

MODELE GOSPODARSTW ROLNYCH UWZGLĘDNIAJĄCYCH ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII, W TYM AGROWOLTAIKĘ

**MODEL STANOWI NARZĘDZIE DO POKAZANIA EFEKTYWNOŚCI
WYKORZYSTANIA ENERGII NA POZIOMIE LOKALNYM (AUTOKONSUMPCJA)**

**OPRACOWANO TRZY ODRĘBNE MODELE GOSPODARSTW, KTÓRE
ODZWIERCIEDLAJĄ ZRÓŻNICOWANIE DZIAŁALNOŚCI ROLNICZEJ:**

- 1. GOSPODARSTWO SADOWNICZE – KONCENTRUJĄCE SIĘ NA OCHRONIE
ROŚLIN PRZED NADMIERNYM NASŁONECZNIENIEM I OPTYMALIZACJI
NAWADNIANIA,**
- 2. GOSPODARSTWO Z PRODUKCJĄ ZWIERZĘCĄ – Z OCENĄ MOŻLIWOŚCI
INTEGRACJI SYSTEMÓW AGROWOLTAICZNYCH W ŚRODOWISKACH
HODOWLANYCH,**
- 3. GOSPODARSTWO PRZETWÓRCZE – ANALIZUJĄCE WYKORZYSTANIE
ENERGII FOTOWOLTAICZNEJ DO ZASILANIA MASZYN I URZĄDZEŃ
PRODUKCYJNYCH.**

**ANALIZA PRZEPROWADZONA PRZEZ STOWARZYSZENIE NA RZECZ EFEKTYWNOŚCI
IM. PROF. KRZYSZTOFA ŻMIJEWSKIEGO**

SPIS TREŚCI

1. Cel analizy	3
2. Energetyka na obszarach wiejskich	4
2.1. OZE w rolnictwie	5
2.2. Agrowoltaika.....	8
3. Działalność rolnicza a energia.....	9
3.1. Część bytowa	12
3.2. Oświetlenie	12
3.3. Wentylacja i chłodnictwo.....	13
3.4. Ogrzewanie	13
3.5. Produkcja rolna.....	13
4. Kierunki rozwoju w gospodarstwach rolnych - elektryfikacja	15
5. Kierunki rozwoju w gospodarstwach rolnych – rolnictwo 4.0.....	16
6. Autokonsumpcja.....	17
7. Samowystarczalność	18
8. Założenia do modeli gospodarstw rolnych	19
9. Model gospodarstwa sadowniczego	22
10. Model gospodarstwa hodowlanego.....	31
11. Model gospodarstwa przetwórczego	36
Wnioski	43
Spis rysunków	45
Bibliografia	45

1. CEL ANALIZY

Celem przeprowadzonej analizy było opracowanie i ocena modeli autonomicznych gospodarstw rolnych opartych na odnawialnych źródłach energii, w szczególności z wykorzystaniem technologii agrowoltaicznych, jako narzędzia wspierającego transformację energetyczną w sektorze rolnym. Analiza miała na celu zidentyfikowanie podstawowych warunków technicznych i organizacyjnych, które umożliwiają zwiększenie samowystarczalności energetycznej gospodarstwa rolnego w oparciu o autokonsumpcję wytworzonej energii.

Analiza ta wpisuje się w szerszy kontekst działań na rzecz zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, poprawy odporności sektora rolnego na zmiany klimatyczne oraz zwiększenia akceptacji społecznej dla integracji odnawialnych źródeł energii z działalnością rolniczą. W szczególności, celem opracowanego modelu jest ukazanie jej funkcjonalności i korzyści w warunkach realnych, dostosowanych do specyfiki różnych typów gospodarstw.

W analizie uwzględniono zróżnicowane działalności rolnicze w Polsce i przygotowano trzy typy modeli funkcjonalnych: gospodarstwa zwierzęcego (hodowlanego), gospodarstwa sadowniczego oraz gospodarstwa przetwórczego. Modele te mają charakter praktyczny, a ich struktura oparta została na danych technicznych i operacyjnych, pozyskanych we współpracy z liderami lokalnego środowiska rolniczego. Dzięki temu modele stanowią nie tylko przykłady analityczne, lecz również materiał poglądowy i inspiracyjny dla decydentów, doradców rolniczych oraz samych rolników.

2. ENERGETYKA NA OBSZARACH WIEJSKICH

W 2022 roku obszary wiejskie zajmowały 29,0 mln ha, stanowiąc 92,8% powierzchni kraju¹. W 2024 roku w Polsce funkcjonowało 1461 gmin wiejskich oraz 711 gmin miejsko-wiejskich, a w 53,1 tys. miejscowościach mieszkało 15,2 mln osób, stanowiąc ponad 40% populacji Polski².

Rolnictwo i leśnictwo stanowiły 3,0% całkowitego bezpośredniego zużycia energii w UE w 2022 roku. W tym samym roku całkowite bezpośrednie zużycie energii w UE spadło o 3,9% w porównaniu z rokiem poprzednim, przy czym w rolnictwie i leśnictwie odnotowano jeszcze większy spadek - o 6,3%³. Zużycie energii elektrycznej w Polsce w 2023 roku wyniosło 167 518 GWh⁴, w rolnictwie było to 1550 GWh⁵ co stanowiło niecały 1% zużycia całkowitego.

Na terenach wiejskich charakterystyczne jest znaczne rozproszenie zabudowy i sieci energetycznej, mała gęstość rozmieszczenia stacji transformatorowych oraz zbyt długie linie przesyłowe wysokiego i niskiego napięcia, które często są nadmiernie obciążone. W takiej sytuacji rozwój energetyki rozproszonej i prosumenckiej wskazuje się jako jeden z kluczowych kierunków poprawy bezpieczeństwa i jakości dostaw energii na obszarach wiejskich⁶.

Transformacja energetyczna może stworzyć nowe możliwości rozwoju dla obszarów wiejskich dzięki dostępności źródeł energii odnawialnej oraz dostępności gruntów⁷. Obszary wiejskie, silnie związane z produkcją i przetwórstwem żywności,

¹ Główny Urząd Statystyczny, *Obszary wiejskie w Polsce w 2022 roku* (Warszawa, Olsztyn, 2024), <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/obszary-wiejskie-w-polsce-w-2022-roku,2,6.html>.

² „GUS - Bank Danych Lokalnych”, 12 czerwiec 2025, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>.

³ „Agri-Environmental Indicator - Energy Use”, dostęp 13 sierpień 2025, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use.

⁴ Urząd Regulacji Energetyki, „Charakterystyka rynku energii elektrycznej 2023”, Urząd Regulacji Energetyki, 2024, <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna/charakterystyka-rynku/12095,2023.html>.

⁵ „GUS - Bank Danych Lokalnych”.

⁶ Marian Woźniak, *Zrównoważona gospodarka energetyczna na obszarach wiejskich w Polsce*, 21 (2018): 69–84.

⁷ Noelia Romero-Castro i in., „Understanding the Antecedents of Entrepreneurship and Renewable Energies to Promote the Development of Community Renewable Energy in Rural Areas”, *Sustainability* 14, nr 3 (2022): 1234, <https://doi.org/10.3390/su14031234>.

w których gospodarstwa rolne odgrywają kluczową rolę, mogą być dziś postrzegane nie tylko jako odbiorcy energii, lecz również jako potencjalni wytwórcy surowców energetycznych oraz energii finalnej z odnawialnych źródeł⁸.

2.1. OZE W ROLNICTWIE

Odnawialne źródła energii wykazują wysoką efektywność w elektryfikacji obszarów wiejskich na całym świecie i zyskały szczególne znaczenie w autonomicznych systemach energetycznych, wykorzystywanych zwłaszcza na zasiedleniach położonych na terenach trudno dostępnych. W procesie ich elektryfikacji kluczowe znaczenie ma optymalizacja doboru urządzeń oraz właściwe zaprojektowanie struktury systemów energetycznych⁹.

W 2022 roku w krajach Unii Europejskiej produkcja energii odnawialnej pochodzącej z rolnictwa wyniosła łącznie 27 965 tys. ton ekwiwalentu ropy naftowej, co stanowiło 11,5% całkowitej produkcji energii odnawialnej w UE. W Polsce produkcja energii odnawialnej z rolnictwa wyniosła 1 192 ktoe, co odpowiadało 9,3% krajowej produkcji energii odnawialnej¹⁰. Polskie obszary wiejskie dysponują dużym potencjałem odnawialnych źródeł energii, jednak ich wykorzystanie pozostaje ograniczone, głównie ze względu na niekorzystne dla rolników przepisy administracyjno-prawne¹¹.

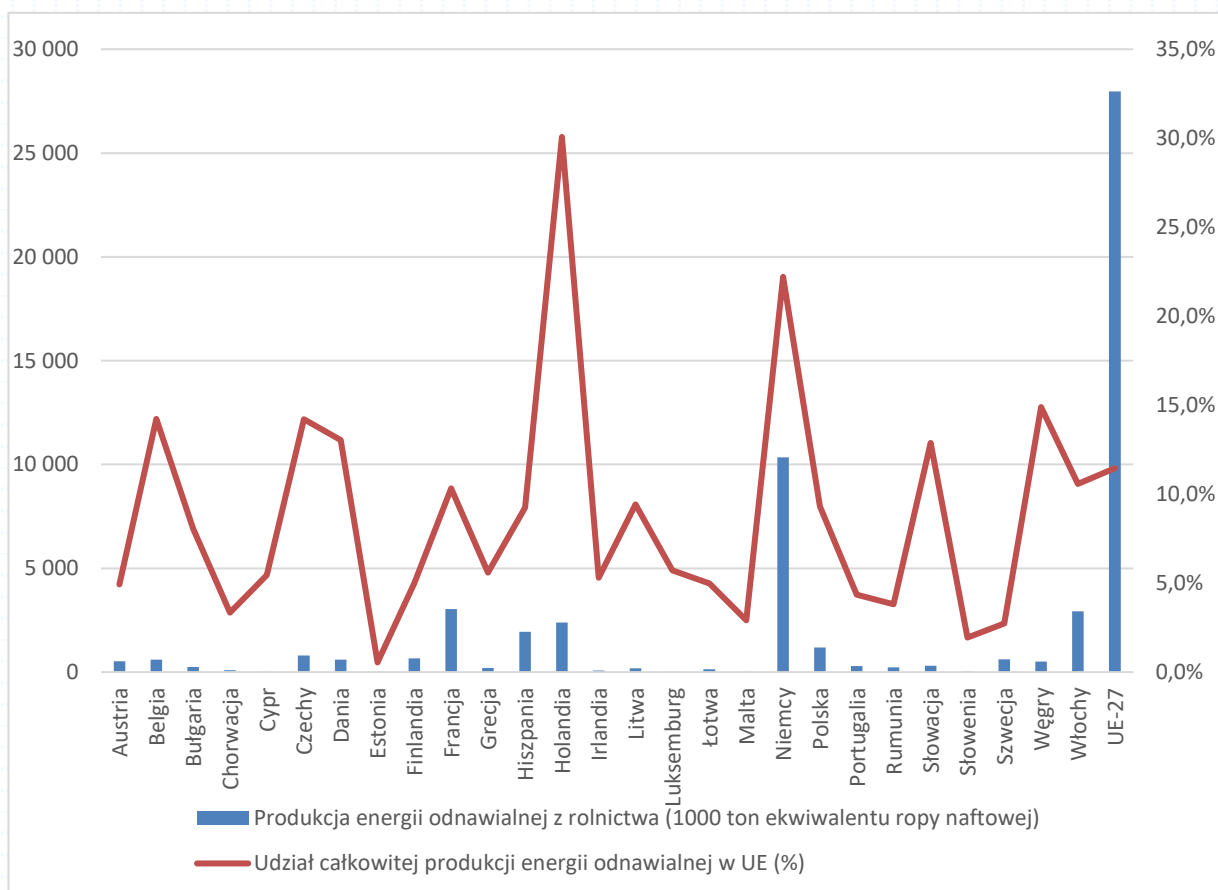
⁸ Woźniak, *Zrównoważona gospodarka energetyczna na obszarach wiejskich w Polsce*.

⁹ Dmitriy N. Karamov i in., „Electrification of Rural Remote Areas Using Renewable Energy Sources: Literature Review”, *Energies* 15, nr 16 (2022): 5881, <https://doi.org/10.3390/en15165881>.

¹⁰ „C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry”, dostęp 13 sierpień 2025, <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/IndicatorsEnvironmental/RenewableEnergy.html>.

¹¹ Woźniak, *Zrównoważona gospodarka energetyczna na obszarach wiejskich w Polsce*.

Rysunek 1. Produkcja z energii odnawialnej z rolnictwa w UE.



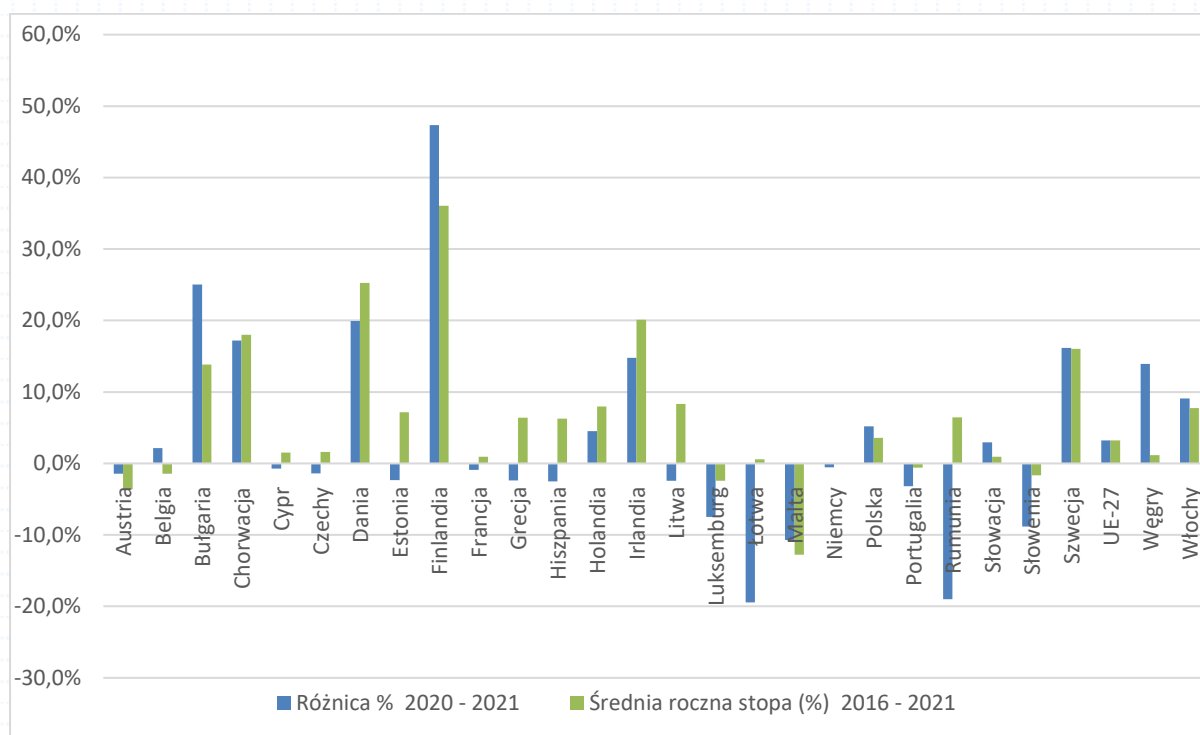
Źródło: Opracowanie własne na podstawie C43 *Production of renewable energy from agriculture and forestry*¹²

W 2021 roku produkcja energii odnawialnej z rolnictwa w krajach UE-27 wzrosła średnio o 3,2% w porównaniu z rokiem 2020, a średnia roczna stopa wzrostu w latach 2016-2021 wyniosła również 3,2%. W Polsce produkcja wzrosła o 5,2% między 2020 a 2021 rokiem, co było wynikiem powyżej średniej unijnej. Średniorocznie w latach 2016–2021 wzrost w Polsce wyniósł 3,6%, czyli nieco więcej niż średnia UE. To wskazuje na umiarkowany, ale stabilny rozwój produkcji energii odnawialnej z rolnictwa w kraju¹³.

¹² „C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry”.

¹³ „C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry”.

Rysunek 2. Zmiana w produkcji odnawialnych źródeł energii z rolnictwa.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie *C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry*¹⁴

Biomasa jest podstawowym sposobem pozyskiwania energii w rolnictwie i historycznie stanowi najstarszą formę jej wykorzystania przez człowieka. Wykorzystanie biomasy rolniczej do produkcji różnych nośników energii jest prawdopodobnie najważniejszą opcją, jeśli chodzi o zwiększenie udziału rolnictwa w wytwarzaniu energii, zarówno na potrzeby samego sektora rolnego, jak i innych sektorów gospodarki. Biomasa rolnicza ma wiele zalet jako źródło energii odnawialnej. Do najważniejszych z nich należą: wykorzystanie odpadów i pozostałości z sektora rolnego, co pozwala na gospodarkę cyrkularną, decentralizację dostaw energii, poprawę bezpieczeństwa energetycznego na poziomie lokalnym i regionalnym, możliwość produkcji różnych nośników energii i różnych produktów w biorafineriach rolniczych, a także tworzenie nowych miejsc pracy na obszarach wiejskich¹⁵.

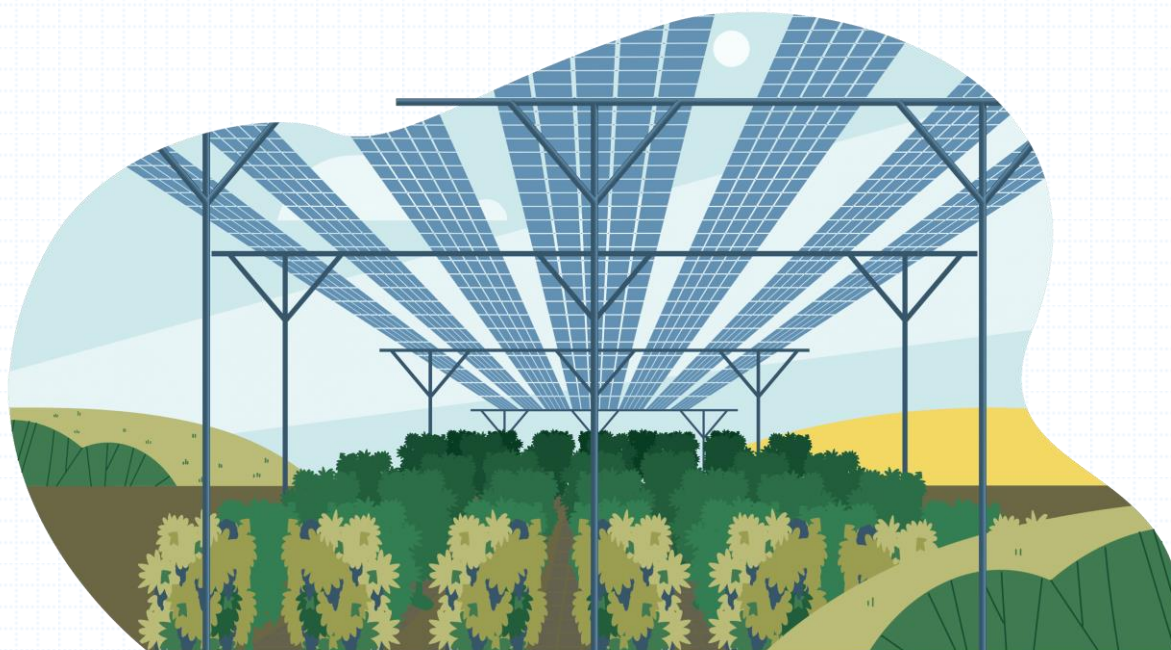
¹⁴ „C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry”.

¹⁵ Piotr Sulewski i Adam Wąs, „Agriculture as Energy Prosumer: Review of Problems, Challenges, and Opportunities”, *Energies* 17, nr 24 (2024): 6447, <https://doi.org/10.3390/en17246447>.

W ostatnich latach w sektorze rolnictwa obserwuje się wyraźny wzrost zainteresowania fotowoltaiką, wraz z rozwojem koncepcji agrowoltaiki, która odpowiednio zastosowana, również może okazać się dobrym rozwiązaniem na zaspokojenie wzrastających potrzeb na energię w rolnictwie.

2.2. AGROWOLTAIKA

Agrowoltaika (APV) to technologia umożliwiająca jednocześnie wykorzystywanie tej samej powierzchni do produkcji rolnej oraz generacji energii elektrycznej z promieniowania słonecznego. W przeciwieństwie do konwencjonalnych instalacji PV, systemy agrowoltaiczne projektowane są z uwzględnieniem potrzeb agronomicznych - zapewniają odpowiednie warunki świetlne, cieplne i wilgotnościowe dla upraw, a przy tym generują energię elektryczną. W praktyce jednak sama produkcja energii nie gwarantuje jeszcze korzyści ekonomicznych ani samowystarczalności energetycznego gospodarstwa. Kluczowym kryterium staje się stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego gospodarstwa przez własne źródła wytwórcze w czasie rzeczywistym - czyli rzeczywisty poziom autokonsumpcji.



3. DZIAŁALNOŚĆ ROLNICZA A ENERGIA

Kwestia energii w rolnictwie jest złożona i wieloaspektowa. Historycznie to właśnie rolnictwo było pierwszym producentem energii poprzez przekształcanie energii słonecznej w biomasę. Rozwój przemysłowy sprawił, że rolnictwo stało się ważnym konsumentem energii pochodzącej z paliw kopalnych¹⁶.

W latach 2005-2018 Polska zajmowała drugie miejsce w Unii Europejskiej pod względem zużycia energii w rolnictwie. Jednakże całkowite zużycie energii w rolnictwie w tym okresie spadło o 11,7%, co mogło być spowodowane trwającą transformacją energetyczną. W 2018 roku Polska była odpowiedzialna za 96% zużycia paliw stałych w rolnictwie w UE, głównie w postaci węgla kamiennego. W tym samym roku Polska była drugim największym konsumentem energii odnawialnej w UE, odpowiadając za 17% zużycia, przy czym dominującym źródłem był biodiesel¹⁷.

Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego rosnącej populacji świata nie pozwala na radykalne ograniczenie bezpośredniego i pośredniego zużycia energii w rolnictwie. Niewątpliwie duże możliwości tkwią w poprawie efektywności energetycznej produkcji rolnej. Oprócz poprawy efektywności, rolnictwo jest sektorem wykazującym szczególne predyspozycje do wytwarzania różnych rodzajów energii odnawialnej, zwłaszcza opartej na biomase. Oznacza to, że sektor ten można postrzegać jako rodzaj „zbiorowego prosumenta” energii, zdolnego do jej wytwarzania zarówno na własne potrzeby, jak i na potrzeby innych sektorów¹⁸, uwzględniając, że produkcja żywności jest podstawowym i głównym celem w rolnictwie.

Należy zwrócić uwagę na efektywne, nowoczesne technologie produkcji i innowacyjne rozwiązania w kierunku rolnictwa zrównoważonego. Wskazane jest, aby gospodarstwa wykonywały audyty produkcji rolnej i efektywności energetycznej czy też wykonywały ich analizę w celu szukania optymalizacji zużycia energii oraz ciepła.

¹⁶ Sulewski i Wąs, „Agriculture as Energy Prosumer”.

¹⁷ Tomasz Rokicki i in., „Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries”, *Energies* 14, nr 6 (2021): 1570, <https://doi.org/10.3390/en14061570>.

¹⁸ Sulewski i Wąs, „Agriculture as Energy Prosumer”.

Gospodarstwa rolne w Polsce mogą również dążyć do obniżenia kosztów zaopatrzenia w energię i ciepło organizując się we wspólnoty energetyczne np. spółdzielnie energetyczne. Tak dzieje się w krajach zachodnich, głównie w Danii i Niemczech, gdzie funkcjonuje już odpowiednio ponad 2500 i 1000 spółdzielni energetycznych, przede wszystkim związanych z rolnictwem.

Rewolucja energetyczna zaczyna obejmować również gospodarstwa rolne. Rolnictwo dysponuje obecnie coraz większą liczbą innowacyjnych rozwiązań technicznych i komercyjnych, które poprawiają efektywność energetyczną gospodarstw, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia kosztów energii¹⁹. W ostatnim czasie coraz wyraźniej dostrzegalne są efekty poprawy efektywności energetycznej w koncepcji rolnictwa precyzyjnego oraz wykorzystania sztucznej inteligencji. Rozważając możliwości poprawy efektywności energetycznej, należy również zwrócić uwagę na ewentualne infrastrukturalne możliwości poprawy, takie jak izolacja budynków, modernizacja systemów wentylacyjnych, odzyskiwanie ciepła z innych procesów, ograniczenie niekontrolowanych strat ciepła²⁰. Obecnie w wielu dużych gospodarstwach wykorzystywane są techniki GPS optymalizujące produkcję rolniczą. Możliwe jest także wykorzystanie inteligentnych procesów zarządzania energią i ciepłem oraz innymi procesami technologicznymi.

Wzrost produkcji oraz przetwarzania płodów rolnych w miejscu ich wytwarzania, czyli w gospodarstwach rolnych, powodują zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną na terenach wiejskich. Koszty energii elektrycznej z roku na rok są wyższe, szczególnie w obszarze usług dystrybucji, więc coraz bardziej popularne stały się przedsięwzięcia, mające na celu poprawę efektywności energetycznej, co w dalszej konsekwencji wpływa na optymalizację kosztów działalności rolniczej.

¹⁹ Filipe Pereira i in., „Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation”, *Energy Reports*, The 8th International Conference on Energy and Environment Research –“Developing the World in 2021 with Clean and Safe Energy”, t. 8 (czerwiec 2022): 454–61, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.074>.

²⁰ Sulewski i Wąs, „Agriculture as Energy Prosumer”.

Działalność rolnicza cechuje się dużym zróżnicowaniem pod względem wielkości i charakteru prowadzonej działalności. W przeważającej większości gospodarstw rolnych można wydzielić część bytową oraz część produkcyjną. Z jednej strony funkcjonują niewielkie obszarowo gospodarstwa rolne, zajmujące się wyłącznie uprawą, w których zużycie energii elektrycznej jest niewielkie, a w większości energia zużywana jest na potrzeby bytowe. W obszarze energii elektrycznej takie gospodarstwa są klasyfikowane w systemie taryfowym jako gospodarstwa domowe, korzystające z grup taryfowych G. Z drugiej strony funkcjonują duże obszarowo mieszane gospodarstwa rolne, zajmujące się uprawą oraz hodowlą, a także częściowym przetwórstwem produkcji rolniczej, które zużywają duże ilości energii elektrycznej i są przyłączone do sieci elektroenergetycznej średnich napięć. Takie gospodarstwa są klasyfikowane w systemie taryfowym, jako przedsiębiorstwa korzystające z grup taryfowych B. Pomiędzy znajduje się duża grupa gospodarstw mieszanych, różnej wielkości, o zróżnicowanym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, przyłączonych do sieci niskiego napięcia, korzystających z grup taryfowych C.

Energia elektryczna w produkcji rolnej jest szeroko stosowana. Ze względu na różne typy działalności rolnej, omówione zostaną ogólne obszary zużycia energii elektrycznej, które można dostosować do konkretnych indywidualnych przypadków. Zużycie energii w rolnictwie różni się znacznie w zależności od rodzaju działalności, położenia geograficznego, klimatu, praktyk produkcyjnych, maszyn rolniczych lub intensywności produkcji. Energia w rolnictwie zużywana jest zarówno bezpośrednio w procesach produkcji towarów rolnych jak i pośrednio m.in. w procesach przetwórstwa i dystrybucji żywności. Energochłonność procesów produkcyjnych różnych nakładów wpływa na poziom pośrednich kosztów energii w rolnictwie. **Oznacza to, że część gospodarstw rolnych jest silnie uzależniona od sytuacji na rynku energii, a wzrost cen energii w znacznym stopniu wpływa na opłacalność produkcji rolnej.** Zależność części gospodarstw rolnych od cen energii sprawia, że w przypadku niskiej odporności gospodarstw rolnych konsekwencje wysokich cen energii mogą prowadzić do spadku

produkcji, co stanowi istotny problem nie tylko z punktu widzenia ekonomiki gospodarstw, lecz także globalnego bezpieczeństwa żywnościowego²¹.

Zużycie energii w gospodarstwach rolnych można podzielić na następujące obszary:

- część bytowa gospodarstwa rolnego,
- oświetlenie,
- wentylacja i chłodnictwo,
- ogrzewanie,
- produkcja rolna, w tym transport.

3.1. CZĘŚĆ BYTOWA

Gospodarstwa rolne posiadają część bytową, czyli gospodarstwo domowe. Szczególnie w bardzo małych gospodarstwach zajmujących się uprawą, część bytowa stanowi istotny, nawet główny udział w koszcie energii elektrycznej. Zużycie energii w tej części gospodarstwa, determinują urządzenia codziennego użytku jak sprzęt AGD, urządzenia RTV, oświetlenie, a w niektórych przypadkach ogrzewanie oraz podgrzewanie ciepłej wody użytkowej. Poprzez ogrzewanie można rozumieć starego typu instalacje grzewcze, wykorzystujące zamianę energii elektrycznej w energię cieplną lub nowoczesne systemy pomp ciepła wykorzystujące energię elektryczną do zasilenia. Dla dużych gospodarstw rolnych, szczególnie tych, które zajmują się przetwórstwem, zużycie energii elektrycznej w części bytowej stanowi na ogół niewielką część całkowitej ilości zużycia energii.

3.2. OŚWIETLENIE

Niezależnie od typu i wielkości gospodarstwa, oświetlenie może stanowić istotny odbiornik energii elektrycznej. Może służyć do oświetlenia zewnętrznego oraz oświetlenia wewnętrznego obiektów. Oświetlenie jest obszarem, w którym można poprawić efektywność energetyczną poprzez odpowiednie sterowanie i poprzez modernizację i zastosowanie energooszczędnych technologii LED.

²¹ Sulewski i Wąs, „Agriculture as Energy Prosumer”.

3.3. WENTYLACJA I CHŁODNICTWO

Kolejnym obszarem determinującym zużycie energii są różnego rodzaju urządzenia służące do wentylacji lub chłodzenia obiektów, w których jest prowadzona działalność gospodarcza. Są to głównie urządzenia znajdujące się w dużych gospodarstwach rolnych, zajmujących się hodowlą oraz przetwórstwem produkcji rolnej, tj. wentylatory, sterowanie klapami wentylacyjnymi i urządzenia chłodnicze, itp.

3.4. OGRZEWANIE

Ogrzewanie energią elektryczną często znajduje zastosowanie w niewielkich gospodarstwach rolnych, aczkolwiek staje się coraz mniej popularne ze względu na rosnące koszty tej energii. W nowoczesnych obiektach możemy spotkać pompy ciepła, zasilane energią elektryczną, są to jednak rozwiązania rzadko występujące w gospodarstwach rolnych.

3.5. PRODUKCJA ROLNA

Największą grupą odbiorników w wielu gospodarstwach rolnych są urządzenia służące do przetwórstwa rolnego. W zależności od rodzaju prowadzonej działalności mogą to być urządzenia chłodnicze i klimatyzacyjne, zmechanizowane linie produkcyjne oraz wszelkiego rodzaju napędy, silniki, sprężarki i pompy. Optymalny dobór parametrów pracy w/w urządzeń może poprawić efektywność energetyczną.

Należy również podkreślić ogromny udział energii cieplnej, która jest zużywana w gospodarstwach rolnych. Jest to znaczna część w zużyciu ogólnym energii na cele bytowe w gospodarstwach rolnych. Energia cieplna zużywana jest przede wszystkim do ogrzania pomieszczeń mieszkalnych oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zapotrzebowanie na ciepło w gospodarstwach rolnych może być jednak przeznaczane na cele bezpośrednio rolnicze - w tym obszarze zapotrzebowanie może obejmować ciepło do procesów produkcyjnych, ogrzewanie pomieszczeń gospodarczych czy instalacji (np. szklarni).²² Efektywne zarządzanie ciepłem w gospodarstwie rolnym nie ogranicza się jedynie do właściwego doboru źródeł ciepła i systemów grzewczych.

²² (Michał Ćwil, brak daty)

Kluczowe znaczenie ma również stan techniczny i efektywność budynków oraz instalacji, ponieważ to w dużej mierze decyduje o poziomie zużycia energii cieplnej. Dlatego pierwszym krokiem w poprawie gospodarki cieplnej powinno być usunięcie lub istotne ograniczenie strat ciepła w obiektach i z instalacji.

Niezależnie od profilu rolniczego optymalizacja zużycia energii jest kluczowa w celu zwiększenia odporności gospodarstw rolnych na ceny energii, które jak wskazano mogą być istotnym czynnikiem cen w rolnictwie. Skupiając się na energii elektrycznej rolnicy mogą zastosować wiele kroków w celu efektywnego zużycia energii w swoich gospodarstwach rolnych:

- Pierwszym krokiem może być montaż prostego systemu monitorującego zużycie energii elektrycznej. Na tej podstawie zwiększana jest świadomość energetyczną, kształtująca odpowiednie postawy. Rolnicy mogą w ten sposób pozyskać wiedzę dotyczącą zużycia energii pozwalającą na wdrożenie dalszych działań.
- Kolejnym krokiem może być dostosowanie taryfy energii u sprzedawcy oraz przeprowadzenie procesu zakupowego energii elektrycznej na podstawie wniosków z monitoringu energii w gospodarstwie rolnym. Takie działanie może pozwolić w prosty sposób ograniczyć koszty, ale również wspomaga bardziej świadome zrozumienie zużycia energii elektrycznej.
- Dobrą praktyką jest wykonanie audytu energetycznego lub audytu efektywności energetycznej, szczególnie w przypadku dużych energochłonnych gospodarstw. Wskazane audyty pozwalają na uzyskanie analizy techniczno-finansowej, wskazanie działań polegających na poprawie efektywności energetycznej oraz ich efektów. Audyt może również wskazać rozwiązania dotyczące wytwarzania energii elektrycznej na własne potrzeby, co nie tylko wpływa na ograniczenie kosztów energii, ale też na wykorzystanie energii ale również na bezpieczeństwo energetyczne.

4. KIERUNKI ROZWOJU W GOSPODARSTWACH ROLNYCH - ELEKTRYFIKACJA

Elektryfikacja prac rolniczych obejmuje nie tylko tradycyjne procesy, takie jak uprawa roli czy pompowanie wody, lecz również coraz częściej zadania związane z tzw. rolnictwem precyzyjnym. W tym obszarze zastosowanie znajdują inteligentne systemy, m.in. do selektywnego oprysku i nawożenia, realizowane za pomocą autonomicznych robotów podłączonych do sieci (Internet Rzeczy - IoT). Urządzenia te zużywają energię elektryczną, a co za tym idzie mogą być zasilane z odnawialnych źródeł, np. fotowoltaiki.

Choć obszar ten wciąż znajduje się na wczesnym etapie rozwoju i brakuje szerokich doświadczeń praktycznych, stanowi on istotny kierunek badań, szczególnie w zakresie automatyzacji prac polowych oraz poprawy dokładności i efektywności produkcji rolnej.

Ważnym wyzwaniem w zastosowaniach IoT w rolnictwie jest duża odległość od punktów przyłączenia do sieci. Powoduje to wzrost zużycia energii w systemach transmisji danych i wymusza opracowywanie strategii optymalizacji zarówno przesyłu informacji, jak i zasilania urządzeń. Rozwiązaniem mogą być systemy hybrydowe i algorytmy zwiększające zasięg oraz skuteczność pracy w czasie rzeczywistym, co znajduje zastosowanie w koncepcji rolnictwa 4.0.

Elektryfikacja umożliwia także zwiększenie techniki upraw w ramach rolnictwa precyzyjnego. Dzięki temu możliwe jest lepsze gospodarowanie zasobami, zwiększenie jakości i wydajności produkcji. Rolnictwo precyzyjne staje się tym samym drogą do zrównoważonego rozwoju, wymagającą nowoczesnych technologii oraz efektywnego zużycia energii.

5. KIERUNKI ROZWOJU W GOSPODARSTWACH ROLNYCH – ROLNICTWO 4.0

4.0 to symbol czwartej rewolucji technologicznej, jaka ma miejsce w przemyśle i rolnictwie. Rolnictwo 4.0, podobnie jak Przemysł 4.0, należy rozumieć jako pojęcie oznaczające integrację inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzanie zmian w procesach produkcyjnych w celu zwiększenia efektywności wytwarzania, a w konsekwencji wyższą produktywność i lepszą jakość produktów. Obie koncepcje dotyczą nie tylko technologii, ale też nowych sposobów pracy i roli ludzi w rolnictwie i przemyśle.

Koncepcja Rolnictwo 4.0 jest swego rodzaju ewolucją rolnictwa precyzyjnego i odnosi się do wszelkich działań prowadzonych w rolnictwie w oparciu o dane pozyskiwane za pomocą zaawansowanych narzędzi i technologii. Rolnictwo 4.0 to przede wszystkim wykorzystanie szeregu technologii cyfrowych umożliwiających automatyczne gromadzenie, integrację i analizę danych zebranych w terenie z różnego rodzaju czujników oraz innych źródeł zewnętrznych.

Rolnictwo 4.0 zwane również inteligentnym rolnictwem to także rozwiązania z zakresu automatyki i robotyzacji zintegrowane z systemami informatycznymi.

Niewątpliwie do istotnych barier rozwoju Rolnictwa 4.0 zalicza się czynniki finansowe. Badacze jako główne przeszkody finansowe w przyjmowaniu technologii cyfrowych podkreślają wydatki na cyfrowe technologie jak i niewystarczającą rentowność produkcji w gospodarstwach rolnych. Odstraszające dla potencjalnych użytkowników cyfrowych technologii mogą być początkowe koszty inwestycyjne, które dla wielu gospodarstw mogą być zaporowe.

Rozwój i inwestycje technologiczne w gospodarstwach rolnych są istotne z punktu widzenia energetyki, jako że pozwalają na bardziej precyzyjne zarządzanie energią w gospodarstwie. Energochłonne układy złożone z efektywnych technologii rolniczych 4.0 mogą być zasilane odpowiednio dzięki dopasowanym systemom wytwarzania energii.

6. AUTOKONSUMPCJA

W kwestii instalacji agrowoltaicznych niezwykle ważne jest indywidualne podejście do potrzeb i możliwości konkretnego gospodarstwa rolnego, aby od strony energetycznej maksymalizować autokonsumpcję, czyli konsumpcję wytworzonej energii w czasie rzeczywistym na potrzeby własne.

W praktyce produkcja energii nie gwarantuje jeszcze korzyści ekonomicznych ani samowystarczalności energetycznego gospodarstwa. Kluczowym kryterium staje się stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego gospodarstwa przez własne źródła wytwórcze w czasie rzeczywistym, czyli poziom autokonsumpcji.

Aby racjonalnie planować inwestycje w OZE, konieczna jest szczegółowa inwentaryzacja zapotrzebowania energii w gospodarstwie, zarówno w ujęciu rocznym, jak i dobowo-godzinowym. Praktyka pokazuje, że dwa gospodarstwa o podobnym zużyciu rocznym mogą znacząco różnić się pod względem rozkładu zużycia energii w czasie. Tymczasem charakterystyka pracy instalacji PV jest ściśle zależna od nasłonecznienia, produkuje ona energię głównie w godzinach 7:00–18:00, z wyraźnym szczytem produkcji w godzinach około południowych.

Jeśli więc profil zużycia energii w gospodarstwie nie pokrywa się z jego profilem produkcji, realna autokonsumpcja może być ograniczona. Przykładowo instalacja PV będzie generować energię, która w ciągu dnia, bez magazynu energii lub elastycznych odbiorników, może nie zostać wykorzystana w pełni. Taka sytuacja prowadzi do nadprodukcji energii elektrycznej - większa produkcja niż konsumpcja energii w gospodarstwie. Taka sytuacja doprowadzi do konieczności sprzedawania energii do sieci, jednak przy zmiennych warunkach rynkowych i obniżających się stawkach na rynku energii jest to coraz mniej opłacalne. To pokazuje, że autokonsumpcja jest niezwykle istotna dla ekonomiki przedsięwzięcia.

W tym kontekście nadmiarowa moc zainstalowana instalacji OZE nie zawsze jest korzystna w obecnym systemie rozliczeń prosumenckich (po nowelizacji ustawy o OZE) oraz biorąc pod uwagę rynek energii. Wskazane zatem staje się jest dostosowanie instalacji OZE do realnego zapotrzebowania i struktury zużycia w gospodarstwie rolnym,

a nie tylko do dostępnej powierzchni dachowej czy pól pod system agrowoltaiczny. Zbyt duża instalacja przy niskim zapotrzebowaniu prowadzi do strat ekonomicznych i nieefektywnego wykorzystania zasobów. Optymalizacja powinna odbywać się w oparciu o rzeczywiste dane poboru energii, z podziałem na strefy czasowe i sezonowość.

Co więcej, zwiększenie autokonsumpcji możliwe jest nie tylko przez dostosowanie mocy źródła, ale częściowo również poprzez odpowiednią elektryfikację procesów w gospodarstwie takich jak suszenie, chłodzenie, napędzanie maszyn czy ładowanie pojazdów elektrycznych. Każdy dodatkowy lokalny odbiornik energii zwiększa szansę na wykorzystanie wytworzonej energii na miejscu, zmniejszając uzależnienie od zewnętrznego systemu elektroenergetycznego.

Sama agrowoltaika nie jest w stanie w pełni pokryć zmiennego zapotrzebowania energetycznego w ciągu doby i roku. Dlatego warto rozważyć uzupełnienie instalacji PV o inne technologie, takie jak biogazownie rolnicze, magazyny energii czy pompy ciepła. Tworzenie zróżnicowanego miksu energetycznego, dostosowanego do indywidualnych potrzeb i warunków gospodarstwa, jest warunkiem zwiększania samowystarczalności energetycznej i wyższej autokonsumpcji.

7. SAMOWYSTARCZALNOŚĆ

Samowystarczalność oznacza nie tylko bilansowe pokrycie rocznego zapotrzebowania przez produkcję OZE, ale również zdolność do lokalnego wykorzystania tej energii w czasie jej wytwarzania.

Niestety, w ostatnich latach agresywny marketing w kierunku instalacji fotowoltaicznych promował głównie model jak największej produkcji energii. Klóciło się to z ideą samowystarczalności i autokonsumpcji. Coraz więcej konsumentów, rolników, a także decydentów zaczyna rozumieć, że energia odnawialna ma większą wartość wtedy, gdy jest produkowana i konsumowana lokalnie - przez rolnika, gospodarstwo czy wspólnotę energetyczną.

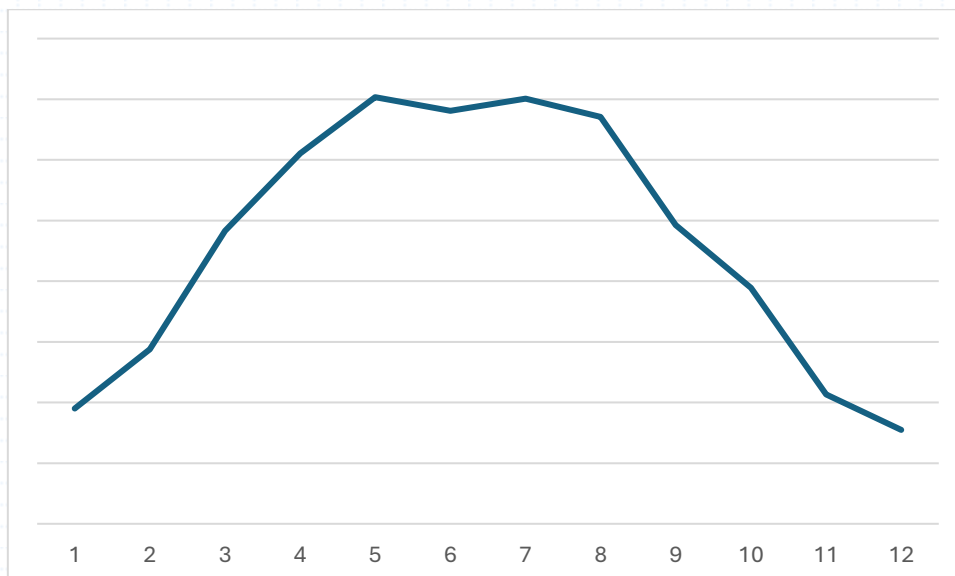
Aby w pełni wykorzystać potencjał instalacji OZE – na przykład agrowoltaiki, konieczne jest myślenie systemowe: od inwentaryzacji zużycia, przez dobór technologii

i mocy, aż po zarządzanie profilem poboru i lokalne wykorzystanie energii. Takie podejście pozwoli rolnikom rzeczywiście skorzystać z transformacji energetycznej, nie jako bierni producenci dla systemu, ale jako aktywni, samowystarczalni uczestnicy rynku energii. Jak zaznacza dr inż. Jacek Skudlarski, SGGW, Stowarzyszenie im. prof. Żmijewskiego - współpraca świata nauki, decydentów, sektora OZE, a przede wszystkim rolników jest kluczowa dla stworzenia odpowiednich regulacji prawnych, które umożliwią z jednej strony rozwój agrowoltaiki w Polsce, a z drugiej zabezpieczą rozwojowe potrzeby lokalne i budowanie samowystarczalności producentów rolnych, realizując zasadę wysokoefektywnej gospodarki i wybranych elementów Rolnictwa 4.0.

8. ZAŁOŻENIA DO MODELI GOSPODARSTW ROLNYCH

W polskich warunkach klimatycznych instalacja PV charakteryzuje się następującym profilem produkcji energii elektrycznej. Jest to przykładowy profil produkcji energii elektrycznej na przestrzeni roku w kolejnych miesiącach.

Rysunek 3. Przykładowy profil produkcji energii fotowoltaiki w Polsce.



Źródło: opracowanie własne.

W kolejnych modelach gospodarstw rolnych przeanalizowano konkretne profile zużycia energii elektrycznej, a na ich podstawie została dobrana odpowiednia wielkość instalacji agrowoltaicznej oraz w jednym przypadku mikrobiogazowni z agrowoltaiką.

W godzinach szczytowych zużycia energii, część, która nie zostaje zużyta na własne potrzeby, zostaje wprowadzona do sieci elektroenergetycznej operatora OSD. Jednak zaproponowano również rozwiązania, w celu bilansowania nadwyżki energii elektrycznej, aby jeszcze bardziej zwiększyć autokonsumpcję. W tym obszarze takim elementem optymalizacji może być przeniesienie zużycia energii elektrycznej z godzin szczytu porannego i szczytu popołudniowego na godziny pomiędzy 10.00 a 14.00, gdy występuje najwięcej energii wytworzonej w instalacji PV. Takie działanie „spłaszcza” w jeszcze większym stopniu profil zużycia, co wpłynie na wyższą autokonsumpcję.

Podstawą modeli gospodarstw jest zintegrowana architektura technologiczna. Głównym elementem systemu jest instalacja agrowoltaiczna (PV). Istnieją trzy główne konfiguracje:

- On-grid: System podłączony do publicznej sieci energetycznej, co gwarantuje ciągłość dostaw prądu, szczególnie w okresach obniżonej produkcji.
- Off-grid: System w pełni autonomiczny, który nie jest podłączony do sieci. Wymaga on ciągłej dostawy energii, obowiązkowego zastosowania magazynów energii, aby zgromadzić prąd na czas, gdy słońce nie świeci, np. nocą lub w pochmurne dni. Jest to bardzo ryzykowna konfiguracja ze względu na pełną zależność od instalacji zainstalowanych w gospodarstwie rolnym.
- Hybrydowa: Konfiguracja łącząca zalety obu systemów. Gospodarstwo utrzymuje połączenie z siecią, ale jednocześnie jest wyposażone w magazyn energii. Umożliwia to maksymalne zużycie wyprodukowanej energii na własne potrzeby, a nadwyżki, które nie mogą być zgromadzone, są sprzedawane do sieci. Ta opcja zapewnia zarówno niezależność, jak i stabilność dostaw.

Magazyny energii są kluczowym komponentem systemu, ponieważ przesunięcie użycia energii o kilka godzin, na przykład umożliwiają wykorzystanie energii wytworzonej w ciągu dnia w wieczorem lub w nocy. Dodatkowo, zaawansowane systemy zarządzania

energią (EMS) pozwalają na monitorowanie produkcji i zużycia w czasie rzeczywistym, co jest niezbędne do optymalizacji przepływów energetycznych.

Kluczowym celem w modelach jest maksymalizacja autokonsumpcji, co jest najefektywniejszym sposobem zużycia energii. Podstawą jest prawidłowe dopasowanie mocy instalacji do realnych potrzeb, co pozwala uniknąć przewymiarowania i generowania niepotrzebnych nadwyżek. Magazyny energii działają jako bufor, umożliwiając wykorzystanie wyprodukowanej w szczycie dnia energii, np. do wieczornego zużycia. Strategie optymalizacji obejmują również inteligentne zarządzanie zużyciem, np. poprzez planowanie energochłonnych operacji, takich jak ładowanie maszyn elektrycznych czy pompowanie wody, na godziny największej produkcji PV. Zaawansowane systemy zarządzania energią pozwalają na automatyzację tych procesów, co dodatkowo zwiększa efektywność zużycia energii.

Z tego powodu założeniem w każdym z trzech modeli będzie zastosowanie konfiguracji hybrydowej z maksymalizacją autokonsumpcji energii.



9. MODEL GOSPODARSTWA SADOWNICZEGO

Założenia modelu

Profil technologiczny: nowoczesne gospodarstwo sadownicze o powierzchni upraw 15 ha, wykorzystujące systemy rolnictwa precyzyjnego (Rolnictwo 4.0) – automatyzacja, monitoring parametrów upraw, zdalne sterowanie nawadnianiem i chłodnictwem.

Wdrożone nowoczesne technologie, w tym Rolnictwa 4.0:

- **Systemy Monitorowania Upraw:** Dwie stacje pogodowe dostarczają precyzyjne dane, umożliwiając szybkie i skuteczne reagowanie na zmieniające się warunki, w tym na zagrożenia chorobowe, takie jak parch. Czujniki wilgotności gleby pozwalają na precyzyjne i zdalne uruchamianie nawadniania dokładnie w momencie, gdy jest to potrzebne, co znacząco obniża zużycie wody i energii.
- **Monitoring Szkodników:** Zastosowanie pułapek feromonowych wyposażonych w kamery i czujniki umożliwia bieżące monitorowanie występowania szkodników i wysyłanie alertów na telefon. To rozwiązanie pozwala na precyzyjne stosowanie środków ochrony roślin w optymalnym momencie, co ogranicza ich zużycie i koszty.
- **Nowoczesna Linia Sortująca:** Wdrożenie automatycznej linii sortującej z wodnym rozładunkiem i komputerem pozwala na precyzyjne sortowanie owoców według

zadanych parametrów, takich jak kolor, kaliber i jakość. Jest to kluczowe dla spełnienia rygorystycznych wymagań rynków eksportowych.

- **System Nawadniania:** Kropelkowy system nawadniający z funkcją fertygacji umożliwia dostarczanie nawozów wraz z wodą bezpośrednio do korzeni roślin. W połączeniu z czujnikami wilgotności gleby, pozwala to na optymalne gospodarowanie zasobami, co jest krytyczne w suchych latach.

Główne obiekty i systemy zużycia energii

- System nawadniania kropelkowego z pompami elektrycznymi (sterowanie automatyczne, monitoring wilgotności gleby),
- Sortownia owoców,
- Instalacje chłodnicze (kontrolowana atmosfera, chłodnie z izolacją termiczną)
- Elektryczne pojazdy transportowe (w gospodarstwie i w obrębie magazynów)
- Oświetlenie LED oraz automatyka budynkowa

Średnie zużycie energii elektrycznej: 80–100 MWh/rok (średnia ok. 5 333 – 6 667 kWh/ha/rok, gdzie zakres wynika z warunków pogodowych, intensywności nawadniania i długości okresu przechowywania owoców).

Zużycie w szczycie sezonu

Największe obciążenie przypada na okres od września do połowy listopada, kiedy działa chłodnictwo po zbiorach. Zużycie w tym okresie rozkłada się następująco:

- Wrzesień - ok. 11 000 kWh
- Październik – ok. 15 000 kWh
- Listopad – ok. 10 000 kWh

Łączne zużycie w tym okresie: 36 000 kWh, (co stanowi 36–45% całkowitego rocznego zapotrzebowania).

Chłodnictwo

Baza przechowalnicza o pojemności 1000 ton pozwala na zmagazynowanie praktycznie całego rocznego plonu, co zapewnia elastyczność w zarządzaniu sprzedażą i pozwala na utrzymanie wysokiej jakości owoców przez dłuższy czas.

- Jedna komora chłodnicza pobiera średnio 700–800 kWh/dobę w pierwszych godzinach po załadunku (intensywne schładzanie z temperatury zbiorów do temperatury przechowywania ok. 0–2°C).
- Po ustabilizowaniu temperatury zużycie spada, jednak przy wielu komorach pracujących równolegle, sumaryczne obciążenie jest wysokie.
- Stosowanie systemów odzysku ciepła (np. do ogrzewania pomieszczeń technicznych) może ograniczyć koszty eksploatacji.

Elektryczne pojazdy i transport wewnętrzny

Charakterystyczną cechą gospodarstwa jest unikalne podejście do parku maszynowego i infrastruktury. Gospodarz preferuje posiadanie wielu mniejszych maszyn, idealnie dopasowanych do konkretnych zadań, zamiast kilku większych, uniwersalnych maszyn. Taka filozofia przekłada się na znaczące oszczędności czasu i paliwa, a także pozwala na natychmiastowe działanie w optymalnym momencie, np. podczas sprzyjającej pogody.

Nadwyżka energii produkowanej przez agrowoltaikę w ciągu dnia może być inteligentnie wykorzystywana do ładowania wózków widłowych. Takie rozwiązanie pozwala na efektywne wykorzystanie dostępnej energii słonecznej, minimalizując straty, które mogłyby wystąpić bez możliwości jej magazynowania. Jest to przemyślane podejście, które integruje produkcję energii z jej zużyciem w sposób, który optymalizuje bilans energetyczny, a jednocześnie zapewnia, że kluczowe narzędzia logistyczne są naładowane bez dodatkowych kosztów. Dane rolnika wskazują na zużycie energii przez pojazdy elektryczne na poziomie 700-800 kWh na dobę. W kontekście gospodarstwa sadowniczego, dane te odnoszą się do floty pojazdów logistycznych, takich jak wózki widłowe, wykorzystywane w halach i przy rampie przeładunkowej w okresie sezonu. Szacunkowo jest to 5–10% rocznego zużycia energii (4–10 MWh/rok).

Zużycie energii

Dzienne zużycie charakteryzuje się ciągłym obciążeniem generowanym przez chłodnie, które pracują 24 godziny na dobę w sezonie chłodniczym, aby utrzymać odpowiednie warunki przechowywania. W ciągu dnia do zużycia mogą zostać dodane obciążenia od pomp nawadniających oraz sortowni, której praca jest skorelowana z sezonem zbiorów. Ta struktura zużycia, z wysokim i stałym obciążeniem nocnym oraz dodatkowymi, szczytowymi obciążeniami w ciągu dnia, tworzy idealne warunki dla wykorzystania magazynu energii.

Agrowoltaika

W przypadku delikatnych upraw, takich jak jabłka czy gruszki, panele słoneczne pełnią rolę kluczowej infrastruktury ochronnej. Półprzezroczyste moduły montowane na specjalnych, wysokich konstrukcjach (około 3 metrów wysokości, aby umożliwić przejazd maszyn rolniczych) bezpośrednio mogą chronić owoce przed ekstremalnymi warunkami pogodowymi. Konstrukcje agrowoltaiczne stanowią fizyczną barierę, chroniącą plony przed mechanicznymi uszkodzeniami spowodowanymi przez grad i ulewne deszcze. Ograniczenie ryzyka uszkodzeń plonów bezpośrednio przekłada się na stabilność i jakość zbiorów.

Jedną z najbardziej znaczących, choć często niedocenianych, korzyści płynących z zastosowania agrowoltaiki w sadownictwie jest optymalizacja gospodarki wodnej. Ciężar rzucany przez moduły fotowoltaiczne znacząco zmniejsza bezpośrednie nasłonecznienie gleby i parowanie wody w okresie letnim. Gleba pod instalacjami agrowoltaicznymi pozostaje wilgotniejsza i ma bardziej luźną strukturę, co jest korzystne dla rozwoju korzeni i wchłaniania składników odżywczych. Poprawa retencji wody w glebie przekłada się na mniejsze zapotrzebowanie na nawadnianie. To z kolei prowadzi do wymiernych oszczędności finansowych, związanych z mniejszym zużyciem energii elektrycznej przez pompy do nawadniania, oraz oszczędności ekologicznych, dzięki redukcji zużycia wody. Zjawisko to pokazuje, że agrowoltaika nie tylko wytwarza energię,

ale również pełni funkcję narzędzia agrotechnicznego, poprawiającego odporność upraw m.in. na suszę i stres cieplny.

Moc instalacji agrowoltaicznej została dobrana w oparciu o szacunkowe roczne zapotrzebowanie energetyczne z uwzględnieniem miesięcznego zapotrzebowania ze względu na brak danych dobowo-godzinowych. Przy rocznym zużyciu w przedziale 80 000 do 100 000 kWh i średnim uzysku energetycznym z 1 kWp w polskich warunkach klimatycznych, który wynosi ok. 950-1000 kWh rocznie, optymalna moc instalacji powinna wynosić 80-100 kWp. W celu maksymalizacji pokrycia zapotrzebowania zaproponowano instalację w przedziale 80-120 kWp.

Produkcja energii z instalacji fotowoltaicznej jest ściśle skorelowana z nasłonecznieniem i ma wyraźny profil sezonowy i dobowy. Najwyższa produkcja przypada na miesiące letnie (od maja do sierpnia), z kulminacją w czerwcu i lipcu, podczas gdy w miesiącach zimowych (od listopada do lutego) produkcja jest znacznie niższa. Dobowy profil produkcji charakteryzuje się generacją energii od wschodu do zachodu słońca, z pikiem w godzinach południowych. To tworzy fundamentalne niedopasowanie między profilem produkcji a profilem zużycia w modelowym gospodarstwie. Najwyższe zużycie w gospodarstwie sadowniczym ma miejsce w okresie zbiorów i przechowywania (sierpień-listopad), kiedy produkcja PV już zaczyna spadać. Co więcej, chłodnie wymagają stałego zasilania również w nocy, kiedy produkcja z paneli jest zerowa. To właśnie te dysproporcje uzasadniają konieczność wdrożenia magazynu energii.

Magazyn energii

Magazyn energii pełni w gospodarstwie sadowniczym kilka kluczowych ról, wykraczających poza samo przechowywanie nadwyżek. Jak wynika z analiz, magazynowanie nadmiaru energii wytworzonej w ciągu dnia pozwala na jej wykorzystanie w nocy lub w okresach braku słońca, co znacząco zwiększa autokonsumpcję energii. Ponadto, magazyn energii działa jako strategiczny bufor

energetyczny, zwiększający bezpieczeństwo operacyjne gospodarstwa. Główne funkcje magazynu to:

- Przesunięcie obciążenia - magazyn ładowany jest energią z agrowoltaiki w ciągu dnia, a następnie dostarcza ją do kluczowych urządzeń, takich jak chłodnie, w godzinach nocnych, kiedy produkcja PV jest zerowa.
- Wygładzanie obciążeń szczytowych - wiele urządzeń w gospodarstwie, jak np. sortownice, wymaga dużej mocy w krótkim czasie. Magazyn może zasilać te obciążenia, co pozwala na ograniczenie obciążeń szczytowych pobieranych z sieci, co z kolei może przełożyć się na niższe opłaty za moc umowną.
- Zasilanie awaryjne - w przypadku awarii sieci energetycznej, magazyn zapewnia ciągłość pracy krytycznych systemów (np. chłodni, pomp), chwilowo chroniąc produkcję przed stratami.

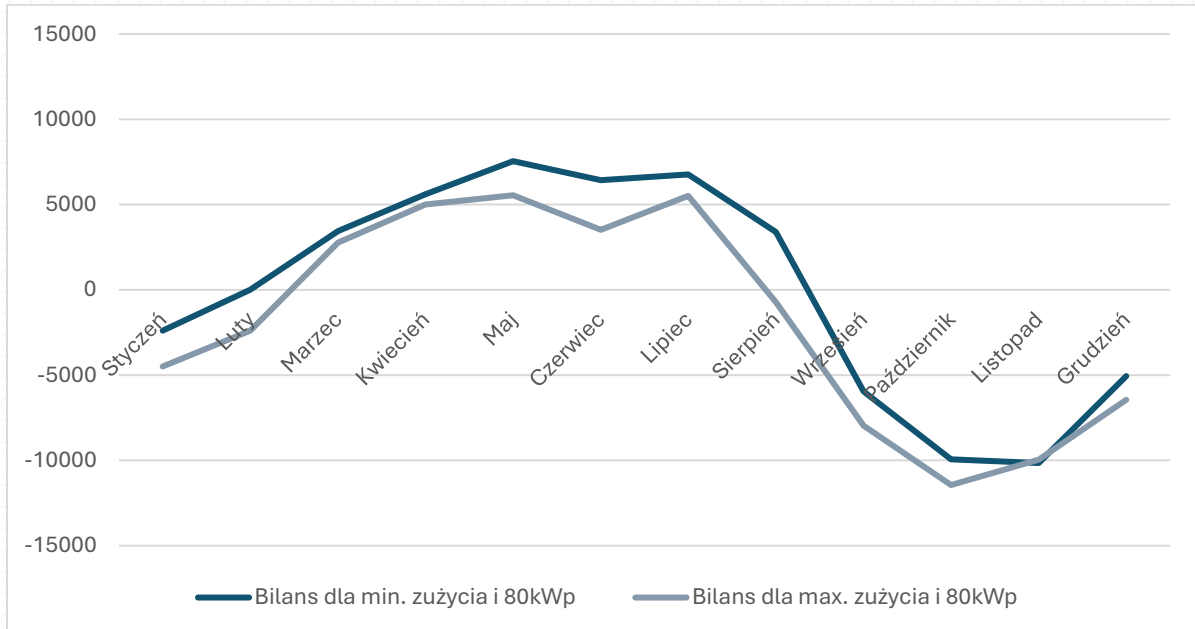
Moc magazynu powinna być wystarczająca do obsłużenia obciążeń szczytowych. Jeśli w przypadku gospodarstwa sadowniczego sortownica potrzebuje 30 kW, a inne urządzenia kolejne 15 kW, moc magazynu powinna wynosić co najmniej 45 kW, aby zapobiec przeciążeniu.

Na podstawie szacunkowego profilu zużycia, optymalna pojemność magazynu powinna być w stanie zasilić kluczowe urządzenia w ciągu nocy. Jeśli chłodnia wymaga średnio 5 kW przez 12 godzin, minimalna wymagana pojemność to 60 kWh. W celu uwzględnienia marginesu bezpieczeństwa i innych obciążeń, proponowana pojemność dla modelowego gospodarstwa sadowniczego jest w zakresie 60-120 kWh.

W typowy, słoneczny dzień produkcja z agrowoltaiki gwałtownie wzrasta w godzinach porannych, osiągając szczyt w południe. Energia ta jest natychmiast zużywana przez bieżące obciążenia, takie jak pompy nawadniające czy sortownice. Nadwyżki produkcyjne, które wcześniej byłyby oddawane do sieci, są teraz magazynowane. W godzinach wieczornych i nocnych, gdy produkcja PV spada do zera, chłodnie są zasilane energią zmagazynowaną w ciągu dnia. Taki mechanizm pozwala zmniejszyć pobór drogiej energii z sieci w godzinach szczytu zapotrzebowania i w nocy

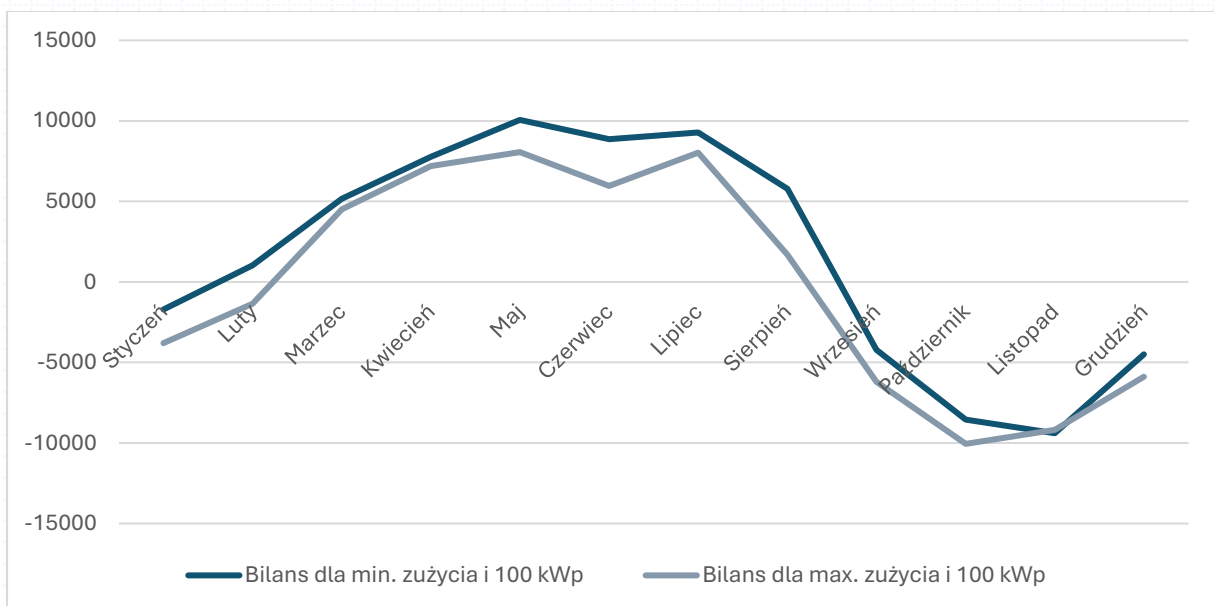
(w miesiącach, w których bilans energii jest dodatni) co bezpośrednio przekłada się na oszczędności.

Rysunek 4. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii z 80 kWp APV.



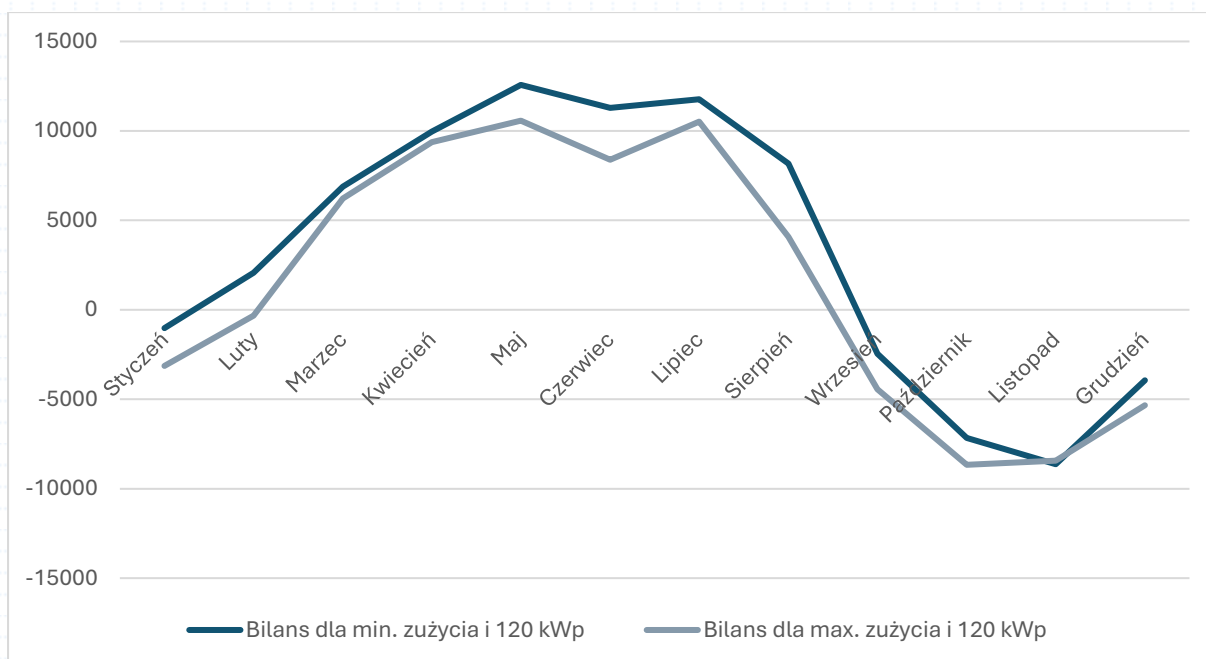
Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii ze 100 kWp APV.



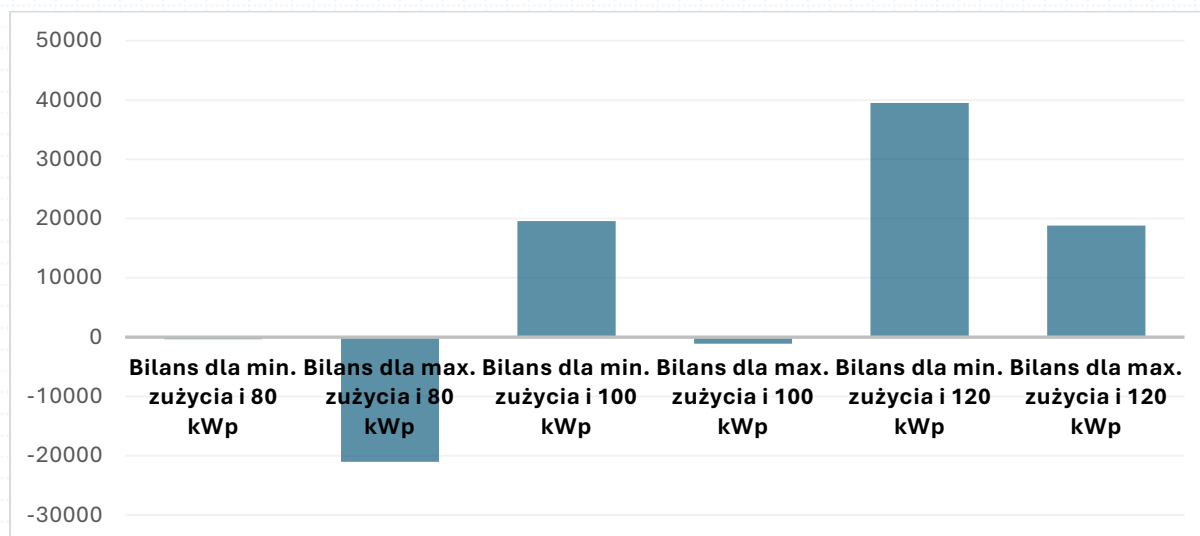
Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii ze 120 kWp APV.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7. Roczny bilans energii dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.



Źródło: opracowanie własne.

W kontekście dążenia do autonomii energetycznej, dla modelowego gospodarstwa sadowniczego optymalnym rozwiązaniem wydaje się być instalacja o mocy 100 kWp APV, która w scenariuszu maksymalnego zużycia (Rysunek 4) w pewnym stopniu pokrywa zapotrzebowanie podczas jesiennego szczytu zużycia, gdzie maksymalny pobór z sieci nie przekracza 10 MWh miesięcznie, a nadwyżki energii w okresie letnim utrzymane są na poziomie poniżej 10 MWh miesięcznie. Zapewnienie takiego limitu wprowadzania nadwyżek jest ważne w kontekście nieobciążania znacznie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Dalsze działania i rozwój gospodarstwa powinny skupiać się na gospodarowaniu tych nadwyżek. Sezonowe zapotrzebowanie na energię w tym typie gospodarstwa, związane z chłodnictwem i procesami magazynowania, jest największe jesienią. Wykresy jasno wskazują, że sama produkcja PV nie jest w stanie pokryć jesienno-zimowego zapotrzebowania, co prowadzi do ujemnego bilansu w tych okresach. Jednak całkowity roczny bilans dla instalacji agrowoltaicznej o mocy 100 kWp jest na optymalnym poziomie, zarówno dla minimalnego, jak i maksymalnego zużycia energii rocznej w gospodarstwie.



10. MODEL GOSPODARSTWA HODOWLANEGO

Założenia modelu

Modelowe gospodarstwo rolne o powierzchni około 100 ha, powiększone dodatkowo o dzierżawy, stanowi przykład nowoczesnej i wielokierunkowej produkcji rolniczej, łączącej działalność roślinną i zwierzęcą. Jego rozwój opiera się na sukcesywnych inwestycjach w automatyzację, mechanizację i innowacyjne technologie, które pozwalają zwiększać efektywność i poprawiać dobrostan zwierząt. Trzonem produkcji jest chów bydła mlecznego - stado liczące ponad sto krów utrzymywane jest w oborze wolnostanowiskowej z rusztami. Wydajność zwierząt osiąga wysoki poziom, co wynika z dobrze zbilansowanego żywienia, systematycznej modernizacji obiektu oraz zastosowania urządzeń wspierających mikroklimat i higienę w budynkach inwentarskich. Średnia wydajność wynosi 35 litrów mleka na krowę dziennie. Tak wysoka wydajność jest osiągalna w nowoczesnych hodowlach, a całkowita dzienna produkcja mleka w gospodarstwie wynosi 3500 litrów.

Zużycie energii

Charakterystyka zużycia energii w takim gospodarstwie jest typowa dla intensywnej produkcji zwierzęcej i wysoce zautomatyzowanych procesów. Znaczną część energii elektrycznej pochłaniają roboty udojowe, samojezdne wozy paszowe, systemy wentylacyjne, wymienniki powietrza, a także autonomiczne maszyny do podgarniania paszy czy usuwania odchodów. Automatyzacja ogranicza zapotrzebowanie na pracę ludzką, ale równocześnie zwiększa obciążenie energetyczne gospodarstwa. Wysoki poziom konsumpcji energii dotyczy także procesów przygotowywania pasz, gdzie nowoczesne wozy paszowe z komputerowym sterowaniem i przesyłem danych umożliwiają precyzyjne zadawanie TMR-u (całkowicie wymieszana dawka), jednak wymagają stałego zasilania.

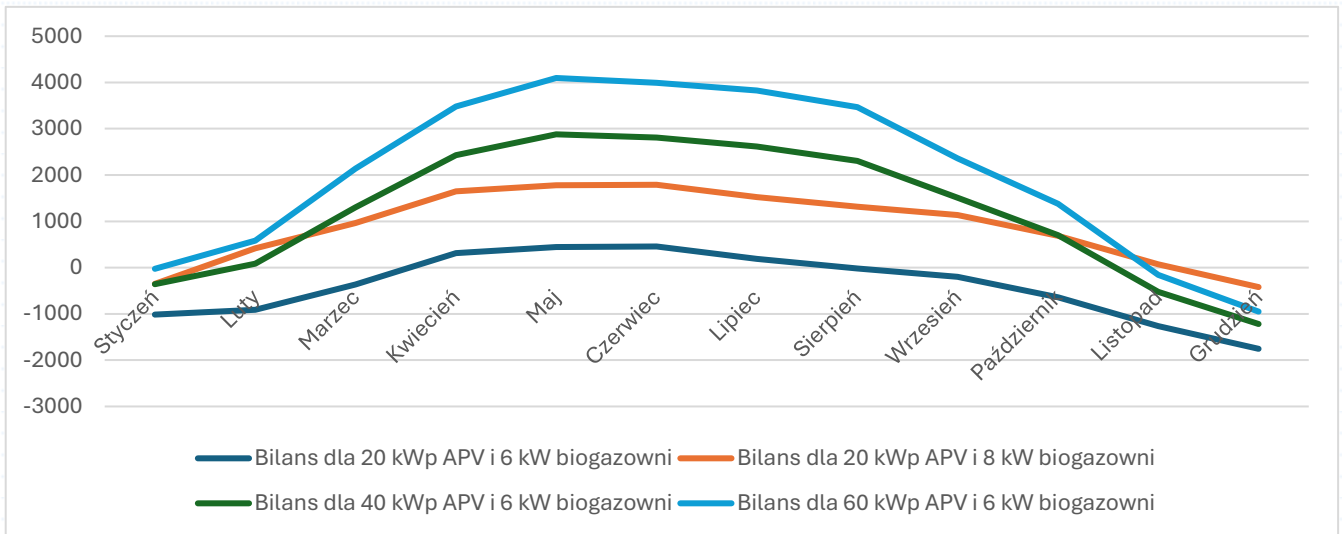
W uprawach polowych, mimo że gleby należą do słabszych klas, stosuje się technologie uproszczone i rolnictwo precyzyjne. Maszyny wyposażone w systemy mapowania plonów czy agregaty uprawowo-siewne z redlicami talerzowymi pozwalają ograniczyć liczbę przejazdów i tym samym zmniejszać zużycie paliw, choć jednocześnie są to rozwiązania zużywające energię elektryczną. Szczególne znaczenie ma także odpowiednie gospodarowanie nawozami naturalnymi i mineralnymi, które coraz częściej wspierane są przez technologie precyzyjnego dozowania.

Modelowe gospodarstwo tego typu charakteryzuje się stałym dążeniem do optymalizacji zużycia energii. Z jednej strony duże zapotrzebowanie generuje intensywna produkcja zwierzęca oraz mechanizacja, z drugiej inwestycje w automatyzację, innowacyjne systemy wentylacyjne czy technologie precyzyjne pozwalają ograniczać straty i zwiększać efektywność procesów produkcji rolnej. Działalność tego rodzaju wpisuje się w kierunek zrównoważonego rolnictwa, które łączy wysoką produktywność z racjonalnym gospodarowaniem zasobami energetycznymi.

Główne obiekty i systemy zużycia energii

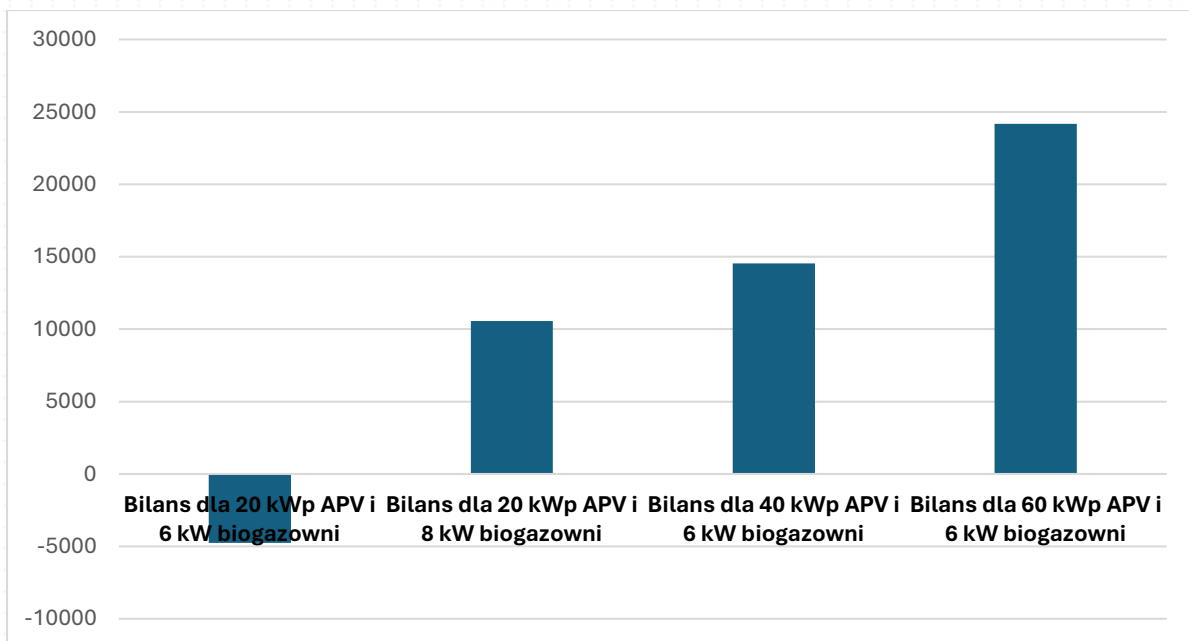
- Automatyczne systemy udojowe (AMS) stanowią jeden z największych, stałych odbiorników energii elektrycznej w gospodarstwie, zakładane zużycie w modelu, przy dziennej produkcji 3500 litrów mleka, przez roboty udojowe, wynosi około 87 kWh na dobę.
- Systemy żywienia - w modelu autonomicznego gospodarstwa kluczowym elementem jest zastąpienie maszyn spalinowych systemami elektrycznymi. W tym celu założona będzie wymiana ciągnika spalinowego na automatyczny wóz paszowy zasilany bateryjnie i konsumujący około 25 kWh energii elektrycznej na dobę dostarczając paszę dla wszystkich 100 krów. Przejście na takie rozwiązanie eliminuje zmienne koszty paliwa i przekształca je w stałe i przewidywalne zapotrzebowanie na energię elektryczną, co ułatwia planowanie bilansu energetycznego. Dodatkowo, możliwość ładowania baterii w robocie paszowym w optymalnych porach, na przykład w ciągu dnia z instalacji fotowoltaicznej, tworzy cenną synergię z innymi źródłami energii odnawialnej w gospodarstwie.
- Chłodzenie mleka - w modelu, przy dziennej produkcji 3500 litrów, zużycie energii na chłodzenie wynosi od 55 kWh na dobę. Systemy chłodzenia mleka wyposażone są w pompy ciepła, które umożliwiają odzyskanie energii cieplnej z procesu chłodzenia.
- W modelu uwzględniono również zużycie energii elektrycznej na oświetlenie, pompy wodne, systemy zarządzania, systemy wentylacyjne.

Rysunek 8. Roczny bilans energii elektrycznej dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 9. Roczny bilans energii elektrycznej dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.



Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na całoroczne, dość stałe i wysokie zużycie energii, najbardziej optymalny jest hybrydowy system oparty na 20 kWp APV i mikrobiogazowni o mocy 8 kW (Rysunek 7). Takie połączenie zapewnia komplementarność źródeł energii, gdzie fotowoltaika pokrywa zapotrzebowanie dzienne i sezonowe, natomiast biogazownia zasilana z odchodów zwierzęcych zapewnia stabilne, bazowe zasilanie niezależne od warunków atmosferycznych. W tej konfiguracji źródeł, bilans na przestrzeni miesięcy jest najbardziej wypłaszczony, czyli najlepiej dostosowany do zależności „zapotrzebowanie-produkcja”. Biogazownia o większej mocy potrzebująca więcej substratu mogłaby nie zostać zasilona gnojowicą, ze względu na jej niedostatek dla modelowego gospodarstwa. Sama fotowoltaika nie jest w stanie pokryć zapotrzebowania w miesiącach zimowych, co podkreśla zasadność inwestycji w mikrobiogazownię jako elementu zapewniającego ciągłość zasilania.

Wytwarzane w procesie kogeneracji ciepło powinno być w pełni wykorzystane do ogrzewania wody, pomieszczeń inwentarskich lub do zasilania systemów fermentacji. Dodatkowym elementem, który zwiększy autokonsumpcję, jest system magazynowania energii, który pełni rolę bufora dla krytycznych urządzeń, jak roboty udojowe czy systemy wentylacji. Magazyn ten może gromadzić nadwyżki energii z instalacji fotowoltaicznej w ciągu dnia, a następnie dostarczać ją przy braku nastonecznienia, gdy produkcja z PV spada. Wprowadzenie zaawansowanych systemów zarządzania zużyciem pozwoli na automatyczne dostosowywanie pracy urządzeń, np. cykli mycia dojarek, do okresów największej produkcji energii z odnawialnych źródeł.



11. MODEL GOSPODARSTWA PRZETWÓRCZEGO

Założenia modelu

Gospodarstwo ekologiczne o powierzchni 33 ha bazuje na dywersyfikacji upraw, obejmującej rośliny oleiste, strączkowe, zboża, warzywa i zioła. Taka różnorodność stanowi fundament dla zdrowego ekosystemu rolnego i minimalizuje ryzyka agrotechniczne. Kluczowym elementem filozofii produkcji w gospodarstwie jest płodozmian, który pozwala na utrzymanie naturalnej żyzności gleby i redukcję występowania chorób oraz szkodników. Część upraw poddawana jest przetwarzaniu na oleje tłoczone na zimno, co jest kluczowe dla profilu energetycznego gospodarstwa.

Innowacje technologiczne w rolnictwie ekologicznym

Gospodarstwo aktywnie wdraża nowoczesne technologie, które zwiększają efektywność i redukują nakłady pracy. Głównym przykładem jest mechaniczne odchwaszczanie, które jest wspomagane systemami GPS, kamerami i sztuczną inteligencją. Technologia ta umożliwia precyzyjne usuwanie chwastów z dokładnością do centymetra, co znacznie ogranicza potrzebę pracy ludzkiej i zwiększa ogólną wydajność operacji polowych.

Dodatkowo, wykorzystanie w tym celu ciągników o niskim zużyciu paliwa, wynoszącym średnio 2,5 litra na godzinę pracy z chwastownikami, stanowi dowód na dążenie do optymalizacji zużycia energii w procesach produkcyjnych.

Skracanie Łańcucha Dostaw

Model biznesowy gospodarstwa przetwórczego bazuje na sprzedaży bezpośredniej, realizowanej za pośrednictwem mediów społecznościowych oraz sklepów internetowych. Taka strategia pozwala na skrócenie łańcucha dostaw, eliminację kosztów pośredników oraz budowanie bezpośredniej i trwałej relacji z konsumentem. Umożliwia to zaoferowanie konsumentom produktów wysokiej jakości w konkurencyjnej cenie, przy jednoczesnym zwiększeniu marży dla rolnika.

Główne obiekty i systemy zużycia energii:

- Sprzęt Polowy i Optymalizacja Zużycia Paliwa - w gospodarstwie zastosowano maszyny o zoptymalizowanym zużyciu paliwa, czego przykładem są ciągniki zużywające średnio 2,5 litra paliwa na godzinę w pracy z chwastownikami. To niskie zużycie, w połączeniu z mechanicznym odchwaszczaniem precyzyjnym, znacząco ogranicza koszty operacyjne i negatywny wpływ na środowisko. W szerszym kontekście, mechaniczne odchwaszczanie w uprawach całopowierzchniowych, przy prędkości pracy 5-6 km/h, stanowi alternatywę dla oprysków chemicznych. Zastosowanie bron obrotowych dodatkowo rozszerza funkcjonalność maszyn polowych, umożliwiając wykonywanie innych prac agronomicznych.
- Wyposażenie do Obróbki Surowców (Olejarnia) - gospodarstwo przetwórcze wymaga specjalistycznych maszyn, które pozwolą na przetwarzanie plonów na wartość dodaną. W przypadku olejarni, kluczowe są suszarnie oraz prasy do tłoczenia oleju.
 - Suszarnia stacjonarna w zakładanym modelu wymaga znacznej mocy zainstalowanej sięgającej od 36 kW. Konieczność obniżenia wilgotności

ziarna generuje zapotrzebowanie na energię cieplną. Tradycyjne suszarnie, bazujące na paliwach kopalnych, generują wysokie koszty operacyjne i są sprzeczne z deklarowaną filozofią ekologicznego gospodarstwa, które dąży do ograniczenia paliw kopalnych. To kluczowe wyzwanie, które wymaga strategicznego rozwiązania w postaci alternatywnego źródła energii cieplnej, na przykład ciepła generowanego z pomp ciepła zasilanych energią elektryczną (zasilanej OZE).

- Tłocznie Oleju na Zimno - sercem gospodarstwa jest olejarnia wyposażona w prasy ślimakowe, które tłoczą olej na zimno, co jest kluczowe dla zachowania jego cennych właściwości prozdrowotnych, takich jak antyoksydanty, witaminy i nienasycone kwasy tłuszczowe. W procesie tłoczenia na zimno temperatura oleju nie przekracza 42°C lub 40°C. Modelowa prasa charakteryzuje się mocą silnika 2 kW. Dodatkowa grzałka o mocy 500 W wspomaga proces.

Proces produkcji oleju obejmuje kolejne etapy: magazynowanie nasion, tłoczenie, filtrowanie, butelkowanie i przechowywanie w optymalnych warunkach, aby zachować świeżość produktu.

Przejście z rolnictwa wyłącznie uprawowego na uprawowo-przetwórcze zwiększa zapotrzebowanie na energię, co stanowi wyzwanie, ale jednocześnie otwiera zasadność dla inwestycji w odnawialne źródła.

Zużycie energii

Modelowe gospodarstwo rolne integruje uprawę z przetwórstwem, działa w ramach złożonego, wieloetapowego cyklu produkcyjnego. Specyfika zużycia energii elektrycznej wymaga analizy wszystkich procesów, od momentu zbioru aż po dystrybucję produktu końcowego. Ignorowanie któregokolwiek z tych etapów może prowadzić do niedokładnych prognoz i potencjalnie błędnych decyzji biznesowych.

Roczne zużycie energii elektrycznej dla modelowego gospodarstwa z wykorzystaniem jednego urządzenia do tłoczenia i potrzeb w zakresie suszenia wynosi 29 000 kWh. Duża część tego zużycia przypada na miesiące letnie (lipiec-sierpień), co pokrywa się z okresem żniw. Zrozumienie tego rozkładu sezonowego jest kluczowe dla optymalizacji kosztów i zarządzania infrastrukturą energetyczną przedsiębiorstwa.

Model operacyjny rozkłada się na cztery główne etapy. Pierwszy to uprawa i zbiór, które z reguły wykorzystują energię elektryczną w minimalnym stopniu, poza zasilaniem drobnego sprzętu warsztatowego lub pomocniczego. Drugi etap, krytyczny z punktu widzenia zużycia energii, to suszenie ziarna po zbiorach. Bezpośrednio po zbiorze, ziarno często charakteryzuje się podwyższoną wilgotnością, która musi zostać obniżona, aby umożliwić jego bezpieczne przechowywanie. Etap trzeci to magazynowanie, które wymaga stałej wentylacji w celu zapobiegania zagrzewaniu się surowca. Ten proces, choć energooszczędny w jednostce czasu, generuje stałe zapotrzebowanie na energię przez znaczną część roku. Ostatni, czwarty etap, to przetwórstwo, czyli w tym przypadku tłoczenie oleju. Chociaż jest to proces o wysokiej mocy jednostkowej, jego zużycie w skali rocznej jest zależne od przyjętej strategii biznesowej i cyklu produkcyjnego.

Cykl operacyjny gospodarstwa rolnego jest ściśle zdeterminowany przez pory roku i kalendarz żniw. W Polsce, zbiory kluczowych roślin oleistych, przypadają zazwyczaj na okres od połowy czerwca do połowy sierpnia. To właśnie w tym czasie następuje intensywne suszenie i wstępne magazynowanie. Ziarno po zbiorze, w zależności od warunków pogodowych, może mieć podwyższoną wilgotność, a jego doprowadzenie do odpowiedniego poziomu (np. z 13% do 7% dla rzepaku) jest procesem energochłonnym. W efekcie, największe różnice zużycia energii elektrycznej przypadają na miesiące letnie, a nie na okres intensywnej pracy tłoczni. To sprawia, że szczytowe obciążenie elektryczne, które może skutkować przekroczeniem mocy umownej i dodatkowymi opłatami, występuje w zupełnie innym czasie niż mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka. Surowiec może być magazynowany przez cały rok, co pozwala na rozłożenie procesu tłoczenia na okresy o niższym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, poza szczytem żniw. Ta elastyczność w planowaniu produkcji jest kluczowa

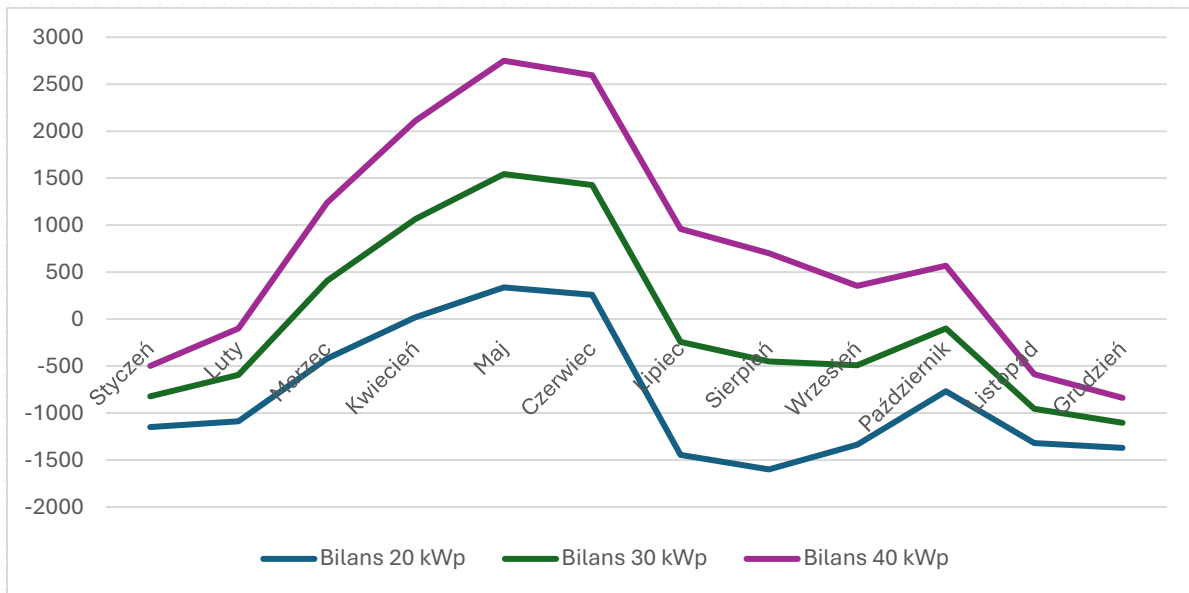
dla optymalizacji kosztów i unikania dużych obciążeń energetycznych. Długoterminowe magazynowanie wymaga jednak stałego zużycia energii na wentylację, co staje się stałym zużyciem energii przez cały rok.

Magazynowanie ziarna również wiąże się z ciągłym zużyciem energii elektrycznej. W celu zapobiegania zagrzewaniu się surowca, konieczne jest zastosowanie systemów wentylacyjnych. Moc elektryczna wentylatorów do magazynów podłogowych w modelowym gospodarstwie jest równa 20 kW.

Podział zużycia energii

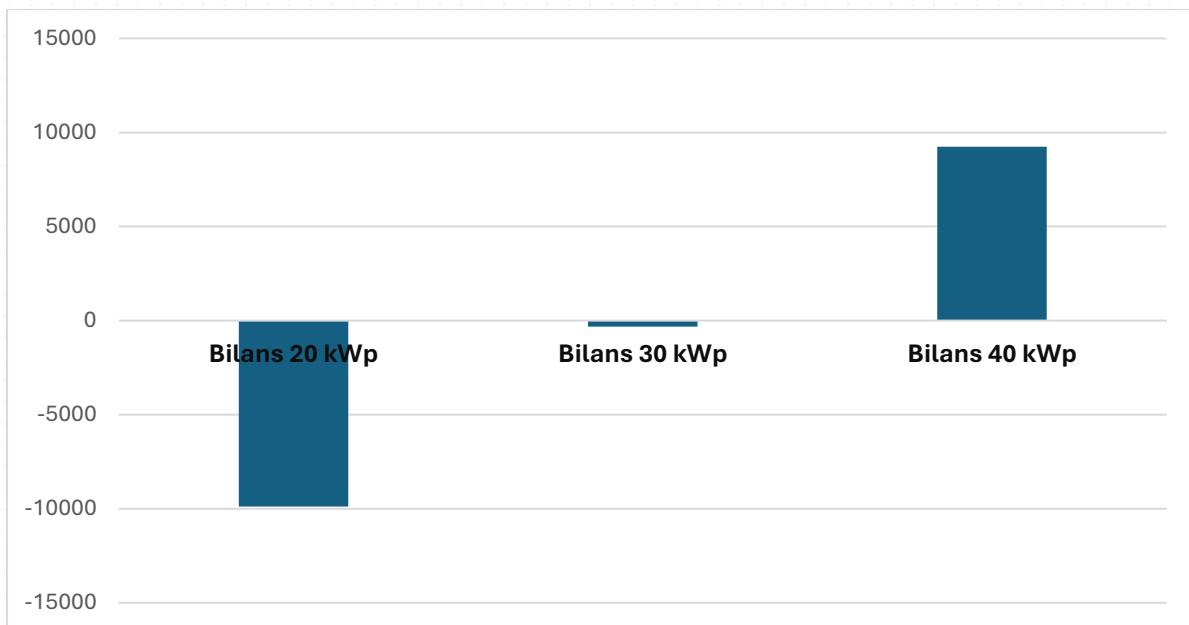
- Przetwórstwo - jedna prasa do oleju o mocy 2,5 kW (z dodatkową grzałką). Przyjmuje się, że pracuje średnio 10 godzin dziennie, 15 dni w miesiącu (150 godzin/miesiąc), jednak z wahaniami (styczeń oraz grudzień ze zmniejszonym zużyciem).
- Suszenie - zakłada się wykorzystanie małej suszarni o mocy 36 kW. Przyjmuje się, że pracuje średnio 5 godzin, 10 dni w miesiącach lipiec, sierpień oraz 5 dni we wrześniu.
- Wentylacja - stałe, ale niewielkie zużycie na wentylację magazynów, wentylatory o mocy 5 kW, pracujące przez 8 godzin dziennie.
- Inne - dodatkowe zużycie na oświetlenie, drobny sprzęt, maszyny pomocnicze, szacowane na 500 kWh miesięcznie.

Rysunek 10. Bilans dla założonego zużycia energii oraz produkcji energii z 20, 30 oraz 40 kWp APV.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 11. Roczny bilans energii dla różnych scenariuszy produkcji energii elektrycznej.



Źródło: opracowanie własne.

Dla modelowego gospodarstwa przetwórczego optymalnym wyborem jest instalacja o mocy 30 kWp APV z magazynem energii, która zapewnia niemal pełną samowystarczalność. Ten model wyróżnia dopasowanie profilu zużycia do profilu produkcji energii z PV, gdzie największe zapotrzebowanie na energię, związane z suszeniem ziarna i procesami tłoczenia oleju, przypada na szczyt produkcji słonecznej w miesiącach letnich (Rysunek 10).

Aby system osiągnął większą autonomię, kluczowym elementem jest magazyn energii, który pozwoli na przesunięcie energii z dnia na noc, co jest szczególnie ważne w okresach, kiedy procesy produkcyjne odbywają się również po zmroku. Należy rozważyć również zastosowanie wysokowydajnych pomp ciepła do zasilania suszarni. Instalacja agrowoltaiki wraz z magazynem energii powinna priorytetowo zabezpieczyć ciągłość zasilania procesów przetwórczych, takich jak tłoczenie oleju, chłodzenie i magazynowanie.

W przypadku odpowiedniej ilości wytwarzanych odpadów w gospodarstwie ostatecznym i najbardziej zaawansowanym etapem może być inwestycja w małą biogazownię rolniczą. Pozwoli to na rozwiązanie problemu zagospodarowania odpadów (makuchów, resztek poźniwnych) oraz na produkcję biogazu, który może być wykorzystany do zasilania suszarni, domykając tym samym obieg materiałowy i energetyczny w gospodarstwie. Jednak roczna produkcja energii z biogazowni o mocy zainstalowanej 5kW wynosi około 40 000 kWh, co znacznie przewyższa zapotrzebowanie modelowego gospodarstwa rolnego. W przypadku zwiększenia zapotrzebowania energii elektrycznej i cieplnej na procesy przetwórcze i uprawowe, analiza możliwości funkcjonowania instalacji mikrobiogazowej jest wskazana.

WNIOSKI

1. Gospodarstwa rolne w wielu sektorach rolnictwa mogą być silnie uzależniona od sytuacji na rynku energii, a wzrost cen energii w znacznym stopniu wpływa na opłacalność produkcji rolnej.
2. Zależność części gospodarstw rolnych od cen energii sprawia, że w przypadku niskiej odporności gospodarstw rolnych konsekwencje wysokich cen energii mogą prowadzić do spadku produkcji, co stanowi istotny problem nie tylko z punktu widzenia ekonomiki gospodarstw, lecz także globalnego bezpieczeństwa żywnościowego.
3. W praktyce produkcja energii w gospodarstwie rolnym nie gwarantuje jeszcze korzyści ekonomicznych ani samowystarczalności energetycznego gospodarstwa. Kluczowym kryterium staje się stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego gospodarstwa przez własne źródła wytwórcze w czasie rzeczywistym, czyli poziom autokonsumpcji.
4. W kwestii instalacji agrowoltaicznych niezwykle ważne jest indywidualne podejście do potrzeb i możliwości konkretnego gospodarstwa rolnego, aby od strony energetycznej maksymalizować autokonsumpcję, czyli konsumpcję wytworzonej energii w czasie rzeczywistym na potrzeby własne.
5. Wskazane jest dostosowanie instalacji OZE do realnego zapotrzebowania i struktury zużycia w gospodarstwie rolnym, a nie tylko do dostępnej powierzchni dachowej czy pól pod system agrowoltaiczny. Zbyt duża instalacja przy niskim zapotrzebowaniu prowadzi do strat ekonomicznych i nieefektywnego wykorzystania zasobów. Optymalizacja powinna odbywać się w oparciu o rzeczywiste dane poboru energii, z podziałem na strefy czasowe i sezonowość. Zbyt duża instalacja przy niskim zapotrzebowaniu prowadzi do strat ekonomicznych i nieefektywnego wykorzystania zasobów. Optymalizacja powinna odbywać się w oparciu o rzeczywiste dane poboru energii, z podziałem na strefy czasowe i sezonowość.
6. Aby w pełni wykorzystać potencjał instalacji OZE, na przykład agrowoltaiki, konieczne jest myślenie systemowe. Czyli przeprowadzenie procesu od inwentaryzacji zużycia, przez dobór technologii i mocy, aż po zarządzanie profilem

poboru i lokalne wykorzystanie energii. Takie podejście pozwoli rolnikom rzeczywiście skorzystać z transformacji energetycznej, nie jako bierni producenci dla systemu, ale jako aktywni, samowystarczalni uczestnicy rynku energii.

7. Współpraca świata nauki, decydentów, sektora OZE, a przede wszystkim rolników jest kluczowa dla stworzenia odpowiednich regulacji prawnych, które umożliwią z jednej strony rozwój agrowoltaiki w Polsce, a z drugiej zabezpieczą rozwojowe potrzeby lokalne i budowanie samowystarczalności producentów rolnych, realizując zasadę wysokoefektywnej gospodarki i wybranych elementów Rolnictwa 4.0.

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Produkcja z energii odnawialnej z rolnictwa w UE.	6
Rysunek 2. Zmiana w produkcji odnawialnych źródeł energii z rolnictwa.	7
Rysunek 3. Przykładowy profil produkcji energii fotowoltaiki w Polsce.	19
Rysunek 4. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii z 80 kWp APV.	28
Rysunek 5. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii ze 100 kWp APV.	28
Rysunek 6. Bilans dla minimalnego i maksymalnego zużycia oraz produkcji energii ze 120 kWp APV.	29
Rysunek 7. Roczny bilans energii dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.	30
Rysunek 8. Roczny bilans energii elektrycznej dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.	34
Rysunek 9. Roczny bilans energii elektrycznej dla różnych scenariuszy produkcji i zużycia energii elektrycznej.	34
Rysunek 10. Bilans dla założonego zużycia energii oraz produkcji energii z 20, 30 oraz 40 kWp APV.	41
Rysunek 11. Roczny bilans energii dla różnych scenariuszy produkcji energii elektrycznej.	41

BIBLIOGRAFIA

1. „Agri-Environmental Indicator - Energy Use”. Dostęp 13 sierpień 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use.
2. „C43 Production of renewable energy from agriculture and forestry”. Dostęp 13 sierpień 2025. <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/IndicatorsEnvironmental/RenewableEnergy.html>.

3. Główny Urząd Statystyczny. *Obszary wiejskie w Polsce w 2022 roku*. Warszawa, Olsztyn, 2024. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/obszary-wiejskie-w-polsce-w-2022-roku,2,6.html>.
4. „GUS - Bank Danych Lokalnych”. 12 czerwiec 2025. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>.
5. Karamov, Dmitriy N., Pavel V. Ilyushin, i Konstantin V. Suslov. „Electrification of Rural Remote Areas Using Renewable Energy Sources: Literature Review”. *Energies* 15, nr 16 (2022): 5881. <https://doi.org/10.3390/en15165881>.
6. Pereira, Filipe, Nídia S. Caetano, i Carlos Felgueiras. „Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation”. *Energy Reports*, The 8th International Conference on Energy and Environment Research –“Developing the World in 2021 with Clean and Safe Energy”, t. 8 (czerwiec 2022): 454–61. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.074>.
7. Rokicki, Tomasz, Aleksandra Perkowska, Bogdan Klepacki, Piotr Bórawski, Aneta Będycka-Bórawska, i Konrad Michalski. „Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries”. *Energies* 14, nr 6 (2021): 1570. <https://doi.org/10.3390/en14061570>.
8. Romero-Castro, Noelia, Vanessa Miramontes-Viña, i María Ángeles López-Cabarcos. „Understanding the Antecedents of Entrepreneurship and Renewable Energies to Promote the Development of Community Renewable Energy in Rural Areas”. *Sustainability* 14, nr 3 (2022): 1234. <https://doi.org/10.3390/su14031234>.
9. Sulewski, Piotr, i Adam Wąs. „Agriculture as Energy Prosumer: Review of Problems, Challenges, and Opportunities”. *Energies* 17, nr 24 (2024): 6447. <https://doi.org/10.3390/en17246447>.
10. Urząd Regulacji Energetyki. „Charakterystyka rynku energii elektrycznej 2023”. Urząd Regulacji Energetyki, 2024. <https://www.ure.gov.pl/pl/energia-elektryczna/charakterystyka-rynku/12095,2023.html>.
11. Woźniak, Marian. *Zrównoważona gospodarka energetyczna na obszarach wiejskich w Polsce*. 21 (2018): 69–84.

**ANALIZA PRZEPROWADZONA PRZEZ STOWARZYSZENIE NA RZECZ
EFEKTYWNOŚCI IM. PROF. KRZYSZTOFA ŻMIJEWSKIEGO**



ul. Wiejska 17/16, 00-480 Warszawa

www.stowarzyszenie-zmijewski.pl

biuro@stowarzyszenie-zmijewski.pl

AUTORZY OPRACOWANIA

- inż. Natalia Aleksiejuk
- Katarzyna Brona
- Oliwia Szablewska

