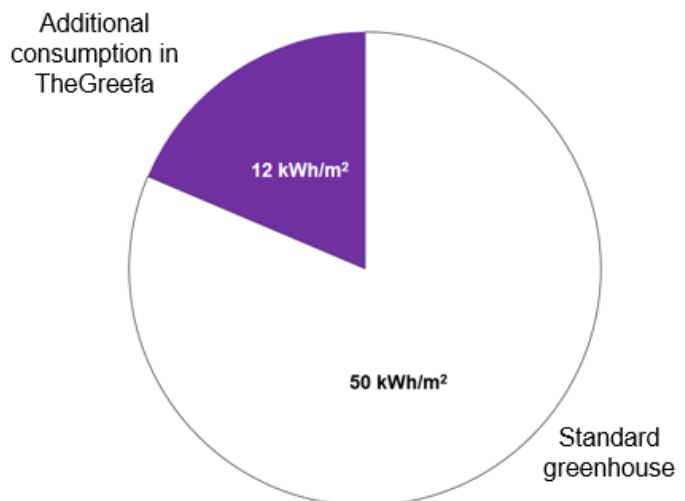


Rys. 14. Roczny bilans energii cieplnej w szwajcarskim demonstratorze.

Na podstawie danych mierzonych przez ponad rok i ich interpolacji oszacowano oszczędności energii, jakie technologia TheGreefa przyniosła szwajcarskim szklarniom. 100% na wykresie kołowym (Rys. 14) reprezentuje energię cieplną, która byłaby wymagana w szklarni bez systemu TheGreefa. Czerwona część wskazuje energię zaoszczędzoną przez TheGreefa dzięki kontroli wilgotności opartej na absorpcji zamiast wypuszczania ciepłego i wilgotnego powietrza na zewnątrz. Niebieska część reprezentuje energię

cieplną uwalnianą podczas procesu absorpcji. Ta niebieska część to energia potrzebna do ogrzania szklarni, ale nie musi być dostarczana przez operatora szklarni. Jest to energia wymagana do regeneracji TCF, na przykład niskotemperaturowa energia cieplna, która w przeciwnym razie zostałaby niewykorzystana. Cechą charakterystyczną TheGreefa jest to, że dostępność tej energii nie musi zbiegać się w czasie i przestrzeni z jej wykorzystaniem. Energia ta może być przechowywana przez długi czas bez żadnych strat energii w postaci skoncentrowanego TCF, zachowując potencjał do uwalniania energii cieplnej, a nie energii termicznej. Wreszcie, szary segment to energia cieplna, która musi być dostarczana przez operatora szklarni.

W przypadku zużycia energii elektrycznej sytuacja jest jednak odwrotna - operator szklarni musi faktycznie dostarczać energię. Jak pokazano na Rys. 15 wraz z instalacją TheGreefa zużycie energii elektrycznej wzrasta o około 24%. Ważne jest, aby wziąć pod uwagę, że komponenty cyrkulacyjne, takie jak pompy i wentylatory zainstalowane w systemie TheGreefa, nie zostały zoptymalizowane pod kątem ich wydajności elektrycznej. Dodatkowo, projekt kanałów powietrznych i wymienników ciepła nadał priorytet wydajności cieplnej, co spowodowało znaczne straty wysokiego ciśnienia. W związku z tym istnieje możliwość zmniejszenia tego dodatkowego zużycia poprzez działania optymalizacyjne.



Rys. 15. Roczne zużycie energii elektrycznej w szwajcarskim demonstratorze.

Biorąc pod uwagę ogólny bilans energetyczny w szwajcarskiej szklarni, oczywiste jest, że energia elektryczna ma mniejszy wpływ w porównaniu z energią cieplną. Jeśli wykluczmy energię wykorzystywaną do regeneracji – czy to dlatego, że jest ona zarządzana oddzielnie od operatora szklarni, czy też dlatego, że pozostaje niewykorzystana w inny sposób – całkowite oszczędności

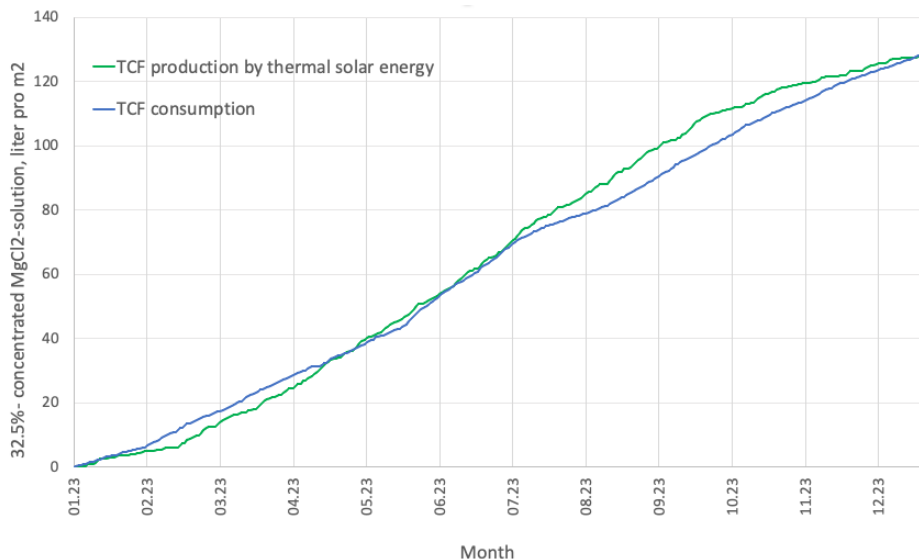
energii przekraczają 50%. Nawet po uwzględnieniu energii regeneracyjnej nadal uzyskuje się znaczne oszczędności wynoszące około 35%.

Tabela 1. Podsumowanie bilansu energetycznego w szwajcarskiej szklarni.

	TheGreefa kWh/m ² rok	Bez TheGreefa kWh/m ² rok
Energia termiczna	155	464
Energia elektryczna	62	50
Całość	217	514
Energia do regeneracji (ciepło niskotemperaturowe)	107	
Całość z regeneracją	324	514

Wyniki TCF

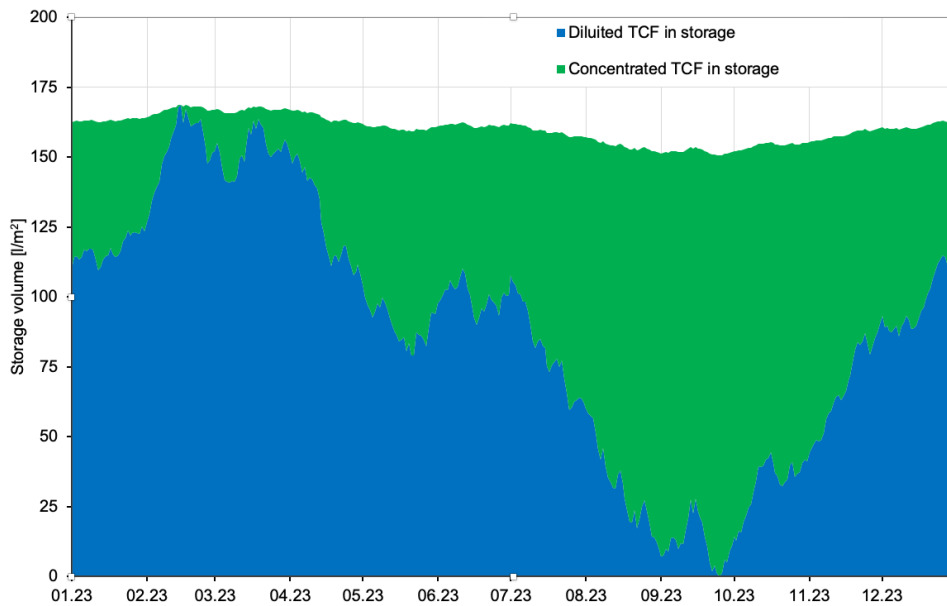
W oparciu o zmierzone dane skoncentrowanego TCF wykorzystanego w demonstratorze (niebieska linia na Rys. 16), produkcja skoncentrowanego TCF (zielona linia na Rys. 16) została zasymulowana przy użyciu jako źródła ciepła ciepłej wody generowanej w termicznych panelach słonecznych znajdujących się w pobliżu szklarni. W przypadku szwajcarskiej szklarni potrzeba około 100 m² paneli słonecznych, co stanowi około jednej szóstej powierzchni szklarni. Co ciekawe, regeneracja TCF odbywa się przez cały rok, ponieważ zależy od różnicy temperatur między powietrzem a TCF, a nie od temperatury bezwzględnej. Produkcja nieznacznie spada w chłodniejszych miesiącach ze względu na krótsze dni i większe zachmurzenie.



Rys. 16. Absorpcja i regeneracja TCF (MgCl₂).

W oparciu o ilość i sposób wykorzystania TCF wykorzystanego i zregenerowanego, określono minimalny wymagany rozmiar magazynu TCF (Rys. 17). Potrzebna jest tylko jedna jednostka magazynowa, ponieważ różne gęstości stężonego i rozcieńczonego TCF zapobiegają ich mieszaniu. W zimnych porach roku zużycie TCF jest wysokie, a regeneracja nieco niższa; pod koniec tego sezonu (marzec) magazyn jest w pełni zajęty przez rozcieńczony TCF. I odwrotnie, pod koniec ciepłego sezonu, ze względu na przeciwne warunki, magazyn jest całkowicie wypełniony skoncentrowanym

TCF. Wymagana objętość zbiornika wynosi około 175 litrów na metr kwadratowy powierzchni szklarni.

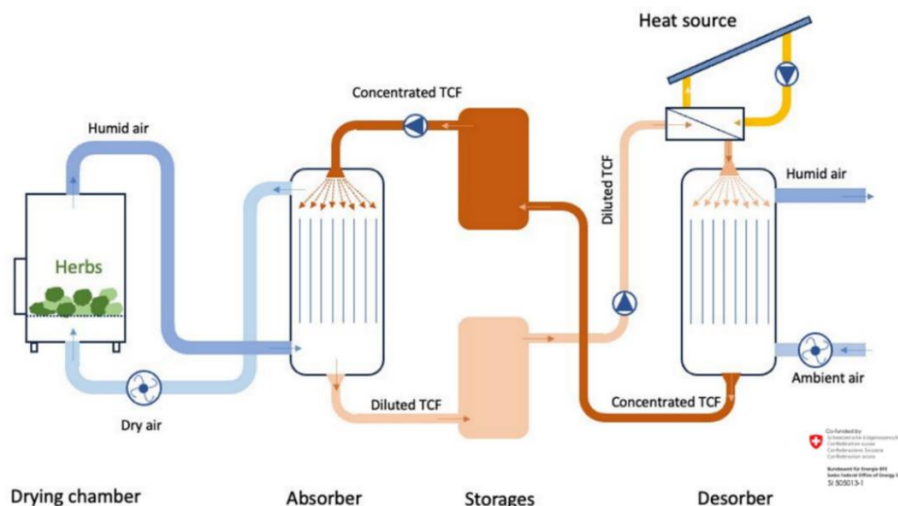


Rys. 17. Pojemność magazynu.

Proces osuszania

Proces osuszania jest bardzo podobny do procesu kontroli wilgotności i temperatury powietrza. Różnica polega na tym, że w tym przypadku zakresem jest osuszanie powietrza, bez kontroli temperatury

To zastosowanie wyjaśniono na Rys. 18. Powietrze jest osuszane w absorberze w przeciwnym kierunku do przepływu powietrza, ale niekoniecznie jest ogrzewane, ponieważ ciepło mogłoby zaszkodzić liściom/warzywom i wpłynąć na ich jakość. Konfiguracja absorbera może być taka sama jak absorbera używanego w szklarni. W obiegu zamkniętym uwolnione suche powietrze jest następnie wtryskiwane do komory suszenia, gdzie można odciągnąć wilgoć z warzyw.



Rys. 18. Proces suszenia z wykorzystaniem absorbera i desorbera.

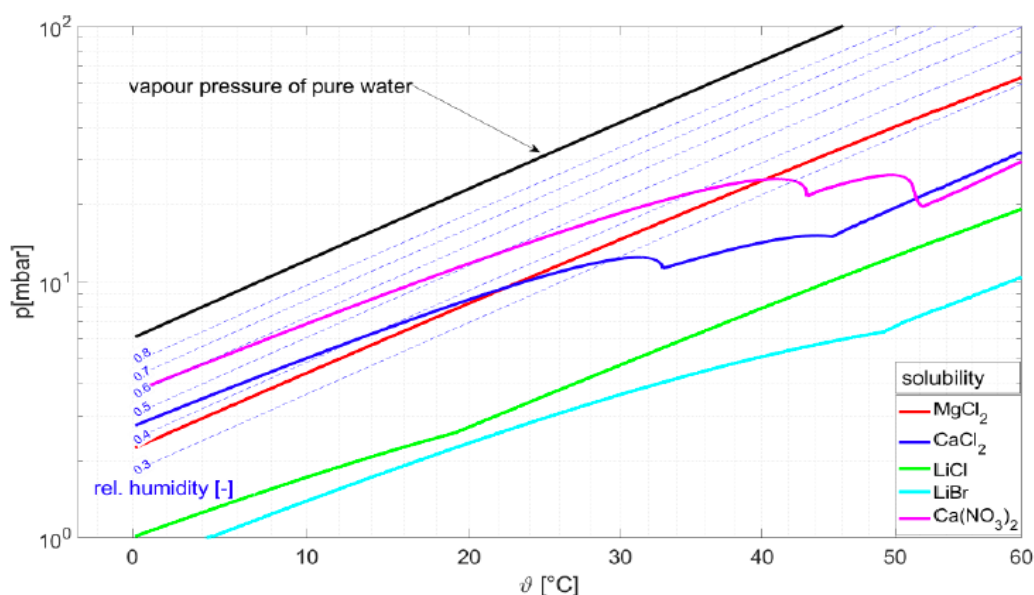
Rozcieńczony TCF może być następnie przechowywany bez strat termicznych i regenerowany, gdy ciepło odnawialne (np. ciepło słoneczne) jest ponownie dostępne. W porównaniu z najnowocześniejszymi instalacjami wykorzystującymi osuszacze kompresyjne, w osuszaczu

sorpcyjnym zużycie energii elektrycznej ogranicza się do pracy wentylatorów i pomp cieczy, podczas gdy wymagana energia cieplna może być w całości dostarczana przez niskotemperaturowe źródło ciepła, np. może być całkowicie odnawialna. Po procesie regeneracji dostarczona energia może być również magazynowana bez żadnych strat.

Wybór TCF

Wybór TCF do zastosowania w suszarni różni się od wyboru w szklarni.

Rys. 20 przedstawia linię równowagi pomiędzy różnymi TCF i wilgotnym powietrzem. Linie przerywane przedstawiają powietrze o różnym poziomie wilgotności. Punkty przecięcia linii rozpuszczalności TCF i linii powietrza wskazują minimalną wilgotność osiągalną w danej temperaturze. Na przykład w temperaturze 20°C z roztworem $MgCl_2$ maksymalny stopień osuszania nie spada poniżej 35%. $MgCl_2$ został wybrany do szklarni ze względu na jego dostępność i niski koszt, ale jego higroskopijność jest ograniczona. W temperaturze 20°C wilgotność powietrza nie może spaść poniżej 35% RH. Podczas gdy dla uprawy roślin taki poziom wilgotności jest nie do przyjęcia, ponieważ jest zbyt niski, a dla procesu suszenia jest on zbyt wysoki. Drogą alternatywą mogą być roztwory LiBr lub LiCl.



Rys. 20. Porównanie różnych TCF.



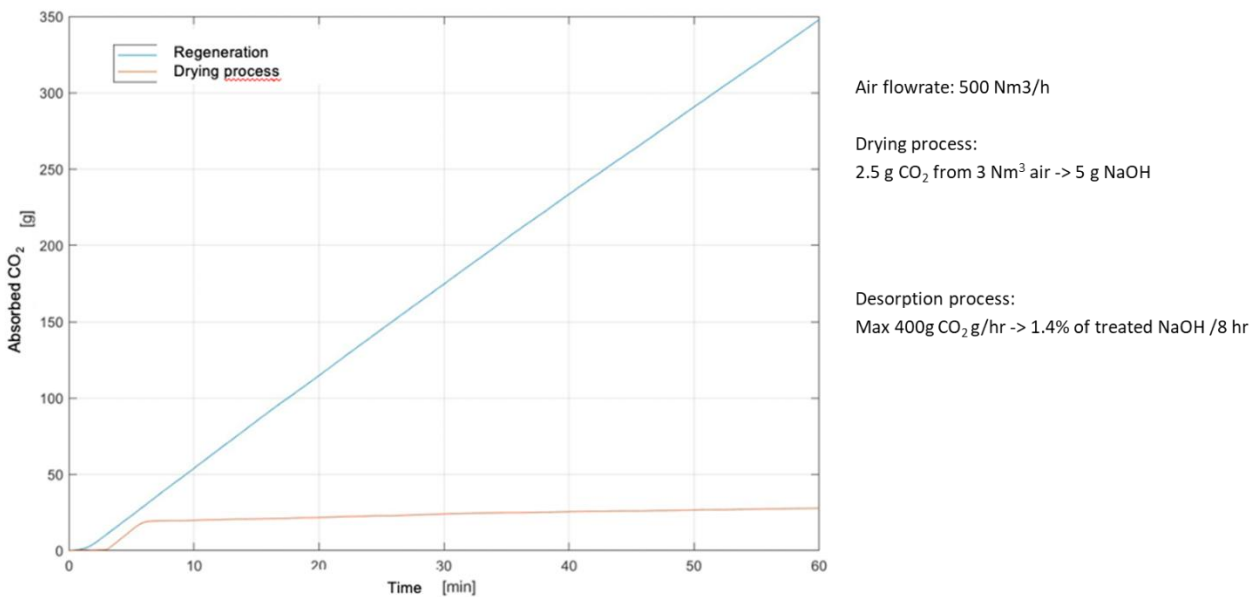
Rys. 19. Wnętrze suszarki z suszonymi ziołami.

Tabela 2. Różne TCF testowane do procesu suszenia.

Salt (TCF)	Chemical compounds	Air humidity at the equilibrium, 20°C
Caesium fluoride	CsF	3.38 %rH
Lithium bromide	LiBr	6.61 %rH
Zinc bromide	ZnBr ₂	7.94 %rH
Sodium hydroxide	NaOH	8.91 %rH
Potassium hydroxide	KOH	9.32 %rH
Lithium chloride	LiCl	11.31 %rH
Calcium bromide	CaBr ₂	16.50 %rH

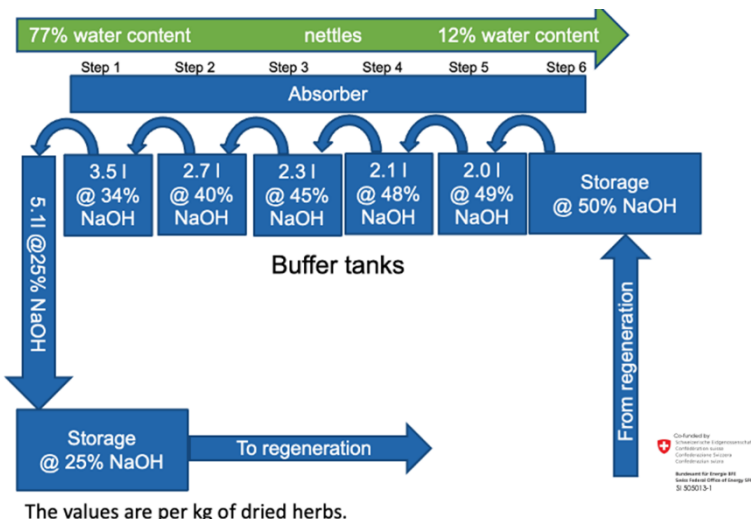
W procesie suszenia chcieliśmy znaleźć i przetestować TCF o lepszych właściwościach higroskopijnych niż $MgCl_2$, ale o przystępnych kosztach. Dodatkowo musiał to być TCF kompatybilny z przemysłem spożywczym. Charakterystyka różnych TCF została przeanalizowana w Tabela 2 i wybór padł na NaOH, który jest szeroko stosowany w piekarnictwie i spełnia te wymagania.

Problemem, który może pojawić się przy stosowaniu NaOH jest jego reaktywność z CO_2 obecnym w powietrzu. Ta reakcja tworzy węglany, które wytrącają się, więc osad musi zostać usunięty, a przereagowany NaOH uzupełniony. Problem ten można zminimalizować, jeśli nie wyeliminować, poprzez recykulację powietrza w obiegu zamkniętym. Na Rys. 21 na niebiesko pokazano CO_2 reagujący z NaOH podczas procesu regeneracji. Regeneracja została przeprowadzona w zakładzie ZHAW w cyklu otwartym, w którym stale dostarczano nowe powietrze z otoczenia. W tym przypadku konieczne jest ciągłe uzupełnianie NaOH.



Rys. 21. Reakcja CO₂ z NaOH.

W absorberze do osuszania powietrza powietrze jest stale recykulowane. Jak pokazuje czerwona linia, CO₂ reaguje z NaOH tylko początkowo; gdy jego poziom spadnie poniżej progu reakcji, nie jest już usuwany. NaOH nie wymaga uzupełniania. Powstałe węglany wytrącają się w roztworze NaOH i mogą zostać usunięte pod koniec cyklu suszenia.



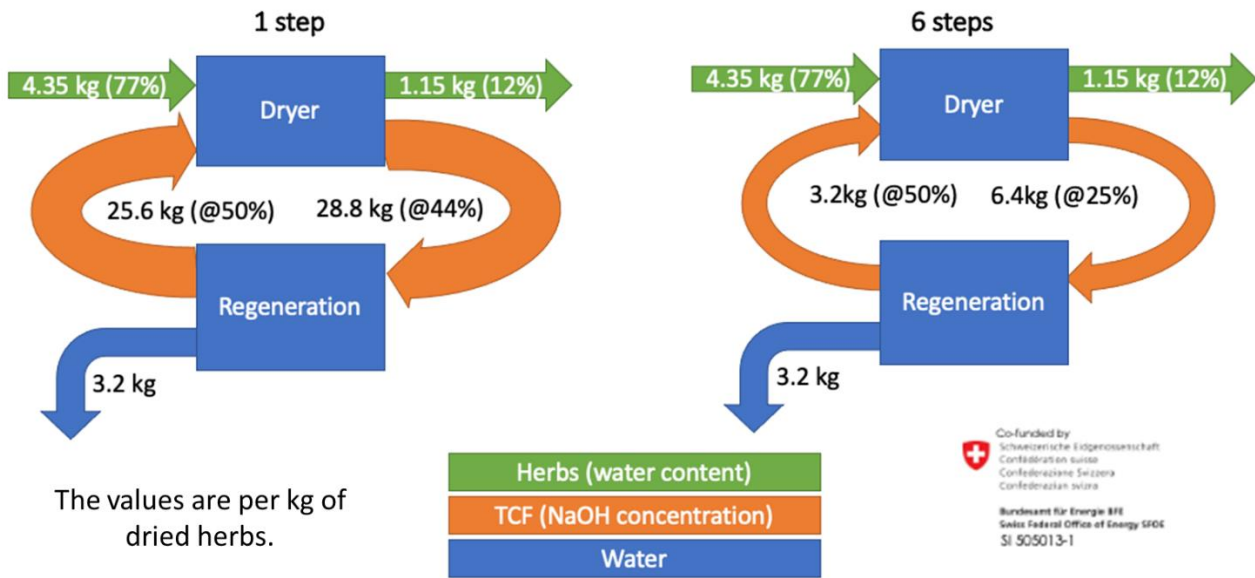
Rys. 22. Zaproponowana koncepcja procesu osuszania.

Optymalizacja procesu

Stężenie TCF stosowane w testach laboratoryjnych wynosiło 50% na początku procesu suszenia i 44% na końcu. Nie był on nigdy wymieniany podczas całego procesu suszenia.

Moc absorpcji była zatem wyższa na początku niż na końcu. Jednak na końcowych etapach usuwanie pozostałej wilgoci z prawie wysuszonych ziół jest trudniejsze.

Wysokie stężenie TCF nie jest bezwzględnie konieczne na początku procesu suszenia, natomiast jest niezbędne na końcowych etapach. Z tego powodu zaproponowano koncepcję zilustrowaną na Rys. 22. Proces rozpoczyna się od rozcieńzonego TCF, który jest następnie zastępowany w kolejnych fazach coraz bardziej stężonym TCF. Można to osiągnąć poprzez ponowne wykorzystanie TCF z ostatniego etapu jednej partii ziół we wcześniejszym etapie następnej partii. Dopiero gdy TCF jest tak rozcieńczony, że nie może już wchłaniać, jest wysyłany do regeneracji lub do magazynu rozcieńzonego TCF.



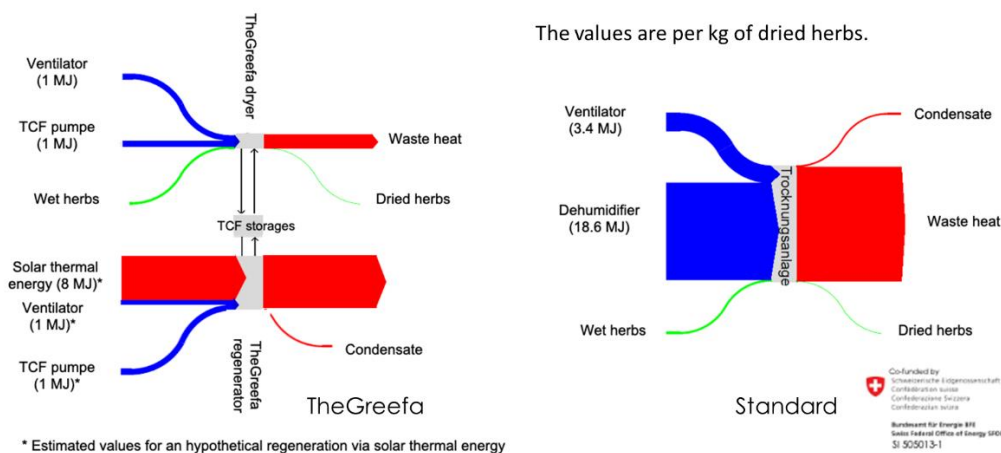
The values are per kg of dried herbs.

Rys. 23. Redukcja objętości w procesie stopniowym.

Korzystając z procesu stopniowego, możliwe jest zmniejszenie objętości wymaganej przez magazyn, jak pokazano na Rys. 23. Energia wymagana do regeneracji pozostaje taka sama, ponieważ ilość wody do odparowania jest taka sama.

Porównanie zużycia energii

Określone zużycie energii przez całą instalację, w tym regenerację TCF, zostało oszacowane i porównane z rzeczywistą instalacją. Na Rys. 24 niebieskie strzałki oznaczają energię elektryczną, a czerwone energię cieplną.



* Estimated values for an hypothetical regeneration via solar thermal energy

Rys. 24. Porównanie energetyczne procesu suszenia TheGreefa i standardowego suszenia.

Biorąc pod uwagę, że regeneracja wykorzystuje energię cieplną, która w innym przypadku nie byłaby wykorzystywana (powiedzmy, że jest to energia darmowa), zapotrzebowanie na energię przy TheGreefa jest wyraźnie niższe niż w przypadku konwencjonalnego suszenia za pomocą osuszacza. Ważne jest, aby podkreślić, że wielką zaletą TheGreefa jest nie tylko to, że proces wymaga mniej energii niż konwencjonalna instalacja, ale także to, że wymagana energia cieplna jest oddzielona od procesu suszenia.

Ta energia cieplna może być w całości pozyskiwana z energii odnawialnej lub niskotemperaturowego ciepła odpadowego, które w przeciwnym razie zostałyby niewykorzystane. Dodatkowo, TCF może pośrednio przechowywać energię cieplną przez długi czas bez żadnych strat energii.

2.2. Demonstracja w Tunezji

Głównym celem tego pilotażowego projektu w szklarni demonstracyjnej w Tunezji jest ocena wydajności opartego na solance systemu osuszania cieczy (LDAS), wykorzystywanego do klimatyzacji szklarni. Badanie to koncentruje się na ocenie skuteczności LDAS w tworzeniu zrównoważonego i kontrolowanego klimatu w szklarni w warunkach klimatycznych Tunezji. System LDAS został wdrożony i przetestowany w innowacyjnej szklarni Water Cycling Greenhouse, która charakteryzuje się akordeonowym kształtem zaprojektowanym w celu zebrania maksymalnej ilości wody kondensacyjnej.

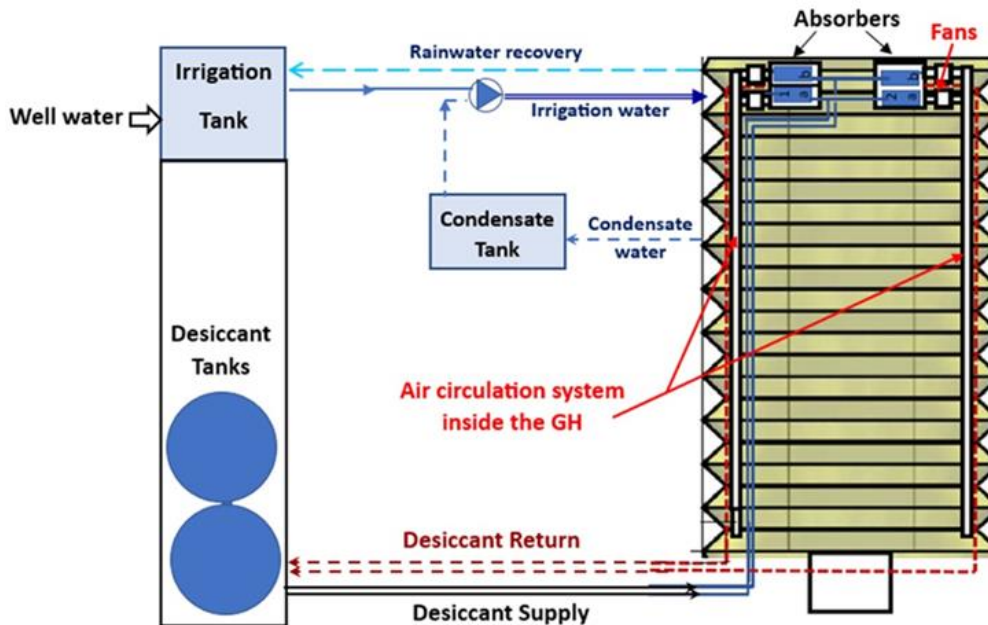
W systemie nacisk kładziony jest na trzy punkty:

1. Regeneracja środka osuszającego w nocy z wykorzystaniem ciepła zgromadzonego w ciągu dnia:
 - Dzienna/nocna akumulacja i uwalnianie ciepła (pasywne zbieranie chłodu z nocy).
 - Możliwość lepszej regeneracji z dodatkowym źródłem ciepła (plastikowe kolektory słoneczne, potencjalnie ciepło resztkowe z CSP).
 - Możliwość regeneracji za pomocą podgrzewacza solarnego działającego 24 godziny na dobę.
2. Akumulacja CO₂ (1000 - 2000 ppm) w zamkniętej atmosferze:
 - Lepsza fotosynteza, jeśli inne czynniki wzrostu, takie jak woda/składniki odżywcze, są również spełnione.
 - Lepsza produkcja.
 - Lepsza akceptacja ciepła, co pozwala na mniejszą liczbę środków chłodzenia (wystarczająca podaż CO₂ nawet przy zamkniętych aparacie szparkowym w wyniku stresu cieplnego i/lub wodnego).
3. Odzyskiwanie wody poprzez połączoną ewapo-kondensację:
 - Woda z wilgotnego powietrza do środka osuszającego w ciągu dnia.
 - Woda ze środka osuszającego do powietrza w nocy.
 - Kondensacja wody na wewnętrznej powierzchni folii.
 - Usuwanie kropelek wody przez zmodyfikowany kształt dachu, zapewniający wystarczające nachylenie do usuwania i zbierania kropelek.
 - Usuwanie ciepła przez zmodyfikowany kształt dachu (zygzak) dla większej całkowitej powierzchni usuwania ciepła.

Komponenty systemu w tunezyjskim demonstratorze

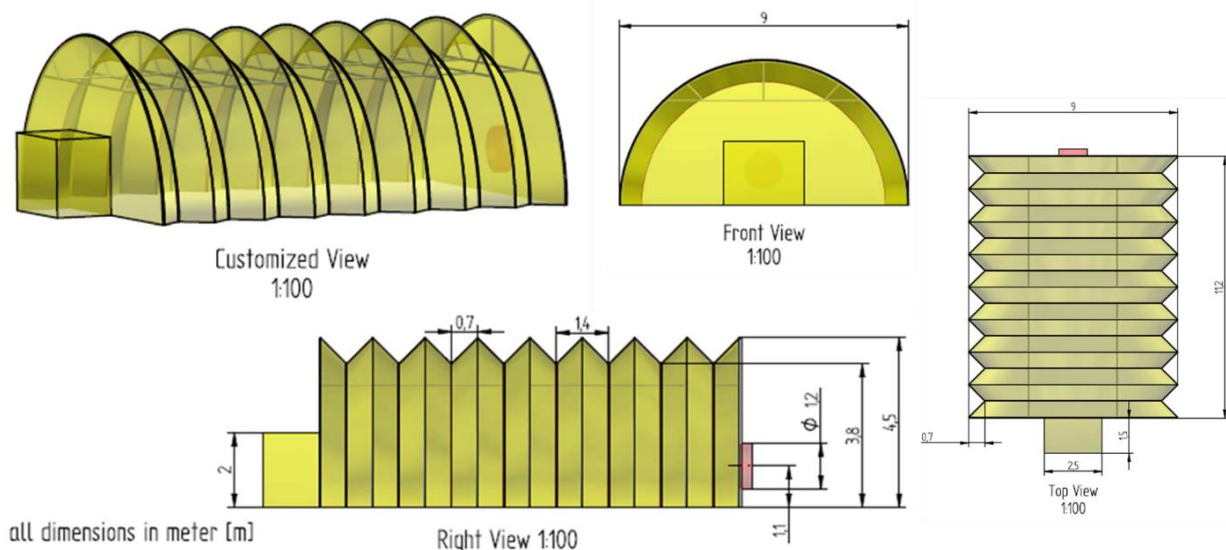
Głównymi elementami systemu pilotażowego w Tunezji są:

- Szklarnia o kształcie akordeonu mająca na celu maksymalizację zbierania wody kondensacyjnej,
- Dwa absorbery
- Pętla osuszacza (dwa zbiorniki magazynowe, pompy, rury, elektrozapory),
- Pętla powietrza (kanały powietrzne, wentylatory),
- System monitorowania.



Rys. 25. Schemat systemu.

Nowa konstrukcja ma na celu uzyskanie znacznie większej powierzchni odprowadzania ciepła. Jednocześnie, zbieranie kropelek zostało poprawione dzięki większemu nachyleniu folii, szczególnie w górnej części tunelu.



Rys. 26. Specyfikacje techniczne szklarni – kształt Zygzak (akordeon).



Rys. 27. Zamknięta szklarnia o powierzchni 100 m² (górze) i zbiornik odzysku wody o pojemności 1 m³ (dół).

Zbiornik wody przedstawiony na Rys. 27 jest zbiornikiem łączonym, zbierającym wodę deszczową z dachu szklarni, a także zbierającym skropliny wody z wewnętrznej powierzchni folii szklarni.

Projekt absorbera

Absorber jest głównym elementem systemu klimatyzacji szklarni, zapewniającym cyrkulację w przeciwnym kierunku roztworu solanki i powietrza pobieranego ze szklarni.

Cyrkulacja ta umożliwia regulację zarówno temperatury, jak i wilgotności powietrza poprzez przekształcanie ciepła utajonego w ciepło jawne przy jednoczesnym pochłanianiu wilgoci z powietrza.

Absorber został wyprodukowany przez grupę roboczą Uniwersytetu Technicznego w Berlinie (TUB) i Watery GmbH.

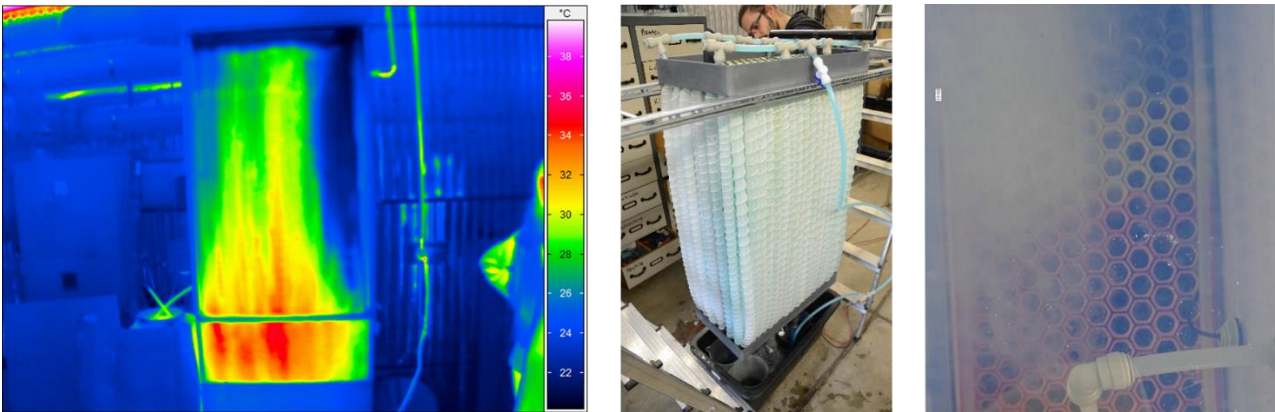


Rys. 28. Absorber zainstalowany w tunezyjskim urządzeniu demonstracyjnym (po lewej) i wewnętrzna struktura absorbera (po prawej).

Wstępne testy prototypu absorbera dostarczyły jasnych informacji na temat braków w dystrybucji cieczy. Analiza w podczerwieni (IR) (Rys. 29) wykazała, że uwalnianie ciepła w procesie pracy jest nierównomierne z powodu różnych prędkości przepływu w środku (niski przepływ) i na obwodzie (wysoki przepływ).

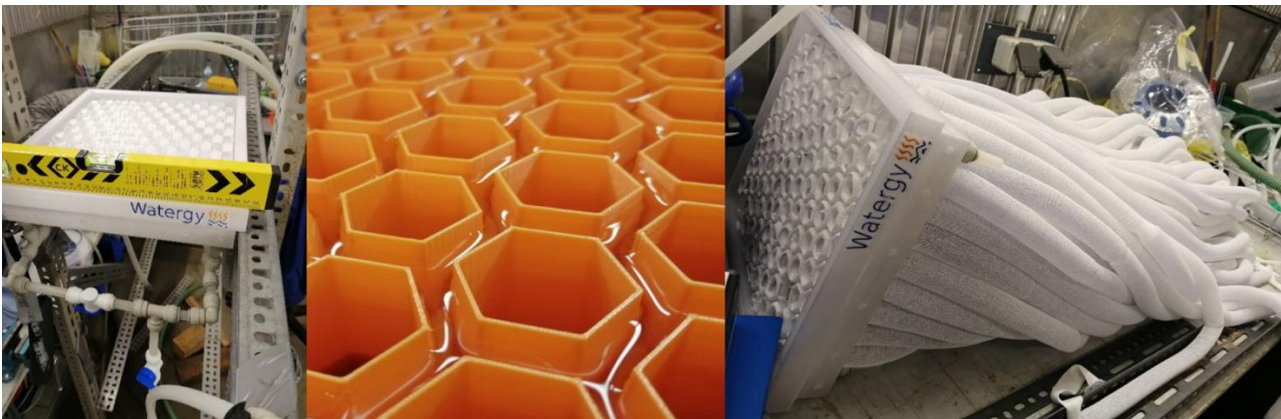
Użycie zabarwionej cieczy również wykazało problemy związane z nierównomierną dystrybucją. Wady wykazane w testach zaowocowały nową konstrukcją pochłaniaczy. Nierównomierna

dystrybucja powietrza w dolnej części absorbera została wykazana przez analizę mgły. Powietrze było głównie kierowane do góry z obszaru w pobliżu wlotu powietrza, ze względu na gęstą konfigurację elementów absorbera.



Rys. 29. Analiza IR (po lewej), analiza cieczy zabarwionej (w środku) i analiza mgły (po prawej).

Nowy projekt zapewniał kształt elementów pochłaniających o zmniejszającej się średnicy w kierunku dołu, umożliwiając przedostawanie się powietrza do wewnętrznego obszaru objętości.



Rys. 30. Konstrukcja absorbera z wydrukowaną w 3D sześciokątną strukturą wewnętrzną.

Nowa konstrukcja elementu rozpraszającego środek pochłaniający wilgoć ma na celu całkowicie zdecentralizowane dostarczanie płynu między sześciokątnymi otworami.

Centralny wlot jest połączony z systemem wewnętrznych kanałów w drukowanej części, doprowadzając płyn do wielu otworów.

Konstrukcja jest zoptymalizowana pod kątem dużego przepływu objętościowego (20 l/min, pobór ~5 kW ciepła przy $\Delta T=5K$). Optymalizacja jest przeprowadzana dla wyrównanego przepływu roztworu.

Właściwości roztworu środka osuszającego

Testowanie wydajności środka osuszającego:

- Działanie roztworu solanki dostarczonego przez Sallina Sfax (Mare Alb) zostało przetestowane w warunkach klimatu szklarniowego.



Rys. 31. Pomiar z 2 butelkami.

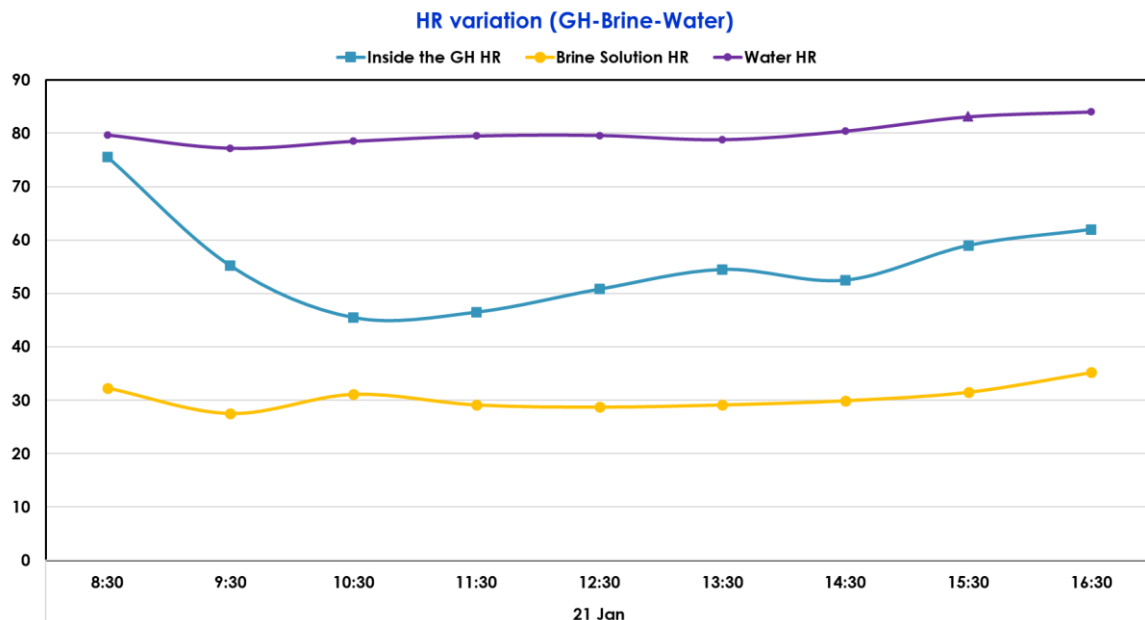
- Przeprowadzono pomiary powietrza wewnątrz butelki z roztworem solanki i butelki z wodą w celu porównania temperatury i wilgotności powietrza (Rys. 31).

Skład solanki:

- Gęstość: 1,350
- Magnez Mg: 112,65 g/l
- Siarczan SO₄: 34,09 g/l
- Inne pozostałości (Ca, Cl, K...): 428 g/l.

Działanie absorbera systemu opiera się na właściwościach higroskopijnych zastosowanego TCF, którym jest roztwór solanki chlorku magnezu (MgCl₂).

Pomiary względnej wilgotności równowagowej (ERH) przeprowadzono w styczniu 2022 r. zgodnie z metodą nasyconego roztworu soli, która polega na umieszczeniu próbki roztworu solanki w szczelnym pojemniku i pomiarze wilgotności względnej powietrza w kontakcie z BLD. Gdy powietrze osiągnie równowagę z BLD, jego wilgotność względna odpowiada ERH płynu osuszającego.



Rys. 32. Efekt roztworu solanki – 21 stycznia 2022 r.

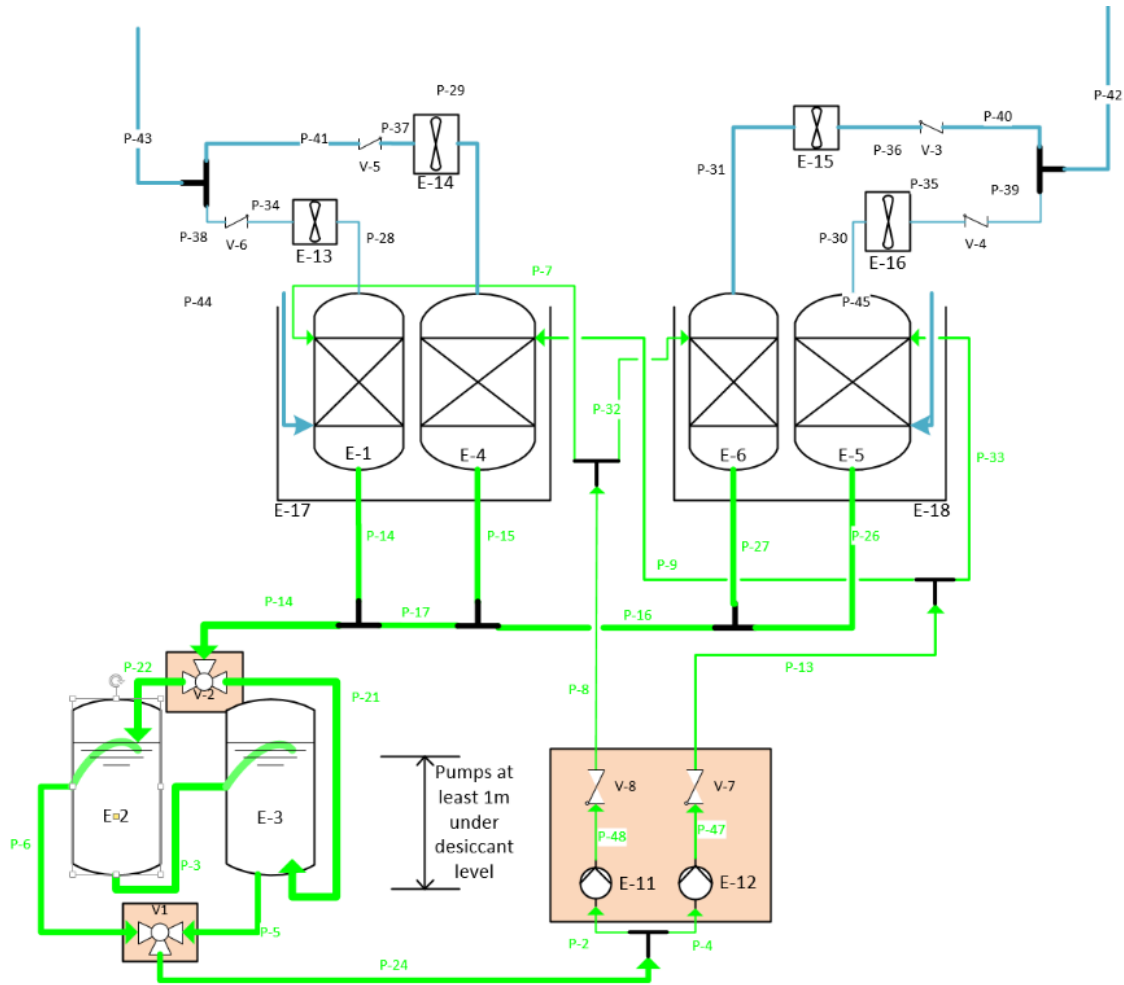
Zmierzone wartości ERH są zgodne z ustaloną w literaturze wartością ERH wynoszącą $32,78 \pm 0,16\%$ dla czystego nasyconego roztworu MgCl₂ w temperaturze 25°C.

Żółta krzywa na Rys. 32 przedstawia środek osuszający o niskiej wilgotności względnej. Fioletowa krzywa pokazuje wilgotność względną w drugim pojemniku, zawierającym tylko wodę. Widać więc, że ma on bardzo wysoką wilgotność względną, ponieważ powietrze nad wodą jest oczywiście nasycone. Niebieska linia pokazuje wilgotność względną wewnątrz szklarni w powietrzu otaczającym te dwa pojemniki.

Obieg środka osuszającego w systemie

W badanym systemie wykorzystano dwa połączone ze sobą zbiorniki magazynowe o łącznej objętości 15 m³ roztworu solanki. Zbiorniki są połączone z absorberami za pomocą dwóch pomp i

układu hydraulicznego. Urządzenia pochłaniające zostały zamontowane na stojakach na wyższym poziomie niż zbiorniki magazynowe, aby umożliwić grawitacyjny powrót roztworu TCF i zmniejszyć złożoność sterowania systemem.



Rys. 33. Instalacja zbiorników magazynowych i podłączenie komponentów systemu osuszającego.



Rys. 34. Pompy i elektrozwory.

Dystrybucja powietrza wewnątrz szklarni

Powietrze jest pobierane z dachu szklarni i transportowane przez absorber. Po przejściu termicznej wymiany ciepła i procesu osuszania/nawilżania, przetworzone powietrze jest wdmuchiwane do szklarni na wysokości roślin.



Rys. 35. Instalacja urządzeń pochłaniających i systemu cyrkulacji powietrza wewnątrz szklarni (wentylatory + kanały powietrzne).

Rys. 35 przedstawia absorbery umieszczone w tylnej części szklarni oraz rury rozprowadzające powietrze po bokach (zdjęcie po lewej). Na prawym zdjęciu przedstawiono zainstalowany absorber.

System monitorujący

Monitoring został wdrożony w szklarni, aby móc monitorować i kontrolować system za pomocą komputera sterującego. Sterowanie pracą systemu osuszania odbywa się w trzech etapach w trybie dziennym i nocnym. Pierwszy tryb jest uruchamiany tylko przez jedną pompę. Drugi tryb jest uruchamiany przez drugą większą pompę, a w trzecim trybie obie pompy pracują razem.

Zaimplementowany monitoring pozwala na wykonywanie pomiarów:

- temperatury i wilgotności względnej,
- natężenia przepływu środka osuszającego,
- stężenia CO₂,
- poziomu środka osuszającego wewnątrz zbiorników magazynowych.

Korzystając z monitorowanych danych, możliwe jest obliczenie bilansu energetycznego i wydajności systemu.



Rys. 36. Instalacja skrzynki kontrolnej, czujników i systemu gromadzenia danych.

Wnioski

Jako ostatnia część prezentacji tunezyjskiego demonstratora, poniżej przedstawiono kilka wniosków:

- Wysoki poziom szczelności szklarni jest niezbędny do osiągnięcia warunków kondensacji.
- Tolerująca błędy wentylacja awaryjna jest wymagana, ale musi wspierać koncepcję szczelności.
- Instalacja absorberów w szklarni (nie na zewnątrz).
- Konstrukcja absorbera skutecznie redukuje złożoność i koszty.
- Części drukowane w 3D wymagają wysokiej jakości, odpornych na ciepło tworzyw sztucznych i osłony przeciwsłonecznej.
- Pojemność magazynowa jest droga, a połączenia hydrauliczne są podatne na błędy.
- Środki osuszające wymagają dużej uwagi w zakresie korozyjności, wycieków, utylizacji i recyklingu.

Kolejne kroki, które należy podjąć w celu ulepszenia systemu i zapewnienia wyższej wydajności i niezawodności, są następujące:

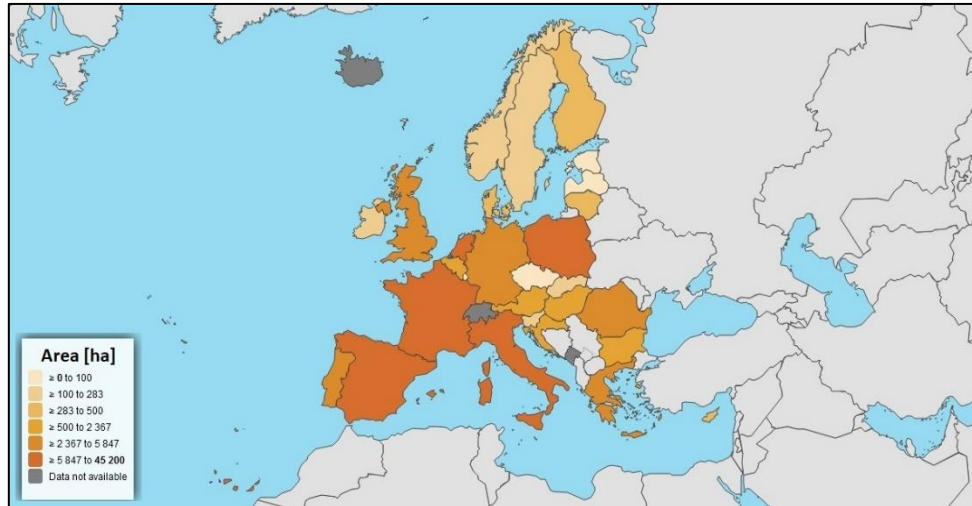
- Zastosowanie materiału zmiennofazowego (PCM) do magazynowania ciepła pozwoli na zmniejszenie ilości środka osuszającego o 50-90%.
- Integracja PCM w absorberze może również obniżyć koszty pompowania o 50-90%, zapewniając również niewielką redukcję wymagań wentylacyjnych (~ 30%).
- Tani PCM o temperaturze topnienia około 30°C (do takiego zastosowania można rozważyć tłuszcz ze smażenia frytek z recyklingu lub węglan sodu).

- Możliwe jest dalsze uproszczenie konstrukcji Zygzak, która ostatecznie nie jest dużo droższa niż istniejące szklarnie tunelowe.
- Konieczne są dalsze badania - również ze względu na brak alternatyw dla przewyciężenia kryzysu wodnego.
- W ostatnim czasie odnotowano dużą aktywność w zakresie klimatyzacji budynków z wykorzystaniem ciekłych środków osuszających. Firmy typu start-up, takie jak „Blue Frontier” (finansowana przez Billa Gatesa) i „7AC” to niedawne wielomilionowe inwestycje. Istnieje duża konkurencja w tego typu badaniach, nie tylko w dziedzinie szklarni.

3. Symulacje i optymalizacja – Studia przypadków

3.1. Studia przypadków

Głównym celem studiów przypadku jest analiza różnych warunków brzegowych w odniesieniu do dwóch reprezentatywnych europejskich regionów klimatycznych wybranych w ramach projektu.



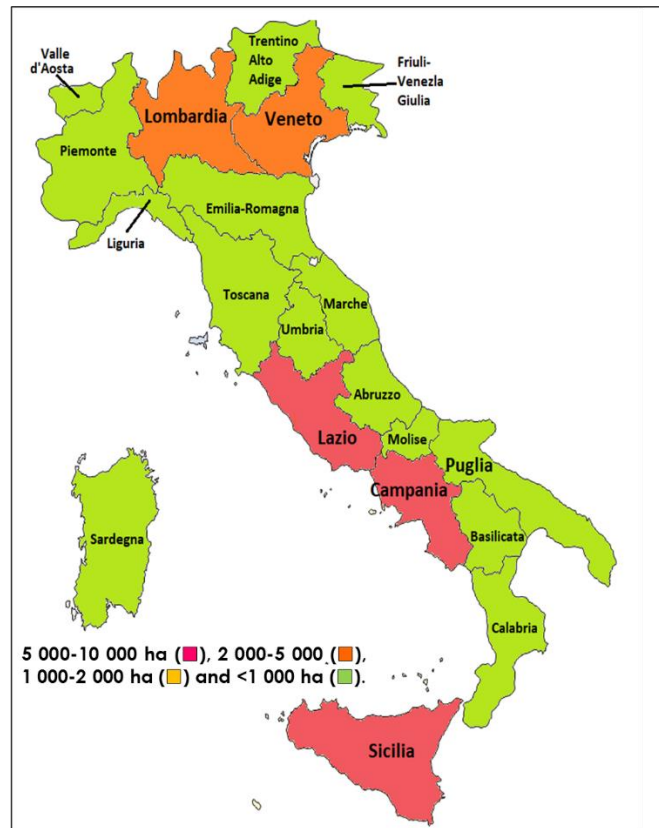
Rys. 37. Udział szklarni w krajach Unii Europejskiej UE-27 (EUROSTAT, 2023a).

Hiszpania, z największą powierzchnią szklarni ogrodnich w Europie, została wybrana jako priorytetowy obszar badań. W 2023 r. powierzchnia szklarni ogrodnich wynosiła 77 923 ha.



Rys. 38. Mapa hiszpańskich regionów z różnymi powierzchniami szklarni.

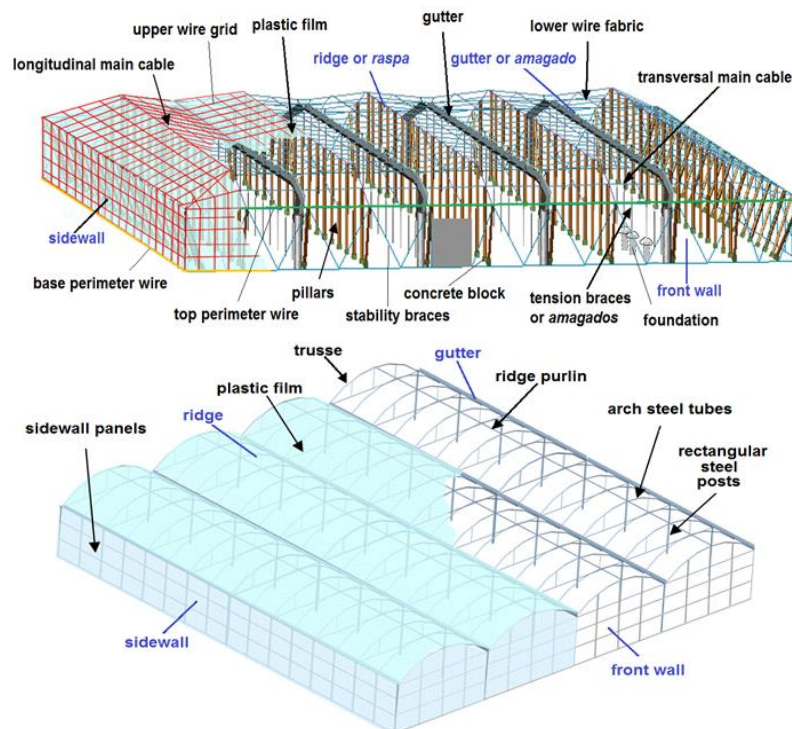
Włochy, z silnym przemysłem szklarniowym, zostały zidentyfikowane w zadaniu projektu T3.1 – Ocena rynku jako potencjalne rynki początkowe dla TheGreefa. Powierzchnia szklarni w 2023 r. wynosiła 35 229 ha.



Rys. 39. Mapa włoskich regionów z różnymi powierzchniami szklarni.

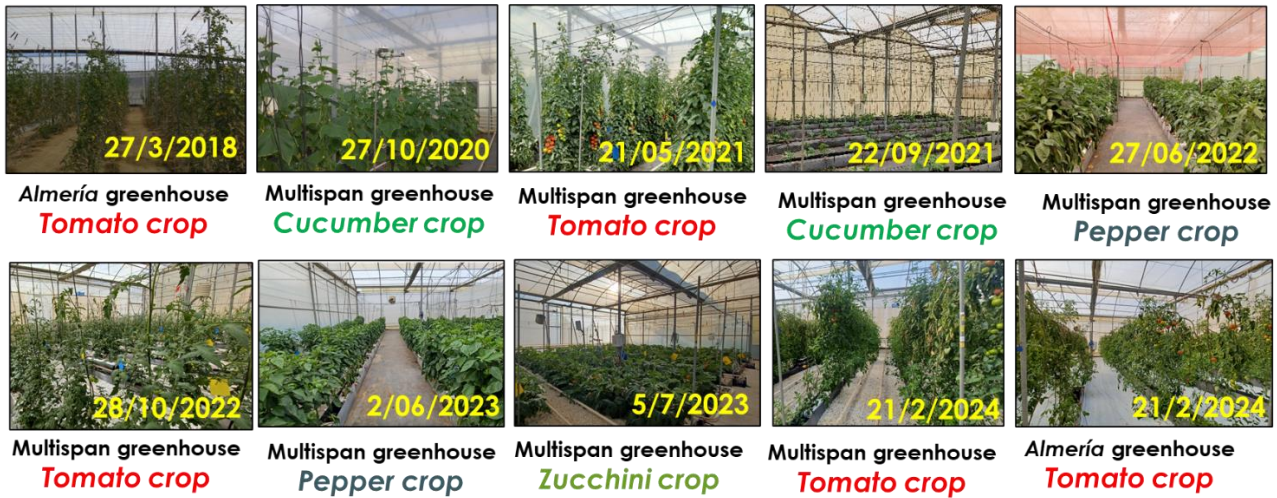
Zakres analizy obejmował trzy studia przypadków, które zostały wybrane w Almerii (Hiszpania):

- Nieogrzewana szklarnia typu Almería z naturalną wentylacją.
- Nieogrzewana szklarnia wielopanelowa z kontrolerem klimatu.
- Szklarnie wielopanelowe ogrzewane gazem ziemnym.



Rys. 40. Prosta szklarnia typu Almeria ze strukturą „raspa y amagado” (u góry) i zaawansowana technologicznie szklarnia ze strukturą wielopanelową (u dołu).

W szklarni typu Almería Uniwersytetu w Almerii przeanalizowano dwie uprawy pomidorów opracowane w sezonie 2017/18 i w bieżącym sezonie 2023/24. Podczas opracowywania projektu TheGreefa w nieogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych uprawiano kilka alternatywnych kombinacji upraw: ogórek-pomidor, ogórek-papryka i pomidor-cukinia.



Rys. 41. Najważniejsze uprawy, które zostały przeanalizowane w Almerii i wielopłaszczyznowych szklarniach Uniwersytetu w Almerii.

Wybrano dwa studia przypadków dotyczące produkcji pomidorów we Włoszech:

- Nieogrzewana szklarnia wielopanelowa.
- Szklarnie wielopłaszczyznowe ogrzewane gazem ziemnym i olejem oraz zrębkami drzewnymi.



Rys. 42. Uprawa pomidorów koktajlowych w nieogrzewanej szklarni wielopanelowej (po lewej) i ogrzewanej szklarni wielopanelowej (po prawej).

Źródła informacji

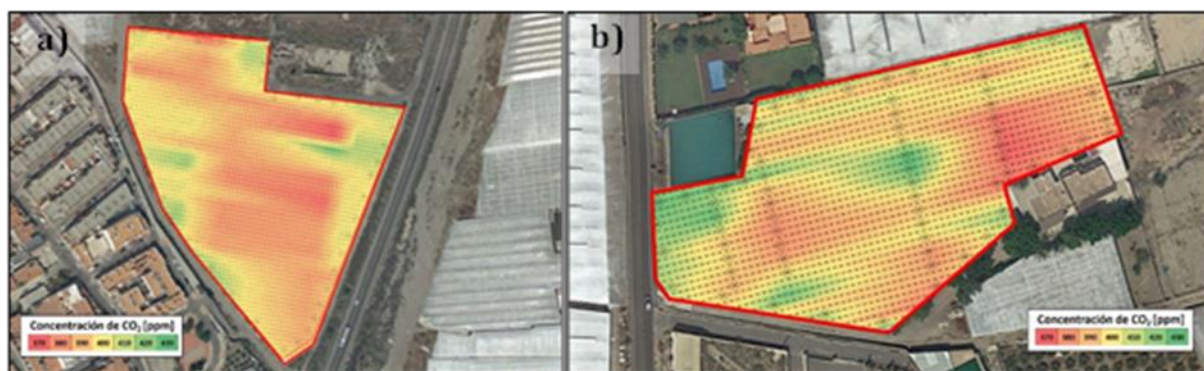
- **Charakterystyka techniczno-produkcyjna szklarni w Almerii** została przeprowadzona w drodze ankiety przeprowadzonej w **2022 r.** przez **Andaluzyjską Spółdzielnię AFE** wśród 222 członków, **obejmującej 610 szklarni (1,4% całkowitej powierzchni w Almerii).**
- **Koszty produkcji szklarni w Almerii** w sezonach **2021-22** i **2022-23** zostały przeanalizowane dla **nieogrzewanych szklarni typu Almería** dla siedmiu różnych wariantów cykli upraw, na podstawie danych **Obserwatorium Cen i Rynków** Ministerstwa Rolnictwa, Hodowli, Rybołówstwa i Zrównoważonego Rozwoju **Rządu Andaluzji - JA.**

- **Koszty produkcji, zużycie energii, wody, nawozów i produktów fitosanitarnych** zostały zmierzone w sezonach **2020-21, 2021-22, 2022-23 i 2023-24** dla **nieogrzewanych szklarni typu Almería i wielopłaszczyznowych szklarni Uniwersytetu w Almerii dla upraw pomidorów, papryki i ogórków.**
- **Koszty produkcji pomidorów w nieogrzewanych szklarniach wielopanelowych we Włoszech** uzyskano z danych rządowych (**Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare - ISMEA**), a **zużycie energii i wody** zostało zmierzone przez **Sfera Agricola** w komercyjnej **ogrzewanej szklarni wielopanelowej**, szacując powiązane koszty produkcji.
- Opracowano **ocenę wpływu cyklu życia (LCIA)**, szacując główne czynniki wpływu na środowisko dla **pięciu studiów przypadku** przy użyciu **modelu symulacji środowiskowej EXCEL EUPHOROS.**

W studium przypadku przeanalizowano główne parametry klimatyczne wpływające na rozwój szklarniowych upraw ogrodniczych. Instalacja systemu kontroli klimatu wykorzystującego płyny termochemiczne może pomóc w utrzymaniu odpowiedniej temperatury i wilgotności, wprowadzeniu CO₂ ze środowiska zewnętrznego i osiągnięciu większej jednorodności tych parametrów klimatycznych. Projekt systemu dystrybucji powietrza musi zapobiegać utracie promieniowania słonecznego na poziomie uprawy z powodu zacienienia.

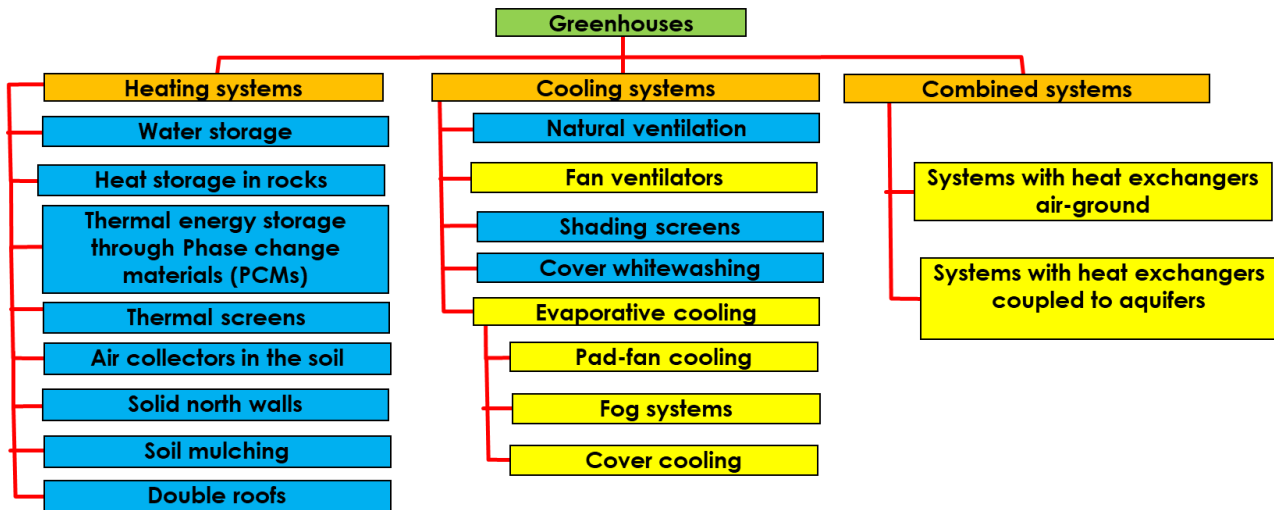
Przeanalizowane warunki klimatyczne dla upraw szklarniowych:

- Odpowiednia temperatura powietrza, liści roślin i gleby.
- Umiarkowana wilgotność względna w celu uniknięcia kondensacji lub stresu wodnego.
 - Wysoki poziom promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PAR).
 - Stężenie CO₂ w powietrzu na poziomie około 420 ppm.
 - Jednolitość różnych parametrów klimatycznych.



Rys. 43. Dystrybucja CO₂ wewnątrz szklarni słonecznych w Almerii typu „raspa y amagado” lub prostego (a) i „parral plano” lub elementarnego (b).

Chociaż istnieje wiele opcji skutecznej kontroli klimatu w szklarniach, systemy aktywne wymagają dużego zużycia energii, a systemy pasywne są często ograniczone przez zewnętrzne warunki pogodowe. Wykorzystanie płynów termochemicznych może być stosowane jako uzupełnienie innych systemów w celu zmniejszenia zużycia energii.



Rys. 44. Klasyfikacja różnych systemów kontroli klimatu dla szklarni – metody pasywne (zaznaczone na niebiesko).

Zużycie energii w szklarniach zależy od zapotrzebowania na ogrzewanie. W nieogrzewanych szklarniach zużycie waha się od 30 do 100 GJ/ha, podczas gdy w ogrzewanych szklarniach zapotrzebowanie na energię może przekraczać 20 000 GJ/ha.

Tabela 3. Zużycie energii przez rolnictwo szklarniowe w niektórych krajach europejskich (różne badania).

Country	Greenhouse area (ha)	Energy (GJ/ha)		Total energy		Gas emission	
		Heating	Electricity	(GJ/ha)	(kWh/m ²)	(toe/ha) ^b	(tCO ₂ eq/ha) ^c
Spain	77 923	81 – 16 272	2.8	84 – 17 784	2.3 – 158	2.0 – 332.0	13.6 – 1 277
Italy	35 229	11.8 – 9 450	13.5 – 65.6	62 – 14 616	1.7 – 406	3.0 – 349	11.6 – 1 344
Netherland	10 636	10 303 – 14 990	1 300	11 603 – 22 689	325 – 630	277 – 365	1 389 – 1 820
France	9 813	180 – 11 412	158 – 5 976	6 156 – 11 412	171 – 317	45 – 273	354 – 1 049
Greece	5 100	56 – 8 138	1.1	57 – 8 550	1.6 – 237	1.4 – 204	9 – 786
Germany	3 199	12 612 – 13 000	-	3 981 – 16 308	111 – 453	302 – 390	1 163 – 1 499
Portugal	1 010	2 174 – 6 768	-	273 – 11 556	7.6	6.5	25
Total/Average	120 930	39 020 571	3 871 189	1 562	155	1 717	48

^a 1 GWh = 8.60×10⁵ Mtoe - Mega tonne oil equivalent (Krey et al., 2014).

^b Using a factor emission of CO₂ for heat production of 0.331 tCO₂eq/MWh (Krey et al., 2014).

Podczas gdy w Hiszpanii powierzchnia upraw pod osłonami wzrosła o 18,7% w ciągu ostatnich siedmiu lat, we Włoszech obszar zajmowany przez szklarnie pozostaje bardzo stabilny.

Tabela 4. Obszar pokryty szklarniami i produkcja warzyw w różnych regionach Hiszpanii i Włoch. Evolution of surface of greenhouses in different regions of Spain (MAPA, 2024).

Year	Andalucía	Murcia	Canary Islands	Spain
2016	48 509	6 235	6 744	65 674
2020	55 138	6 491	5 491	71 783
2023	61 099	6 449	5 495	77 923

+18.7%

Evolution of greenhouse surface in different regions of Italy (ISTAT, 2024).

Year	Lazio	Campania	Sicilia	Veneto	Lombardia	Italy
2016	7 845	10 332	7 676	3 360	2 076	35 574
2020	9 001	9 994	7 121	3 285	1 949	35 574
2023	7 629	7 523	7 029	3 748	3 642	35 229

-0.9%

Ceny produktów ogrodniczych charakteryzują się znaczną zmiennością w zależności od warunków pogodowych w Europie lub czynników wpływających na marketing (COVID, wojna w Ukrainie).

Najwyższe ceny zostały osiągnięte zarówno w Hiszpanii, jak i we Włoszech w 2023 roku. Ogólnie rzecz biorąc, ceny sprzedaży są od 15 do 20% wyższe we Włoszech.

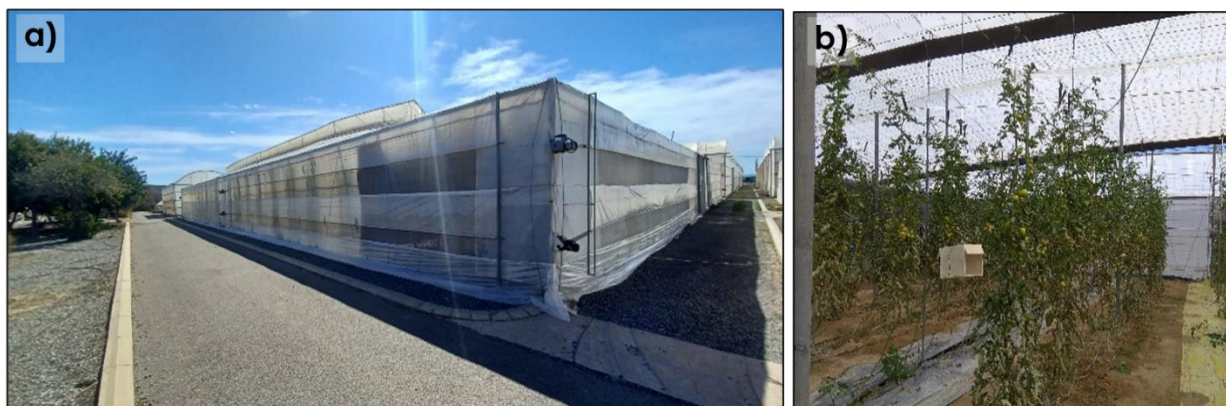
Tabela 5. Średnia cena [€/kg] uzyskana przez rolników za produkcję szklarniową w Hiszpanii i we Włoszech w ostatnich sezonach (JA, 2024a; ISMEA, 2024a).

Country	Spain				Italy			
	2016/17	2018/19	2020/21	2022/23	2017	2019	2021	2023
Standard tomato	0.66	0.61	0.60	0.94	0.93	0.83	0.93	1.21
Cherry tomato	1.28	1.12	1.23	1.56	1.57	1.12	1.21	1.64
Pepper	0.91	0.77	0.84	1.23	0.74	0.88	1.00	1.51
Cucumber	0.70	0.53	0.57	0.95	0.42	0.48	0.54	0.74
Watermelon	0.35	0.30	0.31	0.40	0.21	0.34	0.25	0.48
Zucchini	0.68	0.54	0.50	0.67	0.93	0.97	1.12	1.16
Melon	0.41	0.48	0.40	0.49	0.52	0.65	0.61	1.05
Eggplant	0.73	0.60	0.55	0.74	0.63	0.71	0.86	1.02
Bean	1.69	1.83	1.63	2.26	1.84	1.63	2.90	0.80
Average	0.63	0.65	0.63	0.90	0.76	0.78	0.86	1.05

Dla każdego z pięciu wybranych studiów przypadku przeanalizowano koszty produkcji, zużycie wody i energii oraz ich wpływ na środowisko. Poniżej przedstawiono wyniki uzyskane dla każdego z pięciu analizowanych przypadków.

3.2. Studium przypadku 1 – Nieogrzewana szklarnia typu Almería

Pierwszym analizowanym przypadkiem są szklarnie typu Almería, które stanowią ponad 70% w Hiszpanii. Ich koszt inwestycyjny wynosi 15-20 €/m².



Rys. 45. Szklarnia typu Almería (a) i uprawa pomidorów wewnątrz (b) w stacji doświadczalnej UAL-ANECOOP w Almerii (Hiszpania).

Szklarnie te osiągają wartości wydajności zwykle niższe od 15 kg/m², przy kosztach produkcji wynoszących od 0,70 do 1,00 €/kg. W zależności od cen w danym roku, rolnicy mogą uzyskać zysk w wysokości do 50 000 €/ha lub ponieść straty.

Tabela 6. Koszty produkcji mierzone dla pomidorów uprawianych w szklarni typu Almería w sezonach 2017/18 (koszty zaktualizowane do sezonu 2022/23) i 2023/24, zlokalizowanych w gospodarstwie doświadczalnym University of Almería-ANECOOP.

Greenhouse type	Almería-type in "Raspa y amagado"			
Farm area [m ²]	28 152	Greenhouse surface [m ²]	1 917	
Commercial type	On vine or branch		Tomato Pears	
Cycle length [days]	225		194	
Type of soil	Sand mulching		Coconut fiber substrate	
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	10.8		6.6	
Type of cost	€/ha			
Supplies	24 823		19 127	
Transport	2 181		1 153	
Labour	30 675		24 206	
Contracted external services	1 224		508	
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]	58 903		44 994	
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	17.8	17 070	18.4
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]	17 743		20 995	
Total cost [€/ha]	76 645		65 990	
Unitary cost [€/kg]	0.71		1.00	
Average price A _p [€/kg]	1.03		0.94	
Total value crop [€/m ²]	11.12		6.21	
Production value P_V [€/ha]	111 240		62 111	
Annual operating income I _y [€/ha]	34 595		-3 879	

Są to szklarnie, które wymagają najmniejszego zużycia energii, głównie w systemie nawadniania oraz otwierania i zamykania okien (jeśli są zmotoryzowane). Zużycie energii elektrycznej waha się między 1 a 1,5 kWh/m², a zużycie wody waha się między 15-75 l/m².

Tabela 7. Zużycie energii i wody zmierzone w eksperymentalnej nieogrzewanej szklarni typu Almería Uniwersytetu w Almerii.

Season	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Crops	Cucumber+tomato	Cucumber+pepper	Tomato+zucchini	Tomato
Energy consumption				
Electricity price [€/kWh]	0.145	0.159	0.143	0.132
Electricity for ventilation [kWh/m ²]	0.398	0.379	0.452	0.230
Total electricity [kWh/m ²]	1.194	1.064	1.442	0.924
Electrical consumption [GJ/ha]	43.0	38.3	51.9	33.3
Water consumption				
Water consumption [m ³ /ha]	2 185	5 242	4 854	2 945
Water price [€/m ³]	0.54	0.76	1.06	1.23
Water requirements [m ³ /t]	14.3	63.5	73.8	61.6

W tych szklarniach osiąga się najniższy wpływ na środowisko. Struktura szklarni i system nawadniania generują największy wpływ. Wartości obliczone dla dwóch upraw pomidorów opracowanych w szklarniach UAL są podobne do tych opublikowanych, z emisjami między 95 a 280 kg CO₂eq/t.

Tabela 8. Całkowite współczynniki wpływu na środowisko dostarczone przez model symulacyjny EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) dla upraw pomidorów w nieogrzewanych szklarniach typu Almería Uniwersytetu w Almerii (UAL) i obliczone przez Martin-Gorriz et al., 2011 (MG) i García Martínez, 2019 (GM) według jednostki funkcjonalnej (1 tona pomidorów przeznaczonych do sprzedaży).

Crops	UAL 2017-18	UAL 2023-24	MG 2011	GM 2019
Yield [kg m ⁻²]	10.80	6.61	5.13	10.00
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	1.66	2.00	0.01	0.79
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	1.05	1.20	1.75	0.68
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	0.35	0.42	2.70	0.25
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	208.79	248.18	276.8	94.4
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.05	0.06	-	0.03
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	4 346	5 210	2 242	1 725
Water consumption [m ³ /tn]	30.17	33.86	38.00	44.80

3.3. Studium przypadku 2 - Nieogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe w Hiszpanii

Nieogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe stanowią około 2% powierzchni szklarni w Hiszpanii. Koszt inwestycyjny tego typu szklarni waha się od 25 do 38 €/m².



Rys. 46. Nieogrzewana szklarnia wielopłaszczyznowa (a) i uprawa pomidorów wewnątrz (b) w stacji doświadczalnej UAL-ANECOOP w Almerii (Hiszpania).

W tych szklarniach można osiągnąć produkcję przekraczającą 15 kg/m², w zależności od kombinacji upraw. Koszty produkcji wahają się od 0,5 do 1,5 €/kg, co odpowiada 50-100 tys. €/ha. Wyższe koszty inwestycji utrudniają uzyskanie zysków, jeśli produkty są sprzedawane po średniej cenie. Zazwyczaj rolnicy posiadający tego typu szklarnie uzyskują lepsze ceny sprzedaży dzięki bezpośrednim umowom z firmami dystrybucyjnymi.

Tabela 9. Koszty produkcji w sezonach 2020/21-2023/24 roślin uprawianych w nieogrzewanych wielopłaszczyznowych szklarniach doświadczalnych zlokalizowanych w Gospodarstwie Doświadczalnym UAL-ANECOOP.

Season	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Crops	Cucumber+tomato	Cucumber+pepper	Tomato+zucchini	Tomato
Greenhouse surface [m ²]	1 080	1 080	1 080	2 970
Days of crop	259	247	294	174
Marketable yield, Y _C [kg/m ²]	15.3	8.25	6.58	4.78
Supplies	26 791	24 323	36 802	17 163
Transport	5 096	3 654	8 303	2 307
Labour	27 161	26 232	34 147	18 141
External services	1 640	147	677	508
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]	60 688	54 357	79 929	38 119
Total investment cost, C _I [€/m ²]	34.0	35.8	37.6	22.9
Amortization costs, C _A =C _I /N _Y [€/ha]	19 374	20 558	21 566	13 172
Total fixed or indirect costs, C _F [€/ha]	20 014	22 018	22 699	15 816
Total cost, T _C [€/ha]	80 702	76 375	102 628	53 936
Unitary cost, U _C =T _C /Y _C [€/kg]	0.53	0.93	1.56	1.13
Average price, A _P [€/kg]	0.58	0.81	1.35	1.14
Total value crop, P _V =A _P ·Y _C [€/m ²]	8.89	6.68	8.87	5.45
Revenue of production, P _V =A _P ·Y _C [€/ha]	88 896	66 752	88 733	54 492
Annual operating income, I _Y =P _V -T _C [€/ha]	8 194	-9 623	-13 895	556

Zużycie energii elektrycznej jest podobne do typu Almería, wahając się od 1 do 1,5 kWh/m², a zużycie wody waha się od 15 do 75 l/m².

Tabela 10. Zużycie energii i wody zmierzone w eksperymentalnych nieogrzewanych szklarniach wielopanelowych Uniwersytetu w Almerii.

Crops	Tomato 2022-23	Tomato 2023-24
Energy consumption		
Electricity price [€/kWh]	0.143	0.132
Ventilation electrical consumption [kWh/m ²]	0.350	0.411
Total electrical consumption [kWh/m ²]	1.576	1.053
Electrical consumption [GJ/ha]	56.7	37.9
Water consumption		
Water consumption [m ³ /ha]	3 258	2 238
Water price [€/m ³]	1.06	1.23
Water requirements [m ³ /t]	30.2	33.9

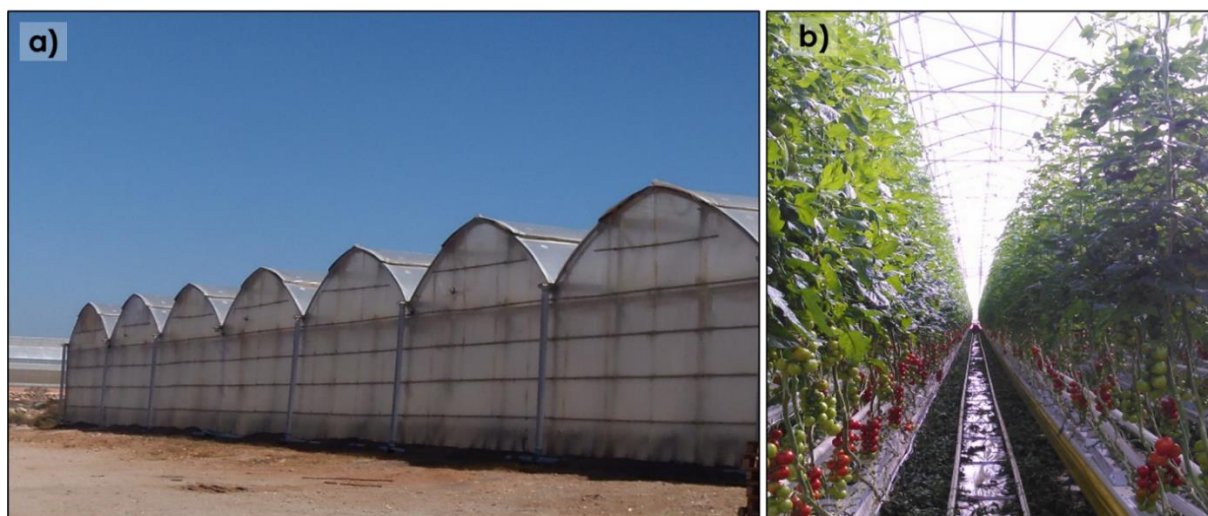
Jeśli chodzi o typ Almería, struktura szklarni i system nawadniania generują największy wpływ. W związku z większym wykorzystaniem metalu do budowy szklarni, oddziaływanie jest ogólnie wyższe niż w pierwszym przypadku, z emisjami od 150 do 1000 kg ekwiwalentu CO₂/t.

Tabela 11. Całkowite współczynniki wpływu na środowisko dostarczone przez model symulacyjny EXCEL EUPHOROS (Torrellas i in., 2013) dla upraw pomidorów w nieogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych Uniwersytetu w Almerii (UAL) i obliczone przez Martínez-Blanco i in., 2011 (MB) oraz przez Torrellas i in., 2012 (TR) według jednostki funkcjonalnej (1 tona pomidorów przeznaczonych do sprzedaży).

Crops	UAL 2020-21	UAL 2022-23	UAL 2023-24	MB 2011	TR 2012
Yield [kg m ⁻²]	6.19	5.73	4.78	15.90	16.50
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	7.92	7.60	6.63	1.06	1.26
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	6.54	5.95	5.31	0.94	0.92
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	3.71	3.40	3.01	0.35	0.50
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	998.88	979.70	851.55	153.0	197.8
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.41	0.35	0.31	0.03	0.03
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	19 678	18 888	16 560	2 554	3 067
Water consumption [m ³ /tn]	16.85	64.28	61.61	39.11	28.78

3.4. Studium przypadku 3 - Ogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe w Hiszpanii

Ostatnim przypadkiem wybranym do scharakteryzowania hiszpańskich szklarni są ogrzewane szklarnie wielopowierzchniowe, które stanowią mniej niż 2% szklarni w Hiszpanii. Koszt tego typu szklarni waha się w granicach 45-58 €/m².



Rys. 47. Ogrzewana wielopowierzchniowa szklarnia komercyjna z podwójną pokrywą (a) i uprawą pomidorów wewnątrz (b) firmy Natural Growers w Almerii.

Zastosowanie ogrzewania pozwala zwiększyć wydajność powyżej 20 kg/m². Najwyższym kosztem produkcji jest gaz ziemny do ogrzewania, około 40%. W zależności od cen paliwa i warzyw, rolnicy mogą zarabiać lub tracić pieniądze. Podobnie jak w poprzednim przypadku, jeśli weźmie się pod uwagę średnią cenę sprzedaży, straty są czymś normalnym. Rolnicy zazwyczaj podpisują umowy bezpośrednio z sieciami supermarketów, aby zapewnić sobie zysk.

Tabela 12. Koszty produkcji roślin uprawianych w sezonie 2013/44 w trzech ogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych firmy Natural Growers w Almerii zaktualizowane do sezonu 2022/23.

Greenhouse type	Plastic multispans with inflated double cover		
Farm area [m ²]	158 140		
Greenhouse surface [m ²]	35 200	11 600	7 200
Crops	Cucumber	Tomato "Cherry"	Tomato "Branch"
Cycle length [days]	280	308	308
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	20.98	8.21	19.79
Type of cost	Subtype of cost	€/ha	
Supplies	107 762	110 164	111 041
Energy for heating	72 792	72 792	72 792
Transport	2 713	1 781	3 896
Labour	39 829	45 168	45 814
External services	1 147	520	1 722
Total variable or direct costs C _V [€/ha]	151 451	157 633	162 473
Investment cost [€/m ²]	52.8	Amortization [€/ha]	27 646
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]	31 210	31 768	30 480
Total cost, T _C [€/ha]	182 661	189 401	192 953
Unitary cost, U _C =T _C /Y _C [€/kg]	0.87	2.31	0.98
Average price, A _P [€/kg]	0.88	1.66	0.97
Total value crop, P _V =A _P ·Y _C [€/m ²]	18.40	13.63	19.16
Revenue of production, P _V =A _P ·Y _C [€/ha]	184 048	136 341	191 648
Annual operating income, I _V =P _V -T _C [€/ha]	1 387	-53 059	-1 305

Zastosowanie ogrzewania zwiększa zużycie energii powyżej 120 kWh/m². Zużycie wody może również wzrosnąć z powodu większej transpiracji upraw, osiągając wartości 60-150 l/kg.

Tabela 13. Zużycie energii i wody zmierzone w trzech ogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych firmy Natural Growers w Almerii z cenami zaktualizowanymi do sezonu 2022/23 – uprawy ogórka, pomidorów koktajlowych i pomidorów „gałązka”.

Crop	Cucumber	Tomato "Cherry"	Tomato "Branch"
Energy consumption			
Electricity price [€/kWh]	0.143	0.143	0.143
Consumption in ventilation [kWh/m ²]	0.242	0.242	0.242
Total electrical consumption [kWh/m ²]	2.800	2.800	2.800
Electrical consumption [GJ/ha]	100.8	100.8	100.8
Natural gas price [€/m ³]	0.607	0.607	0.607
Natural gas consumption [m ³ /m ²]	11.99	11.99	11.99
Heating energy consumption [kWh/m ²]	128.7	128.7	128.7
Heating energy consumption [GJ/ha]	4632	4632	4632
Water consumption			
Water consumption [m ³ /ha]	19 198	11 982	11 982
Water price [€/m ³]	0.75	0.75	0.75
Water requirements [L/kg] or [m ³ /t]	91.5	145.9	60.5

Zastosowanie ogrzewania znacznie zwiększa również emisje do wartości 900-3500 kg ekwiwalentu CO₂/t.

Tabela 14. Całkowite współczynniki wpływu na środowisko dostarczone przez model symulacji środowiskowej EXCEL EUPHOROS (Torrellas i in., 2013) dla upraw w trzech ogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych firmy Natural Growers (NG) w Almerii z produkcją ekologiczną (bez użycia środków owadobójczych lub grzybobójczych) i obliczone przez Pérez Neira i in., 2018 (PN) dla upraw pomidorów według jednostki funkcjonalnej (1 tona pomidorów nadających się do sprzedaży).

Crops	Cucumber	T. Cherry	T. Branch	PN 2018
Yield [kg m ⁻²]	20.98	8.21	19.79	15.30
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	11.83	30.35	12.59	-
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	1.45	3.78	1.57	-
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	0.17	0.90	0.23	-
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	1 389.7	3 568.9	1 481.2	920.0
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.11	0.28	0.11	-
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	24 927	63 967	26 544	13 140
Water consumption [m ³ /tn]	91.51	145.94	60.55	-

3.5. Studium przypadku 4 - Nieogrzewana szklarnia wielopanelowa we Włoszech

Pierwszym przypadkiem wybranym we Włoszech są wielopłaszczyznowe szklarnie bez ogrzewania. Ich koszt waha się w granicach 20-80 €/m².



Rys. 48. Nieogrzewana wielopłaszczyznowa szklarnia komercyjna (a) i uprawa pomidorów wewnątrz (b) we Włoszech (COSER. 2024; De Marinis, 2023).

W tych szklarniach produkcja nie jest zbyt wysoka, więc wielu rolników decyduje się na uprawy o wysokiej wartości, takie jak pomidory koktajlowe. Podobnie jak w przypadku Hiszpanii, wysokie inwestycje wymagają od rolników zapewnienia cen sprzedaży wyższych niż średnie, aby uniknąć ponoszenia strat.

Tabela 15. Szacunkowe koszty produkcji pomidorów koktajlowych uprawianych w komercyjnych nieogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych we Włoszech w sezonie 2022/23 (ISMEA, 2024 a-c).

Greenhouse type	Multispan		
Farm area [m ²]	100 000	Greenhouse surface [m ²]	10 000
Farm type	Average of commercial	Location	Ragusa (Italy)
Crop specifications			
Commercial type	Cherry	Crop type	Grafted
Cycle	6 months	Cycle length	180 days
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]			5.55
Type of cost	€/ha		
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]			40 550
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	25.5	22 462
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]			10 303
Total cost [€/ha]			108 331
Unitary cost [€/kg]			1.96
Average price A _P [€/kg]			1.60
Total value crop [€/m ²]			8.83
Production value P _V [€/ha]			88 331
Annual operating income I _Y [€/ha]			-20 000

Zużycie energii i wody jest podobne jak w przypadku nieogrzewanych szklarni wielopanelowych w Hiszpanii. Koszt wody wynoszący około 0,25 €/m³ jest jednak znacznie niższy niż w Almerii (0,75-1,25 €/m³).

Tabela 16. Zużycie energii i wody szacowane dla komercyjnych nieogrzewanych szklarni wielopanelowych we Włoszech w sezonie 2022/23.

Energy consumption		Source
Electricity price [€/kWh]	0.210	ARERA (2023)
Total electrical consumption [kWh/m ²]	1.9	Estimated from ISMEA (2024 a)
Electrical consumption [GJ/ha]	67	Calculated
Water consumption		
Water consumption [m ³ /ha]	4 570	Bacci et al. (2005)
Water price [€/m ³]	0.25	CBTC, 2024
Water requirements [m ³ /t]	82.7	Calculated

Metalowa konstrukcja szklarni wielopanelowych generuje emisje na poziomie 750-1200 kg ekwiwalentu CO₂/t.

Tabela 17 Całkowite współczynniki wpływu na środowisko dostarczone przez model symulacji środowiskowej EXCEL EUPHOROS (Torrellas i in., 2013) dla pomidora koktajlowego uprawianego w nieogrzewanych szklarniach wielopanelowych we Włoszech i obliczone przez Cellura i in., 2012 (CL) według jednostki funkcjonalnej (1 tona pomidorów przeznaczonych do sprzedaży).

Crops	Tomato "Cherry" 2022-23	CL - Tomato	CL – Tomato "Cherry"
Yield [kg m ⁻²]	5.53	-	-
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	5.73	-	-
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	4.71	5.70	9.80
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	3.52	2.10	3.70
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	868.8	740.0	1 245.9
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.21	0.30	0.50
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	14 141	16 200	23 000
Water consumption [m ³ /tn]	82.64	88.90	77.70

3.6. Studium przypadku 5 - Zaawansowane technologicznie ogrzewane szklarnie wielopanelowe we Włoszech

Ostatni wybrany przypadek odpowiada ogrzewanym szklarniom we Włoszech o wysokim poziomie technologii w systemach kontroli klimatu. Koszt tych szklarni jest najwyższy i wynosi 70-160 €/m².



Rys. 49. Ogrzewana wielopłaszczyznowa szklarnia komercyjna (a) i uprawa pomidorów w podłożu z rurami grzewczymi (b) firmy Sfera Agricola we Włoszech.

W tych szklarniach koszt energii do ogrzewania stanowi od 20 do 40% całkowitych kosztów. Ogrzewanie pozwala zwiększyć produkcję powyżej 50 kg/m². Ryzyko ekonomiczne jest znacznie zwiększone, więc zarówno zyski, jak i straty mogą być znacznie większe niż w nieogrzewanych szklarniach.

Tabela 18. Oszacowanie kosztów produkcji pomidora koktajlowego uprawianego w komercyjnych, zaawansowanych technologicznie szklarniach wielopłaszczyznowych we Włoszech, ogrzewanych gazem ziemnym w sezonach 2013/14 (koszty z Battistel, 2014 zaktualizowane do sezonu 2022/23) oraz ogrzewanych olejem napędowym i peletami drzewnymi w sezonach 2022/23 (energia mierzona przez Sfera Agricola).

Greenhouse type	Heated multispans high-tech	
Greenhouse surface [m ²]	50 000	119 232
Cycle length [days]	320	343
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	50.0	15.0
Type of cost	€/ha	
Supplies	365 387	117 094
Heating energy consumption - gas	245 000	0
Heating energy consumption - diesel fuel	0	36 068
Heating energy consumption - wood	0	47 325
Transport	11 275	3 383
Labour	149 940	44 982
External services	47 200	0
Total variable or direct costs, C _v [€/ha]	573 802	165 459
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	
	74.8	46 607
Total fixed or indirect costs C _f [€/ha]	42 000	26 000
Total cost [€/ha]	662 409	238 066
Unitary cost [€/kg]	1.32	1.59
Average price A _p [€/kg]	1.65	1.65
Total value crop [€/m ²]	82.7	24.8
Production value P _v [€/ha]	826 500	247 950
Annual operating income I _y [€/ha]	164 091	9 884

Zużycie energii na ogrzewanie jest znacznie wyższe w tych szklarniach, między 9 000-13 000 GJ/ha niż w tych wymaganych w Almerii, o bardziej umiarkowanym klimacie.

Tabela 19. Zużycie energii i wody oszacowane dla komercyjnych wielopowierzchniowych szklarni high-tech ogrzewanych gazem ziemnym i zmierzone w szklarni ogrzewanej olejem napędowym i peletami drzewnymi (Sfera Agricola) we Włoszech w sezonie 2022/23.

Heating energy source	Natural gas	References	Diesel and wood pellets
Energy consumption			
Electricity price [€/kWh]	0.276	ARERA (2023)	0.210
Total electrical consumption [kWh/m ²]	15.0	Battistel (2014)	11.4
Electrical consumption [GJ/ha]	540	Calculated	410
Natural gas price [€/m ³]	0.980	ARERA (2023)	-
Natural gas consumption [m ³ /m ²]	25.0	Battistel (2014)	-
Diesel fuel price [€/m ³]	-	-	1.050
Diesel fuel consumption [L/m ²]	-	-	3.44
Wood price [€/tons]	-	-	75.0
Wood consumption [kg/m ²]	-	-	63.1
Heating energy consumption [kWh/m ²]	270.8	Calculated	350.9
Heating energy consumption [GJ/ha]	9 747	Calculated	12 631
Water consumption			
Water consumption [m ³ /ha]	10 000	Battistel (2014)	300
Water price [€/m ³]	0.25	CBTC (2024)	0.25
Water requirements [m ³ /t]	20.0	Calculated	2.0

Szklarnie te generują wyższe emisje wynoszące około 1400 kg ekwiwalentu CO²/t.

Tabela 20. Całkowite współczynniki wpływu na środowisko dostarczone przez model symulacji środowiskowej EXCEL EUPHOROS (Torrellas i in., 2013) dla pomidora koktajlowego uprawianego w komercyjnych wielopowierzchniowych szklarniach high-tech ogrzewanych gazem ziemnym oraz olejem napędowym i peletami drzewnymi we Włoszech w sezonie 2022/23 według jednostki funkcjonalnej (1 tona pomidorów przeznaczonych do sprzedaży).

Heating source	Natural gas	Diesel and wood pellets
Yield [kg m ⁻²]	50.00	15.00
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	11.79	9.72
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	2.50	5.16
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	1.16	2.01
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	1 444.0	1 415.6
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.15	0.24
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	25 552	24 120
Water consumption [m ³ /tn]	20.00	2.00

3.7. Wnioski

W ogrzewanych szklarniach w Hiszpanii i we Włoszech płyny termochemiczne mogą być stosowane w celu obniżenia kosztów energii grzewczej i zmniejszenia ich wpływu na środowisko.

System kontroli klimatu oparty na płynach termochemicznych może być stosowany w nieogrzewanych szklarniach wielopłaszczyznowych do chłodzenia i kontroli wilgotności.

Firmy średniej wielkości (20-50 ha) są najbardziej podatne na wdrożenie tego typu technologii w Hiszpanii.

Rolnicy, z którymi przeprowadzono konsultacje, wskazali, że dokonaliby inwestycji w wysokości 5 000-15 000 €/ha z okresem zwrotu wynoszącym 2-10 lat.

4. Wpływ TheGreefa

Ta część Podręcznika szkoleniowego TheGreefa koncentruje się na prezentacji wyników analizy wpływu na środowisko i gospodarkę związanego z wdrożeniem technologii TheGreefa w szklarniach. Główną analizowaną technologią jest system kontroli klimatu w szklarniach.

4.1. Wpływ na środowisko

W projekcie TheGreefa potencjalne korzyści środowiskowe związane z wdrożeniem technologii TheGreefa w szklarniach zostały zidentyfikowane w analizie cyklu życia przeprowadzonej w ramach 3. Pakietu Roboczego projektu, koncentrując się na ocenie opracowanych technologii.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z zasadami i ramami LCA, które są zdefiniowane w międzynarodowych standardach LCA, ISO 14040 i ISO 14044.

Zebrano dane z demonstratorów TheGreefa i studiów przypadku, które zostały przeanalizowane pod kątem zużycia energii, wody, paliw kopalnych i produkcji szklarni w celu porównania wpływu na środowisko przed i po wdrożeniu systemu TheGreefa w oparciu o rzeczywiste dane (demonstratory) lub symulacje (studia przypadku). Badanie LCA pozwala przeanalizować i przedstawić ogólną długoterminową wydajność technologii TheGreefa oraz jej pozytywny wpływ na środowisko i ludzi.

Analiza LCA została przeprowadzona w oparciu o rzeczywiste dane uzyskane ze szklarni TheGreefa zlokalizowanych w środkowo-kontynentalnej strefie klimatycznej (Szwajcaria) i śródziemnomorskiej strefie klimatycznej (Włochy, Toskania).

Metodologia LCA

W badaniu LCA występują cztery odrębne etapy, opisane we wspomnianych normach ISO.

Pierwszym z nich jest zdefiniowanie celu i zakresu badania, aby zapewnić spójne przeprowadzenie LCA.

- LCA modeluje cykl życia produktu, usługi lub systemu. Model jest uproszczeniem złożonej rzeczywistości i jak w przypadku wszystkich uproszczeń, oznacza to, że rzeczywistość będzie w pewien sposób zniekształcona. Wyzwaniem dla praktyków LCA jest upewnienie się, że uproszczenia i zniekształcenia nie wpływają zbyt mocno na wyniki. Najlepszym sposobem na to jest dokładne zdefiniowanie celu i zakresu badania LCA.

Następnie możemy przejść do drugiego etapu, czyli analizy inwentaryzacyjnej wydobycia i emisji.

- W analizie inwentaryzacyjnej analizowane są wszystkie środowiskowe dane wejściowe i wyjściowe związane z produktem lub usługą. Przykładem wkładu środowiskowego – czegoś, co jest pobierane ze środowiska w celu wprowadzenia do cyklu życia produktu – jest wykorzystanie surowców i energii. Emisje środowiskowe – które cykl życia produktu wprowadza do środowiska – obejmują emisję zanieczyszczeń i strumienie odpadów. Razem dają one pełny obraz cyklu życia produktu lub procesu.

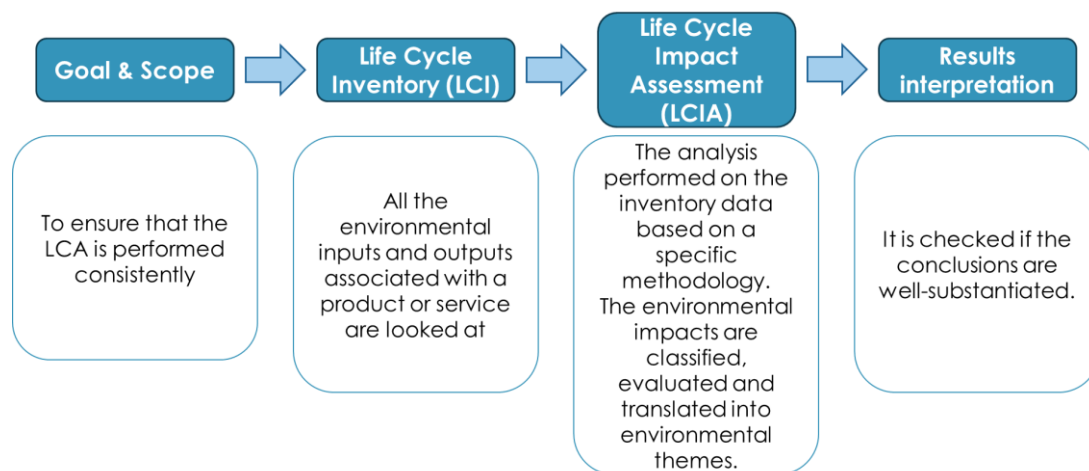
Po zakończeniu inwentaryzacji możemy przejść do etapu oceny wpływu cyklu życia.

- W ocenie wpływu cyklu życia (LCIA) wyciągane są wnioski, które pozwalają na podejmowanie lepszych decyzji biznesowych. Wpływ na środowisko jest klasyfikowany i oceniany według tego, co jest najważniejsze dla firmy i przekładany na warunki środowiskowe, takie jak

globalne ocieplenie lub zdrowie ludzkie. Najważniejszym wyborem, jakiego należy dokonać, jest sposób zintegrowania wyników. Istnieje opcja pojedynczego wyniku, aby pokazać, jak zrównoważony jest produkt, lub aby móc sprawdzić, czy projekt poprawia emisję CO₂ i inne czynniki związane ze zmianami klimatu. Zwykle zależy to od rodzaju odbiorców i ich zdolności do zrozumienia szczegółowych wyników.

Ostatnim - czwartym krokiem jest interpretacja wyników uzyskanych w poprzednim kroku.

- o Na etapie interpretacji sprawdza się, czy wnioski są dobrze uzasadnione. Norma ISO 14044 opisuje kilka testów sprawdzających, czy wnioski są odpowiednio poparte danymi i zastosowanymi procedurami.



Rys. 50. Cztery etapy przeprowadzania LCA.

W przypadku projektu TheGreefa celem badania LCA było przeanalizowanie i porównanie wpływu na środowisko wynikającego z 15 lat eksploatacji szklarni, biorąc pod uwagę szklarnię przed i po wdrożeniu systemu kontroli klimatu TheGreefa.

LCA boundaries		Life cycle stages	Life cycle stage designation and description	
Cradle to cradle (C2C)	Cradle to grave (C2G)	Cradle to gate	Product stage	A1 Raw material extraction and processing, processing of secondary material input A2 Transport to the manufacturer A3 Manufacturing
			Installation process stage	A4 Transport to the Building site A5 Installation into the Building site
				Use stage – information modules related to the Product/Material
		Gate to grave	Use stage – information modules related to the operation of the Customer site	
			End-of-life stage	C1 Deconstruction, demolition C2 Transport to waste processing C3 Waste processing for reuse, recovery and/or recycling (3R) C4 Disposal
	Benefits and loads beyond the system boundary			D Reuse, recovery and/or recycling (3R) potentials

Rys. 51. Etapy cyklu życia produktu lub usługi.

Następnie należy zdefiniować granice analizy. Tabela powyżej przedstawia granice obejmujące wszystkie etapy cyklu życia produktu lub usługi. Od pozyskania surowców, poprzez produkcję, użytkowanie, demontaż, aż po ostateczną utylizację lub recykling materiałów.

W analizie dla każdej szklarni badany jest 15-letni okres eksploatacji dla 1 ha powierzchni szklarni. W związku z tym, w celu zidentyfikowania i porównania oddziaływań uwzględniono tylko etap eksploatacji w cyklu życia. Różnice dotyczą zużycia energii i paliwa przez systemy energetyczne szklarni podczas ich eksploatacji.

Do przeprowadzenia analizy wykorzystano oprogramowanie SimaPro.

Kategorie wpływu

Normy ISO definiują konkretne kategorie wpływu opisujące obciążenia środowiskowe. Główne kategorie wpływu uwzględnione w LCA to:

- **Abiotyczny potencjał wyczerpania** (*Abiotic depletion potential*) – odnoszący się do zużycia zasobów niebiologicznych, takich jak paliwa kopalne, minerały, metale, woda itp. Wskazuje na zmniejszenie takich zasobów. Kategoria jest wyrażona w jednostkach MJ dla paliw kopalnych i w kg ekwiwalentu antymonu (Sb) dla innych minerałów.
- **Potencjał zmiany klimatu / globalnego ocieplenia** (*Climate change / Global Warming potential*) – definiowany jako zmiana globalnej temperatury spowodowana efektem cieplarnianym, który powstaje w wyniku uwalniania "gazów cieplarnianych" w wyniku działalności człowieka.
- **Potencjał niszczenia warstwy ozonowej** (*Ozone Layer Depletion potential*) – degradacja stratosferycznej warstwy ozonowej spowodowana antropogenicznymi emisjami substancji niszczących warstwę ozonową. Może to spowodować wzrost promieniowania ultrafioletowego UV-B i liczby przypadków chorób skóry.
- **Potencjał toksyczności dla człowieka** (*Human Toxicity potential*) – obliczony wskaźnik, który odzwierciedla potencjalną szkodliwość jednostki chemikaliów uwolnionych do środowiska i opiera się zarówno na nieodłącznej toksyczności związku, jak i jego potencjalnej dawce. Te produkty uboczne, głównie arsen, dwuchromian sodu i fluorowodór, są w większości spowodowane produkcją energii elektrycznej ze źródeł kopalnych.
- **Potencjał ekotoksyczności dla wód słodkich** (*Freshwater Aquatic Ecotoxicity potential*) – toksyczny wpływ substancji chemicznej na ekosystemy, w tym przypadku w wodach słodkich, powodujący utratę bioróżnorodności i/lub wymieranie gatunków.
- **Potencjał ekotoksyczności dla zbiorników morskich** (*Marine Aquatic Ecotoxicity potential*) – toksyczny wpływ substancji chemicznej na ekosystemy zbiorników morskich, powodujący utratę bioróżnorodności i/lub wymieranie gatunków.
- **Potencjał ekotoksyczności lądowej** (*Terrestrial Ecotoxicity potential*) – toksyczny wpływ substancji chemicznej na ekosystemy lądowe, powodujący utratę bioróżnorodności i/lub wymieranie gatunków.
- **Fotochemiczny potencjał utleniania / fotochemiczny potencjał tworzenia ozonu** (*Photochemical Oxidation potential / Photochemical ozone creation potential*) – określa potencjał tworzenia rodzaju smogu powstającego w wyniku działania światła słonecznego, ciepła i niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC) oraz tlenków azotu (NO_x).
- **Potencjał zakwaszenia** (*Acidification potential*) – obniżenie pH spowodowane zakwaszającym działaniem emisji antropogenicznych. Jest to związane z emisją gazów takich jak NH₃, NO_x i SO_x, które mieszają się z wodą w atmosferze i powodują kwaśne deszcze, zwiększając następnie kwasowość systemów wodnych i glebowych.

- **Potencjał eutrofizacji** (*Eutrophication potential*) – określa potencjał akumulacji składników odżywczych w systemach wodnych. Wskaźnikami wpływu są wzrost stężenia azotu i fosforu oraz tworzenie się biomasy (np. glonów).

Inwentaryzacja cyklu życia – szwajcarska szklarnia

Szklarnia Meyer Orchideen to demonstrator TheGreefa, w którym wdrożono i uruchomiono system w rzeczywistej skali. W szklarni Meyer Orchideen AG w Szwajcarii, znajdującej się w pobliżu lotniska w Zurychu, zademonstrowano system kontroli wilgotności, ogrzewania i chłodzenia TheGreefa w ramach jednego procesu.



Rys. 52. Szklarnia Meyer Orchideen

Analizowana szklarnia ma powierzchnię 600 m², na której zainstalowano 9 jednostek klimatyzacyjnych (absorberów), każda o mocy 8 kW jako moc grzewcza/chłodnicza, z których każda zasila około 50 m² stołów uprawnych.



Rys. 53. Absorber (po lewej) i stoły uprawne (po prawej) w szklarni w Szwajcarii.

TCF stosowany w projekcie to MgCl₂. Wszystkie 9 systemów jest obsługiwanych przez desorber zainstalowany na zewnątrz szklarni. Systemy energetyczne są zintegrowane z systemem odnawialnym szklarni, w tym z kotłem na drewno, gruntową pompą ciepła, panelami fotowoltaicznymi i wodą ze studni.

Energia słoneczna jest wykorzystywana do regeneracji TCF, a magazyny buforowe są instalowane w celu przechowywania rozcieńczonego i skoncentrowanego TCF.

Dane zebrane do oceny środowiskowej miały pozwolić na porównanie wpływu na środowisko i zdrowie ludzi szklarni o powierzchni 600 m² działającej bez systemu TheGreefa i z systemem wdrożonym w okresie 15 lat. Analiza została przeprowadzona dla jednostki referencyjnej o powierzchni 1 ha analizowanej szklarni. W związku z tym zebrane dane wejściowe wymagały przeliczenia dla 1 ha powierzchni i ustalonego okresu.

Skoncentrowano się na danych wejściowych umożliwiającym porównanie efektywności energetycznej szklarni, biorąc pod uwagę zużytą energię elektryczną, wodę i paliwa. Większość wody w szklarni jest wykorzystywana w obiegu zamkniętym lub odzyskiwana z opadów deszczu. W analizie uwzględniono wodę potrzebną do procesu chłodzenia.

W tabeli 21 przedstawiono wstępne dane dostarczone przez Uniwersytet Nauk Stosowanych w Zurychu, za pomocą których IZNAB przeprowadził dalsze obliczenia, takie jak określenie ilości wagowej paliw, liczby transportów. Dane te były niezbędne do analizy za pomocą oprogramowania SimaPro. Oprócz bazy danych SimaPro, w analizie wykorzystano bazę danych Ecoinvent, aby zapewnić niezbędne dane wejściowe i wyjściowe w procesach technologicznych cyklu życia szklarni.

Tabela 21. Dane dotyczące zużycia energii i paliw zebrane w szwajcarskiej szklarni.

	1 season for 600 m ² greenhouse		1 season for 1 ha greenhouse	
	Standard greenhouse	TheGreefa system	Standard greenhouse	TheGreefa system
Electricity consumption (pumps, fans and heat pump)	43 178.69 kWh	39 945.54 kWh	719 645 kWh	665 792 kWh
Oil consumption	1 350 kWh	320 kWh	22 500 kWh	5 333 kWh
Wood consumption	228 150 kWh	54 080 kWh	3 802 500 kWh	901 333 kWh
Water consumption	0 m ³	23 m ³	0 m ³	383.3 m ³

Inwentaryzacja cyklu życia – włoska szklarnia

Kolejnym przypadkiem jest włoski system szklarniowy Sfera Agricola, który reprezentuje zaawansowany technologicznie system i jedną z nowych metod produkcji rolnej wysokiej jakości. Sfera stanowi studium przypadku z odzyskiem wody i efektywnością energetyczną w szklarniach. Szklarnia znajduje się w południowej Toskanii we Włoszech.

Studium przypadku firmy Sfera stanowi idealny przykład wyzwań związanych z intensywnym i wysokiej jakości rolnictwem śródziemnomorskim, szczególnie w ważnych obszarach wyzwań związanych z efektywnością wodną i energetyczną. Szklarnia przyjęła rolę studium przypadku w projekcie TheGreefa. Celem studium przypadku jest analiza danych zebranych w ciągu roku, w zależności od zmian klimatycznych i potrzeb kulturowych szklarni, w celu określenia najlepszych potrzeb projektowych do dalszego obniżenia kosztów energii oraz poprawy jakości i wydajności.

Dane zebrane do oceny środowiskowej są wynikami symulacji przeprowadzonych przez partnerów projektu TheGreefa. Dane reprezentują pełny sezon pracy szklarni o powierzchni 1 ha.



Rys. 54. Szklarnia Sfera Agricola – system dachowy (u góry po lewej), system ogrzewania rurowego (u góry po prawej) i rośliny pomidorów z czujnikami (u dołu).

Ciepło w szklarni jest dostarczane za pomocą kotłów na drewno i olej. System ma moc 7000 kW. Głównymi rodzajami drewna wykorzystywanymi jako paliwo są jodła, sosna, dąb i kasztanowiec. Zużycie oleju wynosi ok. 600 l/h. System grzewczy zużywa około 28% energii elektrycznej wykorzystywanej przez szklarnię, głównie na potrzeby urządzeń pomocniczych, takich jak pompy.

Tabela 22. Dane dotyczące zużycia energii i paliw zebrane we włoskiej szklarni.

	Standard system	TheGreefa
Heating season	1 year for 1 ha greenhouse	
Electricity	90 330 kWh	99 363 kWh
Oil	34 350 l	27 480 l
Wood	631 t	505 t

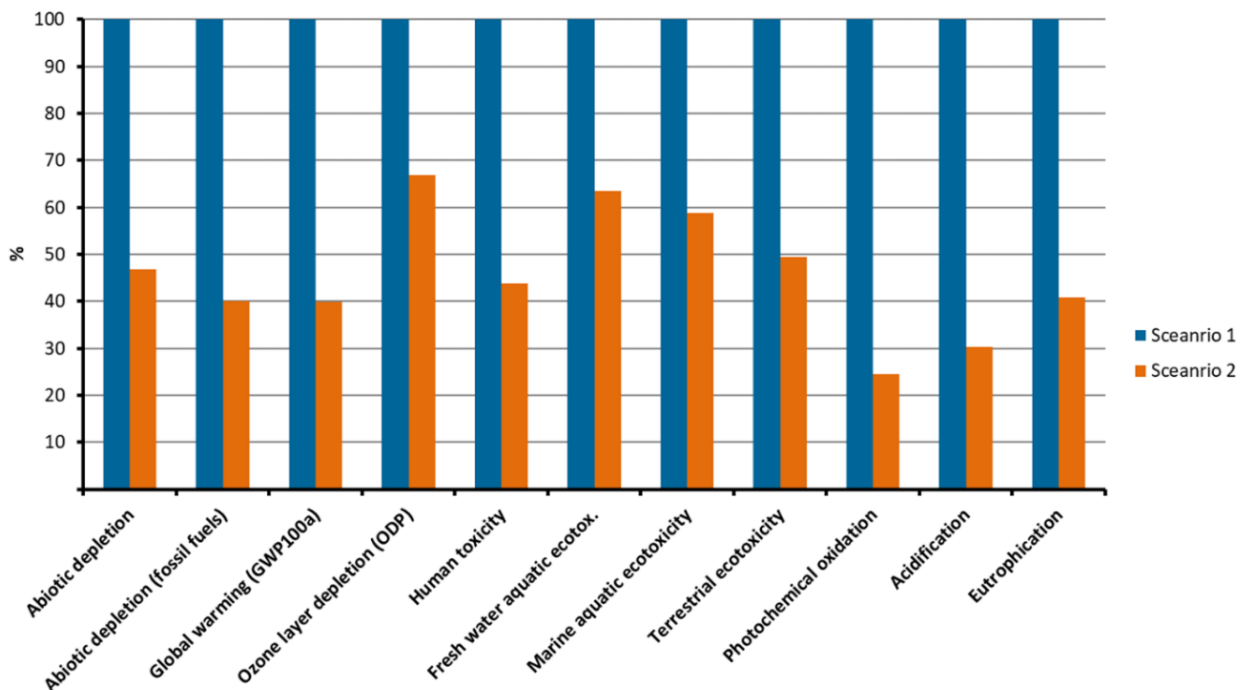
Ocena cyklu życia

Obie wyżej wymienione szklarnie zostały ocenione z uwzględnieniem dwóch scenariuszy:

- Scenariusz 1 – Istniejąca szklarnia (przed modernizacją). Analiza cyklu życia szklarni została przeprowadzona przed wdrożeniem systemu TheGreefa.
- Scenariusz 2 – Zmodernizowana szklarnia (po modernizacji). Analiza cyklu życia szklarni została przeprowadzona po wdrożeniu systemu TheGreefa. Both the greenhouses mentioned above have been assessed considering two scenarios:

Szwajcarska szklarnia

Wpierw, wyniki oceny środowiskowej zostały przedstawione dla szwajcarskiej szklarni. Wykonując obliczenia LCA przy użyciu metodologii bazowej CML-IA, podano wyniki dla głównych kategorii wpływu. W każdej kategorii można zaobserwować pozytywny wpływ wdrożenia systemu TheGreefa w szklarni – mniejszy lub większy. Redukcja wpływów w przypadku działania systemu TheGreefa może wynieść od 37% do 76%.



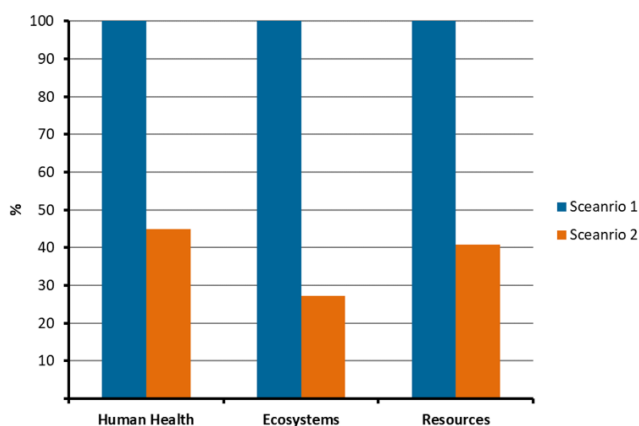
Rys. 55. Ocena środowiskowa: Szwajcarski demonstrator – porównanie scenariusza 1 i scenariusza 2 (SimaPro 8.3.0). Metoda: CML-IA baseline V3.04 / EU25 / Charakterystyka dla kategorii wpływu.

W celu lepszej prezentacji przeprowadzono kolejną analizę przy użyciu europejskiej metodologii ReCiPe Endpoint. Przedstawia ona oddziaływania pogrupowane w 3 główne czynniki – zdrowie ludzkie, ekosystemy i wykorzystanie zasobów.

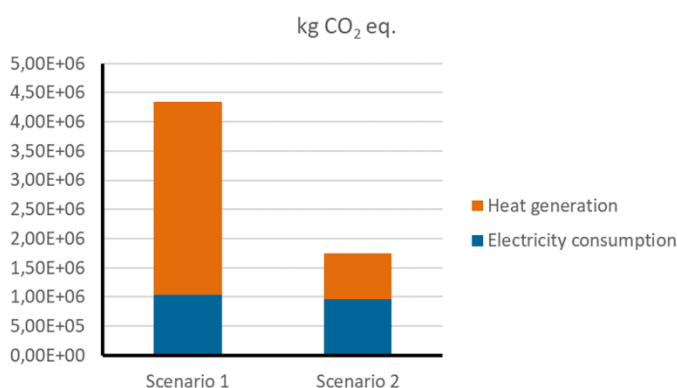
W oparciu o uzyskane wyniki, 15 lat działania systemu TheGreefa w szwajcarskiej szklarni może skutkować ok. 55% redukcją wpływu na zdrowie ludzi, 60% redukcją w przypadku wyczerpania zasobów i ok. 73% redukcją wpływu na ekosystemy.

Porównywane etapy operacyjne dla obu scenariuszy i ich wpływ na środowisko są głównie zdominowane przez energię zużywaną w szklarni w różnych formach – energii elektrycznej i ciepła.

Innym sposobem przedstawienia korzyści środowiskowych jest analiza kategorii Potencjału Globalnego Ocieplenia wyrażonego w ekwiwalencie kg wyemitowanego CO₂. W przeliczeniu na CO₂, w ciągu 15 lat technologia TheGreefa pozwoli zaoszczędzić 2 680 ton emisji CO₂ z 1 ha szklarni. W ujęciu procentowym daje to redukcję potencjału globalnego ocieplenia o około 60%. Jednak masa CO₂ i wartość procentowa pokazują również, jak intensywnym przemysłem jest uprawa szklarniowa.



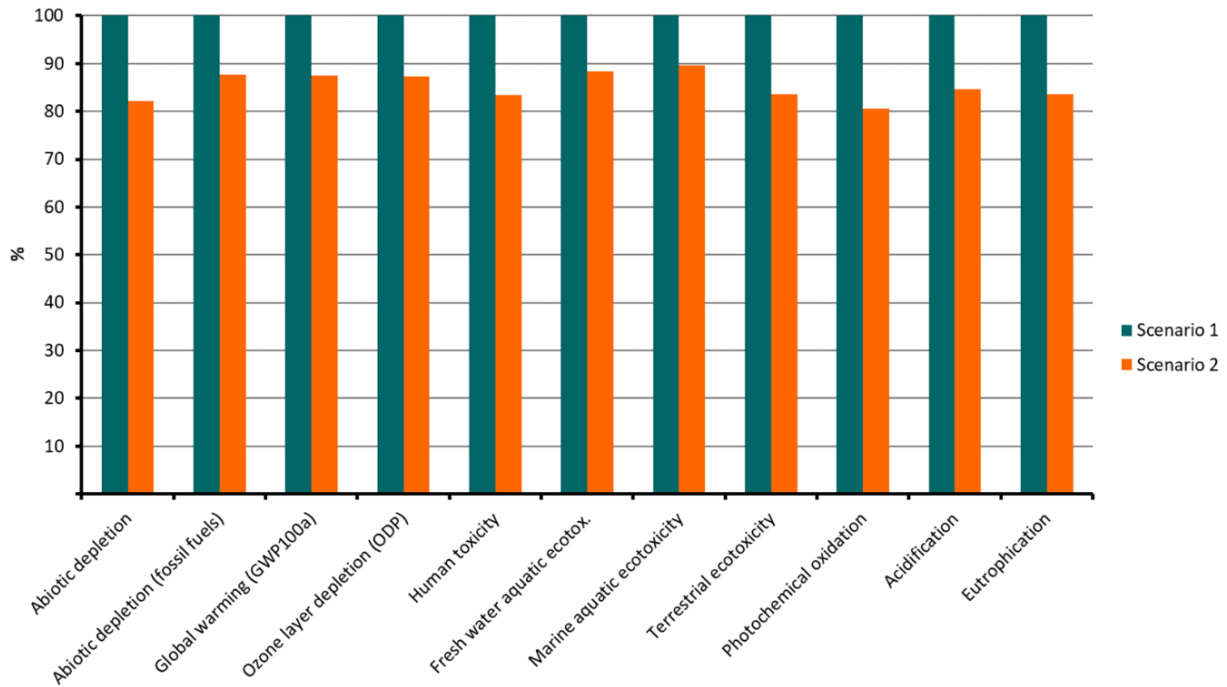
Rys. 56. Porównanie oceny szkód: Szwajcarski demonstrator – scenariusz 1 i scenariusz 2. Metoda: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A.



Rys. 57. Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) szwajcarskiego demonstratora w obu scenariuszach.

Włoska szklarnia

Teraz, przechodząc do przypadku włoskiego, przy użyciu metodologii bazowej CML-IA, podobnie jak w przypadku szwajcarskiego demonstratora, w każdej kategorii można zaobserwować pozytywny wpływ wdrożenia systemu TheGreefa w szklarni również dla włoskiego studium przypadku. Jednak we włoskiej szklarni redukcja wpływu jest mniej widoczna na wykresie, ponieważ dla każdej kategorii redukcja waha się między 10-20%.

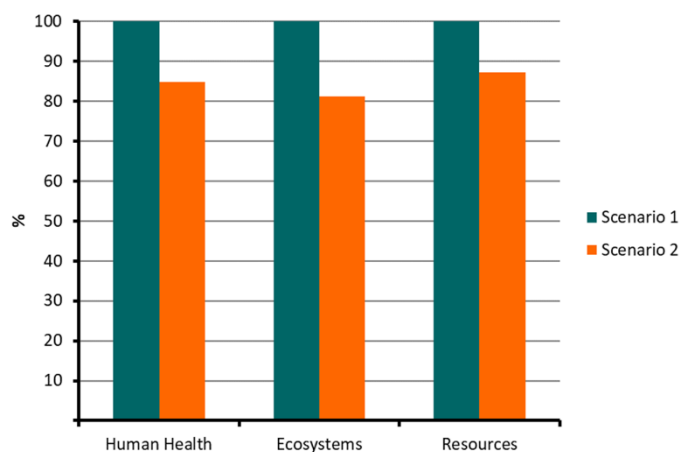


Rys. 58. Ocena oddziaływania na środowisko: Włoskie studium przypadku – porównanie scenariusza 1 i scenariusza 2 (SimaPro 8.3.0). Metoda: CML-IA baseline V3.04 / EU25.

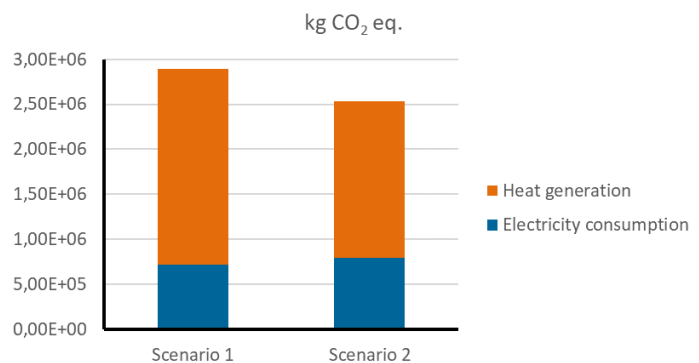
Korzystając z europejskiej metodologii ReCiPe Endpoint, 15 lat działania systemu TheGreefa we włoskiej szklarni może skutkować około 15% redukcją wpływu na zdrowie ludzkie, 13% redukcją w przypadku wyczerpania zasobów i około 19% redukcją wpływu na ekosystemy.

Również w tym przypadku wpływ na środowisko jest głównie zdominowany przez energię zużywaną w szklarni w różnych formach – energii elektrycznej i ciepła.

Pod względem oszczędności CO₂ technologia TheGreefa pozwoli zaoszczędzić ponad 362 tony emisji CO₂ z 1 ha szklarni w ciągu 15 lat eksploatacji. W ujęciu procentowym daje to redukcję potencjału globalnego ocieplenia o prawie 13%.



Rys. 59. Porównanie oceny szkód: Włoskie studium przypadku – scenariusz 1 i scenariusz 2. Metoda: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A.



Rys. 60. Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) włoskiego studium przypadku w obu scenariuszach.

4.2. Wpływ ekonomiczny

Wpływ ekonomiczny TheGreefa został przeanalizowany w ocenie techniczno-ekonomicznej przeprowadzonej na systemie kontroli klimatu wewnętrznego. Badanie zostało przeprowadzone w ścisłym związku z oceną środowiskową przedstawioną w sekcji **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odtworzenia..** W badaniu ekonomicznym wykorzystano te same dane dotyczące energii i paliw zużywanych w szklarniach TheGreefa, dodatkowo uwzględniając informacje o kosztach związanych z energią i paliwami. Wynikiem analizy miało być oszacowanie możliwego okresu zwrotu inwestycji dla wdrożenia systemu TheGreefa, a także odpowiedniego kosztu samego systemu oferującego akceptowalny zwrot inwestycji. Kolejnym wynikiem analizy jest ocena opłacalności wdrożenia systemu w szklarniach w różnych strefach klimatycznych.

Przeprowadzenie obliczeń dla szklarni dla dwóch scenariuszy daje roczne oszczędności kosztów szklarni, porównując działanie szklarni z systemem TheGreefa i bez niego. Aby porównać szklarnie projektu, zebrane dane zostały przetworzone w celu porównania 1 ha powierzchni szklarni.

Zebrane dane były dostępne dla jednego demonstratora TheGreefa – szklarni Meyer Orchideen w Szwajcarii i jednego studium przypadku – szklarni pomidorów Sfera Agricola we Włoszech.

Dane wejściowe dotyczące kosztów dla oceny ekonomicznej

Dane środowiskowe wykorzystane w badaniu zostały już przedstawione w poprzedniej sekcji. Tutaj zebrano dane dotyczące kosztów.

Szwajcarska szklarnia

Energia cieplna dla szklarni jest dostarczana przez firmę zewnętrzną. Właściciel szklarni płaci następujące ceny za dostarczoną energię: 96 €/MWh ciepła z oleju i 45,12 €/MWh ciepła z drewna. Koszt energii elektrycznej wynosi 197,76 €/MWh.

Dane zebrane do oceny miały pozwolić na porównanie wpływu ekonomicznego szklarni o powierzchni 600 m² działającej bez systemu TheGreefa i z systemem wdrożonym w długoterminowym okresie eksploatacji. Analiza została przeprowadzona dla 600 m², a także dla jednostki referencyjnej 1 ha analizowanej szklarni. W związku z tym zebrane dane wejściowe wymagały przeliczenia dla powierzchni 1 ha.

W kwestii kosztu inwestycyjnego związanego z wdrożeniem systemu TheGreefa w szwajcarskiej szklarni, wyniósł on 153 600 euro. Rozbijając ten koszt na koszt materiałów i robocizny, szacuje się, że stosunek ten wynosi 50/50. W Szwajcarii koszt robocizny wykorzystany w badaniu wynosi 120 €/godzinę. Koszt inwestycji odpowiada wdrożeniu systemu w szklarni o powierzchni 600 m².

Tabela 23. Dane sezonowe dla szwajcarskiej szklarni – 600 m².

	Zwykła szklarnia	Koszt	System TheGreefa	Koszt
Zużycie energii elektrycznej (pompy, wentylatory, pompa ciepła)	43,18 MWh	€8 539,02	39,95 MWh	€7 900,03
Zużycie oleju opałowego	1,35 MWh	€129,60	0,32 MWh	€30,72
Zużycie drewna	228,15 MWh	€10 294,13	54,08 MWh	€2 440,09

Tabela 24. Koszt wdrożenia systemu TheGreefa w szwajcarskiej szklarni o powierzchni 600 m².

Koszt materiałów	€76 800,00
Koszt robocizny	€76 800,00
Cały koszt inwestycyjny	€153 600,00

Jak wspomniano, aby móc porównać wyniki badania z włoską szklarnią o powierzchni 1 ha, koszty i zużycie energii i paliw obliczono dla 1 ha. Wtedy koszt inwestycji wynosi €2 560 000.

Tabela 25. Dane sezonowe dla szwajcarskiej szklarni – 1 ha.

	Zwykła szklarnia	Koszt	System TheGreefa	Koszt
Zużycie energii elektrycznej (pompy, wentylatory, pompa ciepła)	719.65 MWh	€142 317.98	665.79 MWh	€131 666.63
Zużycie oleju opałowego	22.50 MWh	€2 160.00	5.33 MWh	€511.68
Zużycie drewna	3 802.50 MWh	€171 568.80	901.33 MWh	€40 668.01

Tabela 26. Szacunkowy koszt wdrożenia systemu TheGreefa w szwajcarskiej szklarni o powierzchni 1 ha.

Koszt materiałów	€1 280 000.00
Koszt robocizny	€1 280 000.00
Cały koszt inwestycyjny	€2 560 000.00

Włoska szklarnia

Ciepło w szklarni dostarczane jest przez kotły na drewno i olej. System ma moc 7 000 kW. Głównymi rodzajami drewna wykorzystywanymi jako paliwo są jodła, sosna, dąb i kasztanowiec. Zużycie oleju wynosi ok. 600 l/h. System grzewczy zużywa około 28% energii elektrycznej wykorzystywanej przez szklarnię, głównie na potrzeby urządzeń pomocniczych, takich jak pompy. Koszty jednostkowe energii i paliw dostarczanych przez firmę Sfera wynoszą: €0,22 za 1 kWh energii elektrycznej, €1,05 za 1l oleju i €75 za 1t drewna. Szacowany roczny koszt transportu paliw wynosi €5 000.

Tabela 27. Dane sezonowe dla włoskiej szklarni – 1 ha.

	Zwykła szklarnia	Koszt	System TheGreefa	Koszt
Energia elektryczna	90 330 kWh	€19 872,60	99 363 kWh	€21 859,86
Olej	34 350 l	€36 067,50	27 480 l	€28 854,00
Drewno	631 t	€47 325,00	505 t	€37 860,00

Jeśli chodzi o koszt inwestycji, został on oszacowany na podstawie kosztów w szwajcarskiej szklarni. Zastosowano ten sam stosunek kosztów materiałów i robocizny. Jeśli chodzi o koszty robocizny, są one niższe we Włoszech w porównaniu do Szwajcarii i wynoszą 40 euro/godzinę. Jako podstawę do obliczeń przyjęto €2 560 000 kosztów inwestycyjnych dla szwajcarskiej szklarni o powierzchni 1 ha.

Daje to około €426 600 jako koszt robocizny. Uwzględniając materiały, całkowity koszt inwestycji we włoską szklarnię wynosi €1 706 600.

Tabela 28. Szacunkowy koszt wdrożenia systemu TheGreefa we włoskiej szklarni o powierzchni 1 ha.

Koszt materiałów	€1 280 000,00
Koszt robocizny	€426 000,00
Cały koszt inwestycyjny	€1 706 600,00

Ocena techniczno-ekonomiczna

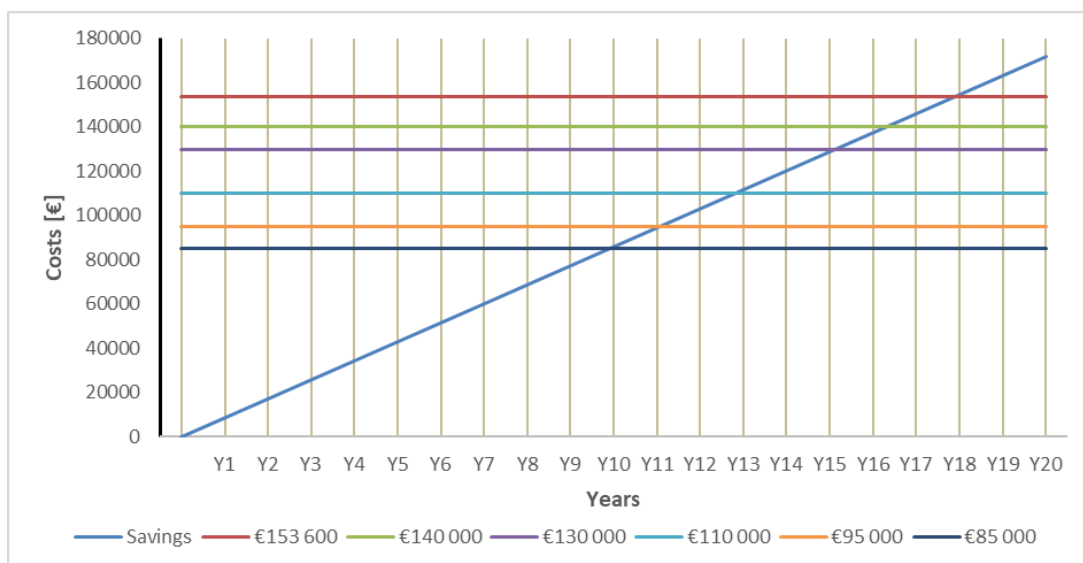
Aby móc przeprowadzić ocenę techniczno-ekonomiczną wdrożenia systemu TheGreefa, dwie szklarnie zostały przeanalizowane w dwóch scenariuszach:

- System standardowy – działanie szklarni przed wdrożeniem systemu TheGreefa.
- System TheGreefa – działanie szklarni z wdrożonym systemem kontroli klimatu TheGreefa.

Szwajcarska szklarnia

Symulacja okresu zwrotu z inwestycji została obliczona z uwzględnieniem rocznych kosztów eksploatacji szklarni (systemów energetycznych) z systemem standardowym i systemem TheGreefa. Obliczone roczne oszczędności wynoszą €8 591,91. Na podstawie symulacji i biorąc pod uwagę koszt inwestycji w wysokości €153 600, okres zwrotu inwestycji wynosi 18 lat. Taki okres jest akceptowalny i oczekiwany zarówno przez właściciela szklarni Meyer, jak i Szwajcarskie Federalne Biuro Energii współpracujące przy demonstracji szwajcarskiej szklarni.

Osiągnięty okres zwrotu inwestycji jest akceptowalny dla właściciela szklarni. Jednak w badaniu rynkowym projektu TheGreefa stwierdzono, że najbardziej oczekiwany i akceptowalny czas dla większości szklarni wynosi 7-10 lat. Na Rys. 61 poniżej przedstawiono wyniki symulacji, w których sprawdzono inne wartości kosztów inwestycyjnych i ich okresy zwrotu z inwestycji.



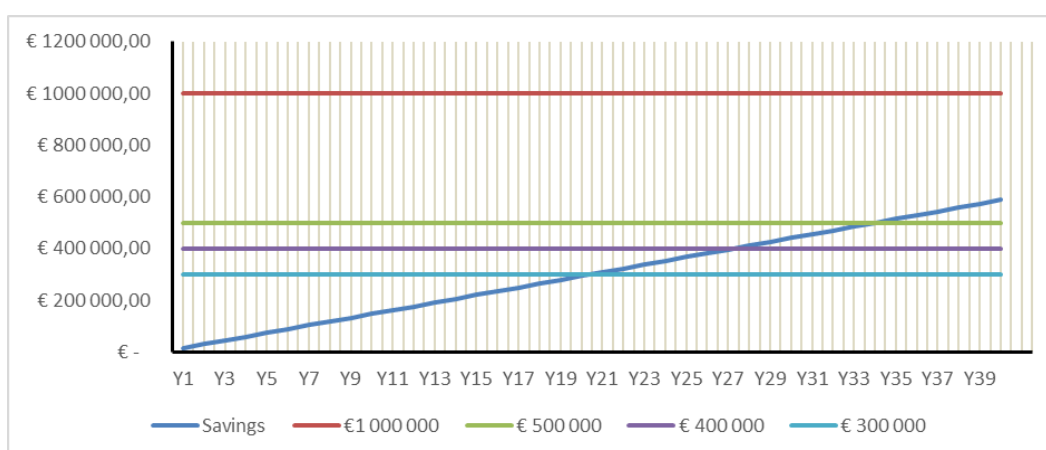
Rys. 61. Symulacja okresu zwrotu inwestycji dla różnych kosztów inwestycyjnych – 600 m² szklarni szwajcarskiej.

Celem jest ustalenie, jaki powinien być koszt inwestycji, aby spełnić wspomniany zakres oczekiwanego czasu zwrotu inwestycji. Wartość początkowa wynosi €153 600, co daje okres 18 lat. Ograniczając koszt do €110 000, zwrot z inwestycji można osiągnąć w ciągu 13 lat. Jednak tylko wtedy, gdy koszt jest prawie 2 razy niższy niż wartość początkowa (€85 000), oczekiwany czas wynosi 10 lat.

Dla celów porównawczych symulację przeprowadzono również dla szwajcarskiej szklarni o powierzchni 1 ha. Szacowany koszt inwestycji dla takiego przypadku wynosi €2 560 000. W tym przypadku okres zwrotu inwestycji również wynosi 18 lat.

Włoska szklarnia

Symulacja okresu zwrotu inwestycji została obliczona z uwzględnieniem rocznych kosztów eksploatacji szklarni (systemów energetycznych) z systemem standardowym i systemem TheGreefa. Obliczone roczne oszczędności wynoszą €14 691,24. Na podstawie symulacji i biorąc pod uwagę koszt inwestycji w wysokości €1 706 600, okres zwrotu inwestycji wynosi ponad 100 lat. Tak długi okres jest całkowicie nieakceptowalny i nieosiągalny w rzeczywistości. Długi okres jest spowodowany proporcjonalnie małymi oszczędnościami kosztów w porównaniu z analizowaną wcześniej szklarnią szwajcarską. W przypadku systemu kontroli klimatu wewnętrznego dla szklarni w projekcie TheGreefa ma on na celu zmniejszenie strat ciepła oraz zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i paliw w celu zapewnienia zapotrzebowania na ciepło w szklarni. Im wyższe jest zapotrzebowanie szklarni na ciepło, tym wyższe oszczędności wynikające z wdrożenia systemu. Podczas analizy szklarni szwajcarskich i włoskich stwierdzono, że zapotrzebowanie na ciepło w przypadku włoskiej szklarni jest 10 razy niższe niż w przypadku szwajcarskim. Różnica wynika oczywiście z lokalizacji w różnych strefach klimatycznych. Proporcja ta jest również widoczna przy porównaniu oszczędności kosztów. Dla 1 ha szklarni w Szwajcarii oszczędność kosztów wynosi €143 200,46 rocznie, podczas gdy dla 1 ha szklarni we Włoszech jest to tylko €14 691,24.



Rys. 62. Symulacja okresu zwrotu inwestycji dla różnych kosztów inwestycyjnych – 1 ha włoskiej szklarni.

Przeprowadzono również symulację, aby sprawdzić, jaki powinien być koszt systemu, aby uzyskać porównywalny okres zwrotu z inwestycji jak w przypadku szklarni szwajcarskiej. Wyniki przedstawione na Rys. 62 pokazują, że tylko jeśli koszt wdrożenia systemu wynosi €300 000, okres zwrotu z inwestycji wynosi 21 lat. Jednak obecnie taki koszt nie jest możliwy do osiągnięcia dla szklarni o powierzchni 1 ha.

4.3. Wnioski

Wyniki uzyskane w przedstawionej analizie cyklu życia (LCA) wykazały, że zastosowanie nowej technologii TheGreefa w szklarniach przyczynia się do widocznego obniżenia wpływu działalności szklarni na środowisko. Ogrzewanie, chłodzenie i kontrola wilgotności są bardzo energochłonnymi procesami w szklarniach. Produkcja ciepła i zużycie energii elektrycznej są odpowiedzialne za większość obciążeń środowiskowych. Dlatego wdrożenie usprawnień w tych aspektach jest właściwym rozwiązaniem, które może pomóc w osiągnięciu celów klimatycznych UE poprzez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i zasobów naturalnych.

Poza tym niższa emisja gazów cieplarnianych (oszczędność CO₂) nie jest jedyną korzyścią z wdrożenia systemu TheGreefa. Są one oczywiście odpowiedzialne za zmiany klimatyczne. Istnieją jednak inne aspekty, w których TheGreefa przynosi poprawę w długoterminowym okresie eksploatacji. Dzięki znacznej redukcji takich czynników jak toksyczność dla ludzi lub fotochemiczny potencjał utleniania, zastosowanie nowego systemu może skutkować 20% do ponad 50% redukcją ogólnego negatywnego wpływu na zdrowie ludzi.

Zużycie zasobów, takich jak drewno i olej, a nawet gaz ziemny, jest niższe, ale można je jeszcze bardziej obniżyć, gdy w systemach energetycznych szklarni zostanie wdrożonych więcej odnawialnych źródeł energii – pomp ciepła, energii geotermalnej i innych.

Ocena techniczno-ekonomiczna dała obiecujące wyniki w przypadku szwajcarskiej szklarni projektu TheGreefa zlokalizowanej w klimacie środkowo-kontynentalnym. Koszt inwestycyjny wdrożenia technologii projektu da szacowany okres zwrotu inwestycji wynoszący 18 lat. Gdyby koszt wdrożenia systemu TheGreefa był prawie o połowę niższy (€85 000 dla szklarni o powierzchni 600 m² i €1 416 000 dla szklarni o powierzchni 1 ha), mogłoby to dać okres zwrotu z inwestycji wynoszący 10 lat lub mniej.

W przypadku włoskiej szklarni, badanie wykazało, że system TheGreefa przy obecnych kosztach nie może zaoferować akceptowalnego okresu zwrotu z inwestycji. Zapotrzebowanie na ciepło w szklarni jest zbyt niskie, aby oszczędności mogły pokryć koszty wdrożenia nowego systemu.

Ponieważ system TheGreefa nie jest jeszcze gotowy do wejścia na rynek jako produkt, nadal istnieje szansa i zostaną podjęte próby obniżenia kosztów systemu. Należy również rozważyć analizę możliwych ograniczeń pod względem wymagań szklarni, w których system mógłby zostać wdrożony. Po pierwsze, należy przeanalizować zapotrzebowanie szklarni na ciepło. Badanie szwajcarskiej szklarni można następnie wykorzystać jako punkt odniesienia do klasyfikacji możliwych opcji wdrożenia.

5. Aspekty społeczne i polityczne

Biorąc pod uwagę obszar zastosowania i korzyści oferowane przez technologię zaproponowaną w projekcie, zalecenia dotyczące polityki muszą opierać się na przeglądzie pięciu podstawowych obszarów: rolnictwa, energii, wody, chemikaliów i bezpieczeństwa żywności. W tej prezentacji zamierzamy zapoznać się z głównymi dokumentami strategicznymi i regulacyjnymi w każdym z tych obszarów na poziomie europejskim, a następnie, na tej podstawie, określimy niektóre zalecenia polityczne, które naszym zdaniem mogą ułatwić wdrożenie proponowanej technologii.



Rys. 63. Główne obszary, na których opiera się przegląd polityk – rolnictwo, energia, woda i chemikalia.

5.1. Europejskie ramy strategiczne dla rolnictwa

Zmiana klimatu i degradacja środowiska stanowią egzystencjalne zagrożenie dla Europy i świata. Aby sprostać tym wyzwaniom, Europejski Zielony Ład ma na celu przekształcenie UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę, zapewniającą brak emisji netto gazów cieplarnianych do 2050 r., wzrost gospodarczy oddzielony od wykorzystania zasobów oraz brak osób i miejsc pozostawionych samym sobie.

Strategia „od pola do stołu” leży u podstaw Europejskiego Zielonego Ładu, którego celem jest uczynienie systemów żywnościowych sprawiedliwymi, zdrowymi i przyjaznymi dla środowiska. Promuje bardziej zrównoważony system żywnościowy, a jednym z jej głównych celów jest zagwarantowanie wystarczającej ilości żywności, która jest przystępna cenowo i pożywna, bez przekraczania limitów planety.

Propozycja dotycząca ram prawnych dla zrównoważonych systemów żywnościowych zostanie przedstawiony w celu wsparcia wdrażania strategii i rozwoju zrównoważonej polityki żywnościowej.

WPR 2023-27 weszła w życie 1 stycznia 2023 roku. Zatwierdzone plany mają wnieść znaczący wkład w realizację ambicji Europejskiego Zielonego Ładu, strategii „od pola do stołu” i strategii na rzecz bioróżnorodności, wraz z modernizacją rolnictwa poprzez rozwój bardziej zrównoważonych praktyk rolniczych, przy jednoczesnej ochronie przyrody i walce ze zmianami klimatu.

Wśród narzędzi, które będą dalej promować zrównoważone praktyki rolnicze w całej UE, przyszła WPR obejmuje warunkowość, która łączy płatności obszarowe i zwierzęce WPR z szeregiem zobowiązań. Ponadto wprowadza również nowe „ekoprogramy”, które mają na celu nagradzanie rolników za dalsze wdrażanie zrównoważonych praktyk rolniczych. Praktyki te mogą obejmować wdrażanie przyjaznych dla środowiska systemów produkcji, takich jak agroekologia, agroleśnictwo i rolnictwo ekologiczne. Ramy rozwoju obszarów wiejskich obejmują również zobowiązania w zakresie zarządzania środowiskiem i klimatem, które mają na celu zrekompensowanie rolnikom i innym beneficjentom dobrowolnego zobowiązania się do wdrożenia zrównoważonych praktyk.

5.2. Europejskie ramy regulacyjne w dziedzinie energii

Dyrektywa 2023/1791 znacznie zwiększa ambicje UE w zakresie efektywności energetycznej, czyniąc ją wiążącą dla krajów UE, aby wspólnie zapewnić dodatkową redukcję zużycia energii o 11,7% do 2030 r. w porównaniu z prognozami scenariusza referencyjnego z 2020 roku.

Po raz pierwszy nadano również „zasadzie efektywności energetycznej” moc prawną, dzięki czemu musi ona być uwzględniana przez kraje UE we wszystkich istotnych decyzjach politycznych i głównych decyzjach inwestycyjnych podejmowanych w sektorach energetycznym i nieenergetycznym. Rzeczywiście, wyższy poziom ambicji wymaga silniejszego promowania opłacalnych środków efektywności energetycznej we wszystkich obszarach systemu energetycznego i we wszystkich istotnych sektorach, w których działalność wpływa na zapotrzebowanie na energię, takich jak rolnictwo.

Ponadto, zgodnie z tą zmienioną dyrektywą, kraje UE będą musiały zapewnić odpowiedni poziom kompetencji dla specjalistów związanych z efektywnością energetyczną, dostosowując je do potrzeb rynku i egzekwując jaśniejsze i bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące niezbędnych kompetencji. Obejmuje to dostawców usług energetycznych, audytorów energetycznych, menedżerów energii i instalatorów.

Rozporządzenie (UE) 2017/1369 ustanawia ramy mające zastosowanie do produktów lub systemów związanych z energią wprowadzanych do obrotu lub oddawanych do użytku. Przewiduje ono ich etykietowanie i dostarczanie standardowych informacji dotyczących efektywności energetycznej, zużycia energii i innych zasobów podczas użytkowania oraz informacji uzupełniających, umożliwiając tym samym klientom wybór bardziej efektywnych produktów w celu zmniejszenia ich zużycia energii. Artykuł 7.2 stanowi, że w przypadku, gdy państwa członkowskie zapewniają zachęty dla produktu, powinny one dążyć do osiągnięcia najwyższych klas efektywności energetycznej.

Nowa dyrektywa w sprawie energii ze źródeł odnawialnych zwiększa udział energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii w UE do 42,5% do 2030 r., z dodatkowym 2,5% orientacyjnym uzupełnieniem, aby umożliwić osiągnięcie celu 45%. Każde państwo członkowskie przyczyni się do osiągnięcia tego wspólnego celu.

Na koniec musimy wspomnieć o zaleceniu Komisji Europejskiej z dnia 14 marca 2023 r. w sprawie magazynowania energii – podstawy zdekarbonizowanego i bezpiecznego systemu energetycznego UE (2023/C 103/01), które zawiera listę zaleceń mających na celu zapewnienie większego wykorzystania magazynów energii.

5.3. Europejskie ramy regulacyjne dotyczące wody

Ramowa Dyrektywa Wodna uznaje, że wody we Wspólnocie znajdują się pod coraz większą presją ze względu na ciągły wzrost zapotrzebowania oraz że konieczne jest osiągnięcie dalszej integracji ochrony i zrównoważonego zarządzania wodą z obszarami polityki Wspólnoty, takimi jak rolnictwo. Biorąc to pod uwagę, promuje zrównoważone wykorzystanie wody w oparciu o długoterminową ochronę dostępnych zasobów wodnych.

Proces planowania hydrologicznego ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia tego celu i opiera się na zintegrowanym planowaniu zarządzania zasobami wodnymi przez dorzecza lub okręgi hydrograficzne. Państwa członkowskie zapewniają opracowanie planu gospodarowania wodami w dorzeczu dla każdego obszaru dorzecza leżącego w całości na ich terytorium i muszą zapewnić

zgodność osiągnięcia celów środowiskowych dla jednolitych części wód i związanych z nimi ekosystemów z zapotrzebowaniem na różne sposoby korzystania z wody, zarówno w wystarczającej ilości, jak i jakości.

Ponadto należy ustanowić program działań w celu osiągnięcia celów środowiskowych, a państwa członkowskie mogą uwzględnić w nim środki zarządzania popytem, między innymi promowanie dostosowanej produkcji rolnej, takiej jak uprawy o niskim zapotrzebowaniu na wodę na obszarach dotkniętych suszą.

Z drugiej strony musimy odnieść się do systemu ekonomiczno-finansowego dla wody, opartego na zasadzie zwrotu kosztów ustanowionej w RDW (=koszt inwestycji dokonanych przez władze publiczne w celu umożliwienia dostarczania wody przez jednostki jest odzyskiwany poprzez płatności za korzystanie z wody przez różnych użytkowników końcowych). Stosowanie tej zasady musi odbywać się w sposób, który zachęca do efektywnego korzystania z wody, a zatem przyczynia się do osiągnięcia celów środowiskowych, przy odpowiednim wkładzie różnych zastosowań, zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci”, i biorąc pod uwagę przynajmniej zaopatrzenie, rolnictwo i zastosowania przemysłowe. Zgodnie z tą zasadą właściwe organy administracji publicznej muszą ustanowić mechanizmy przenoszenia kosztów, które zwykle obejmują premie za użytkowanie rolnicze, gdy wykazano stosowanie dobrych praktyk rolniczych.

5.4. Europejskie ramy regulacyjne dotyczące chemikaliów

Przepisy REACH i CLP dotyczą wszystkich firm, które używają chemikaliów w trakcie swojej działalności przemysłowej lub zawodowej (dalsi użytkownicy), nie tylko tych, które produkują lub importują chemikalia.

Zgodnie z tymi przepisami chlorek magnezu jest mieszaniną niesklasyfikowaną jako niebezpieczna, ale możemy zidentyfikować następujące główne obowiązki dotyczące stosowania chlorku magnezu w profesjonalnej uprawie szklarniowej:

- Stosowanie mieszaniny wyłącznie zgodnie ze środkami kontroli ryzyka dostarczonymi wraz z informacjami otrzymanymi z łańcucha dostaw.
- Zapewnienie pracownikom odpowiednich informacji na temat mieszaniny.

5.5. Wnioski

Jak udało nam się zweryfikować na podstawie przeprowadzonej przez nas analizy, proponowana technologia jest ściśle dostosowana do zaleceń strategicznych i przepisów regulujących obszary objęte projektem.

Niemniej jednak możemy zidentyfikować następujące zalecenia dotyczące polityki, aby ułatwić wdrażanie technologii proponowanej w projekcie:

1. Zapewnienie, że specjaliści zajmujący się efektywnością energetyczną znają proponowaną technologię i rozumieją korzyści, jakie oferuje ona pod względem efektywności energetycznej, zgodnie z nowym mandatem Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej, w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu kompetencji dla specjalistów związanych z efektywnością energetyczną.

2. Przyjęcie przez Komisję aktu delegowanego zgodnie z art. 17 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/1369 z dnia 4 lipca 2017 r. ustanawiającego ramy etykietowania energetycznego, w celu uzupełnienia niniejszego rozporządzenia poprzez ustanowienie szczegółowych wymogów dotyczących etykiet dla proponowanej technologii, tak aby państwa członkowskie mogły zapewnić zachęty zgodnie z art. 7 ust. 2.
3. W obszarach dorzeczy dotkniętych suszą, włączenie przez państwa członkowskie do programu środków promowania upraw wymagających niewielkiej ilości wody.
4. Uznanie proponowanej technologii przez właściwe władze publiczne za dobrą praktykę rolniczą zasługującą na premię w ekonomicznym i finansowym systemie wodnym.
5. Szkolenie pracowników w zakresie bezpiecznego stosowania chlorku magnezu.

Odnośniki

Strona internetowa i sieci społecznościowe



<https://thegreefa.eu>



<https://x.com/TheGreefa>



<https://www.linkedin.com/company/thegreefa/>



<https://www.youtube.com/@thegreefaprojekt>



https://zenodo.org/communities/thegreefa_h2020_project/



https://explore.openaire.eu/search/project?projectId=corda_h2020::0172da9ca5a679fbb4d0a5f045bd5029

Partnerzy i osoby zaangażowane w TheGreefa

Zurich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

ZHAW

**Zurich University of Applied Sciences – Institute for Energy
Systems and Fluid Engineering**

Serena Danesi – Koordynator Projektu

serena.danesi@zhaw.ch

Raphael Baumann

baap@zhaw.ch



WATERGY

Watergy GMBH

Martin Buchholz

martin.buchholz@watergy.de



TUB

The Technische Universität Berlin

Reiner Buchholz

reiner.buchholz@tu-berlin.de



INRGREF

**National research Institute of rural engineering, Water and
Forests**

Thameur Chaibi

thameurchaibi@gmail.com

Meriem Soussi

soussi.meriem@gmail.com



SFERA

Sfera società agricola srl

Claudio La Carbonara

claudio.lacarbonara@sferaagricola.it



HYPERBOREA

Hyperborea Srl

Norma Zanetti

n.zanetti@hyperborea.com

**MEYER*****Meyer Orchideen AG***

Hanspeter Meyer

hanspeter.meyer@swissorchid.ch**STRANE*****STRANE INNOVATION SA***

Raphaël Hercelin

raphael.hercelin@strane-innovation.com

Nathalie Vallee

nathalie.vallee@strane-innovation.com**IZNAB*****IZNAB SPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSCIA***

Jakub Pluta

jakub.pluta@iznab.pl**UAL*****Universidad de Almería***

Francisco Domingo Molina Aiz

fmolina@ual.es**MAS*****Moragues and Scade Abogados***

Juan Luis Moragues

jlm@mas-abogados.com

Begoña Benito

bbg@grupomas.net**LUH*****Leibniz Universität Hannover***

Philipp Geyer

philipp.geyer@iek.uni-hannover.de



www.thegreefa.eu



„Projekt otrzymał finansowanie z programu Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i innowacji Horyzont 2020 w ramach umowy o dofinansowanie nr 101000801”