

Magdalena Borzęcka, Małgorzata Wydra

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy

PLATFORMA AGENERGY NA RZECZ ZRÓWNOWAŻONEGO ROLNICTWA*

Słowa kluczowe: wykorzystanie energii w rolnictwie, technologie i strategii wolne od paliw kopalnych, energia odnawialna, efektywność energetyczna, sekwestracja węgla

Wstęp

Pokrycie potrzeb energetycznych i zwiększanie produktywności w rolnictwie opiera się na zasobach kopalnych (9). Uzależnienie rolnictwa od energii wiąże się z postępowaniem w mechanizacji i chemizacji, jaki przyniosła Zielona Rewolucja (lata 50. i 60. XX w.). Dostarczyła ona szeregu rozwiązań umożliwiających usprawnienie większości praktyk agrotechnicznych wykorzystujących jako źródło energii – podobnie jak we wszystkich sektorach produkcyjnych – głównie paliwa kopalne. Pozytywny wpływ zmian na produktywność i wydajność rolnictwa, jak również zmniejszenie nakładów pracy i obciążenia pracowników były znaczące. Niestety, postęp ten wiązał się również ze zwiększonym wpływem działalności rolniczej na potencjał globalnego ocieplenia (GWP), poprzez zwiększenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) emitowanych bezpośrednio z działalności rolniczej, pochodzących z fermentacji jelitowej zwierząt gospodarskich, pracy maszyn rolniczych oraz poprzez intensyfikację użytkowania gruntów i stosowanie zwiększonych nakładów na środki produkcji (14). Dlatego też obecnie w pracach badawczo-rozwojowych i we wdrożeniach kładzie się duży nacisk na nowatorskie technologie i strategii związane z bardziej zrównoważoną produkcją energii, efektywnym jej wykorzystaniem i redukcją emisji gazów cieplarnianych (37). Na przestrzeni ostatnich 20 lat w UE popularne stało się wykorzystanie technologii i strategii redukujących emisje GHG w większości sektorów gospodarki, z bardzo pozytywnymi wynikami. Co prawda rolnictwo, według danych z EUROSTAT, odpo-

*Publikacja powstała na rzecz promocji platformy AgEnergy, produktu opracowanego przez konsorcjum projektu AgrofosillFree, finansowanego w ramach programu ramowego UE w zakresie badań naukowych i innowacji Horyzont 2020, numer umowy grantowej: 101000496.

wiada zaledwie za 3,3% całkowitego zużycia energii w UE (dane z 2019 r.), jednak aż 55% całkowitego zużycia energii w rolnictwie UE opiera się na ropie naftowej i paliwach ropopochodnych, 17% stanowi energia elektryczna, 14% gaz ziemny, a 9% biopaliwa (40). Pomimo to, rolnictwo nie zostało zidentyfikowane jako dziedzina gospodarcza, gdzie energooszczędne lub zeroemisyjne technologie i praktyki powinny znaleźć zastosowanie. Uważa się, że rolnictwo nie jest istotnym konsumentem energii i w małym stopniu przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych. Pokutuje również przekonanie, że koszt instalacji nowoczesnych technologii jest zbyt wysoki dla małych i średnich gospodarstw rolnych.

Obecnie w gospodarce coraz powszechniejsze staje się stosowanie niskoemisyjnych technologii i strategii, a ich udział w całkowitej produkcji energii zwiększył się z 6,1% w 2000 r. do 15,2% w 2016 r., przy jednoczesnym spadku udziału energetyki kopalnej i jądrowej (15). Wzrost rynku pozwolił na optymalizację tego typu rozwiązań pod kątem lepszej wydajności i jakości w połączeniu z obniżonymi cenami, które osiągnęły poziom akceptowalny dla większości konsumentów energii. Niestety, w sektorze rolnym nadal istnieje znaczna luka między dostępnymi nowatorskimi rozwiązaniami a faktycznym przyjęciem i wykorzystaniem przez rolników zalecanych narzędzi i praktyk, zwłaszcza w przypadku tak dużej liczby małych i średnich producentów, dla których często barierą jest również ograniczony dostęp do informacji i wiedzy (28). Zmniejszenie tej luki to postęp w kierunku rolnictwa zrównoważonego zapewniającego bezpieczeństwo środowiskowe i rozwój społeczno-gospodarczy. W celu zintegrowania wszystkich dostępnych narzędzi i praktyk, które rozwinęły się dzięki dotychczasowym badaniom rozwojowo-wdrożeniowym i wysiłkom przemysłu nadal potrzebny jest kluczowy element umożliwiający osiągnięcie ogólnego sukcesu, czyli odpowiednie przeszkolenie osób zaangażowanych w ten proces restrukturyzacji. Jego wynikiem ma być pełne dostosowanie się rolnictwa do polityki ograniczania zużycia energii z paliw kopalnych.

Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej (2012/27/UE) (12) postawiła za cel zmniejszenie zużycia energii w UE o 20% do 2020 r. w stosunku do prognoz na ten rok. Nowelizacja tej dyrektywy przeprowadzona w grudniu 2018 r. (UE 2018/2002) (13) podwyższyła wskaźnik celu do 32,5%, który zamierza się osiągnąć w 2030 r. W ramach Europejskiego Zielonego Ładu, Komisja zaproponowała zestaw środków zakładających dalsze zwiększanie efektywności energetycznej i ograniczanie zużycia paliw kopalnych, dążąc do przekształcenia Europy w pierwszy kontynent neutralny dla klimatu do 2050 r. Aby osiągnięcie powyższych celów było możliwe, konieczne jest podjęcie odpowiednich działań także w sektorze rolnictwa.

Dotychczasowa polityka energetyczna UE zdołała zmniejszyć ogólne zużycie energii w sektorze rolnictwa na przestrzeni 20 lat (1999–2019) o 8,1%. Co istotne, zużycie paliw kopalnych spadło z 63,1% do 53%, a udział energii elektrycznej, biopaliw i energii odnawialnej wzrósł z 4% do 9% (41). Bezpośrednia energia zużywana w rolnictwie jest przeznaczana głównie do zasilania maszyn rolniczych, ogrzewania

budynków inwentarskich i szklarni. Rolnictwo wykorzystuje również energię pośrednio poprzez użycie w produkcji przemysłowej wysokoenergetycznych nawozów i środków ochrony roślin oraz maszyn i konstrukcji rolniczych. Możliwości ograniczania zużycia energii w rolnictwie są zatem szerokie.

Rolnictwo może nie tylko ograniczać zużycie energii ze źródeł kopalnych i zwiększać efektywność energetyczną, ale także stać się producentem energii ze źródeł odnawialnych, dzięki ułatwionemu dostępowi do źródeł takich jak: biomasa, biogaz, czy uprawy energetyczne, a także korzystając z ogólnodostępnych zasobów, takich jak: energia słoneczna, wiatr i woda.

Produkcję czystej energii dla rolnictwa można osiągnąć poprzez zastosowanie takich rozwiązań jak: fotowoltaika (7, 24), termiczna energia słoneczna (39), turbiny wiatrowe (35), pompy ciepła (2), produkcja biogazu/biometanu (4, 29), konwersja biomasy stałej (8). Dynamicznie rozwijającymi się źródłami energii odnawialnej w europejskim miksie energetycznym na przestrzeni lat 2009–2019 były: energia wiatru – obecnie stanowi ona ponad 5% światowego zaopatrzenia w energię – oraz energia słoneczna (18), która zaspokaja obecnie ponad 2,5% globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Zgodnie z raportem IEA z 2021 r. (19), prognozowana jest dalsza ekspansja energii odnawialnej, sięgająca nawet 95% wzrostu globalnej produkcji energii do roku 2026. Natomiast w samej Europie przewiduje się, że moc energii odnawialnej zwiększy się o 45%, głównie z uwagi na rozwój fotowoltaiki i energii wiatrowej. Trajektoria prognozowanego wzrostu mocy wskazuje, że wzrost udziału energetyki odnawialnej w Unii Europejskiej może wyprzedzić obecne krajowe plany w zakresie energii i klimatu (NECP) na 2030 r. (19). Wprowadzie rosnące ceny towarów, energii i transportu spowodowały wzrost kosztów produkcji i transportu modułów fotowoltaicznych, turbin wiatrowych i biopaliw na całym świecie, ale nie bez wpływu na tę sytuację pozostają rosnące ceny detaliczne energii elektrycznej na kluczowych rynkach zwiększające atrakcyjność produkcji własnej energii elektrycznej. Od początku 2020 r. zaobserwowano także wzrost udziału ciepła ze źródeł odnawialnych, głównie w Europie, co jest bardzo istotne, biorąc pod uwagę fakt, iż dostawy ciepła stanowiły ponad 40% globalnych emisji CO₂ związanych z energią w 2020 r. Nadal pozostają one jednak w dużym stopniu zależne od paliw kopalnych.

Ważnym aspektem jest również **poprawa efektywności energetycznej**, która może być rozpatrywana w kontekście budynków rolniczych, maszyn i narzędzi, a także stosowania technik rolnictwa precyzyjnego i konserwującego czy precyzyjnej hodowli zwierząt. Budynki rolnicze obejmują szereg konstrukcji, w których można – w zależności od ich przeznaczenia – rozważać różne sposoby ograniczania zużycia energii i podnoszenia efektywności energetycznej, na przykład w budynkach inwentarskich, szklarniach, magazynach i suszarniach – stosując energooszczędne systemy wentylacji (10), ogrzewania (1, 21) czy oświetlenia, instalacje pozwalające na odzysk energii i zapobieganie stratom ciepła (11), inteligentne systemy zarządzania służące kontrolowaniu i optymalizacji warunków panujących wewnątrz konstrukcji

rolniczej (23, 34) lub też konstrukcje pasywne energetycznie (3). Z kolei efektywność energetyczna rozpatrywana w kontekście pojazdów i maszyn rolniczych to nie tylko mniejsze zużycie paliwa czy energii elektrycznej (25), ale także efektywne ich wykorzystanie do prowadzonych prac polowych, np. dzięki zastosowaniu zasad rolnictwa precyzyjnego i systemów sterowania ruchem maszyn rolniczych (36), oraz w precyzyjnej hodowli zwierząt inwentarskich (26). Rolnictwo precyzyjne pozwala dodatkowo uzyskać – zarówno w produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej – zwiększenie efektywności nakładów produkcyjnych, takich jak zużycie wody, np. do mycia urządzeń rolniczych, nawadniania upraw, zwiększenie efektywności stosowanych precyzyjnie nawozów i środków ochrony roślin, czy też materiału siewnego i ograniczanie ilości uwalnianego amoniaku (17).

Dostępne dla rolnictwa działania na rzecz łagodzenia zmian klimatu to nie tylko ograniczanie emisji związanych ze zużyciem energii ze źródeł kopalnych, ale także wiązanie węgla atmosferycznego. Rośliny, budując biomasę, wychwytyją dwutlenek węgla z powietrza i częściowo sekwestrują go również w glebie. Proces ten dotyczy około jednej trzeciej CO₂ wytwarzanego przez ludzi, z czego około 10–15% ostatecznie trafia do gleby (31). W pracach zespołu kierowanego przez Deborah Bossio (6) wskazano, że węgiel glebowy stanowi 25% potencjału naturalnych rozwiązań redukujących skutki zmian klimatu, z czego 40% to ochrona związanego węgla w glebie, a 60% to odbudowa wyczerpanych zasobów. Dzięki stosowaniu zasad zwiększających **sekwestrację węgla** (16, 27), można korzystnie wpłynąć na łagodzenie zmian klimatycznych. Praktyki, które sprzyjają sekwestracji węgla w glebie, to m.in. stosowanie płodozmienu, utrzymanie całorocznego pokrycia gleby, stosowanie systemów uprawy konserwującej, zarządzanie składnikami nawozowymi oraz dywersyfikacja upraw. W ostatnim czasie popularność zyskuje także tzw. rolnictwo węglowe, które dzięki administracyjnym narzędziom wsparcia oferującym bezpośrednie korzyści finansowe rolnikom, umożliwia ekonomicznie efektywne działania na rzecz sekwestracji węgla w zarządzanych przez siebie „magazynach węglowych” (ang. *carbon sink*) – czyli w glebie pól uprawnych. Zwiększanie wiązania węgla w glebie to zatem nie tylko sposób na zmniejszenie emisji, ale też wzrost glebowej materii organicznej, istotnie wpływającej na wielkość uzyskiwanych plonów, a więc poprawę efektywności ekonomicznej.

UE wspiera rozwój niskoemisyjnych technologii i zwiększanie efektywności energetycznej między innymi poprzez program Horyzont 2020 finansujący badania i innowacje w tym zakresie. Jednym z nich jest projekt AgroFossilFree koordynowany przez Centrum Badań i Technologii – Hellas (CERTH) i realizowany wspólnie z 15 partnerami z 9 krajów UE (IR, NL, DE, DK, PL, ES, IT, BE, EL). Ma on na celu przyczynić się do budowy strategii UE (takich jak Europejski Zielony Ład czy strategia „Od pola do stołu”) poprzez działania na rzecz zmniejszenia wykorzystania paliw kopalnych we wszystkich procesach rolniczych „od kołyski do bramy”, jednocześnie utrzymując wysokie plony i jakość produktów końcowych. W niniejszej pracy przed-

stawione zostaną wyniki analiz prowadzonych na rzecz budowy platformy AgEnergy, która została zrealizowana w ramach projektu AgroFossilFree, w celu stworzenia ram do współpracy interesariuszy i umożliwienia im oceny Technologii i Strategii Wolnych od Paliw Kopalnych (ang. *Fossil Energy Free Technologies and Strategies* – FEFTS) dostępnych do wdrożenia w rolnictwie UE. Termin FEFTS odnosi się do produkcji czystej i wydajniejszej energii i jej wykorzystania w rolnictwie. Pomoże to także zamknąć lukę pomiędzy dostępnymi technologiami i strategiami wolnymi od paliw kopalnych a praktykami rolniczymi stosowanymi w UE, dzięki promowaniu efektywnej wymiany nowatorskich pomysłów i informacji pomiędzy środowiskami nauki, przemysłu i rolnictwa.

Metody

Platforma AgEnergy

Platforma AgEnergy jest głównym produktem projektu AgroFossilFree. Jej główne cele to:

- upowszechnienie zgromadzonej wiedzy dotyczącej FEFTS,
- optymalizacja transferu wiedzy do interesariuszy związanych z rolnictwem,
- zaangażowanie użytkowników platformy we współtworzenie bazy danych poprzez dodawanie nowych i ocenę już istniejących FEFTS.

Podstawowym narzędziem analitycznym, które zostało użyte do budowy bazy wiedzy Platformy AgEnergy była inwentaryzacja FEFTS, która została scharakteryzowana poniżej.

Proces identyfikacji i rejestracji istniejących technologii i strategii wolnych od paliw kopalnych (FEFTS), mających zastosowanie lub możliwych do wprowadzenia w rolnictwie przeprowadzono, opierając się na teorii teorii dyfuzji innowacji Everreta Rogersa (30). Teoria Rogersa posłużyła do wstępnej identyfikacji istniejących innowacji oraz ich twórców, co jest kluczowe dla budowy bazy danych dotyczących FEFTS. Następnie zidentyfikowano źródła, które zostały przeszukane pod kątem adekwatnych rozwiązań, zgodnie z przyjętą metodyką. W zależności od źródła innowacyjnego rozwiązania przyjęto kategoryzację wyników wyszukiwania zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1

Źródła FEFTS zidentyfikowane na potrzeby budowy Platformy AgEnergy

Lp.	Źródło	Rodzaj FEFTS
1.	producenci i dostawcy FEFTS	technologie komercyjne
2.	środowisko naukowe, doradztwo i usługi upowszechnieniowe, instytucje szkoleniowe	publikacje naukowe projekty badawcze materiały szkoleniowe
3.	instytucje finansujące	mechanizmy finansowania

Źródło: AgroFossilFree, Deliverable 2.1: Report on methodology and standards (20)

Proces identyfikacji i selekcji FEFTS został udokumentowany szczegółowo w raportach opracowanych przez partnerów projektu (5, 22, 32, 33, 38).

Zgromadzone FEFTS zostały podzielone na kategorie na podstawie dedykowanego sposobu wykorzystania (użytkownik/zastosowanie technologii) oraz na podstawie metody ograniczania zużycia paliw kopalnych i emisji gazów cieplarnianych, wyróżniając: (I) dostarczanie czystej energii (produkcja i magazynowanie), (II) zwiększanie efektywności energetycznej (energooszczędność) oraz (III) sekwestrację węgla w glebie. Dalszy szczegółowy podział FEFTS na podkategorie przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Szczegółowy podział FEFTS

Kategoria FEFTS	Podkategoria: poziom 1	Podkategoria: poziom 2
Użytkownik/kosument energii	rolnicze zastosowanie technologii	ogrzewanie i chłodzenie budynków
		ogrzewanie/chłodzenie w procesach rolniczych
		oświetlenie
		rolnicze praktyki polowe
		pojazdy rolnicze
		narzędzia/maszyny
Dostarczanie czystej energii	źródła energii odnawialnej	sprzedaż energii zewnętrznym konsumentom
		słońce
		wiatr
		woda
		geotermia
	rodzaje energii	bioenergia
		ogrzewanie
		chłodzenie
		energia elektryczna
		energia mechaniczna
	technologie pozyskiwania energii	energia chemiczna
		fotowoltaika
		kolektory solarne
		turbiny wiatrowe
		hydroenergia/elektrownie wodne
		pompy ciepła
		energia geotermalna
		konwersja biomasy stałej
	produkcja biogazu/biometanu	
	magazynowanie energii	produkcja biopaliw ciekłych
magazynowanie ciepła		
magazynowanie energii elektrycznej		
magazynowanie zimna		
		pośrednie nośniki bioenergii

cd. tab. 2

Kategoria FEFTS	Podkategoria: poziom 1	Podkategoria: poziom 2
Poprawa efektywności energetycznej	energooszczędność	energooszczędne budynki
		energooszczędne pojazdy
		energooszczędne narzędzia i maszyny rolnicze
		rolnictwo precyzyjne
		hodowla precyzyjna
		rolnictwo konserwujące
Sekwestracja węgla	sekwestracja węgla	pokrywa organiczna gleby
		uprawa (rolnictwo konserwujące + nawigacja maszynami rolniczymi)
		gospodarowanie składnikami nawozowymi
		plodozmian
		techniki ochrony gleby i wody
		zarządzanie użytkami zielonymi

Źródło: AgroFossilFree, Deliverable 2.1: Report on methodology and standards (20)

Identyfikacja FEFTS przebiegała na podstawie przeglądu dostępnej literatury naukowej, projektów badawczych lub istniejących na rynku rozwiązań z zakresu technologii i strategii wolnych od paliw kopalnych, a także dostępnych mechanizmów ich finansowania. Zbudowana w ten sposób baza danych zawiera rozwiązania zarówno w zaawansowanym stadium, jak i gotowe do wprowadzenia lub już dostępne na rynku, a jednak niewystarczająco rozpowszechnione wśród użytkowników sektora rolniczego. Zawiera również opis rozwiązań w fazie eksperymentalnej i wdrożenia pilotażowe nadal będące przedmiotem badań i doskonalenia/dostosowywania do wykorzystania w rolnictwie.

Zgromadzone dane prezentowane są na autorskim portalu internetowym AgroFossilFree, który został udostępniony na początku 2022 r.

W bazie danych zgromadzono informacje dotyczące:

- oprogramowania,
- sprzętu,
- metodyki,
- procedur,
- kompleksowych rozwiązań.

Metodologia obejmuje szereg kategorii, które ułatwiają wyszukiwanie na platformie internetowej. Zbiory zostały skatalogowane w pięciu grupach głównych:

- publikacje naukowe,
- projekty badawcze,
- technologie komercyjne,
- materiały szkoleniowe i doradcze,
- mechanizmy wsparcia finansowego.

Wyniki i dyskusja

Wynikiem przeprowadzonych prac jest uruchomienie strony internetowej projektu jak również Platformy AgEnergy. Informacje związane z projektem są udostępniane za pośrednictwem strony internetowej, odwiedzający mogą zapoznać się z celem projektu i być na bieżąco z nadchodzącymi wydarzeniami oraz nowymi rozwiązaniami związanymi z technologiami i strategiami wolnymi od energii kopalnej (FEFTS). Specjalnie zaprojektowana Platforma AgEnergy, która gromadzi istniejące na rynku technologie i strategię FEFTS w postaci łatwo dostępnych i zrozumiałych dla użytkownika końcowego materiałów opracowanych zgodnie z formatem EIP-Service Point, znajduje się pod adresem: <https://platform.agrofossilfree.eu/en>. Platforma dostępna jest w siedmiu językach krajów partnerskich projektu. Platforma AgEnergy służy również jako narzędzie do oceny online zinwentaryzowanych FEFTS przez zainteresowane strony w całej Europie i pozwala na pozyskiwanie oddolnych pomysłów i potrzeb badawczych. W ramach prac zespołu projektowego na platformie opublikowano 836 FEFTS (tab. 3).

Tabela 3

Opublikowane rozwiązania FEFTS

Typ rozwiązania FEFT	Zebrane	Opublikowane
Publikacje naukowe	489	482
Projekty badawcze	109	102
Technologie komercyjne	200	172
Materiały szkoleniowe i doradcze	40	34
Mechanizmy wsparcia finansowego	51	46
Razem	869	836

Platforma AgEnergy zawiera narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji (Decision Support Tool), które pomaga wybrać najbardziej efektywne FEFTS dla konkretnych potrzeb danego gospodarstwa, dzięki opcji uszeregowania najbardziej odpowiednich rozwiązań oraz zapewniając narzędzia do skutecznego planowania potrzebnych inwestycji.

Wśród **publikacji naukowych** najwięcej znalazło się prac angielskojęzycznych pochodzących z krajów Unii Europejskiej, Stanów Zjednoczonych Ameryki, Indii, Chin czy Wielkiej Brytanii. Ponad 50% zebranych artykułów jest ogólnodostępnych w sieci. Co istotne, większość nadesłanych prac dedykowana jest rolnikom i stowarzyszeniom producentów. Wynika to z faktu, że celem platformy jest upowszechnianie głównie tych technologii lub strategii energetycznych, które mogą (lub – po dostosowaniu – mogłyby) być wykorzystane przez rolnika. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, duża część artykułów naukowych ma tendencję do przedstawiania i analizowania metodologii i procedur w większym stopniu niż gotowych

do wdrożenia technologii. Wiele opracowań dotyczy także polityki i ram rozwoju. W dużej mierze artykuły poświęcone są praktykom polowym oraz pozyskiwaniu energii, a także rozwiązaniom łączącym wiele technologii. Niemal połowę prezentowanych prac wśród praktyk polowych stanowią techniki nawadniania (49,3%), następnie techniki nawożenia (22,1%) oraz techniki uprawy/orki (20%). Praktyki te są zaliczane do najbardziej energochłonnych pod względem pośrednich nakładów energetycznych, stąd duże zainteresowanie naukowców tymi tematami. W kategorii dostarczania czystej energii większość artykułów dotyczy energii elektrycznej. Zaopatrzenie w energię elektryczną gospodarstw rolnych jest istotnym tematem w drodze do dążenia do niezależności energetycznej, jak również może stanowić dodatkowe źródło dochodu rolnika. Licznie reprezentowana jest także literatura naukowa dotycząca biomasy, biogazu czy biometanu.

Na platformie możemy znaleźć dane dotyczące ponad 100 **projektów naukowych** pochodzących z europejskich źródeł finansowania, takich jak H2020, Life, FP7. Jest również pewna liczba projektów finansowanych ze środków krajowych czy przemysłu. W większości przypadków są to projekty anglojęzyczne, jednak największa część koordynowana była w Hiszpanii, Niemczech, Francji czy Grecji. Projekty dedykowane są głównie rolnikom jako końcowemu odbiorcy; w dużej mierze mogą z nich czerpać wiedzę również stowarzyszenia producentów, doradcy rolni i przemysł. Najwięcej projektów dotyczy bezpośrednio praktyk rolniczych w terenie (78 ze 102), następnie FEFTS dedykowanych hodowli zwierząt (43 ze 102) i prawie równie liczna grupa FEFTS dotyczy upraw pod osłonami (40 z 102). Niemal połowa wybranych projektów oferuje FEFTS z wieloma możliwościami zastosowania w szerokiej gamie działań rolniczych. Wśród konkretnych obszarów zastosowań wiele projektów dotyczy zużycia energii elektrycznej w budynkach oraz przez narzędzia i maszyny rolnicze. Mniej liczne, ale również znaczące grupy stanowiły: zużycie ciepła w budynkach, zużycie paliwa na pracę ciągników i pojazdów czy na zasilanie narzędzi i maszyn rolniczych oraz potrzeby chłodnicze budynku. Oprócz powyższej bezpośredniej redukcji zużycia energii wiele zebranych FEFTS oferowało również pośrednie możliwości redukcji energii z paliw kopalnych, takie jak: zmniejszenie zużycia nawozów, pestycydów, redukcja obornika czy uproszczenie uprawy. Mniej liczne, ale również znaczące możliwości redukcji zużycia energii kopalnej stanowią następujące kategorie: redukcja zużycia wody, materiału siewnego, leków stosowanych w hodowli zwierząt inwentarskich, redukcja zużycia wapna, pasz oraz poprawa dobrostanu zwierząt.

Biorąc pod uwagę pochodzenie FEFTS, największy udział w bazie mają **komercyjne rozwiązania** opracowane w Niemczech – 45. Kraje takie jak: Dania, Holandia i Polska są również licznie reprezentowane, przez odpowiednio: 20, 19 i 18 firm zidentyfikowanych dotychczas przez konsorcjum. W innych krajach europejskich, jak Hiszpania – 7, Włochy – 13, Irlandia – 10, Grecja – 7 i Francja – 4 również zidentyfikowano reprezentatywną liczbę produktów komercyjnych, które mogłyby znaleźć

zastosowanie w rolnictwie. Poza UE dużą liczbę technologii dostarczają również firmy z Wielkiej Brytanii – 6, Szwajcarii – 8, Stanów Zjednoczonych Ameryki – 12, i Chin – 6. Większość komercyjnych rozwiązań FEFTS może być wykorzystywana w uprawach polowych – 127, aż 96 technologii może być wykorzystywanych w hodowli zwierząt, a 85 ma zastosowanie w szklarniach.

Materiały szkoleniowe stanowią istotny element Platformy AgEnergy. Posłużą one do poszerzenia wiedzy interesariuszy i zachęcą do minimalizowania zużycia paliw kopalnych. Większość zebranych materiałów szkoleniowych ma wiele zastosowań technicznych i dotyczą one: poprawy efektywności energetycznej, produkcji energii odnawialnej i sekwestracji węgla w glebie. W zakresie produkcji energii odnawialnej wszystkie materiały szkoleniowe odnoszą się do systemów produkcyjnych, wśród których najliczniejsze kategorie to energia słoneczna (fotowoltaika i agrowoltaika) i biomasa (produkcja biogazu/biometanu). Jeśli chodzi o poprawę efektywności energetycznej, materiały szkoleniowe odnoszą się głównie do kategorii „efektywne narzędzie”, podczas gdy w odniesieniu do sekwestracji węgla w glebie materiały szkoleniowe koncentrują się głównie na systemach uprawy roli.

Zebrane **mechanizmy finansowania** dotyczą głównie systemów wsparcia dla rolników, firm, przemysłu, stowarzyszeń producentów, wytwórców energii, wykonawców, usług doradczych, decydentów i środowiska nauki. Większość z tych mechanizmów daje możliwości wsparcia różnym grupom użytkowników i w zakresie wielorakich działań, ale są też programy ukierunkowane na bardziej specyficzne obszary, takie jak produkcja czystej energii (wsparcie inwestycji w instalacje do produkcji energii odnawialnej), zwiększanie efektywności energetycznej dzięki dofinansowaniom na modernizację gospodarstw, czy też konkretne praktyki rolnicze (np. rolnictwo węglowe).

Informacje publikowane na Platformie AgEnergy są sukcesywnie aktualizowane przez cały czas trwania projektu przez konsorcjum AgroFossilFree. Zarejestrowani użytkownicy mają możliwość oceny dostępnych FEFTS, jak również samodzielnego ich dodawania do bazy za pomocą formularza online. Przed opublikowaniem, wszystkie przesłane propozycje FEFTS poddawane są procesowi weryfikacji, co zapewnia rzetelność i adekwatność udostępnianych informacji. Dzięki ciągłej współpracy z interesariuszami, Platforma AgEnergy stanowi zbiór użytecznych narzędzi i praktyk dla rolnictwa bezemisyjnego, ale także ułatwia opracowanie odpowiednich strategii i wytycznych dla europejskiego rolnictwa bezemisyjnego. Po zakończeniu projektu AgroFossilFree, platforma AgEnergy zostanie włączona do sieci EIP, zapewniając trwałość osiągniętych rezultatów.

Podsumowanie

Rolnictwo będzie w stanie w pełni dostosować się do polityki ograniczania zużycia energii z paliw kopalnych, powiązanych ram prawnych i regulacyjnych oraz zrówno-

ważonej produkcji żywności tylko wtedy, gdy zainteresowane strony z branży rolniczej uzyskają dostęp do aktualnej wiedzy i informacji o istniejących i przyszłych postępach technologicznych w sektorze energetycznym. W celu odpowiedniego wykorzystania potencjału dostępnych narzędzi i praktyk, które rozwinęły się dzięki dotychczasowym badaniom naukowym i wysiłkom przemysłowym, potrzebny jest kluczowy element umożliwiający wypełnienie luki pomiędzy zgromadzoną wiedzą a praktyką. Platforma AgEnergy zapewnia łatwy dostęp do istniejących technologii i strategii wolnych od energii kopalnej i umożliwia interakcję z odpowiednimi interesariuszami w celu wyrażania ich potrzeb i pomysłów na dalszy rozwój oferowanych rozwiązań. Platforma daje możliwość oceny zinventaryzowanych FEFTS oraz uszeregowania technologii w rankingu zgodnie z własnymi potrzebami, przydatnością, zastosowaniem oraz wykonalnością. Dzięki informacji zwrotnej otrzymanej od interesariuszy, możliwe jest lepsze dopasowanie rozwiązań niskoemisyjnych proponowanych rolnictwu do rzeczywistych potrzeb tego sektora. Wdrażanie prezentowanych na Platformie rozwiązań przyczyni się do produkcji żywności w sposób niewywołujący presji na środowisko i zapewniający rolnikom wyższe dochody.

Literatura

1. A h a m e d M.S., Guo H., Tanino K.: Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouses. *Biosystems Engineering*, 2019, **178**: 9-33.
2. A n i f a n t i s A.S., Pascuzzi S., Scarascia-Mugnozza G.: Geothermal source heat pump performance for a greenhouse heating system: An experimental study. *Journal of Agricultural Engineering*, 2016, **47(3)**: 164-170.
3. B a l a s M.M.: Seven passive greenhouse synergies. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2014, **11.4**: 199-210.
4. B i e l s k i S., Marks-Bielska R., Zielińska-Chmielewska A., Romaneckas K., Šarauskis E.: Importance of agriculture in creating energy security—a case study of Poland. *Energies*, 2021, **14(9)**: 2465.
5. B o r z ę c k a M., Wydra M.: Deliverable. 2.5: Report on research project results on FEFTS, 2021.
6. B o s s i o D.A., Cook-Patton S.C., Ellis P.W. et al.: The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nat Sustain*, 2020, **3**: 391-398. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
7. B r e e n M., Upton J., Murphy M.D.: Photovoltaic systems on dairy farms: Financial and renewable multi-objective optimization (FARMOO) analysis. *Applied Energy*, 2020, **278**: 115534.
8. C a v a l a g l i o G., Cotana F., Nicolini A., Coccia V., Petrozzi A., Formica A., Bertini A.: Characterization of various biomass feedstock suitable for small-scale energy plants as preliminary activity of biocheaper project. *Sustainability*, 2020, **12(16)**: 6678.
9. C h e n X., Shuai C., Zhang Y., Wu Y.: Decomposition of energy consumption and its decoupling with economic growth in the global agricultural industry. *Environmental Impact Assessment Review*, 2020, **81**: 106364.
10. C o s t a n t i n o A., Comba L., Sicardi G., Bariani M., Fabrizio E.: Energy performance and climate control in mechanically ventilated greenhouses: A dynamic modelling-based assessment and investigation. *Applied Energy*, 2021, **288**: 116583.

11. Czarniecki D., Słyś D.: Możliwości odzysku ciepła odpadowego ze ścieków w gospodarstwach rolno-hodowlanych. *Proceedings of ECOpole*, 2015, **9(2)**: 571-579.
12. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
13. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/2002/UE z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.
14. European Environment Agency: Energy and climate change, 2017. <http://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change>
15. European Environment Agency: Primary energy consumption by fuel, 2021. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/primary-energy-consumption-by-fuel-6/assessment-2>
16. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie bilansu węgla organicznego w glebie oraz emisji gazów cieplarnianych w skali regionalnej oraz w Polsce. *Problems of World Agriculture/Problemy Rolnictwa Światowego*, 2018, **18(33)**: 3: 102-112.
17. Gołaszewski J.: Efektywność Energetyczna w Rolnictwie Europejskim – Studium Przypadków, Wydawnictwo UWM, Olsztyn 2013. http://www.uwm.edu.pl/cbeo/sites/default/files/u260/efektywnosc-energetyczna-w-rolnictwie-europejskim-studium-przypadkow_1.pdf
18. IEA, Renewable energy market update. Outlook for 2020 and 2021. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d6a7300d-7919-4136-b73a-3541c33f8bd7/RenewableEnergyMarketUpdate2022.pdf>
19. IEA, Renewables 2021. Analysis and forecast to 2026. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493f1b9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>
20. Kaminari M., Anastasiou E., Tsiropoulos Z.: Deliverable 2.1: Report on methodology and standards, 2021.
21. Kapić J., Pawlak H., Ścibisz M.: Carbon dioxide emission reduction by heating poultry houses from renewable energy sources in Central Europe. *Agricultural Systems*, 2015, **139**: 238-249.
22. Kristensen E.F., Sørensen C.G., Balafoutis T., Vaiopoulos K., Vadorou F.: Deliverable 2.14: Available financing tools in EU agriculture, 2021.
23. Maher A., Kamel E., Enrico F., Atif I., Abdelkader M.: An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. *Energy Efficiency*, 2016, **9(6)**: 1241-1255.
24. Marucci A., Cappuccini A.: Dynamic photovoltaic greenhouse: Energy efficiency in clear sky conditions. *Applied Energy*, 2016, **170**: 362-376.
25. Mache M.G., Cristea M., Găgeanu I., Zapciu A., Tudor E., Carpus E., Popa L.D.: Small power electric tractor performance during ploughing works. *Inmatech-agricultural engineering*, 2020, **60(1)**: 123-128.
26. Moerkerken A., Duijndam S., Blasch J., van Beukering P., Smit A.: Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2021, **293**: 126095.
27. Müller A.: Agricultural land management, carbon reductions and climate policy for agriculture. *Carbon Management*, 2012, **3(6)**: 641-654.
28. OECD. *Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture*, OECD Publishing, Paris, 2019. doi:10.1787/e9a79226-en.
29. Pugesgaard S., Olesen J.E., Jørgensen U., Dalgaard T.: Biogas in organic agriculture – effects on productivity, energy self-sufficiency and greenhouse gas emissions. *Renewable agriculture and food systems*, 2014, **29(1)**: 28-41.
30. Rogers E.M.: *Diffusion of innovations*. 4th Ed. New York, NY: the Free Press 1995.
31. Rumpel C., Amirslani F., Koutika L.S., Smith P., Whitehead D., Wollenberg E.: Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges, 2018, p. 32-43.

32. Rutz D., Hofmeier V., Chuan M.: Deliverable 2.11: Training and Advising FEFTS Material, 2021.
33. Rutz D., Hofmeier V., Chuan M.: Deliverable 2.8: Report on industrial FEFTS solutions, 2021.
34. Samaranyake P., Maier C., Chavan S., Liang W., Chen Z.H., Tissue D.T., Lan Y.C.: Energy Minimisation in a Protected Cropping Facility Using Multi-Temperature Acquisition Points and Control of Ventilation Settings. *Energies* 2021, **14**: 6014. <https://doi.org/10.3390/en14196014>
35. Shahbaz R., Kouravand S., Hassan-Beygi R.: Analysis of wind turbine usage in greenhouses: wind resource assessment, distributed generation of electricity and environmental protection. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019, p. 1-21.
36. Shang G., Liu G., Zhu P., Han J.: Complete Coverage Path Planning for Horticultural Electric Tractors Based on an Improved Genetic Algorithm. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2021, **24(3)**: 447-456.
37. Uprety D.C., Dhar S., Hongmin D., Kimball B.A., Garg A., Upadhyay J.: Technologies for Climate Change Mitigation – Agriculture Sector, Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, 2012. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/10267141/Technologies_for_Climate_Change_Mitigation_Agriculture_for_upload.pdf
38. Vandrouf, Vaiopoulos K., Balaoutis T.: Deliverable 2.2: Report on scientific papers of FEFTS, 2021.
39. Vengadesan E., Senthil R.: A review on recent developments in thermal performance enhancement methods of flat plate solar air collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, **134**: 110315.
40. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use
41. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

Adres do korespondencji:

dr hab. Magdalena Borzęcka; mgr Małgorzata Wydra
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 4786 761; 81 4786 984
e-mail: Magdalena.Borzeczka@iung.pulawy.pl;
Małgorzata.Wydra@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Magdalena Borzęcka	0000-0002-3105-3370
Małgorzata Wydra	0000-0002-3576-1569