



SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE
WYDZIAŁ HODOWLI, BIOINŻYNIERII I OCHRONY ZWIERZĄT
ul. Ciszewskiego 8, 02-768 Warszawa

prof. dr hab. Justyna Więcek dr inż. Aleksandra Kalińska,
dr inż. Grzegorz Grodkowski, dr inż. Marcin Świątek

SMART SOFT SOLUTIONS SP. Z O.O.

Longinówka 50, 97-340 Rozprza

mgr. inż. Łukasz Adamek, mgr. inż. Paweł Kielanowski

Gospodarstwa Rolne Łukasz Czech i Krzysztof Adamek



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Raport z realizacji projektu

„Poprawa dobrostanu zwierząt z wykorzystaniem szybkich przesiewowych badań pod kątem detekcji podwyższonej temperatury zwierząt oraz procesów termicznych w rolnictwie za pomocą uniwersalnego nieinwazyjnego oraz mobilnego detektora TherMobEye.”

do działania „Współpraca” objętego PROW na lata 2014-2020

nr. 00056.DDD.6509.00281.2022.03



1. Wprowadzenie	5
2. Cel projektu	7
3. Urządzenie pomiarowe	9
3.1 Urządzenie pomiarowe	9
3.1.1 Komponenty	11
3.1.2 Dane techniczne	13
3.2 Urządzenie stabilizujące	15
4. Przetwarzanie danych pomiarowych z wykorzystaniem algorytmów uczących	19
4.1 Redukcja szumów i kompresja danych radiometrycznych	19
4.1.1 Mechanizm redukcji szumów	19
4.1.2 Mechanizm kompresji i zapisu pomiarów radiometrycznych	21
4.2 System analizy klatek pomiaru radiometrycznego	22
4.2.1 Algorytm detekcji typu zwierzęcia poddanego pomiarowi	22
4.3 Algorytm rozpoznawania typu podłoża na zdjęciu pomiarowym	24
4.4 Algorytmy segmentacji wymienia w pomiarze radiometrycznym	28
4.4.1 Algorytm segmentacji pomiaru radiometrycznego wymienia wykonanego od boku	28
4.4.1.2 Ewaluacja modelu	29
4.4.2 Algorytm segmentacji pomiaru radiometrycznego wymienia wykonanego od dołu	34
4.4.2.1 Wytrenowanie modelu segmentacji	34
4.4.2.2 Ewaluacja modelu	35
4.5 Algorytm segmentacji ucha i podstawy ucha w pomiarze radiometrycznym tucznika	39
4.5.1 Trening modelu segmentacji ucha	39
4.5.2 Ewaluacja modelu	40
4.6 Algorytm segmentacji części ciała w pomiarze radiometrycznym tucznika	44
4.6.1 Trening modelu segmentacji zdjęcia termowizyjnego tucznika	44
4.6.2 Ewaluacja modelu	44
5. Metodyka badawcza	49
5.1 Metodyka badawcza dla krów	49
5.1.1 Projekt i zakres pomiarów	49
5.1.2 Dane referencyjne oraz metody diagnostyczne	50



5.1.3 Analiza statystyczna i korelacyjna danych	51
5.1.4 Praktyczne zastosowanie wyników	51
5.2 Metodyka badawcza dla trzody chlewnej.	52
5.2.1 Organizacja eksperymentu i wybór zwierząt	52
5.2.2 Pomiar termowizyjny świń	52
5.2.4 Rejestracja i analiza warunków środowiskowych	53
5.2.5 Integracja wyników i analiza korelacyjna	53
5.2.6 Praktyczne znaczenie wyników dla hodowców trzody chlewnej	54
5.3 Opis procesu wykonywania pomiarów radiometrycznych u trzody chlewnej	54
5.3 Metody ekstrakcji danych pomiarowych dla obszarów zainteresowania	54
6. Aplikacja web	57
6.1. Informacje Ogólne	57
6.1.1 Omówienie części web	57
6.1.2 Technologie	57
6.1.3 Dostępność	57
6.2. Role w aplikacji web	59
6.2.1 Administrator	59
6.2.2 Hodowca	60
6.2.3 Weterynarz	62
6.3 Funkcjonalności	63
6.3.1. Administrator	63
6.3.2. Hodowca	67
6.3.3. Weterynarz	89
7. Aplikacja mobilna	98
7.1 Informacje Ogólne	98
7.1.1 Omówienie Aplikacji	98
7.1.2 Technologie Aplikacji	98
7.1.3 Dostępność Aplikacji	98
7.2. Role Aplikacji	99
7.2.1 Hodowca	99
7.2.2 Badacz	100
7.3. Rozwinięcie funkcjonalności	102
7.3.1 Funkcjonalność wspólna - Zarządzanie Kontem	102
7.3.2 Funkcjonalność hodowcy - Dodawanie pomiarów	104



7.3.2 Funkcjonalność hodowcy - Zarządzanie listą pomiarów	107
7.3.4 Funkcjonalność badacza - wykonywanie serii pomiarów	110
7.3.5 Funkcjonalność badacza - Kalibracja pistoletu pomiarowego	112
8. Podsumowanie wdrożonych innowacji	114
8.1 Innowacja w obszarze procesu produkcji krów mlecznych	114
8.1.1 Wczesne wykrywanie zapaleń wymienia	114
8.1.2 Redukcja zużycia antybiotyków	115
8.1.3 Optymalizacja zarządzania stadem mlecznym	116
8.1.4 Wydłużenie użytkowości krów mlecznych	117
8.1.5 Zarządzanie rozrodem krów	119
8.1.6 Automatyzacja procesu diagnostycznego	120
8.2 Innowacja w obszarze procesu produkcji trzody chlewnej	121
8.2.1 Wczesne wykrywanie infekcji i stanów gorączkowych	121
8.2.2 Selekcja zwierząt wraz z ich izolacją	122
8.2.3 Wspomaganie zarządzania karmieniem oraz mikroklimatem	123
8.2.4 Redukcja wskaźnika FCR	124
8.2.5 Redukcja użycia antybiotyków	125
8.2.6 Poprawa jakości mięsa	126
8.2.7 Redukcja śmiertelności	126
8.2.8 Zwiększenie świadomości dot. dbania o dobrostan zwierząt w rolnictwie	127
8.3 Wnioski końcowe	128



1. Wprowadzenie

Współczesne rolnictwo, w tym chów zwierząt gospodarskich, staje w obliczu wielu wyzwań związanych z potrzebą zwiększenia efektywności produkcji przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu na środowisko oraz poprawie dobrostanu zwierząt. Szczególną uwagę przykładają się do utrzymania wysokiego statusu zdrowotnego zwierząt, co bezpośrednio przekłada się na wydajność produkcyjną i jakość surowca, a także stanowi ważny element strategii zrównoważonego rozwoju.

Zarówno trzoda chlewna, jak i bydło mleczne są szczególnie wrażliwe na czynniki środowiskowe, w tym zmiany mikroklimatu, zagęszczenie w budynkach inwentarskich oraz występowanie schorzeń metabolicznych i infekcyjnych. Wysoka temperatura otoczenia, niska jakość powietrza czy stres cieplny prowadzą do pogorszenia stanu zdrowia, spadku przyrostów masy ciała, obniżenia produkcji mleka oraz zwiększenia podatności na choroby. Wczesne wykrywanie nieprawidłowości fizjologicznych, takich jak podwyższona temperatura ciała, jest kluczowe dla ograniczenia strat ekonomicznych oraz poprawy dobrostanu zwierząt.

Choroby wymion u bydła mlecznego, a przede wszystkim zapalenie gruczołu mlekowego *mastitis*, stanowią jedno z najpoważniejszych problemów w hodowli bydła mlecznego na całym świecie. Pomijając postęp technologiczny, poprawę warunków bytowych zwierząt oraz wprowadzania coraz bardziej precyzyjnych metod diagnostycznych, *mastitis* wciąż powoduje znaczne straty ekonomiczne, mające swoje konsekwencje w kosztach leczenia, spadku wydajności mlecznej oraz obniżeniu jakości mleka. Skutkiem wystąpienia *mastitis* u krów jest spadek produkcji mleka związany z utylizacją udojonego mleka z chorych ćwiartek wymienia. W przypadku wykrycia klinicznego zapalenia gruczołu mlekowego produkcja może spaść o kilkadziesiąt procent w okresie choroby i rekonwalescencji. Oprócz braku dochodu ze sprzedaży mleka w okresie karencji, trzeba doliczyć koszty leczenia związane z zakupem leków oraz usługą weterynaryjną. Konsekwencje ekonomiczne związane z wystąpieniem *mastitis* w skali świata liczone są w miliardach dolarów. Dodatkowym negatywnym aspektem zapalenia gruczołu mlekowego u krów mlecznych jest pogorszenie dobrostanu zwierząt poprzez obrzęk wymienia, miejscowy wzrost temperatury tkanki oraz apatię objawiającą się brakiem apetytu, zmniejszeniem ruchliwości oraz wyraźnym dyskomfortem zwierzęcia. Pomimo wyleczenia zapalenia gruczołu mlekowego istnieje ryzyko, że chora ćwiartka wymienia nie zregeneruje się w pełni do stanu sprzed wystąpienia infekcji. Obniży to wydajność laktacyjną oraz zwiększy podatność na kolejne infekcje.

Dynamiczny rozwój narzędzi cyfrowych oraz technologii precyzyjnego rolnictwa otworzył nowe możliwości w zakresie automatycznego monitorowania stanu zdrowia zwierząt. Rozwiązania oparte o czujniki temperatury, kamery termowizyjne, systemy komputerowego rozpoznawania obrazu oraz



algorytmy sztucznej inteligencji pozwalają na wykrywanie anomalii w czasie rzeczywistym, bez konieczności stałej obecności człowieka. Zastosowanie termografii oraz systemów samokalibrujących w środowiskach produkcyjnych – takich jak obory czy chlewnie – staje się realną alternatywą dla klasycznych, często pracochłonnych metod diagnostycznych.

W odpowiedzi na te potrzeby powstał projekt TherMobEye – interdyscyplinarne przedsięwzięcie realizowane w ramach działania „Współpraca” objętego PROW na lata 2014–2020, mające na celu opracowanie uniwersalnego, mobilnego detektora do szybkiej, nieinwazyjnej diagnostyki zdrowotnej zwierząt hodowlanych. Projekt zakłada połączenie nowoczesnych technologii: termowizji, analizy obrazu, przetwarzania danych radiometrycznych oraz systemów webowo-mobilnych. Szczególny nacisk położono na uwzględnienie wpływu warunków środowiskowych – takich jak rodzaj podłoża (ruszta, ściółka) czy zmienne temperatury otoczenia – na dokładność pomiarów.

Konsorcjum projektowe, w skład którego wchodzi jednostki naukowe oraz partnerzy technologiczni, realizuje prace badawczo-rozwojowe prowadzące do wytworzenia systemu umożliwiającego automatyczną detekcję charakterystycznych obszarów ciała zwierząt, pomiar ich temperatury oraz przesyłanie danych do systemu chmurowego. Efektem końcowym operacji jest stworzenie dwóch odrębnych technologii – dla bydła i trzody chlewnej – znacząco wspierających rolników i lekarzy weterynarii w codziennej praktyce, przyczyniając się do poprawy dobrostanu zwierząt, ograniczenia strat produkcyjnych oraz zwiększenia efektywności gospodarstw rolnych.



2. Cel projektu

Efektom końcowym realizacji projektu TherMobEye jest w pełni funkcjonalny, zintegrowany system wspierający diagnostykę zdrowotną zwierząt gospodarskich, opracowany z myślą o realnych warunkach prowadzenia chowu i hodowli trzody chlewnej oraz bydła mlecznego. Opracowane rozwiązanie obejmuje zarówno mobilne urządzenie pomiarowe wyposażone w czujniki termowizyjne, dalmierz laserowy, sensory środowiskowe oraz system samokalibracji, jak i zaawansowane komponenty programistyczne w postaci algorytmów analizy obrazu radiometrycznego oraz dedykowanych aplikacji webowej i mobilnej.

System TherMobEye umożliwia automatyczne rozpoznawanie charakterystycznych obszarów ciała zwierząt, takich jak wymię, ucho, głowa czy tułów, a następnie dokonuje precyzyjnej analizy ich temperatury na podstawie danych zarejestrowanych przez matryce termowizyjne. Dzięki wdrożeniu mechanizmów inteligentnej filtracji danych (np. filtr bilateralny), redukcji szumów oraz selektywnej kompresji danych radiometrycznych, uzyskano wysoką jakość danych przy zachowaniu efektywnego przetwarzania i przechowywania informacji. Cały proces uzupełnia system korekcji pomiarów w oparciu o warunki środowiskowe, co znacząco zwiększa wiarygodność wyników uzyskiwanych w warunkach polowych i produkcyjnych.

W projekcie wykorzystano nowoczesne podejścia z zakresu sztucznej inteligencji i głębokiego uczenia do detekcji i segmentacji obrazów, co pozwoliło na skuteczne wyodrębnianie interesujących regionów anatomicznych oraz klasyfikację obiektów w zmiennych warunkach środowiskowych. Opracowane algorytmy uwzględniają m.in. typ podłoża (np. beton, ruszta, ściółka), charakterystykę tła oraz pozycję zwierzęcia względem kamery, co przekłada się na większą dokładność i powtarzalność pomiarów.

System TherMobEye został także wzbogacony o warstwę użytkową w postaci oprogramowania webowego i mobilnego, które umożliwia zarządzanie pomiarami, wizualizację danych, przypisywanie wyników do konkretnych zwierząt, budynków i gospodarstw, a także wykonywanie analizy porównawczej offline. Interfejsy te uwzględniają potrzeby trzech głównych grup użytkowników: hodowców, lekarzy weterynarii oraz badaczy, zapewniając każdej z nich odpowiedni poziom uprawnień oraz dostęp do funkcji zgodnych z ich rolą.

Realizacja projektu zaowocowała stworzeniem dwóch innowacyjnych technologii – osobno dla produkcji trzody chlewnej oraz bydła mlecznego – które mogą być z powodzeniem wdrażane w gospodarstwach rolnych, instytucjach badawczych oraz jednostkach doradztwa zootechniczno-



weterynaryjnego. Powstały system znacząco usprawnia procesy diagnostyczne, redukuje czas potrzebny na identyfikację jednostek chorobowych, umożliwia wcześniejsze wykrywanie stanów gorączkowych i zmian zapalnych oraz stanowi realną alternatywę dla klasycznych metod oceny dobrostanu zwierząt.

TherMobEye to nie tylko odpowiedź na aktualne potrzeby sektora rolniczego, ale również platforma rozwojowa, która może zostać rozszerzona o kolejne funkcjonalności, takie jak predykcja rozwoju chorób, powiązanie pomiarów z danymi zootechnicznymi czy integracja z systemami zarządzania gospodarstwem (Farm Management Systems). Projekt dowodzi, że nowoczesna technologia – odpowiednio zaadaptowana do specyfiki rolnictwa – może istotnie przyczynić się do poprawy efektywności, transparentności i jakości produkcji zwierzęcej w Polsce.





3. Urządzenie pomiarowe

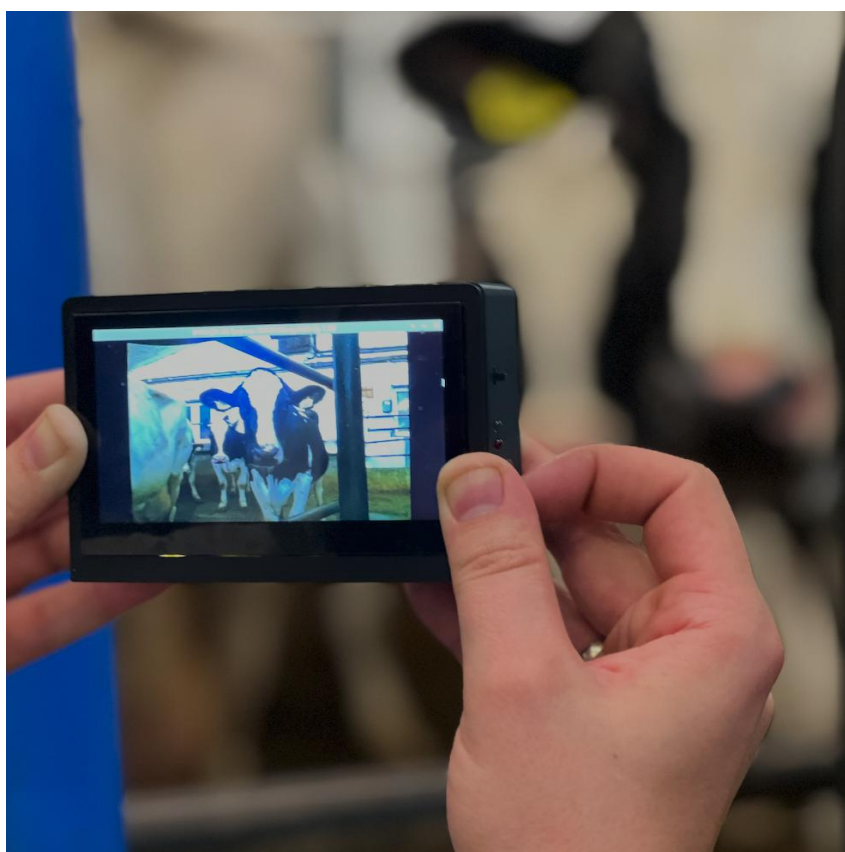


3.1 Urządzenie pomiarowe

Urządzenie TherMobEye stanowi zaawansowane, innowacyjne rozwiązanie multispektralne dedykowane precyzyjnemu, bezkontaktowemu pomiarowi temperatury powierzchniowej zwierząt hodowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem wykrywania stanów gorączkowych u bydła oraz trzody chlewnej. Głównym celem tego systemu jest zapewnienie maksymalnej dokładności i powtarzalności wyników pomiarowych dzięki wykorzystaniu nowatorskiej technologii kalibracji wewnętrznej oraz integracji danych multisensorycznych.



System TherMobEye składa się z kilku kluczowych komponentów, których synergiczne działanie umożliwia uzyskanie wyjątkowej precyzji:





3.1.1 Komponenty

3.1.1.1 Czujniki termowizyjne

- Matryca termowizyjna FLIR Lepton 2.5 Radiometric: zapewnia obrazowanie termowizyjne o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, pozwalające na szczegółowe i kompleksowe analizy termiczne całych obserwowanych powierzchni zwierząt. Matryca ta charakteryzuje się wysoką czułością termiczną, umożliwiając wychwytywanie nawet drobnych zmian temperaturowych, istotnych z punktu widzenia diagnostycznego.

- Czujnik punktowy MLX90614-DCI: specjalistyczny sensor na podczerwień, wyposażony w certyfikat medyczny zgodny z rygorystycznymi normami MDR (Medical Device Regulation). Czujnik ten oferuje niezwykle wysoką precyzję pomiaru ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) szczególnie istotną w zakresie temperatury ciała, dzięki czemu stanowi kluczowy element wzorcowy w systemie kalibracji.

3.1.1.2 System kalibracji Self-Calibrate

Centralnym elementem unikalnej wartości technologicznej urządzenia TherMobEye jest autorska metoda kalibracji typu „self-calibrate”. Metoda ta opiera się na porównaniu wyników pomiarów uzyskiwanych punktowo przez sensor MLX90614-DCI z odpowiadającym tym samym punktem na obrazie uzyskanym przez matrycę FLIR Lepton 2.5. Dzięki ciągłemu porównywaniu i korekcji danych algorytm eliminuje typową niedokładność absolutnych pomiarów temperatury matryc termowizyjnych, radykalnie zwiększając dokładność wyników końcowych i umożliwiając ich wiarygodną interpretację medyczno-weterynaryjną.

3.1.1.3 Dalmierz laserowy

Urządzenie wyposażono także w precyzyjny dalmierz laserowy, który dostarcza danych na temat odległości urządzenia od mierzonego obiektu. Informacja ta jest wykorzystywana do dynamicznej kompensacji pomiarów termicznych. Dzięki uwzględnieniu strat energii promieniowania elektromagnetycznego, wynikających z odległości między czujnikami a badanym obiektem, urządzenie zapewnia jednolitą dokładność pomiarową niezależnie od zmieniających się warunków pracy.



3.1.1.3 Czujniki środowiskowe (termometry i higrometry)

Istotnym uzupełnieniem systemu są zewnętrzne oraz wewnętrzne sensory temperatury i wilgotności, które na bieżąco analizują warunki środowiskowe otoczenia pomiarowego. Pozyskane dane pozwalają algorytmowi urządzenia dokonać automatycznej korekcji wyników, uwzględniając wpływ parametrów środowiska na dokładność pomiarów termicznych, co jest szczególnie istotne w zróżnicowanych warunkach gospodarskich.

3.1.1.3 Kamera wizyjna

Elementem dopełniającym system TherMobEye jest wysokiej jakości kamera wizyjna, dostarczająca obrazu referencyjnego badanego obszaru. Obraz ten jest następnie przetwarzany przez zaawansowane algorytmy analityczne, które dokładnie określają obszary podlegające badaniu termicznemu. Funkcja ta ma kluczowe znaczenie dla użytkownika, wspomagając go wizualnie w precyzyjnym określeniu obszaru pomiarowego oraz zapewniając poprawność i powtarzalność procedury diagnostycznej.

Dzięki zastosowaniu tej złożonej i zaawansowanej technologii multisensorycznej i multispektralnej urządzenie TherMobEye umożliwia szybką, precyzyjną oraz niezawodną detekcję stanów gorączkowych u zwierząt hodowlanych. Ma to bezpośrednie przełożenie na poprawę dobrostanu zwierząt, zwiększenie efektywności hodowli oraz optymalizację ekonomiczną gospodarstw rolnych.





3.1.2 Dane techniczne

Komponent	Parametr	Wartość
Czujnik termowizyjny 1	Rozdzielczość termiczna	80 × 60 pikseli
	Zakres spektralny	8–14 μm
	Częstotliwość odświeżania	8,7 Hz
	Czułość termiczna (NETD)	<50 mK @ f/1.0
Czujnik termowizyjny 2	Zakres spektralny	5,5–14 μm
	Dokładność	±0,2°C w zakresie 22–42°C
	Certyfikacja	Zgodność z MDR (Medical Device Regulation)
	Rozdzielczość termiczna	1 piksel
Kamera wizyjna	Obiektyw	1/4” CMOS, ogniskowa ok. 3,6 mm, FOV 54° x 41°
	Rozdzielczość optyczna	5 Mpix (2592 × 1944)



Dalmierz laserowy	Zakres pomiarowy	20 mm – 3500 mm
	Dokładność	$\pm 1\%$
	Zasilanie	2,8–3,3 V
Czujniki środowiskowe	Zakres temperatury pracy	-40°C do +125°C
	Zakres wilgotności	0% – 100% RH
	Dokładność temperatury	$\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
	Dokładność wilgotności	$\pm 1.8\%$ RH
	Typ baterii	Li-Ion 3,7V, 6900 mAh
Zasilanie	Łączna pojemność	6900 mAh
	Czas pracy	Około 5 godzin
	Ładowanie	USB-C, 5V 1A
	Ochrona	Wbudowany system BMS
Wyświetlacz	Typ matrycy	IPS, TFT
	Przekątna ekranu	4,3 cala
	Rozdzielczość	800 × 480 pikseli



3.2 Urządzenie stabilizujące

Ze względu na specyficzne warunki pracy urządzenia TherMobEye w gospodarstwach rolnych, wymagające częstego przemieszczania się między pomieszczeniami ogrzewanymi (chlewnie, obory) a warunkami zewnętrznymi (często z dużymi amplitudami temperatur, np. okres zimowy), opracowano zaawansowane rozwiązanie stabilizacji termicznej kamery. Jest nim mobilne urządzenie stabilizujące, zaprojektowane w formie ergonomicznej i solidnej walizki transportowej, wyposażonej w zestaw zaawansowanych elementów elektronicznych, które gwarantują utrzymanie optymalnych warunków pracy kamery termowizyjnej.

3.2.1 Opis konstrukcji urządzenia stabilizującego

System stabilizacji termicznej umieszczono w specjalnie zaprojektowanej walizce, której wnętrze wykonano z odpornej na uszkodzenia mechaniczne pianki. W piance tej zostały zaprojektowane dedykowane, wewnętrzne kanały wentylacyjne, którymi odbywa się kontrolowany nadmuch powietrza o ustalonej temperaturze. Dzięki temu kamera termowizyjna umieszczona wewnątrz walizki jest szybko dostosowywana do docelowej temperatury roboczej – odpowiednio schładzana lub ogrzewana, w zależności od wyników analizy warunków środowiskowych.

3.2.2 Inteligentny system kontroli temperatury

Centralnym elementem systemu jest elektronika sterująca, której zadaniem jest ciągle monitorowanie warunków termicznych wewnątrz i na zewnątrz walizki. W przypadku przekroczenia ustalonego zakresu temperatury, elektronika automatycznie aktywuje odpowiedni mechanizm:

- **system ogrzewania** – poprzez termoelektryczną jednostkę chłodząco-grzewczą oraz nadmuch ciepłego powietrza zapewniający podniesienie temperatury kamery podczas ekspozycji na niskie temperatury otoczenia, szczególnie istotne w okresie zimowym,
- **system chłodzenia** – realizowany przez w/w układ, który poprzez kanały w piance wtłacza chłodne powietrze, gdy temperatura zaczyna przekraczać optymalny zakres pracy, co może



mieć miejsce w sezonie letnim lub w przypadku dużych różnic temperatur przy przechodzeniu z pomieszczeń ogrzewanych do chłodniejszych.

System ten pracuje w trybie automatycznym, co eliminuje konieczność ręcznej interwencji użytkownika. Algorytmy sterujące optymalizują pracę układu, minimalizując zużycie energii, a jednocześnie zapewniając szybkie i precyzyjne osiągnięcie oraz utrzymanie stabilnej temperatury wewnętrznej.



3.2.3 Wyświetlacz i interfejs użytkownika

Walizka stabilizująca wyposażona została dodatkowo w czytelny wyświetlacz informacyjny, który na bieżąco prezentuje użytkownikowi aktualne dane na temat warunków termicznych wewnątrz walizki oraz stan urządzenia, m.in.:



- temperaturę otoczenia wewnątrz walizki,
- temperaturę otoczenia na zewnątrz walizki,
- status pracy systemu stabilizacji (grzanie/chłodzenie/stan stabilny),
- informację o poziomie naładowania wbudowanego akumulatora.

3.2.4 Funkcjonalności dodatkowe

Dla zwiększenia praktyczności urządzenia podczas pracy terenowej, walizka została dodatkowo wyposażona w:

- **ładowarkę USB oraz kabel USB-C**, umożliwiające szybkie ładowanie kamery TherMobEye oraz urządzenia stabilizującego.
- **wbudowany akumulator**, który pozwala na autonomiczną pracę systemu stabilizacji termicznej oraz ładowanie urządzeń peryferyjnych w warunkach polowych bez dostępu do sieci elektrycznej.





3.2.5 Korzyści praktyczne rozwiązania

Zastosowanie opracowanego systemu inteligentnej stabilizacji termicznej kamery TherMobEye przekłada się na:

- **wyższą dokładność pomiarów radiometrycznych**, dzięki stabilnej temperaturze matrycy kamery termowizyjnej,
- **wydłużoną żywotność urządzenia**, poprzez ochronę elementów elektronicznych przed szokiem termicznym,
- **większy komfort pracy użytkownika**, dzięki automatycznemu dostosowaniu warunków pracy sprzętu do zmiennych warunków środowiskowych, bez konieczności manualnego dostrajania ustawień,
- **zwiększoną mobilność i łatwość transportu sprzętu** między różnymi lokalizacjami pomiarowymi, szczególnie w warunkach zmiennych termicznie.

Przedstawione rozwiązanie zapewnia stabilne środowisko pracy systemu TherMobEye, co w konsekwencji pozwala na uzyskanie wyników diagnostycznych najwyższej jakości, niezależnie od pory roku oraz panujących warunków pogodowych. Solidne wykonanie walizki chroni urządzenie w trudnych warunkach panujących w czasie hodowli zwierząt.

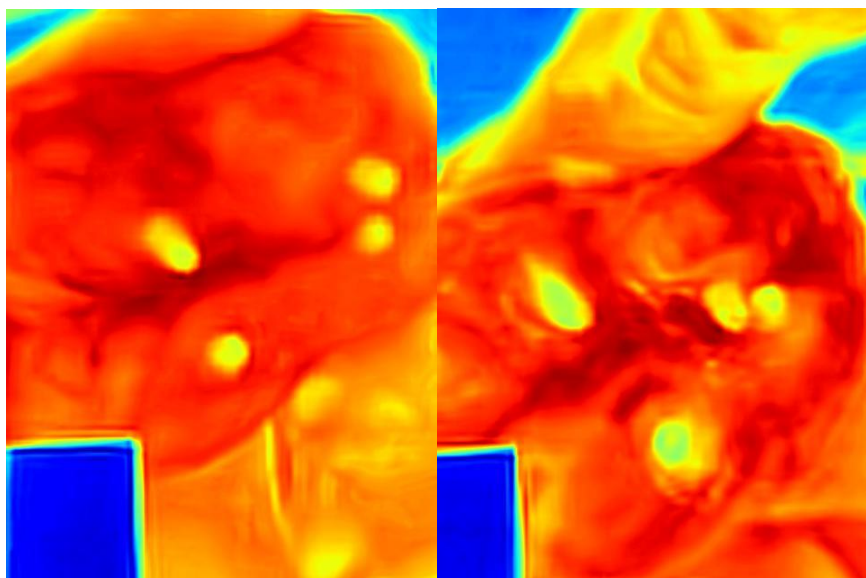


4. Przetwarzanie danych pomiarowych z wykorzystaniem algorytmów uczących

4.1 Redukcja szumów i kompresja danych radiometrycznych

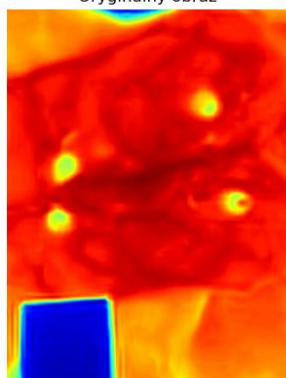
4.1.1 Mechanizm redukcji szumów

Aby poprawić jakość obrazu i usunąć szумы, na przetworzony obraz nakładany jest filtr bilateralny, również za pomocą skryptu w Pythonie. Filtr bilateralny jest powszechnie stosowany w przetwarzaniu obrazów, ponieważ efektywnie wygładza obraz, redukując zakłócenia i szумы jednocześnie zachowując krawędzie oryginalnego zdjęcia, co znacząco poprawia jego czytelność i użyteczność.

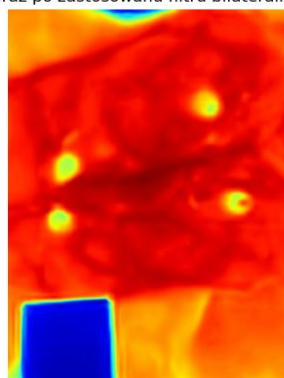


Przykłady zdjęć odtworzonych na podstawie danych radiometrycznych

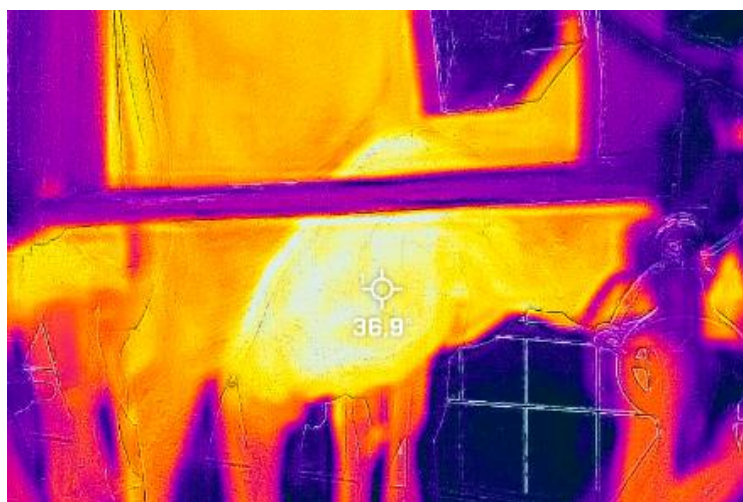
Oryginalny obraz



Obraz po zastosowaniu filtru bilateralnego

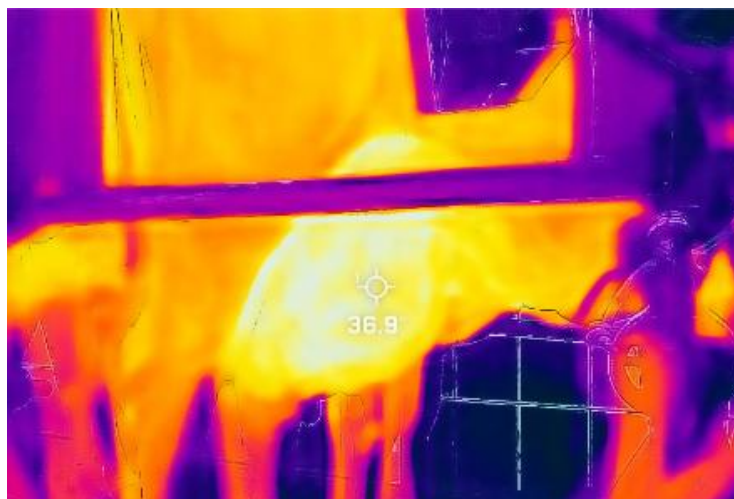


Porównanie zdjęć wymienia przed i po filtracji





Zdjęcie termowizyjne przed wykorzystaniem filtra bilateralnego



Zdjęcie termowizyjne po wykorzystaniu filtra bilateralnego

Tak odtwarzane i skorygowane zdjęcia są następnie wykorzystywane w procesie segmentacji. Segmentacja obrazu jest kluczowym etapem analizy, pozwalającym na wyodrębnienie istotnych cech i obszarów z przetwarzanego obrazu. Dzięki zastosowaniu opisanych technik kompresji i korekcji, uzyskujemy wysokiej jakości obrazy, które są łatwiejsze do analizy i interpretacji. Mechanizm ten nie tylko oszczędza przestrzeń dyskową, ale także zapewnia, że dane są przetwarzane w sposób efektywny i precyzyjny.

4.1.2 Mechanizm kompresji i zapisu pomiarów radiometrycznych

Wynikiem pomiaru radiometrycznego jest plik .ndjson zawierający szczegółowe dane radiometryczne, gdzie każda linia reprezentuje jedną klatkę pomiarową. Dodatkowo, generowane są zdjęcia i filmy zarówno w formacie normalnym, jak i termowizyjnym. Aby zoptymalizować wykorzystanie przestrzeni dyskowej oraz ułatwić przetwarzanie danych, zapisywany jest wyłącznie plik .ndjson. Z tego pliku, do dalszego przetwarzania wybierana jest tylko jedna klatka pomiarowa, co pozwala znacząco zmniejszyć rozmiar przechowywanych danych.

1	[297.9000047963541, 297.9000047963541, 297.9000047963541, 297.8932053399128, 297.88640543405995, 297.886405434059
2	[297.7026377853469, 297.7026377853469, 297.7026377853469, 297.6958252611534, 297.6958252611534, 297.6890122850577
3	[297.729883364823, 297.729883364823, 297.729883364823, 297.7366936307986, 297.74350344538897, 297.74350344538897
4	[297.83198999815284, 297.83198999815284, 297.82518604374434, 297.82518604374434, 297.82518604374434, 297.81838163
5	[296.88188385745093, 296.88188385745093, 296.88188385745093, 296.88875077088124, 296.88875077088124, 296.89561722
6	[297.14935175851167, 297.14935175851167, 297.14935175851167, 297.14935175851167, 297.14935175851167, 297.14935175
7	[297.36145629855184, 297.36145629855184, 297.3546210730555, 297.3477853913115, 297.3409492532322, 297.33411265873

Struktura pliku źródłowego .ndjson zawierającego informacje o pomiarach radiometrycznych



Wybrana klatka jest następnie przetwarzana na obraz .png za pomocą specjalnie zaprojektowanego skryptu w języku Python. Proces ten jest kluczowy, ponieważ umożliwia konwersję danych radiometrycznych na wizualnie interpretowalny format.

Name	Health	Status	Primaries	Replicas	Docs count	Storage size	Data stream
thermobeye_prod_sensor_2024-03-08_0xthermobeye007	yellow	open	1	1	23376	154.13mb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-08_0xthermobeye008	yellow	open	1	1	6200	41.14mb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-10_0xthermobeye001	yellow	open	1	1	490249	3.13gb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-10_0xthermobeye002	yellow	open	1	1	372041	2.37gb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-10_0xthermobeye003	yellow	open	1	1	506214	3.24gb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-10_0xthermobeye004	yellow	open	1	1	446447	2.86gb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-10_0xthermobeye005	yellow	open	1	1	507634	3.25gb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-11_0xthermobeye001	yellow	open	1	1	56253	434.84mb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-11_0xthermobeye002	yellow	open	1	1	143554	965.57mb	
thermobeye_prod_sensor_2024-03-11_0xthermobeye003	yellow	open	1	1	204183	1.32gb	

Indeksy systemu TherMobEye w narzędziu Elasticsearch wyświetlone za pomocą narzędzia Kibana

Do zbierania i przetwarzania danych radiometrycznych z urządzeń pomiarowych zostało wykorzystane oprogramowanie bazodanowe Elasticsearch.

Elasticsearch, dzięki zastosowaniu indeksowania przesyłanych danych pozwala na ich szybkie przeszukiwanie, co pozwala na tworzenie systemów z analityką w czasie rzeczywistym.

Ze względu na zastosowanie technologii NoSQL i wykorzystywanie indeksów oraz dokumentów do przechowywania danych, pozwala to na zmienianie schematu przesyłanych pomiarów bez potrzeby modyfikowania samej bazy danych.

4.2 System analizy klatek pomiaru radiometrycznego

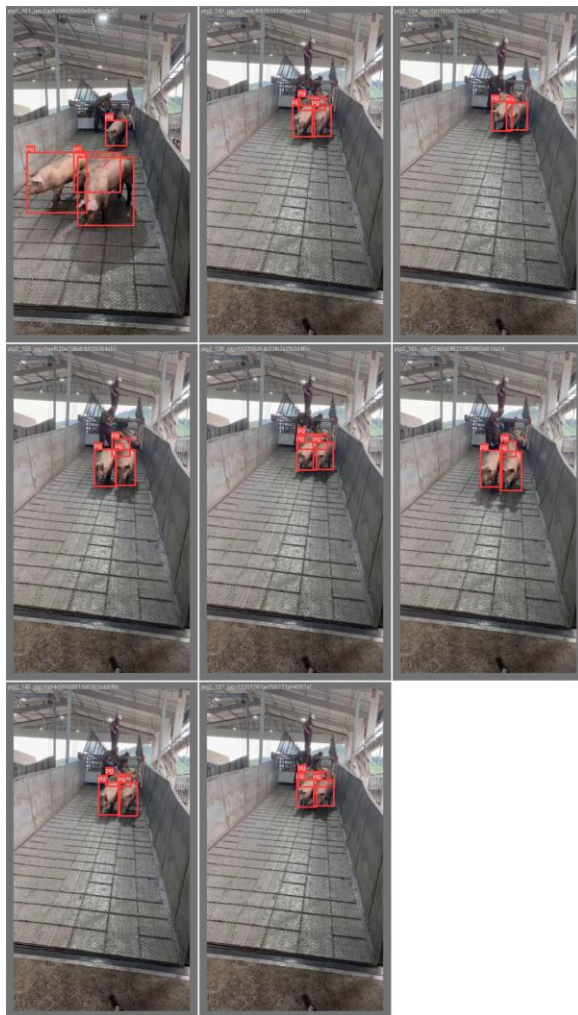
4.2.1 Algorytm detekcji typu zwierzęcia poddanego pomiarowi

W ramach systemu TherMobEye opracowano i wdrożono algorytm detekcji typu zwierzęcia na zdjęciach pomiarowych, oparty na architekturze YOLOv8 – nowoczesnym modelu detekcji obiektów wykorzystującym sieci konwolucyjne. Model został wytrenowany na otwartych



zbiorach danych zawierających zdjęcia krów i świń wykonane z różnych kątów, w różnych warunkach środowiskowych (pastwiska, obory, chlewnie) oraz przy zróżnicowanych poziomach zbliżenia. Celem działania algorytmu jest identyfikacja obecności danego gatunku zwierzęcia w klatce pomiarowej oraz lokalizacja jego sylwetki za pomocą bounding boxa, co pozwala na dalszą segmentację i analizę danych radiometrycznych w zależności od wykrytego gatunku. Model osiągnął wysoką skuteczność detekcji, a jego wyniki zostały zweryfikowane zarówno na zbiorach testowych, jak i w praktyce, czego potwierdzeniem są dołączone wizualizacje predykcji. Algorytm stanowi pierwszy krok w automatycznym przetwarzaniu obrazu w systemie i pozwala na skuteczne rozróżnienie bydła i trzody w ramach dalszej analizy zdrowotnej.





4.3 Algorytm rozpoznawania typu podłoża na zdjęciu pomiarowym

W ramach realizacji projektu TherMobEye jednym z kluczowych elementów badawczych było opracowanie algorytmu uczenia maszynowego dedykowanego rozpoznawaniu typu podłoża, na którym znajduje się zwierzę podczas wykonywania zdjęcia radiometrycznego. Potrzeba rozwoju tego rozwiązania wynikała bezpośrednio z założeń projektowych związanych z koniecznością uwzględnienia środowiska otoczenia w procesie analizy termicznej zwierząt hodowlanych, co znacząco wpływa na interpretację wyników pomiarowych.

Na wstępnym etapie prac dokonano szczegółowego przeglądu dostępnych metod analizy obrazu i uczenia maszynowego, które mogłyby być efektywne w realizacji postawionego zadania. W wyniku analizy założono, że algorytm powinien charakteryzować się dużą



dokładnością klasyfikacji oraz odpornością na różnorodne warunki środowiskowe występujące w gospodarstwach hodowlanych.

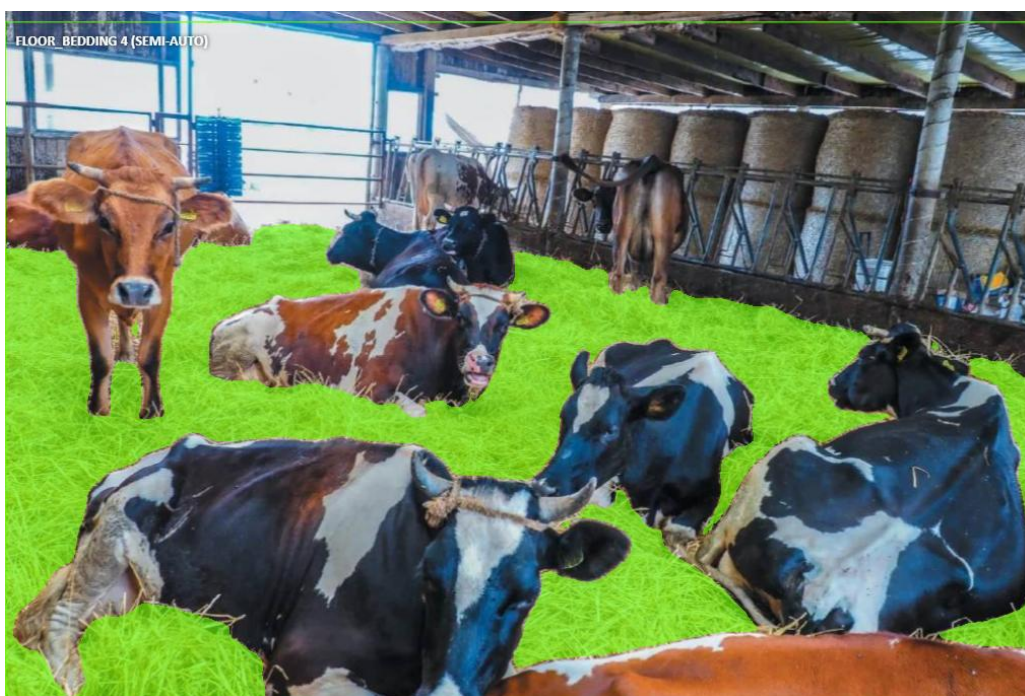
Do budowy algorytmu wykorzystano zebrane dane wejściowe w postaci zdjęć pomiarowych przedstawiających różnorodne typy podłoża, takie jak beton, drewno, słoma, czy ziemia. Dane te zostały starannie sklasyfikowane, opisane, a następnie poddane procesowi etykietowania w celu stworzenia odpowiednio dużej i różnorodnej bazy treningowej. Następnie zbiór danych został podzielony na trzy podstawowe podzbiory: treningowy, walidacyjny oraz testowy, zgodnie z najlepszymi praktykami w zakresie uczenia maszynowego. Proces ten zapewnił optymalizację parametrów algorytmu oraz obiektywną ocenę jego skuteczności na niezależnym zestawie danych.



Przykład oznaczonego zdjęcia podłoża bezściółkowego u krów



Przykład oznaczonego zdjęcia podłoża bezściółkowego u świń



Przykład oznaczonego zdjęcia podłoża ściółkowego u krów



Przykład oznaczonego zdjęcia podłoża ściółkowego u świń

Wykorzystano zaawansowane techniki uczenia głębokiego, w szczególności sieci neuronowe o architekturze konwolucyjnej (CNN), które są szczególnie skuteczne w zadaniach klasyfikacji obrazów. Model został oparty na architekturze YOLO, co pozwoliło na głębszą ekstrakcję cech charakterystycznych podłoża przy jednoczesnym ograniczeniu ryzyka przeuczenia modelu.

Podczas treningu algorytm wielokrotnie optymalizowano poprzez dostrajanie hiperparametrów, takich jak liczba warstw sieci, współczynnik uczenia (learning rate), metody augmentacji danych oraz wielkość zbioru treningowego. Finalny model osiągnął satysfakcjonującą dokładność klasyfikacji wynoszącą około 94%, co zostało zweryfikowane za pomocą rygorystycznych metod ewaluacji, w tym analizę macierzy błędów (confusion matrix), wskaźników czułości (recall) oraz precyzji (precision). Wyniki wykazały szczególnie wysoką skuteczność w rozpoznawaniu podłoży najbardziej istotnych z perspektywy analizy termicznej zwierząt, takich jak beton czy słoma.

W wyniku zakończonych badań model został zintegrowany z głównym systemem analizy obrazów radiometrycznych aplikacji TherMobEye, umożliwiając automatyczne dostosowanie procedur pomiarowych i kalibracyjnych do zidentyfikowanego typu podłoża, co znacząco wpłynęło na jakość końcowych danych diagnostycznych.



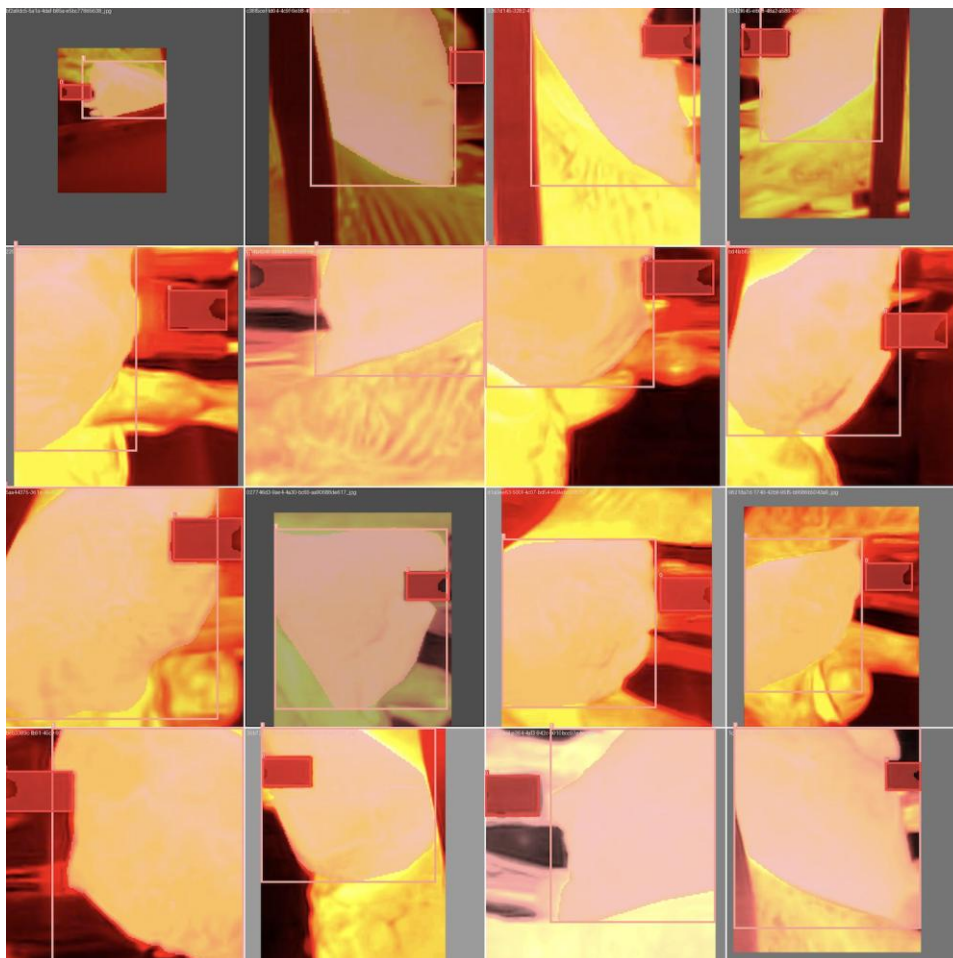
Opracowany algorytm stanowi ważny element całego procesu diagnostycznego projektu TherMobEye, zapewniając adaptacyjność systemu pomiarowego do rzeczywistych warunków gospodarstw hodowlanych i stanowiąc solidną podstawę do dalszego rozwoju systemów opartych o sztuczną inteligencję w rolnictwie precyzyjnym.

4.4 Algorytmy segmentacji wymienia w pomiarze radiometrycznym

4.4.1 Algorytm segmentacji pomiaru radiometrycznego wymienia wykonanego od boku

4.4.1.1 Wytrenowanie modelu segmentacji

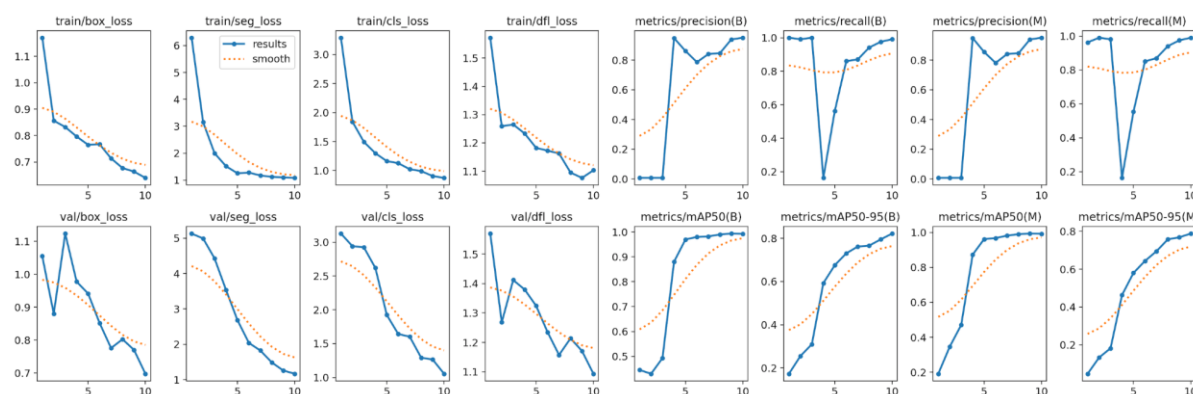
Do wytrenowania modelu segmentacji wykorzystano specjalnie dostosowaną wersję modelu YOLOv8, która jest zoptymalizowana do zadań segmentacji obrazów. YOLOv8 jest nowoczesnym, zaawansowanym modelem zaprojektowanym przez Ultralytics, znanym ze swojej wysokiej wydajności i dokładności w zadaniach wizji komputerowej, takich jak wykrywanie obiektów i segmentacja instancji. Proces treningowy odbywał się na wcześniej opisanym zbiorze danych, który został starannie przygotowany i podzielony na zestawy treningowe, walidacyjne oraz testowe w proporcjach 7:2:1, co zapewnia odpowiednią równowagę pomiędzy trenowaniem modelu a jego oceną. Model YOLOv8 do segmentacji instancji pozwala na precyzyjne identyfikowanie i konturowanie poszczególnych obiektów na obrazach, co jest kluczowe dla dokładnej analizy termograficznej wymion krów. Algorytmy YOLOv8 są zaprojektowane do szybkiego i dokładnego przetwarzania, co czyni je idealnym wyborem do zastosowań w czasie rzeczywistym, takich jak analiza termowizyjna w oborach. Wykorzystanie modelu YOLOv8-seg obejmowało kilka kluczowych kroków: załadowanie wstępnie wytrenowanego modelu, dostosowanie go do specyficznego zadania segmentacji wymion i ciała doskonale czarnego oraz przeprowadzenie pełnego treningu z użyciem przygotowanego zbioru danych. Po zakończeniu treningu model był walidowany na zestawie testowym, co pozwoliło na ocenę jego dokładności i wydajności. Model osiągnął wysokie wskaźniki mAP (mean Average Precision) zarówno dla segmentacji, jak i dla wykrywania obiektów, co potwierdza jego skuteczność i przydatność w praktycznych zastosowaniach



Przykładowy batch treningowy algorytmu segmentacji zdjęcia termowizyjnego wymienia

4.4.1.2 Ewaluacja modelu

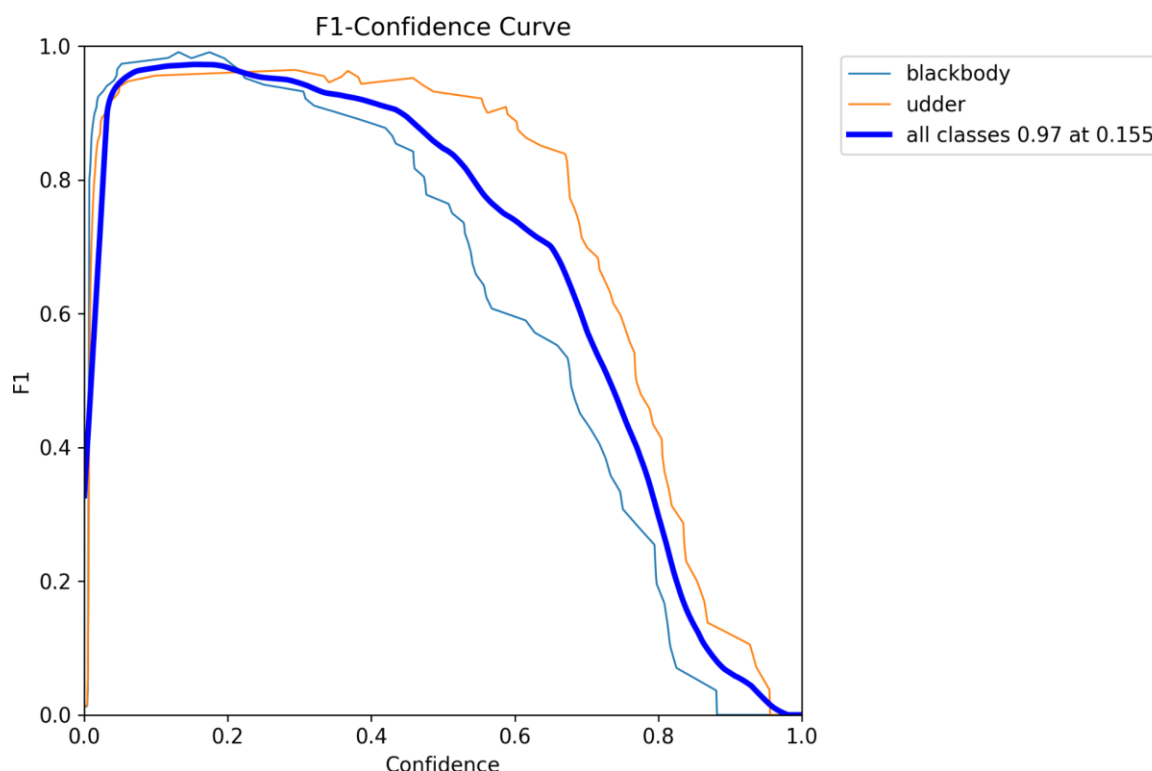
4.4.1.2.1 Metryki modelu segmentacji



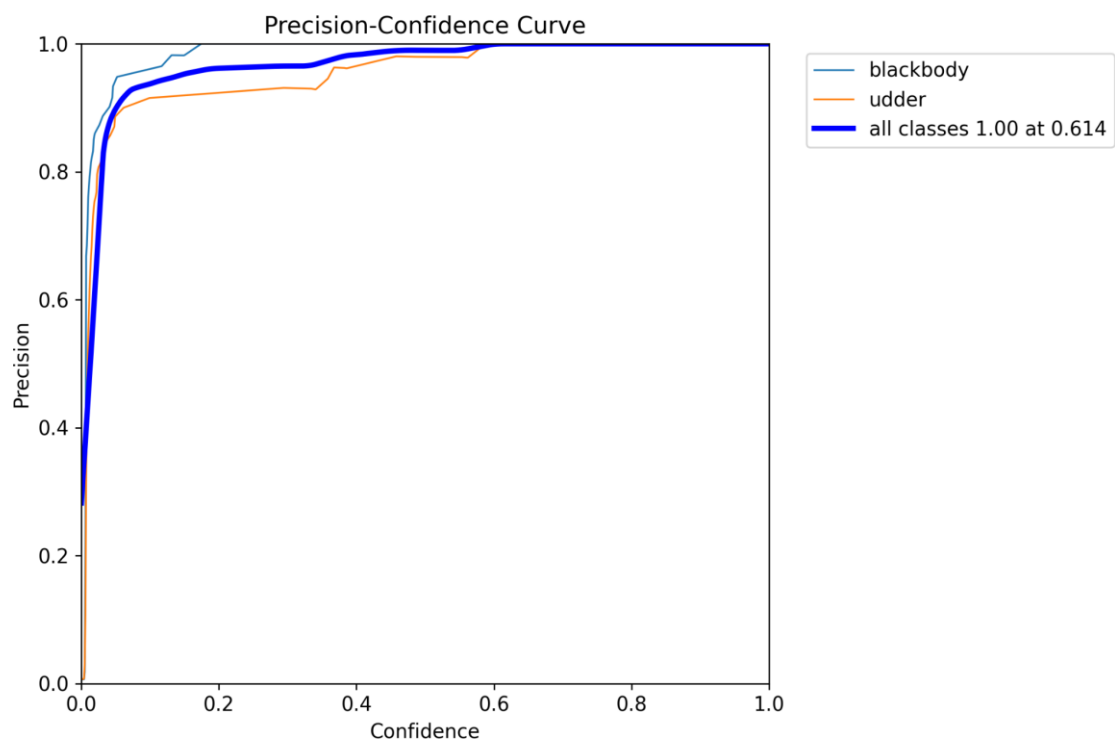
Na podstawie przeprowadzonej ewaluacji modelu segmentacji przy użyciu biblioteki Ultralytics, uzyskano szereg wyników, które można przedstawić za pomocą czterech kluczowych ilustracji.



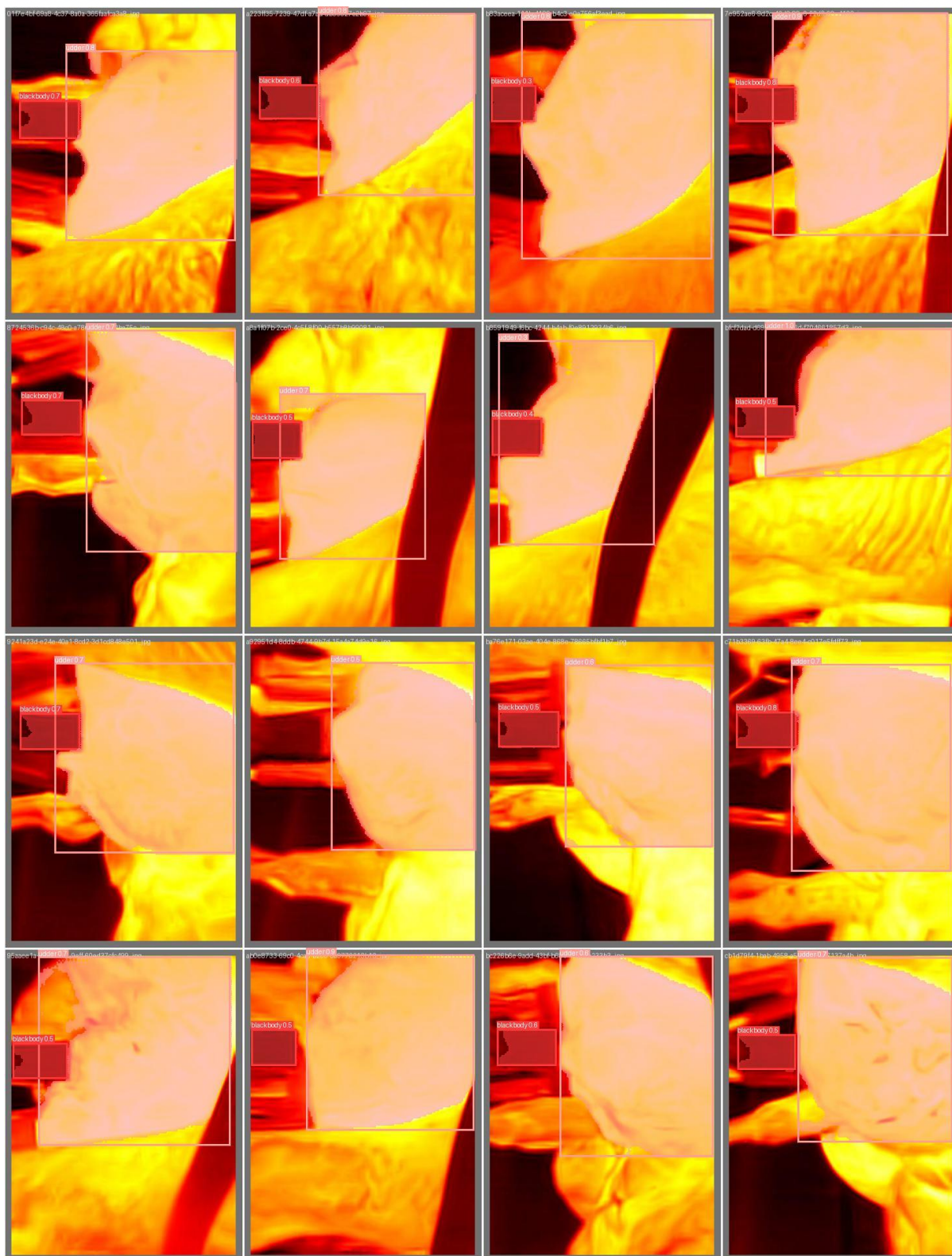
Pierwszy obraz przedstawia różne wykresy dotyczące strat i metryk modelu w trakcie treningu i walidacji. Wykresy "train/box_loss", "train/seg_loss", "train/cls_loss", i "train/dfl_loss" ilustrują spadek wartości strat dla poszczególnych komponentów modelu w miarę postępu treningu. Analogiczne wykresy dla walidacji, "val/box_loss", "val/seg_loss", "val/cls_loss", i "val/dfl_loss", pokazują jak dobrze model generalizuje na zestawie walidacyjnym. Ponadto, wykresy "metrics/precision(B)", "metrics/recall(B)", "metrics/precision(M)", i "metrics/recall(M)" obrazują zmiany w precyzji i czułości modelu zarówno dla detekcji obiektów (B) jak i segmentacji maski (M). Wykresy "metrics/mAP50(B)", "metrics/mAP50-95(B)", "metrics/mAP50(M)", i "metrics/mAP50-95(M)" przedstawiają średnią precyzję modelu (mAP) na różnych progach, co jest kluczowym wskaźnikiem jego wydajności.



Drugi obraz przedstawia krzywą F1-Confidence, która ilustruje relację pomiędzy wartością współczynnika F1 a poziomem pewności (confidence) dla dwóch klas: "blackbody" i "udder". Krzywa F1 dla wszystkich klas jest również przedstawiona, pokazując ogólną wydajność modelu przy różnych progach pewności. Wyższe wartości współczynnika F1 przy danym poziomie pewności wskazują na lepszą równowagę pomiędzy precyzją a czułością modelu.



Trzeci obraz pokazuje krzywą Precision-Confidence, która ukazuje relację pomiędzy precyzją a poziomem pewności dla tych samych klas. Wyższa precyzja przy wyższych poziomach pewności wskazuje na skuteczność modelu w dokładnym identyfikowaniu prawidłowych detekcji, minimalizując fałszywe alarmy.



Czwarty obraz przedstawia wyniki predykcji modelu na batchu zdjęć termowizyjnych z zestawu walidacyjnego. Na zdjęciach widoczne są zaznaczone obszary "udder" (wymię) oraz "blackbody" (ciało doskonale czarne), co potwierdza zdolność modelu do precyzyjnej segmentacji tych obszarów na obrazach termowizyjnych. Wyniki te obrazują, jak model radzi



sobie z rzeczywistymi danymi i jak skutecznie jest w stanie rozpoznawać oraz segmentować interesujące nas obszary.

4.4.1.2.2 Ewaluacja za pomocą wskaźników Jacquard i DICE

Manually Cut



Original Mask
Dice: 0.95, Jaccard: 0.91



Manually Cut



Original Mask
Dice: 0.98, Jaccard: 0.96





Skuteczność modelu segmentacji została zweryfikowana przy użyciu wskaźników Jacquard i DICE, które są powszechnie stosowane do oceny jakości segmentacji w analizie obrazów. Proces ewaluacji polegał na porównaniu oryginalnych masek segmentacyjnych z wynikami generowanymi przez model. W celu przeprowadzenia tej analizy, wykorzystano skrypt napisany w języku Python, który automatycznie obliczał wartości wskaźników Jacquard i DICE dla poszczególnych obrazów.

Na przedstawionych obrazach można zaobserwować wyniki tej ewaluacji. Każdy zestaw składa się z dwóch obrazów: ręcznie wyciętej maski segmentacyjnej ("Manually Cut") oraz maski generowanej przez model ("Original Mask"). Wartości wskaźników Dice i Jacquard są podane dla każdej pary obrazów, co pozwala na ocenę zgodności między nimi. Na pierwszym zestawie obrazów, wskaźnik Dice wynosi 0.95, a wskaźnik Jacquard 0.91, co wskazuje na wysoką zgodność segmentacji. Podobnie, w drugim zestawie, wskaźniki wynoszą odpowiednio 0.98 i 0.96, co również świadczy o bardzo dobrej jakości segmentacji. Wskaźnik Dice (lub współczynnik F1) jest miarą podobieństwa dwóch zbiorów, uwzględniającą zarówno precyzję, jak i czułość modelu. Wartości bliższe 1 wskazują na wysoką dokładność segmentacji. Z kolei wskaźnik Jacquard (lub współczynnik IoU) mierzy stopień nakładania się dwóch zbiorów, również z wartościami bliższymi 1 wskazującymi na lepszą jakość segmentacji. Wysokie wartości obu wskaźników w przedstawionych wynikach ewaluacji potwierdzają, że model YOLOv8 jest w stanie precyzyjnie i skutecznie segmentować obrazy termowizyjne, co jest kluczowe dla analizy termograficznej wymion krów.

4.4.2 Algorytm segmentacji pomiaru radiometrycznego wymienia wykonanego od dołu

4.4.2.1 Wytrenowanie modelu segmentacji

W ramach dalszej części badań przeprowadzono proces wytrenowania modelu segmentacji, podobnie jak w poprzedniej serii. Kluczową różnicą w tej fazie jest uwzględnienie nowej klasy - "nipple" (strzyki), co pozwala na jeszcze bardziej precyzyjne i szczegółowe rozpoznawanie struktury wymienia. Model segmentacji, oparty na architekturze YOLOv8, został specjalnie



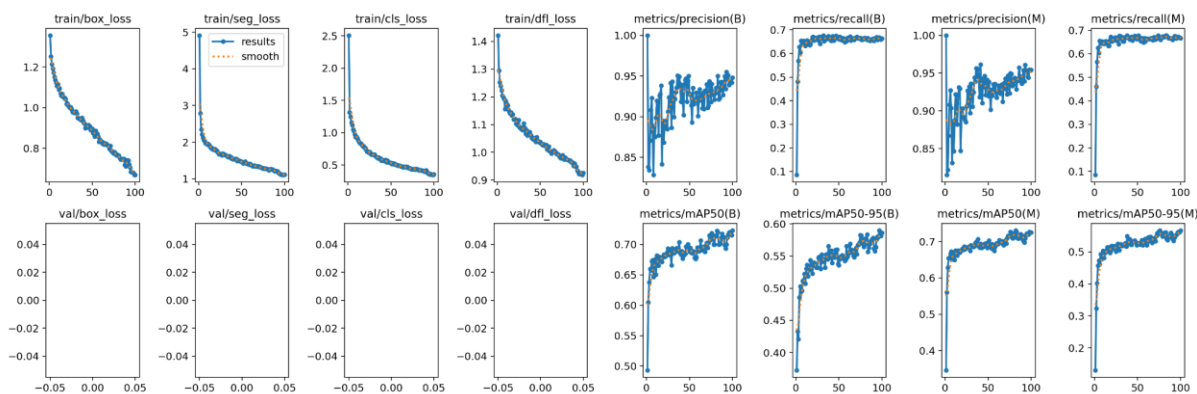
dostosowany do rozpoznawania trzech klas: wymienia, ciała doskonale czarnego (blackbody) oraz strzyków.

Trening modelu trwał 100 epok, co pozwoliło na dokładne dostosowanie parametrów modelu do zróżnicowanych danych treningowych. Zastosowanie dodatkowych operacji na zbiorze danych wejściowych, takich jak różne rodzaje rotacji obrazów, również przyczyniło się do zwiększenia efektywności treningu. Dzięki temu model osiągnął wysoką precyzję i dokładność w segmentacji obrazów termowizyjnych wymion, uwzględniając wszystkie kluczowe obszary zainteresowania.

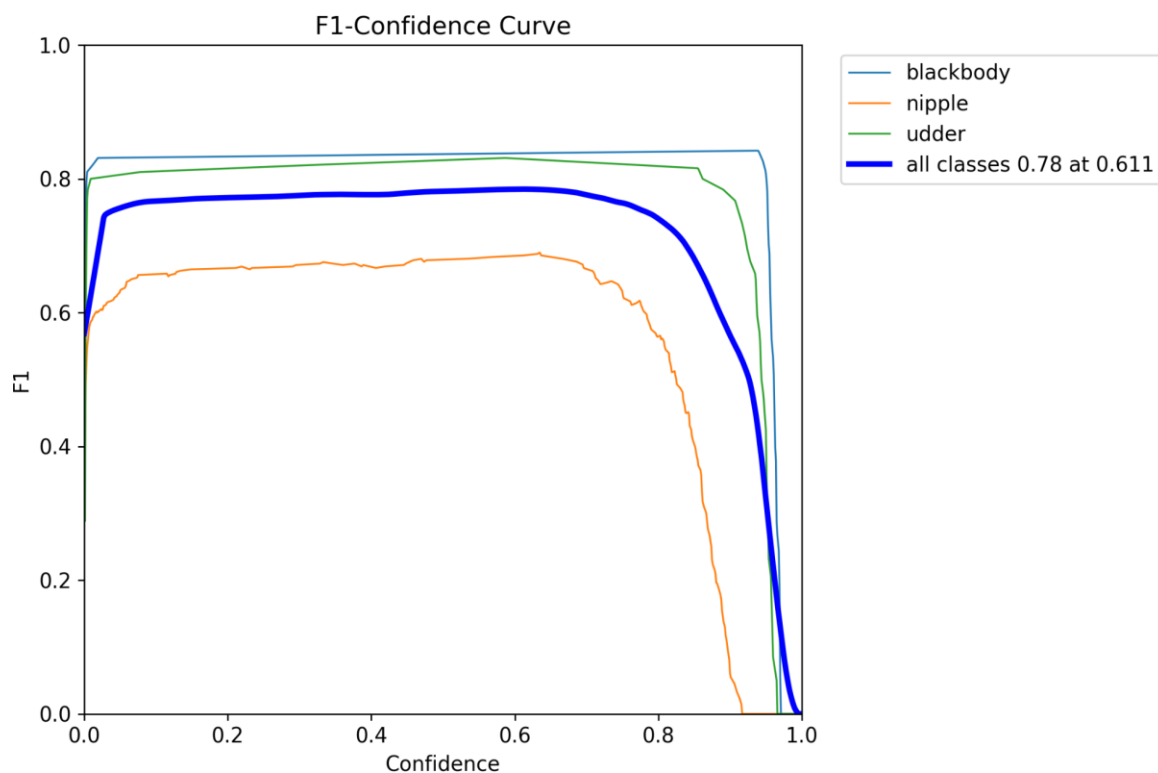
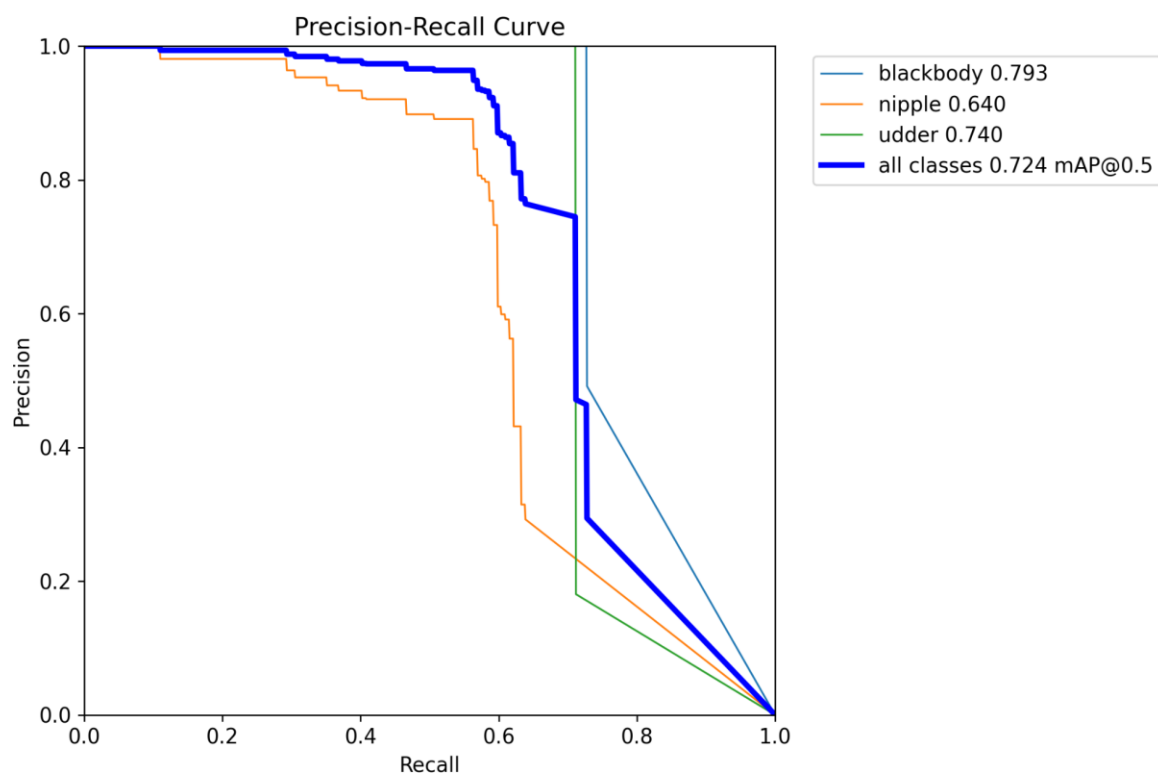
4.4.2.2 Ewaluacja modelu

4.4.2.2.1 Metryki modelu segmentacji

W ramach kolejnego etapu ewaluacji modelu segmentacji, po dokonaniu modyfikacji w metodologii pomiarów, przeprowadzono szczegółową analizę jego metryk w celu oceny skuteczności rozpoznawania nowych klas, w tym "nipple". Proces ten obejmował szkolenie modelu przez 100 epok oraz jego ewaluację na nowym zbiorze danych.



Na pierwszym wykresie przedstawione są metryki strat treningowych i walidacyjnych dla klas, strat segmentacyjnych, strat klasyfikacyjnych oraz strat DF. Widoczne jest stopniowe zmniejszanie się strat treningowych i walidacyjnych, co sugeruje, że model uczy się poprawnie i optymalizuje swoje działanie w miarę postępu treningu.



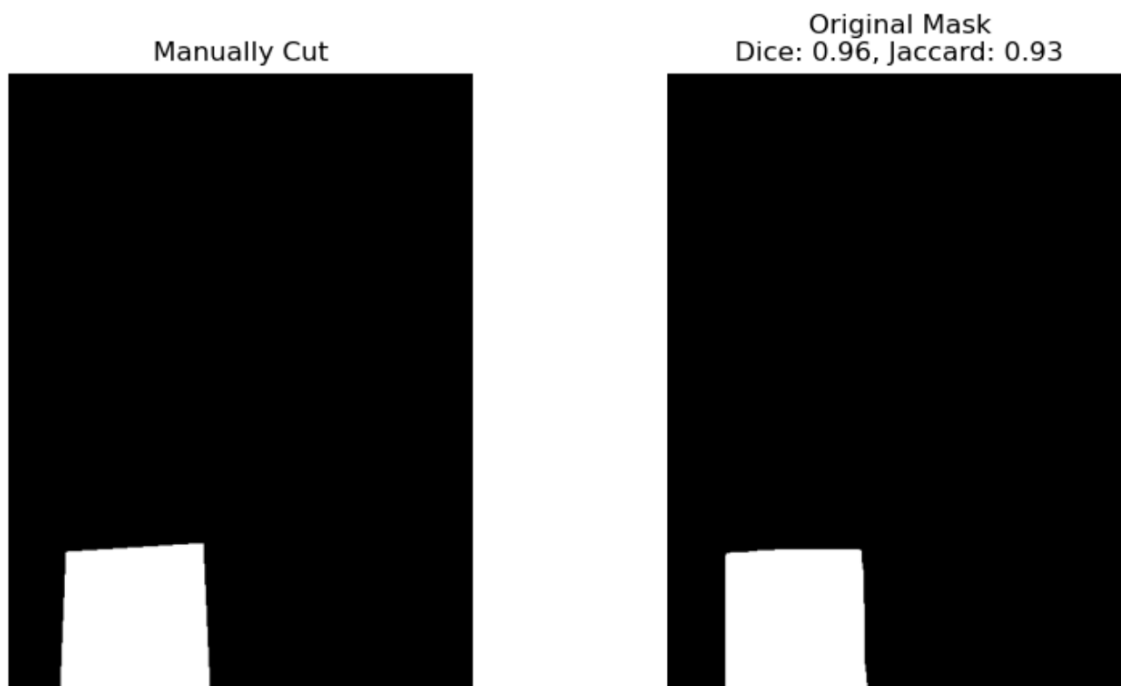
Kolejne wykresy przedstawiają krzywe precyzji i czułości oraz krzywe F1 dla różnych klas: "blackbody", "nipple" i "udder". Krzywe precyzji i czułości (Precision-Recall) pokazują, jak model radzi sobie z rozpoznawaniem poszczególnych klas, uwzględniając równowagę między



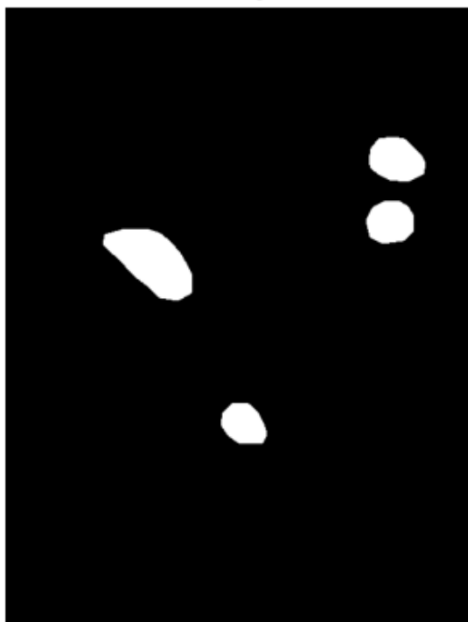
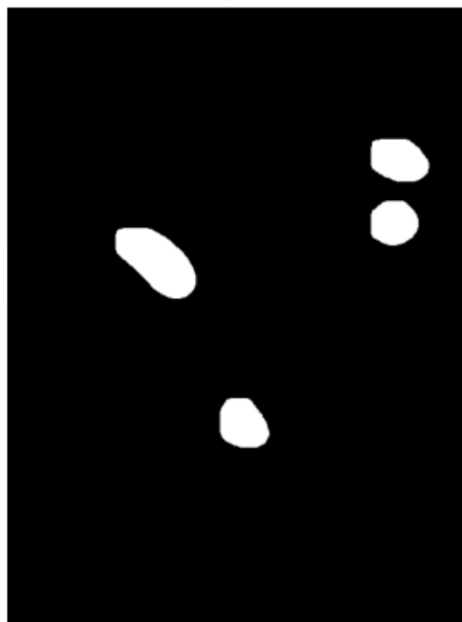
precyzją a czułością. Wysokie wartości precyzji i czułości dla klas "blackbody" i "udder" wskazują na skuteczne rozpoznawanie tych obszarów przez model. Krzywa F1 dla wszystkich klas pokazuje, że model osiąga dobrą ogólną wydajność, z F1 dla wszystkich klas wynoszącą 0.78 przy poziomie ufności 0.611.

Ogólny wskaźnik mAP (średnia precyzja) dla wszystkich klas wynosi 0.724, co wskazuje na wysoką skuteczność modelu w rozpoznawaniu zdefiniowanych obszarów zainteresowania.

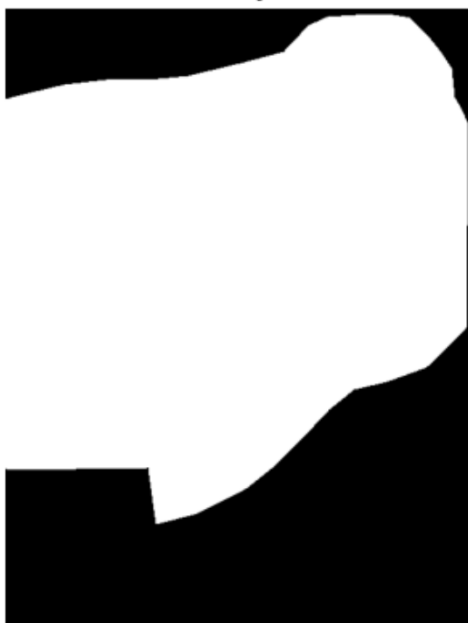
4.4.2.2.2 Ewaluacja za pomocą wskaźników Jacquard i DICE



Manually Cut

Original Mask
Dice: 0.92, Jaccard: 0.86

Manually Cut

Original Mask
Dice: 0.98, Jaccard: 0.96

W ramach procesu ewaluacji modelu segmentacji, wykorzystano wskaźniki Jacquard oraz Dice do oceny jakości segmentacji różnych klas. Na pierwszym zestawie obrazów przedstawiono porównanie pomiędzy maskami segmentacji uzyskanymi ręcznie (Manually Cut) a oryginalnymi maskami generowanymi przez model (Original Mask). Dla klasy blackbody wskaźniki Dice oraz Jacquard osiągnęły odpowiednio wartości 0.96 i 0.93, co świadczy o wysokiej zgodności segmentacji modelu z ręcznie oznaczonymi maskami. Podobne wysokie



wyniki uzyskano dla klasy nipple, gdzie wskaźniki Dice oraz Jacquard wyniosły odpowiednio 0.92 i 0.86, oraz dla klasy udder z wartościami 0.98 i 0.96.

Te wskaźniki ilustrują, że model segmentacji jest w stanie precyzyjnie identyfikować oraz segmentować różne regiony zainteresowania na zdjęciach termowizyjnych, co jest kluczowe dla dalszych analiz i oceny stanu zdrowia krów. Wyniki wskaźników Dice i Jacquard potwierdzają wysoką jakość generowanych segmentacji, co w połączeniu z wcześniejszymi metrykami modelu, jak precision, recall oraz mAP, pozwala na kompleksową ocenę wydajności modelu w kontekście rzeczywistych zastosowań.

4.5 Algorytm segmentacji ucha i podstawy ucha w pomiarze radiometrycznym tucznika

4.5.1 Trening modelu segmentacji ucha

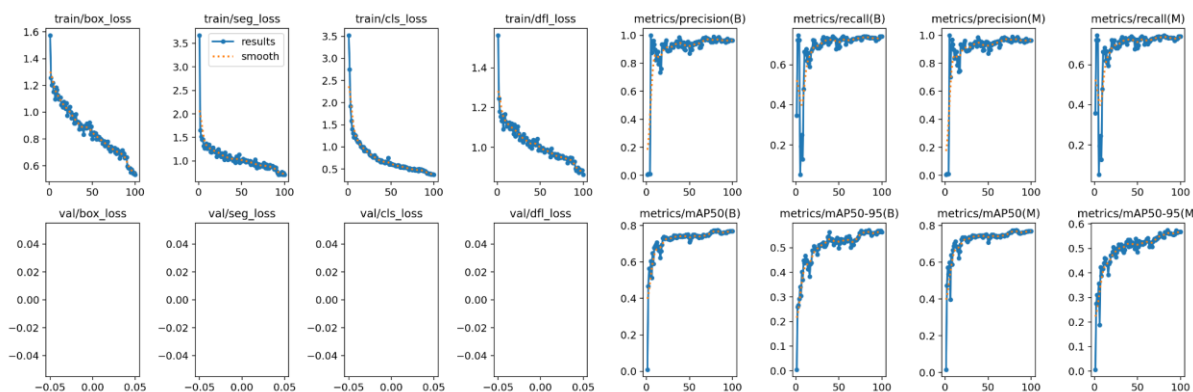
Do przeprowadzenia segmentacji ucha tucznika wykorzystano model **YOLOv11** w wersji przeznaczonej do segmentacji, wdrożony przy użyciu biblioteki **Ultralytics**. Model został wytrenowany na wcześniej przygotowanym zbiorze danych, obejmującym oznaczone obszary blackbody oraz ucha wraz z jego podstawą.

Proces treningowy obejmował **100 epok**, co pozwoliło na stopniowe dopasowanie wag modelu do charakterystyki zbioru treningowego. W celu utrzymania odpowiedniego balansu pomiędzy wydajnością obliczeniową a precyzją segmentacji, model był trenowany przy **rozdzielczości 640x640** pikseli. Pozwoliło to na zachowanie wystarczającej szczegółowości obrazu, jednocześnie umożliwiając efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów obliczeniowych.



4.5.2 Ewaluacja modelu

4.5.2.1 Metryki modelu segmentacji

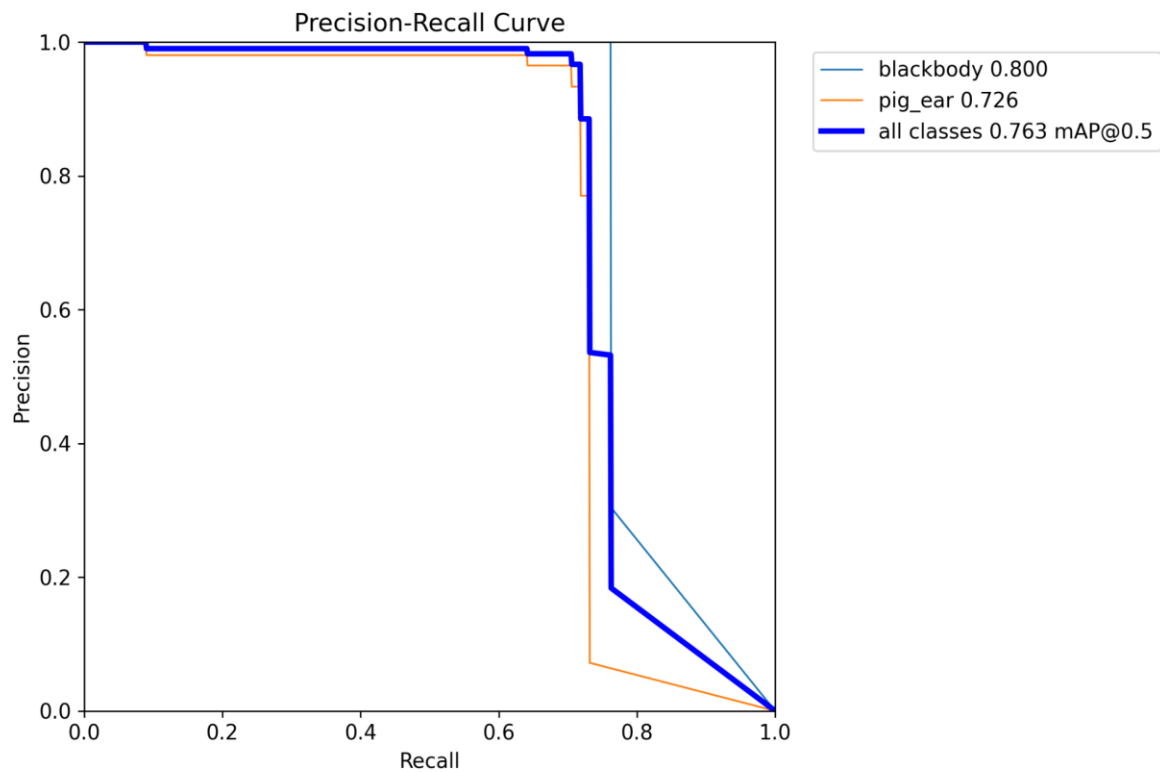


W celu oceny wydajności modelu segmentacji ucha tucznika wykorzystano standardowe metryki stosowane w dziedzinie uczenia maszynowego do analizy jakości detekcji i segmentacji. Analiza obejmuje trzy kluczowe aspekty: **krzywe strat treningowych**, **krzywą precyzja-czułość (Precision-Recall Curve)** oraz **krzywą F1 w funkcji pewności detekcji (F1-Confidence Curve)**.

Na pierwszym wykresie przedstawiono przebieg funkcji strat dla poszczególnych komponentów modelu. Widoczne są cztery podstawowe wskaźniki:

- **train/box_loss** – odpowiada za dopasowanie ramki ograniczającej (bounding box) do segmentowanych obiektów,
- **train/seg_loss** – określa dokładność segmentacji,
- **train/cls_loss** – mierzy poprawność klasyfikacji obiektów,
- **train/dfl_loss** – odnosi się do lokalizacji granic obiektów.

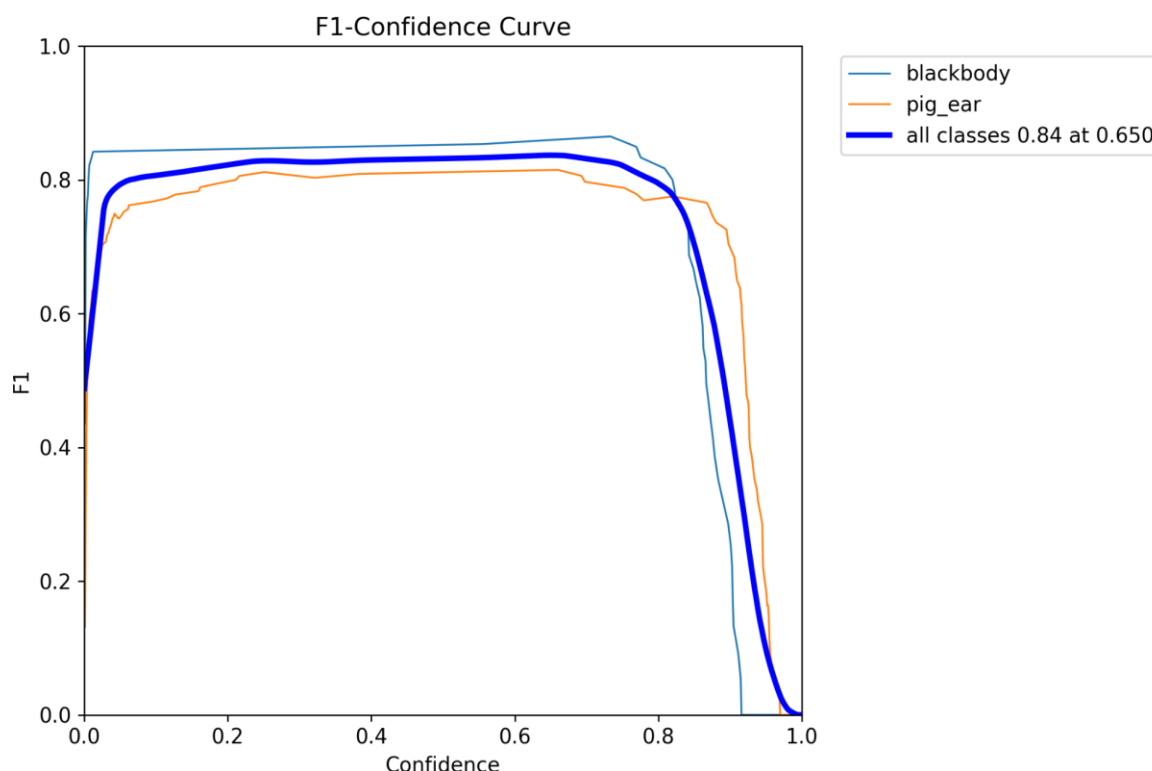
Wszystkie wartości strat sukcesywnie maleją wraz z liczbą epok, co wskazuje na skuteczne uczenie się modelu. Po około 50 epokach tempo redukcji strat stabilizuje się, sugerując, że model osiągnął już dojrzałość i dalsze szkolenie przynosi marginalne korzyści. Widoczne są również metryki precyzji i czułości dla poszczególnych klas (B – blackbody, M – ucho tucznika), które pokazują wzrost jakości predykcji w miarę postępu treningu.



Drugi wykres przedstawia zależność pomiędzy precyzją a czułością modelu dla poszczególnych klas:

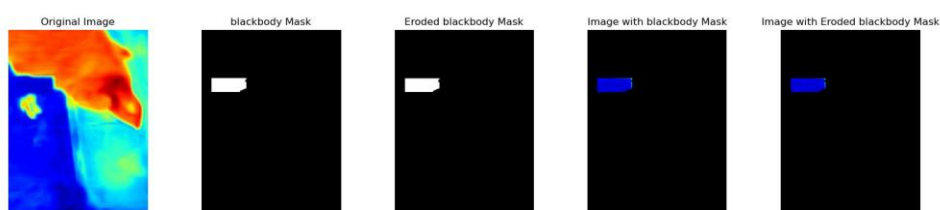
- **blackbody (0.800)** – wysoka skuteczność modelu w wykrywaniu ciała doskonale czarnego,
- **pig_ear (0.726)** – poprawna detekcja ucha tucznika, choć nieco mniej pewna niż w przypadku blackbody,
- **mAP@0.5 dla wszystkich klas (0.763)** – ogólna skuteczność modelu na poziomie 76,3% przy progu IoU 0.5.

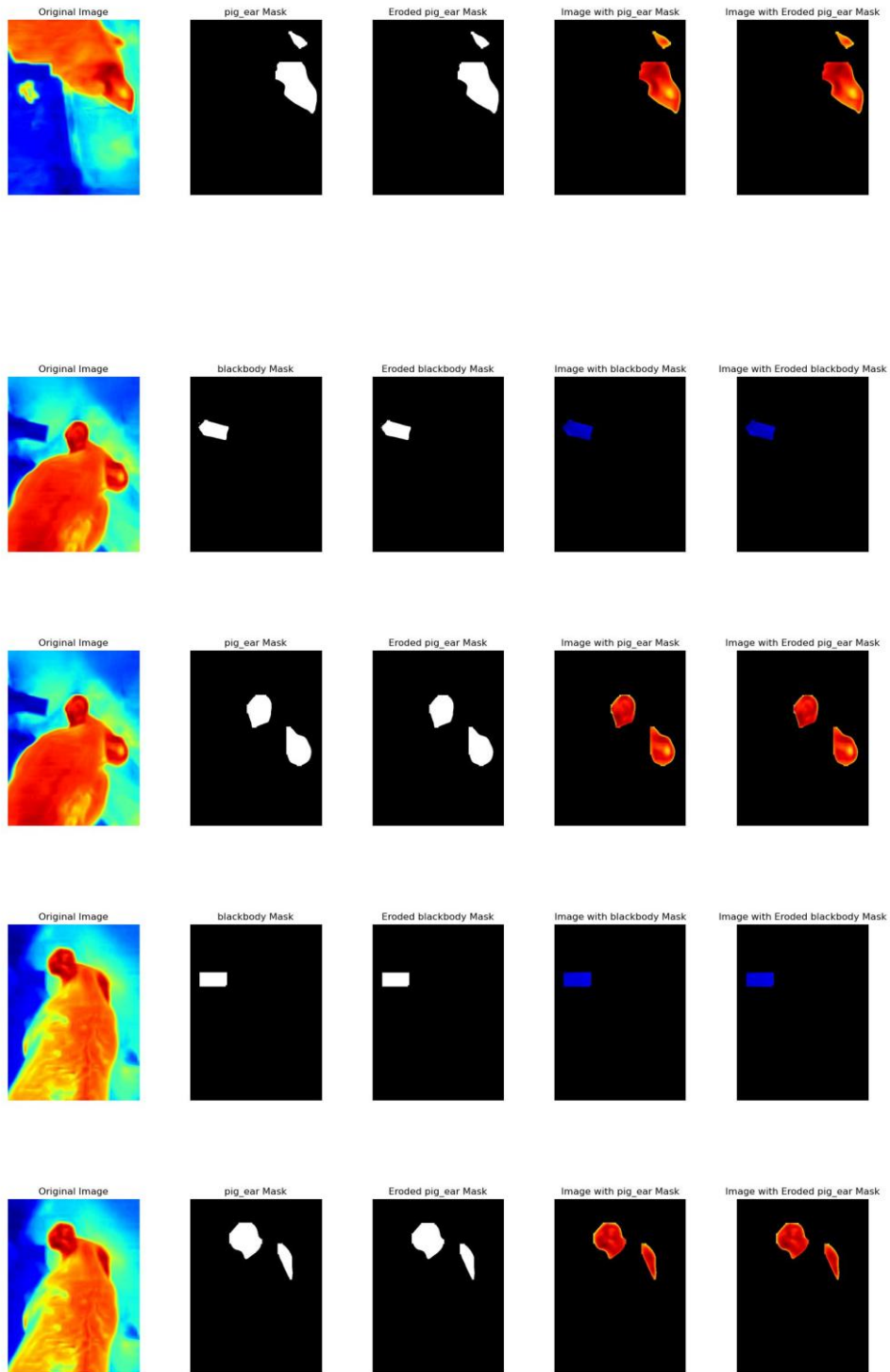
Krzywa wskazuje na bardzo wysoką precyzję przy wartości recall do ok. 80%, co oznacza, że model generuje stosunkowo niewiele fałszywych detekcji. Wraz ze wzrostem recall precyzja zaczyna nieco spadać, co jest typowym zachowaniem w modelach detekcji obiektów.



Trzeci wykres przedstawia krzywą F1 w zależności od poziomu pewności predykcji. Wynik **0.84 przy progu pewności 0.65** dla wszystkich klas wskazuje na dobrą równowagę między precyzją a czułością. Dla klasy blackbody wartość F1 jest nieco wyższa niż dla ucha tucznika, co sugeruje większą pewność w jego detekcji. Optymalny zakres wartości pewności detekcji znajduje się między **0.5 a 0.8**, co stanowi dobrą rekomendację dla użytkowników końcowych w zastosowaniach praktycznych.

Podsumowując, model segmentacji ucha tucznika osiągnął satysfakcjonującą skuteczność, szczególnie w zakresie detekcji blackbody. W przypadku klasy pig_ear wyniki są również dobre, jednak widoczna jest nieco większa zmienność predykcji w porównaniu do blackbody. Optymalizacja progu detekcji może poprawić końcowe wyniki w zależności od docelowego zastosowania modelu.







4.6 Algorytm segmentacji części ciała w pomiarze radiometrycznym tucznika

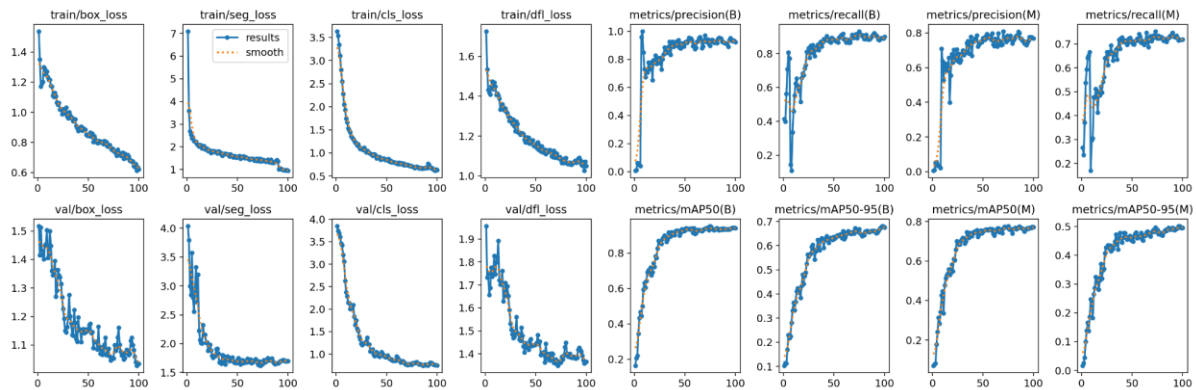
4.6.1 Trening modelu segmentacji zdjęcia termowizyjnego tucznika

W ramach treningu modelu segmentacji zdjęć termowizyjnych tucznika wykorzystano zmodyfikowaną architekturę YOLOv11, dedykowaną do segmentacji obrazów. Model trenowano na zbiorze danych, w którym ręcznie oznaczono kluczowe regiony zainteresowania obejmujące głowę, tułów, nogi oraz region tylnej części ciała. Dane te zostały przygotowane przy użyciu narzędzia Roboflow, co umożliwiło precyzyjne zaznaczenie obszarów za pomocą narzędzia Polygon. Dodatkowo, na zbiorze danych zastosowano operacje augmentacyjne (domyślne augmentacje udostępniane przez YOLOv11 i bibliotekę Ultralytics), które zwiększyły różnorodność i odporność modelu na zmienność warunków rejestrowania obrazów. Model trenowano przez 100 epok przy stałej rozdzielczości wejściowej 640x640 pikseli, co pozwoliło na uchwycenie istotnych anatomicznych detali tucznika. Proces treningu przebiegał stabilnie, a systematyczne zmniejszanie się wartości funkcji strat wskazuje na sukcesywne dostosowywanie parametrów modelu do charakterystyki danych.

4.6.2 Ewaluacja modelu

4.6.2.1 Metryki modelu segmentacji

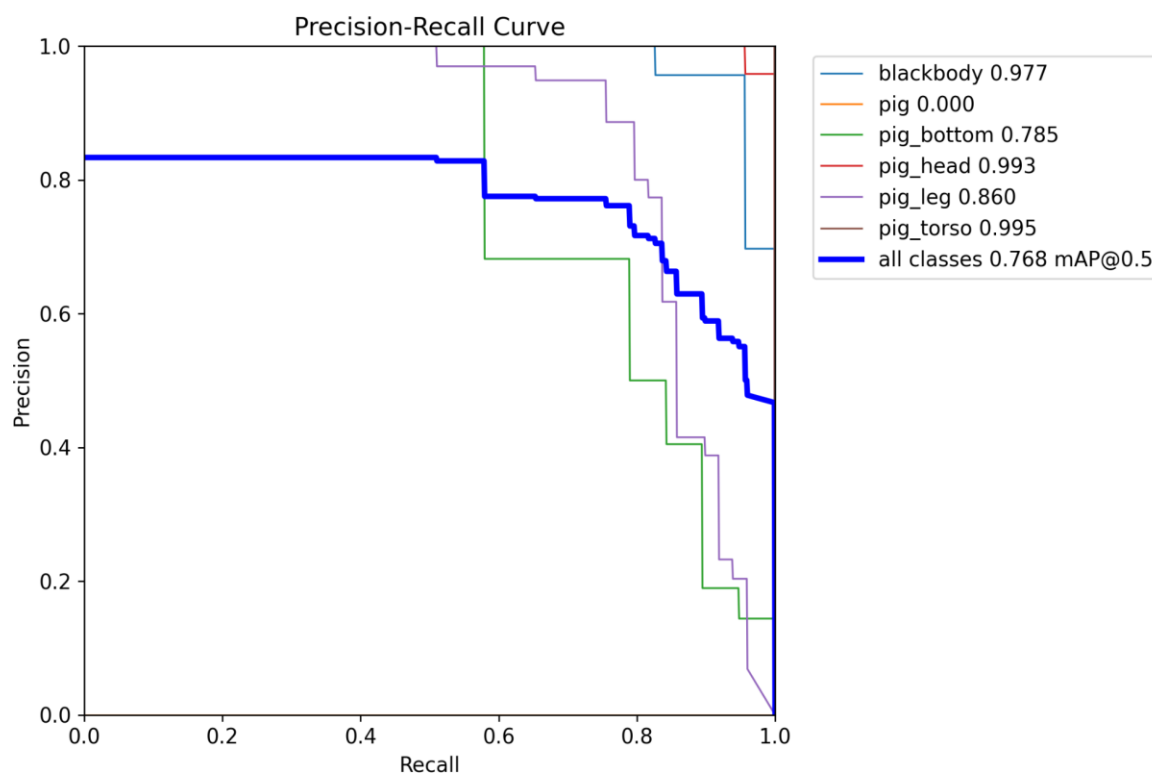
Poniższe wykresy prezentują rezultaty ewaluacji modelu YOLOv11, wyszkolonego w celu segmentacji termowizyjnych zdjęć tucznika z uwzględnieniem następujących klas: **blackbody**, **pig_bottom** (tylna część ciała), **pig_head** (głowa), **pig_leg** (noga), **pig_torso** (tułów) oraz dodatkowej klasy „pig”. Analiza obejmuje zarówno **krzywe strat (loss)**, jak i metryki oparte na **precyzji (precision)**, **czułości (recall)** oraz **współczynnika F1**.



Na pierwszym wykresie widoczne są wartości strat dla treningu i walidacji, podzielone na kilka komponentów:

- **train/box_loss** oraz **val/box_loss**: opisują dopasowanie ramek ograniczających (bounding boxes).
- **train/seg_loss** oraz **val/seg_loss**: określają dokładność segmentacji poszczególnych obiektów.
- **train/cls_loss** oraz **val/cls_loss**: odpowiadają za poprawną klasyfikację klas w obrębie wykrytych obiektów.
- **train/dfl_loss** oraz **val/dfl_loss**: (Distribution Focal Loss) wspomagają dokładność lokalizacji granic obiektu.

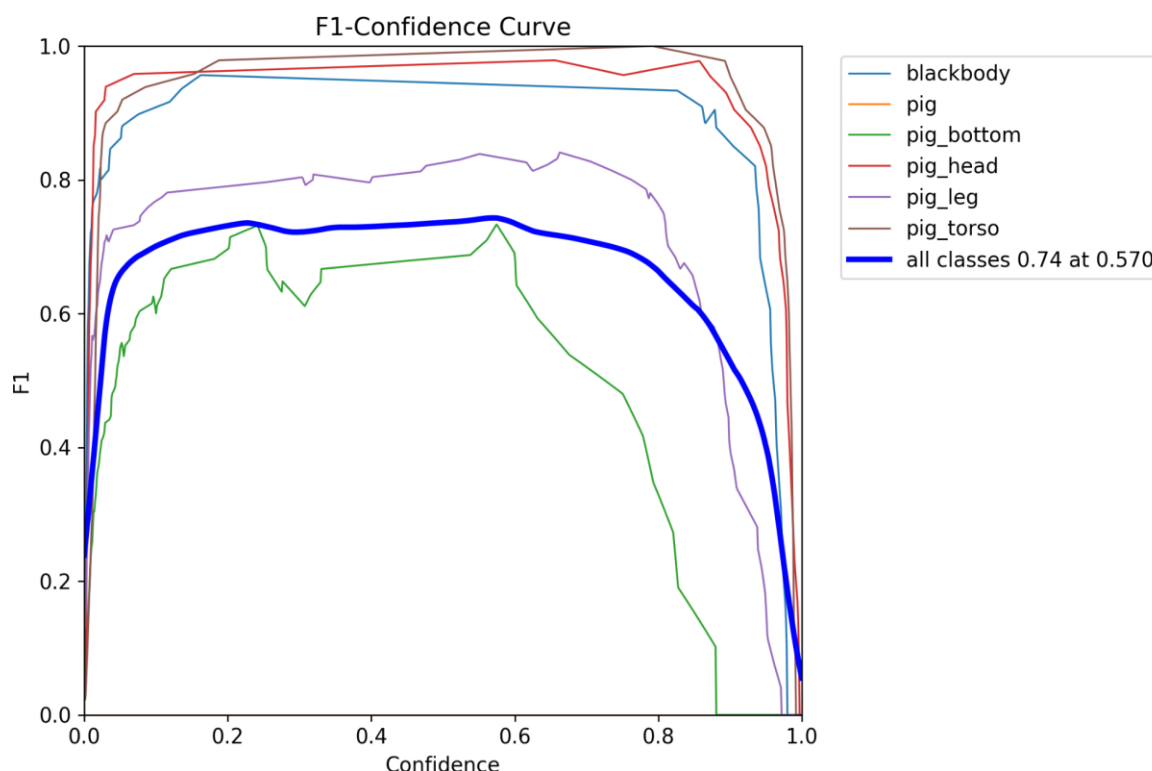
Systematyczny spadek wartości funkcji strat w trakcie 100 epok treningu świadczy o tym, że model skutecznie uczy się rozpoznawania i segmentowania interesujących klas. Różnica między krzywymi treningu i walidacji pozostaje niewielka, co sugeruje brak nadmiernego dopasowania (overfitting).



Drugi wykres prezentuje krzywą precyzja-czułość (Precision-Recall) dla każdej z klas:

- **blackbody (0.977)** – niemal idealna detekcja i segmentacja ciała doskonale czarnego, co jest kluczowe dla kalibracji pomiaru.
- **pig_head (0.993)** oraz **pig_torso (0.995)** – bardzo wysoka skuteczność wykrywania i segmentacji głowy oraz tułowia tuczniaka.
- **pig_leg (0.860)** oraz **pig_bottom (0.785)** – wyniki nieco niższe, lecz wciąż zadowalające, co może wynikać z większej zmienności kształtu i pozycji nóg czy tylnej części ciała.

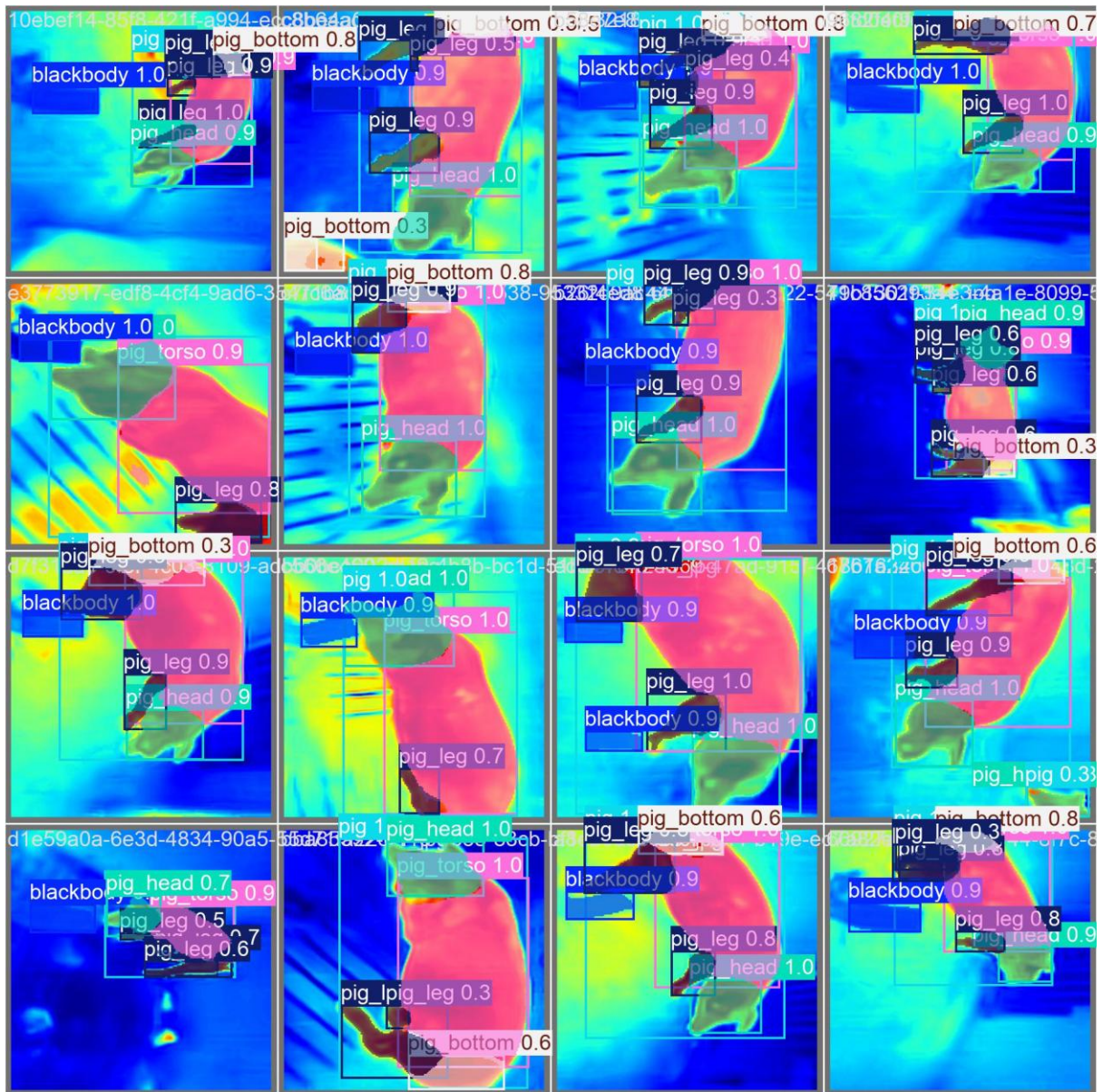
Wartość **mAP@0.5** dla wszystkich klas wynosi **0.768**, co wskazuje na ogólną skuteczność modelu na poziomie 76,8% przy progu IoU równym 0.5.



Trzeci wykres ilustruje zależność współczynnika F1 od poziomu pewności (confidence) detekcji dla każdej z klas. Współczynnik F1 jest miarą łączącą zarówno precyzję, jak i czułość.

- **blackbody**, **pig_head**, oraz **pig_torso** osiągają wysokie wartości F1, co potwierdza ich solidne wyniki w obu wymiarach (precision i recall).
- **pig_leg** i **pig_bottom** wykazują umiarkowanie niższe wartości F1, co może oznaczać większą trudność w stabilnym rozpoznawaniu tych obszarów w różnych ujęciach.
- Dla wszystkich klas łącznie model osiąga **F1 = 0.74 przy pewności 0.57**, co oznacza rozsądny kompromis między precyzją a czułością przy tym progu detekcji.

Analiza metryk wykazuje, że model YOLOv11, trenowany do segmentacji termowizyjnych zdjęć tucznika, osiąga bardzo wysoką skuteczność w rozpoznawaniu i segmentacji kluczowych obszarów, takich jak głowa czy tułów. Nieco niższe wyniki w klasach **pig_leg** i **pig_bottom** mogą wynikać z większej zmienności pozycji nóg czy tylnej części ciała. Mimo to, wartości **mAP@0.5** przekraczające 76% oraz wysokie wartości F1 w przypadku najważniejszych klas (**blackbody**, **pig_head**, **pig_torso**) wskazują na dużą użyteczność modelu w praktycznych zastosowaniach związanych z analizą termowizyjną tucznika.





5. Metodyka badawcza

5.1 Metodyka badawcza dla krów

W celu określenia efektywności opracowanego systemu TherMobEye w diagnostyce zdrowotnej bydła mlecznego zastosowano kompleksową metodykę badawczą, opierającą się na porównaniu danych termowizyjnych z wynikami badań klinicznych, laboratoryjnych oraz pomiarów bezpośrednich.

Podstawowym celem badań było zweryfikowanie, czy pomiary temperatury powierzchni ciała zwierząt, realizowane z wykorzystaniem nowoczesnych kamer termowizyjnych, pozwalają na wiarygodne wczesne wykrywanie zaburzeń zdrowotnych (w szczególności stanów zapalnych wymienia), zanim staną się one widoczne klinicznie lub wpłyną na produktywność mleczną.

5.1.1 Projekt i zakres pomiarów

Badania terenowe przeprowadzono w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Wilanów-Obory należącym do Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Każdorazowo wytypowano grupy zwierząt reprezentujących szeroki przekrój stanu zdrowia: od osobników zdrowych, przez krowy subkliniczne (bez wyraźnych objawów chorobowych, lecz ze zmienionymi parametrami laboratoryjnymi), aż po zwierzęta z widocznymi objawami klinicznymi chorób wymienia.

Zastosowano dwa typy pomiarów termograficznych:

a) Pomiar termiczny z ciałem referencyjnym

Pomiar ten polegał na umieszczeniu w polu widzenia kamery termowizyjnej specjalnego wzorca temperatury (punktu referencyjnego), którego temperatura była stale termometrem cyfrowym. Użycie punktu referencyjnego umożliwiło ciągłą kalibrację urządzenia podczas rzeczywistych pomiarów, co pozwoliło skorygować odczyty pod kątem ewentualnych wahań temperatury otoczenia i zwiększyło dokładność pomiaru temperatury badanego obiektu.

b) Pomiar termiczny bez ciała referencyjnego



W tej konfiguracji system wykonywał pomiary wyłącznie w oparciu o bezpośrednie odczyty matrycy termowizyjnej, która była korelowana poprzez odczyt drugiego sensora bolometrycznego o wysokiej precyzji pomiaru. Ta metoda została zastosowana w celu porównania wyników z poprzednim trybem oraz oceny, na ile termogramy mogą być użyteczne w rutynowej praktyce gospodarstw, gdy wymagane jest uproszczenie procesu diagnostycznego.

Każdorazowo podczas badania rejestrowano obrazy termowizyjne oraz warunki środowiskowe tj. temperatura otoczenia, wilgotność, odległość od obszaru mierzonego oraz czy zwierzę było przed, w trakcie czy po udoju oraz czy była wymiona były obmyte lub zdezynfekowane przed pomiarem lub konserwowane po udoju. Wszystkie te zmienne wpływały na właściwą detekcję.

5.1.2 Dane referencyjne oraz metody diagnostyczne

W celu obiektywnej oceny i walidacji wyników termowizyjnych prowadzono równoległe szeroki zakres badań laboratoryjnych oraz diagnostycznych:

a) Analiza liczby komórek somatycznych (LKS)

Pobierano próbki mleka, które analizowano w laboratorium akredytowanym (Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka). Liczba komórek somatycznych jest powszechnie uznawanym markerem diagnostycznym stanu zdrowia wymienia, szczególnie przydatnym do wykrywania stanów zapalnych na bardzo wczesnym etapie (stadium podkliniczne).

b) Wyniki posiewów mikrobiologicznych

W przypadku podwyższonych wartości LKS lub obecności objawów klinicznych, próbki mleka były dodatkowo badane pod kątem mikrobiologicznym. Wyniki posiewów umożliwiły identyfikację szczepów bakterii odpowiedzialnych za infekcje wymienia (m.in. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis*, CNS – koagulazo-ujemne gronkowce, *Enterococcus faecalis*), co stanowiło ważne odniesienie dla analizy termowizyjnej.

c) Pomiar rektalnej temperatury ciała



Zostały również wykonane pomiary rektalnej temperatury ciała standardowym weterynaryjnym termometrem cyfrowym. Wartości te traktowane były jako wskaźnik ogólnego stanu zdrowotnego organizmu, co pozwalało na analizę korelacji między termografią powierzchniową a wewnętrzną temperaturą ciała zwierząt.

d) Ocena kliniczna i historia zdrowotna zwierząt

Wszystkie dane uzupełniano szczegółową oceną kliniczną wymienia oraz ogólnego stanu zdrowia zwierzęcia. Informacje te obejmowały historie leczenia, obserwacje weterynaryjne, dane z systemów zarządzania stadem (np. wyniki mleczności, czas trwania infekcji, karencje lekowe).

5.1.3 Analiza statystyczna i korelacyjna danych

Uzyskane wyniki analizowano statystycznie z wykorzystaniem metod korelacyjnych (m.in. współczynnik korelacji Pearsona, analiza regresji liniowej), aby precyzyjnie ocenić zależności między wynikami termowizyjnymi a referencyjnymi wskaźnikami zdrowia (LKS, wynikami posiewów, temperaturą rektalną).

Szczególnie interesujące były następujące relacje:

- Korelacja między temperaturą ćwiartek wymienia a liczbą komórek somatycznych w mleku,
- Korelacja danych termowizyjnych z pomiarami temperatury rektalnej,
- Identyfikacja optymalnych punktów pomiarowych, które najsilniej korelowały ze stanem zdrowotnym zwierzęcia.

5.1.4 Praktyczne zastosowanie wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe było określenie precyzyjnych kryteriów diagnostycznych, które posłużyły do opracowania rekomendacji dla użytkowników systemu TherMobEye. Wskazano m.in. optymalne warunki oraz sposoby stosowania urządzenia,



obszary ciała zwierząt najbardziej wartościowe diagnostycznie oraz zalecenia dotyczące integracji wyników termowizyjnych z systemami zarządzania gospodarstwami mlecznymi.

5.2 Metodyka badawcza dla trzody chlewnej.

Metodyka badawcza zastosowana w ramach projektu TherMobEye, opracowana dla sektora produkcji trzody chlewnej, uwzględniała specyfikę chowu świń oraz typowe schorzenia występujące w tej grupie zwierząt. Podobnie jak w przypadku bydła mlecznego, celem badań było określenie

dokładności, wiarygodności oraz praktycznej przydatności pomiarów termowizyjnych w wykrywaniu stanów zapalnych, infekcji oraz podwyższonej temperatury ciała u trzody chlewnej.

5.2.1 Organizacja eksperymentu i wybór zwierząt

Badania realizowano w warunkach rzeczywistych, w komercyjnym gospodarstwie konsorcjanta zajmującego się tuczem trzody chlewnej. Do eksperymentu wybierano grupy świń znajdujących się w różnym stanie zdrowotnym. Dobór osobników obejmował zarówno zwierzęta zdrowe (bez widocznych objawów klinicznych i subklinicznych), jak również świnię z symptomami podklinicznych lub klinicznych stanów zapalnych i infekcyjnych.

5.2.2 Pomiar termowizyjny świń

Pomiary termowizyjne przeprowadzano za pomocą urządzenia TherMobEye wyposażonego w kamerę termowizyjną. Kluczowym obszarem pomiarowym, rekomendowanym w literaturze jako optymalny do wiarygodnego odczytu temperatury u świń, była **podstawa ucha**, ze względu na bliskość dużych naczyń krwionośnych oraz stabilność termiczną tego regionu.

Podczas badań rejestrowano temperaturę w następujących lokalizacjach:

- **podstawa ucha (punkt główny)** – jako kluczowy punkt referencyjny do oceny ogólnego stanu zdrowia świń,
- **powierzchnia skóry w okolicy grzbietu i boków zwierzęcia** – dodatkowe punkty pozwalające na ogólną ocenę stanu termicznego i weryfikację ewentualnych stanów zapalnych skóry lub urazów.



Pomiary były wykonywane bezkontaktowo, z odległości od 30 cm do 100 cm, zapewniając optymalną jakość i dokładność uzyskanych danych radiometrycznych.

5.2.3 Pomiar temperatury rektalnej jako dane referencyjne

Podobnie jak w przypadku badań bydła mlecznego, dla trzody chlewnej wykonywano każdorazowo pomiar temperatury rektalnej. Był on realizowany bezpośrednio przed lub bezpośrednio po wykonaniu pomiaru termowizyjnego. Temperatura rektalna mierzona była cyfrowym termometrem weterynaryjnym o wysokiej dokładności, który służył jako bezpośrednia referencja diagnostyczna.

Wyniki pomiarów rektalnych stanowiły podstawę do określenia korelacji między temperaturą wewnętrzną zwierzęcia a wartościami uzyskanymi metodą termowizji powierzchniowej. Były one kluczowe dla oceny dokładności detekcji gorączki i podwyższonej temperatury przez system TherMobEye.

5.2.4 Rejestracja i analiza warunków środowiskowych

Każdorazowo podczas badań rejestrowano szczegółowe dane dotyczące warunków środowiskowych, które istotnie wpływają na jakość i interpretację wyników pomiarów termicznych. Dane te obejmowały:

- **Temperaturę otoczenia** – szczególnie istotną w chowie trzody chlewnej ze względu na dużą wrażliwość świń na stres termiczny. Każdorazowo rejestrowano warunki panujące w chlewni, co pozwalało na korektę danych termicznych.
- **Wilgotność względną powietrza** – mającą wpływ na warunki emisji i transmisji promieniowania podczerwonego oraz komfort termiczny zwierząt.
- **Odległość od ciała mierzonego** – rejestrowano również odległość kamery od zwierzęcia.

5.2.5 Integracja wyników i analiza korelacyjna

Uzyskane wyniki były analizowane statystycznie z wykorzystaniem metod korelacyjnych (korelacja Pearsona, analiza regresji liniowej), co pozwoliło określić siłę i istotność powiązań między wynikami pomiarów termowizyjnych (temperatura podstawy ucha, temperatura powierzchni skóry) a wartościami referencyjnymi (temperatura rektalna).

Dzięki zgromadzonym danym możliwe było:



- Określenie wiarygodności i skuteczności wykrywania gorączki oraz stanów zapalnych skóry przy użyciu pomiarów powierzchniowych.
- Wypracowanie zaleceń dotyczących optymalnych punktów pomiarowych u świń, szczególnie podstawy ucha.

5.2.6 Praktyczne znaczenie wyników dla hodowców trzody chlewnej

Przeprowadzone badania dostarczyły cennych informacji, które umożliwiły określenie procedur diagnostycznych możliwych do praktycznego wdrożenia w warunkach produkcyjnych chlewni. System TherMobEye został przystosowany do potrzeb praktycznych, umożliwiając szybkie, nieinwazyjne, a zarazem dokładne rozpoznawanie zmian temperatury powierzchni ciała świń, co może wskazywać na choroby zakaźne, stany gorączkowe czy stres termiczny, istotnie wpływając na efektywność produkcyjną gospodarstw oraz dobrostan zwierząt.

Dzięki temu projekt TherMobEye realnie wspiera nowoczesne zarządzanie zdrowiem świń, ogranicza koszty diagnostyki, leczenia oraz poprawia wyniki ekonomiczne i zdrowotne gospodarstw trzody chlewnej.

5.3 Opis procesu wykonywania pomiarów radiometrycznych u trzody chlewnej

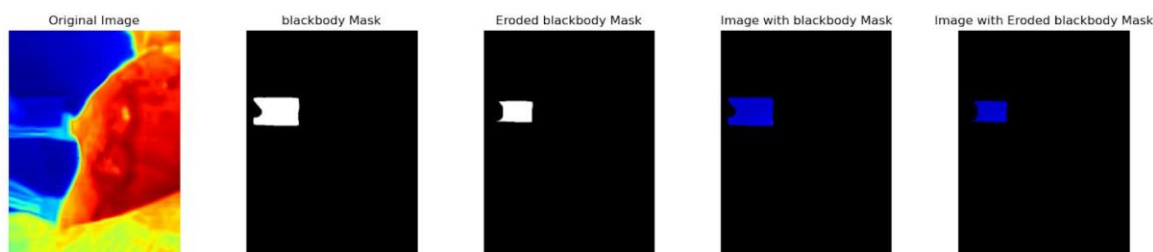
5.3 Metody ekstrakcji danych pomiarowych dla obszarów zainteresowania

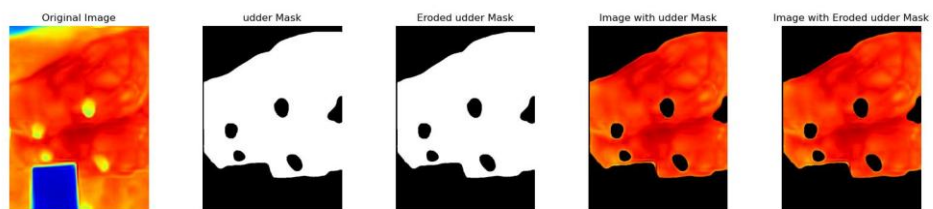
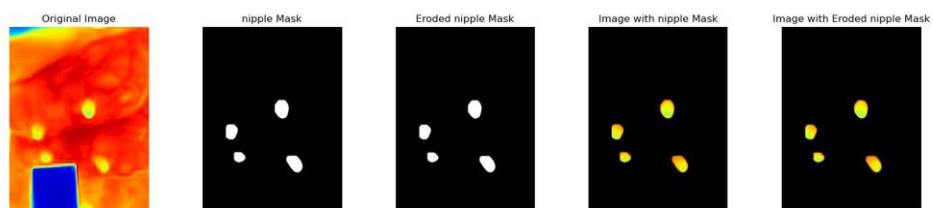
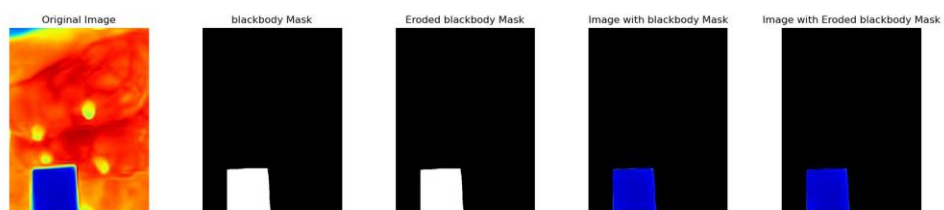
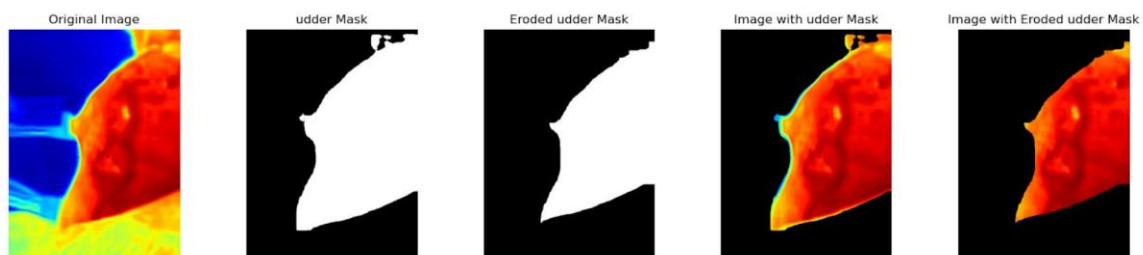
W procesie analizy zdjęć termowizyjnych wymion krów kluczowym etapem jest segmentacja obrazów oraz oddzielenie danych radiometrycznych z obszarów zainteresowania. Na każdym zdjęciu pomiarowym model segmentacji wykonuje detekcję i segmentację dla dwóch klas: wymienia (udder) oraz ciała doskonale czarnego (blackbody). Po zidentyfikowaniu tych obszarów, generowane są odpowiednie maski dla każdej klasy. Następnie, dla każdej zidentyfikowanej maski tworzona jest dodatkowa kopia, na której stosuje się operację erozji morfologicznej. Erozja morfologiczna polega na zredukowaniu rozmiaru maski, co jest użyteczne w celu eliminacji potencjalnych szumów na krawędziach segmentowanych obszarów i zapewnienia, że tylko centralne, najbardziej reprezentatywne części regionów są uwzględnione w dalszej analizie.



Każda klatka pobrana z pliku .ndjson jest następnie parsowana do wymiarów 640x480 pikseli, zgodnie z rozdzielczością używaną przez kamerę FLIR ONE PRO. Otrzymane maski są nakładane na przetworzone klatki, co pozwala na wyizolowanie danych radiometrycznych z dokładnie zdefiniowanych obszarów wymienia i ciała doskonale czarnego. Dane radiometryczne, które obejmują informacje o temperaturze z segmentowanych obszarów, są następnie zapisywane do odpowiednich plików .npy w celu dalszej analizy. Pliki te są nazwane według schematu <UUID_pomiaru><klasa>.npy dla oryginalnych masek oraz <UUID_pomiaru><klasa>_eroded.npy dla masek po erozji. UUID każdego pomiaru zapewnia unikalną identyfikację, co umożliwia łatwe śledzenie i zarządzanie danymi pomiarowymi.

W ramach analizy wstępnej segmentowanych danych radiometrycznych, każdy plik .npy uzyskany w poprzednim kroku jest wczytywany w celu przeprowadzenia dokładnych obliczeń statystycznych. Dla każdego pliku, który reprezentuje dane radiometryczne wyizolowane dla poszczególnych klas, takich jak wymienie (udder) oraz ciało doskonale czarne (blackbody), obliczane są podstawowe statystyki opisowe. Te statystyki obejmują średnią (mean), medianę (median), wartość minimalną (min) oraz wartość maksymalną (max). Po obliczeniu statystyk, dane te są zapisywane do pliku .csv. Każdy rekord w pliku .csv zawiera nie tylko obliczone statystyki dla wysegmentowanych obszarów, ale również dodatkowe informacje kontekstowe zebrane na etapie pomiarów. Do tych informacji należą UUID pomiaru, znacznik czasu (timestamp), numer oborowy odpowiadający danemu pomiarowi, temperatura otoczenia oraz temperatura ciała doskonale czarnego. Zgromadzenie tych danych w jednym pliku umożliwia kompleksową analizę i porównywanie wyników pomiarów w różnych warunkach środowiskowych.







6. Aplikacja web

6.1. Informacje Ogólne

6.1.1 Omówienie części web

System TherMobEye to wielowarstwowa platforma przeznaczona do pomiarów i analizy obrazów radiometrycznych bydła oraz trzody chlewnej, wspierająca działania diagnostyczne i zarządcze w gospodarstwach rolnych. Aplikacja webowa umożliwia użytkownikom końcowym – administratorowi, hodowcom, oraz weterynarzom i badaczom – prowadzenie kompleksowego nadzoru nad stanem zdrowia zwierząt poprzez integrację danych pomiarowych z funkcjonalnymi interfejsami użytkownika.

Główne założenia funkcjonalne części webowej koncentrują się wokół zarządzania i kontrolowania stanu gospodarstwa hodowcy, przeglądania i analizy pomiarów temperatur i badań zwierząt, zarządzanie hodowcami znajdującymi się pod opieką weterynarza i dodawaniem przez niego badań.

6.1.2 Technologie

System został zrealizowany z wykorzystaniem nowoczesnych technologii – część serwerowa oparta została na architekturze Spring Boot (Java), z użyciem PostgreSQL jako bazy danych oraz Elasticsearch jako komponentu analitycznego. Część webowa jest oparta na React wraz z Typescript i możliwa jest do użytkowania poprzez dowolną nowoczesną przeglądarkę internetową.

6.1.3 Dostępność

System TherMobEye został zaprojektowany z myślą o maksymalnej dostępności i elastyczności użytkowania, zarówno w środowisku stacjonarnym, jak i terenowym. Część webowa dostępna jest poprzez ogólnodostępne przeglądarki internetowe na systemach operacyjnych Windows, macOS, Linux, oraz na urządzeniach przenośnych z systemami



Android i iOS, co pozwala na użytkowanie jej z dowolnego urządzenia z możliwością obsługi internetu.

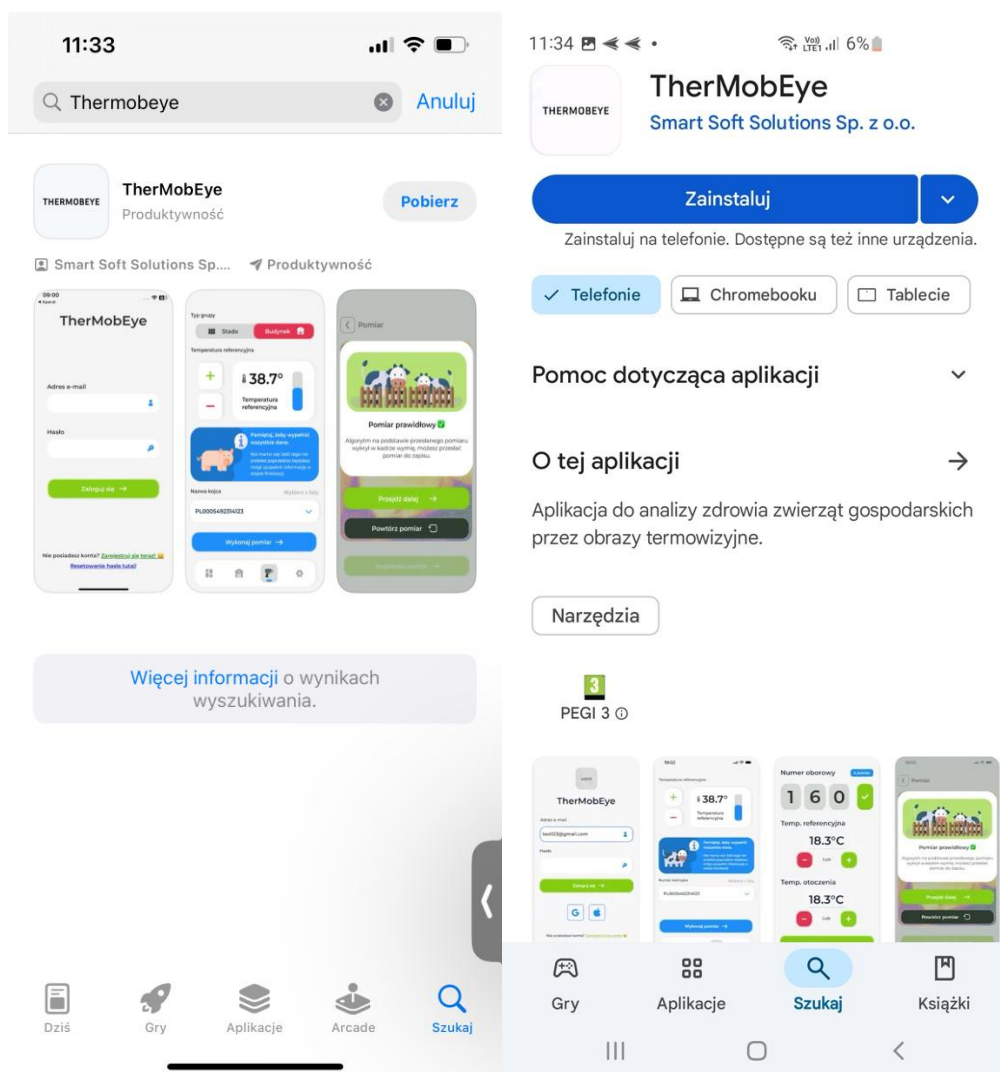
Dostępność na dowolnej platformie umożliwia szerokiemu gronu użytkowników korzystanie z systemu bez potrzeby kupowania dodatkowych urządzeń.

Aplikacja na systemy iOS i Android jest dostępna pobrania pod linkiem:
Android:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.smartsoftsolutions.thermobeye&hl=pl>

iOS:

<https://apps.apple.com/pl/app/thermobeye/id6744403081?l=pl>





6.2. Role w aplikacji web

System aplikacji webowej TherMobEye został zaprojektowany jako rozwiązanie wielomodułowe, w którym każda grupa użytkowników otrzymuje dostęp do dedykowanych funkcjonalności, zgodnych z jej zakresem obowiązków oraz poziomem uprawnień. Takie podejście umożliwia skuteczne zarządzanie dostępem do danych, jednocześnie zapewniając wysoką elastyczność i skalowalność systemu. Wyróżniono cztery podstawowe role użytkowników w części webowej: Administrator, Hodowca, Weterynarz i Badacz.

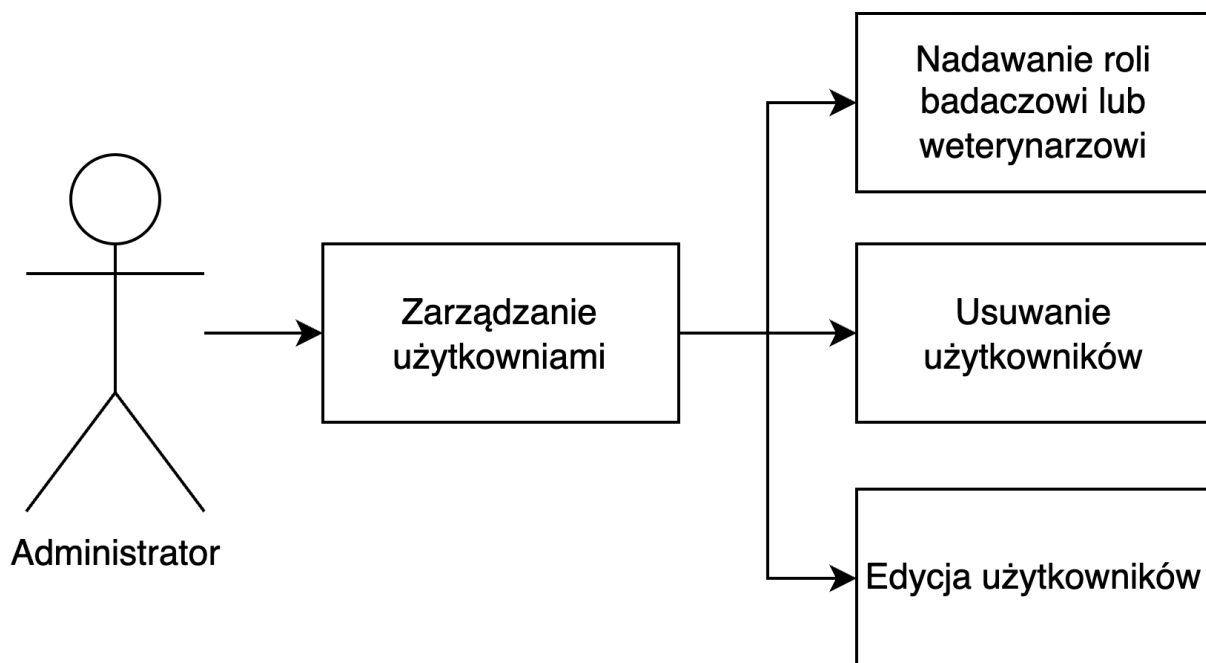
Każda z tych ról ma odrębny zestaw funkcjonalności, umożliwiających odpowiednio zarządzanie użytkownikami systemu, podgląd i zarządzanie gospodarstwem i jego składowymi, możliwość zarządzania hodowcami pod opieką weterynarza, podgląd badań i pomiarów, oraz możliwość dodawania nowych wyników badań.

Podział funkcjonalny pozwala na klarowną separację odpowiedzialności, a jednocześnie umożliwia efektywną współpracę pomiędzy użytkownikami w ramach jednej platformy. W kolejnych podpunktach szczegółowo opisano zakres funkcjonalności przysługujących poszczególnym rołom oraz omówiono ich znaczenie w kontekście wykorzystania części webowej TherMobEye w zarządzaniu gospodarstwem.

6.2.1 Administrator

Użytkownik o roli Administratora posiada dostęp do informacji o wszystkich użytkownikach takich jak ich imię i nazwisko, adres email, numer telefonu i ich rola. Posiada on również możliwość nimi zarządzania, poprzez ich edycję lub usunięcie, oraz nadanie im odpowiedniej roli wedle uznania. Rola ta jest odpowiedzialna za nadzór istniejących i nowych użytkowników.

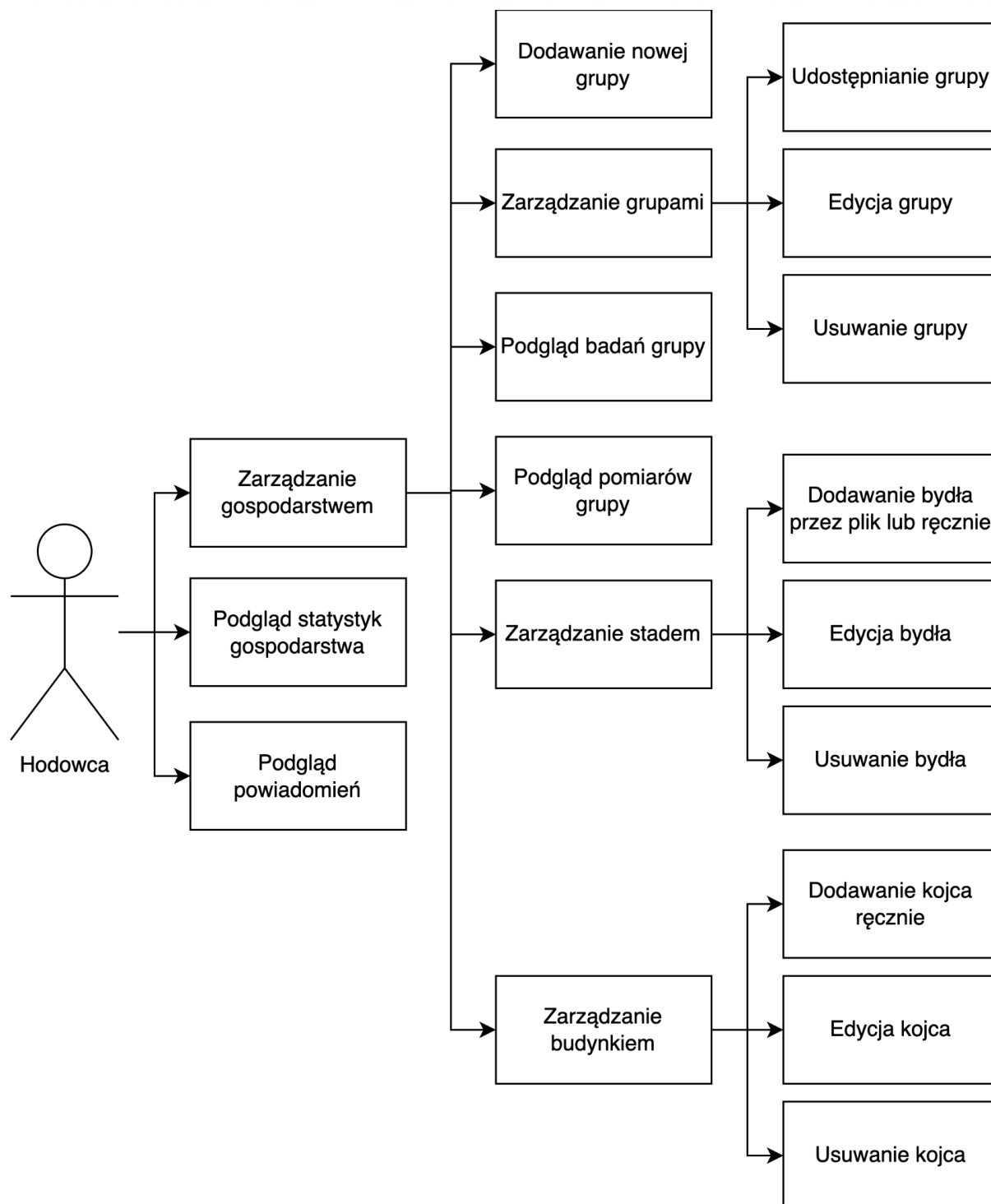
Diagram funkcjonalności użytkownika „Administrator” znajduje się poniżej:



6.2.2 Hodowca

Użytkownik o roli Hodowcy posiada pełen dostęp do funkcji związanych z organizacją i zarządzaniem hodowlą. Może on tworzyć i zarządzać istniejącymi stadami i budynkami, dodawać nowe bydło i kojce oraz je edytować i usuwać. Posiada również możliwość przeglądania statystyk gospodarstwa, oraz wyników pomiarów i badań.

Diagram funkcjonalności użytkownika „Hodowca” znajduje się poniżej:

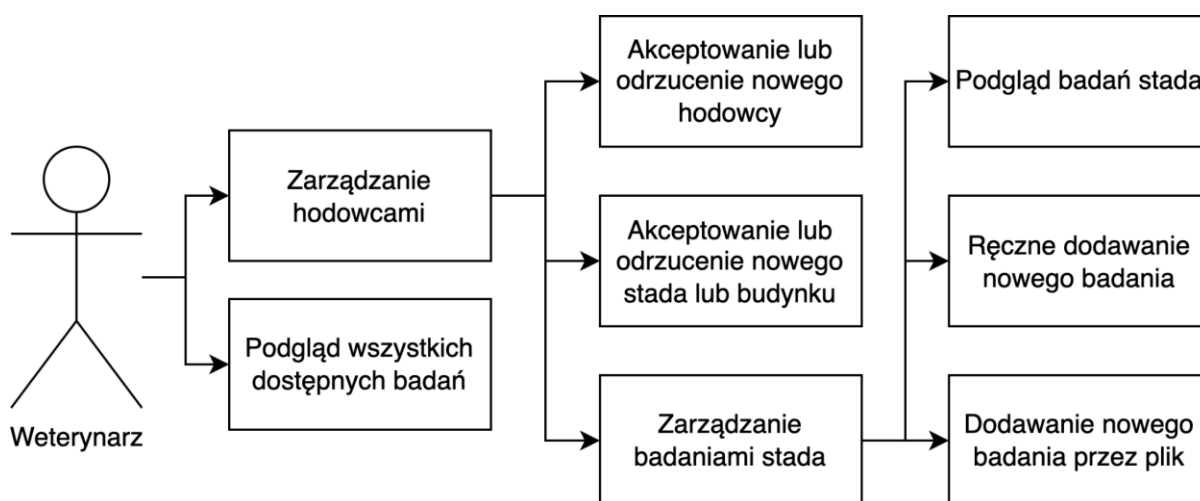




6.2.3 Weterynarz

Rola Weterynarza w systemie TherMobEye została zaprojektowana z myślą o użytkownikach zajmujących się badaniem zwierząt oraz opieką nad nimi. Weterynarz może akceptować lub odrzucać udostępnione przez hodowcę stada, których badaniami będzie w stanie zarządzać. Weterynarz nie posiada możliwości modyfikacji stad hodowcy czy zarządzania gospodarstwem. Funkcjonalność Weterynarza ma na celu podnoszenie jakości i szybkości prowadzonego nadzoru zdrowotnego nad zwierzętami.

Diagram funkcjonalności użytkownika „Weterynarz” można przedstawić za pomocą poniższego diagramu:





6.3 Funkcjonalności

6.3.1. Administrator

6.3.1.1. Zarządzanie użytkownikami

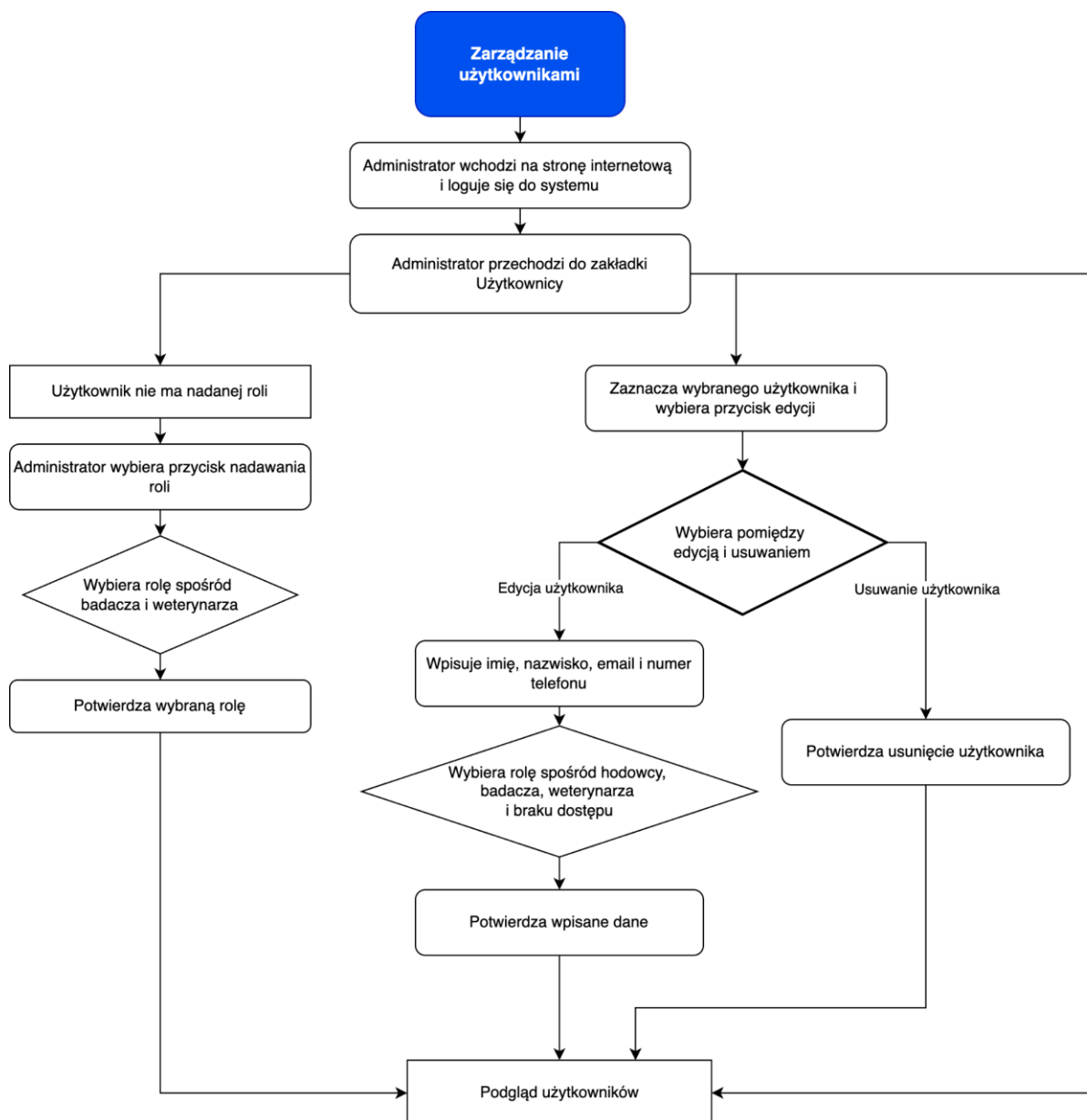


Diagram ten opisuje rozgałęziony proces zarządzania zarejestrowanymi użytkownikami przez Administratora.



Proces rozpoczyna się od akcji administratora, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, administrator jest automatycznie przekierowywany przez system do dedykowanej zakładki “Użytkownicy”.

W tej sekcji wyświetlani są wszyscy użytkownicy w formie tabeli. Gdy administrator zaznaczy w tabeli wybranego użytkownika, odblokowany zostaje przycisk operacji na użytkowniku.

Następnie po kliknięciu przycisku, administrator ma do wyboru:

- Edycję użytkownika - po czym wprowadza nowe imię i nazwisko, oraz e-mail i numer telefonu użytkownika, wybiera jego rolę i potwierdza edycję
- Usunięcie użytkownika - po czym potwierdza usunięcie użytkownika

Gdy użytkownik zarejestrował się jako użytkownik trybu badawczego, administrator musi mu nadać rolę weterynarza lub badacza. Proces ten wymaga kliknięcia w przycisk nadawania roli, wybrania spośród badacza lub weterynarza i potwierdzenia procesu.

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:

The screenshot displays the 'TherMobEye' administrator interface. On the left is a sidebar menu with options: 'Dashboard', 'Powiadomienia', 'Użytkownicy' (highlighted), and 'Pomoc'. At the bottom of the sidebar is a 'Zobacz profil' button with a gear icon. The main content area features a search bar labeled 'Wyszukaj użytkownika...'. Below the search bar is a table with the following columns: 'Imię i Nazwisko', 'Adres e-mail', 'Numer telefonu', and 'Typ użytkownika'. The table contains five rows of user data. At the bottom of the table is a pagination bar with buttons for navigating between pages (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

	Imię i Nazwisko	Adres e-mail	Numer telefonu	Typ użytkownika
☐	Griv Uop	uet41972@nezid.com	121212121	
☐	The Rmob	hfp54633@nezid.com	121212122	
☐	John Mielon	zpg95785@zslsz.com	123123123	
☐	Kirby Pol	lab11116@zbock.com	111222333	
☐	Thop Mop	wij16330@nezid.com	121212123	



TherMobEye

ADMINISTRATOR

- Dashboard
- Powiadomienia
- Użytkownicy**
- Pomoc

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

Wyszukaj użytkownika...

Edytuj użytkownika

Usuń użytkownika

	Imię i nazwisko	Adres e-mail	Numer telefonu	Typ użytkownika
☒	Griv Uop	uet41972@inezid.com	121212121	
☐	The Rmob	hfp54633@inezid.com	121212122	
☐	John Mielon	zpg95785@zslsz.com	123123123	
☐	Kirby Pol	lab11116@zbock.com	111222333	
☐	Thop Mop	wj16330@inezid.com	121212123	

1 2 3 4 5 6 7

Zobacz profil

TherMobEye

ADMINISTRATOR

- Dashboard
- Powiadomienia
- Użytkownicy**
- Pomoc

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

Wyszukaj użytkownika...

Imię i Nazwisko

Test

Adres e-mail

test@test.test

Numer telefonu

123123123

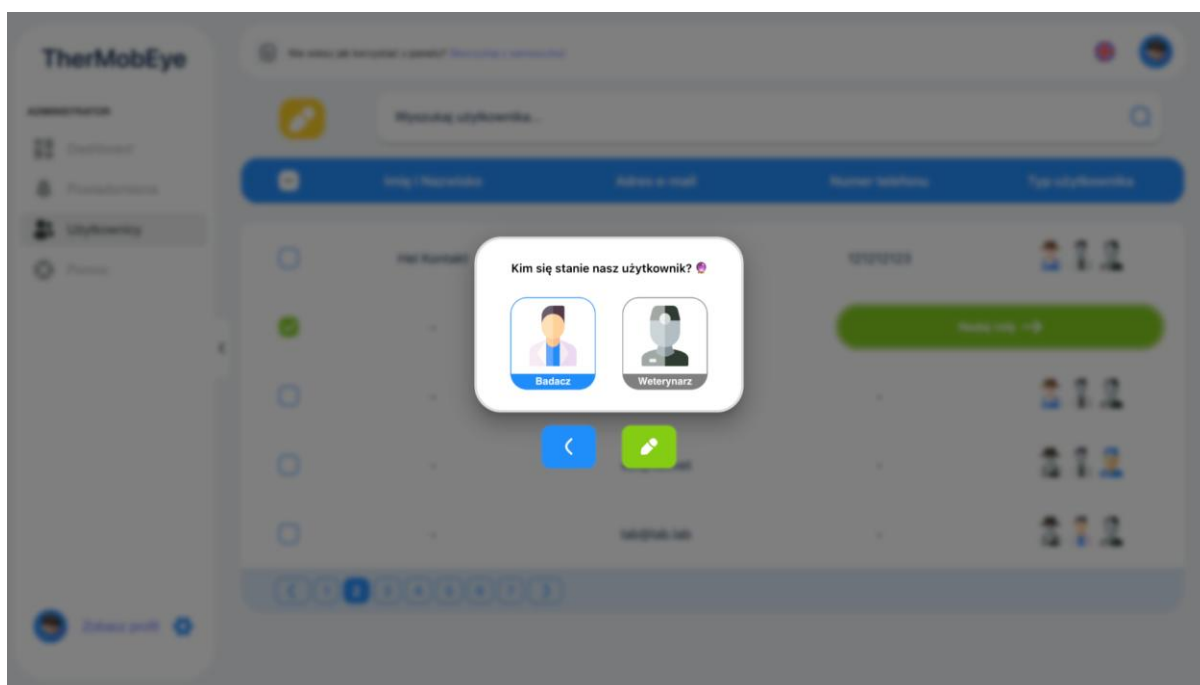
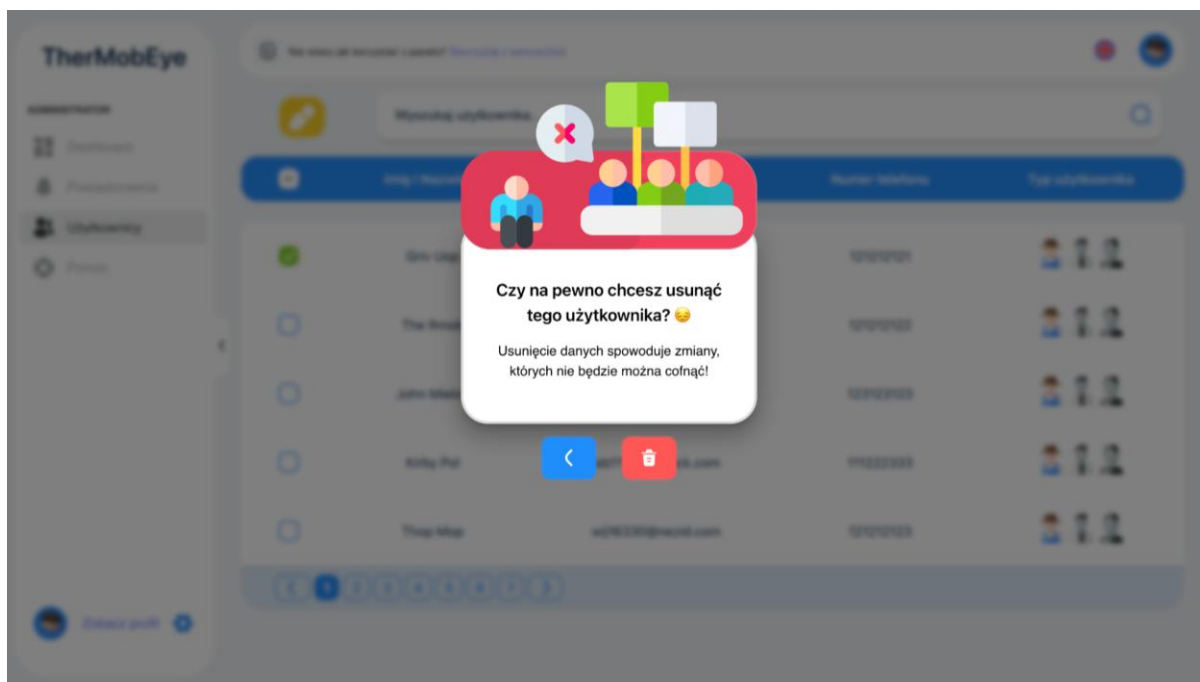
Typ użytkownika

Hodowca

Badacz

Weterynarz

Brak dostępu





6.3.2. Hodowca

6.3.2.1. Podgląd statystyk gospodarstwa

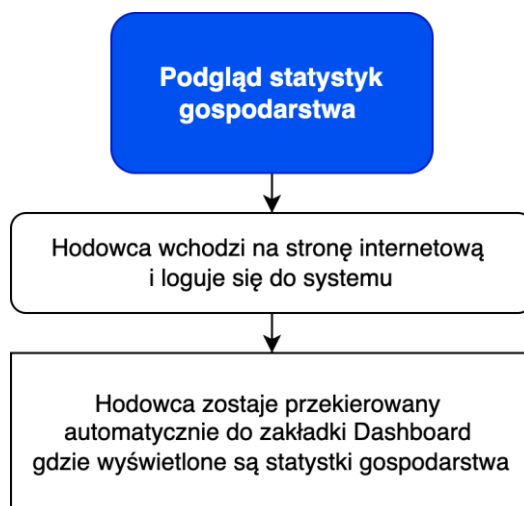


Diagram przedstawia podstawowy przepływ uzyskiwania podglądu statystyk gospodarstwa przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca jest automatycznie przekierowywany przez system do dedykowanej zakładki “Dashboard”. W tej sekcji wyświetlane są statystyki zebrane na podstawie gospodarstwa danego hodowcy i badań oraz pomiarów dotyczących zawartych w nim stad i budynków.

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:



TherMobEye

HODOWCA

- Dashboard
- Powiadomienia
- Farma
- Pomoc

Zobacz profil

Nie wiesz jak korzystać z panelu? [Skorzystaj z samouczka!](#)

Witaj, !! 🐾

Udało Ci się ukończyć aż 12 samouczków, brawo!

Zbadane zwierzęta
0%

0 krów

6 Budynków w gospodarstwie

1 Stad w gospodarstwie

1234 pomiary

Sty Lut Mar Kwi Maj Cze Lip Sie Wrz Paz Lis Gru

2023

Kalendarz czynności

Badania Udoskonalanie Wyniki

Badania stad Badania wysłane Wyniki badań

Sty	✓	✓	✓
Lut	✓	✓	✓
Mar	✓	✓	✓
Kwi	✓	✓	✓
Maj	✓	✓	✓
Cze	✓	✓	✓
Lip	✓	✓	✓
Sie	✓	✓	✓
Wrz	✓	✓	✓
Paz	✓	✓	✓
Lis	✓	✓	✓
Gru	✓	✓	✓



6.3.2.2. Zarządzanie gospodarstwem

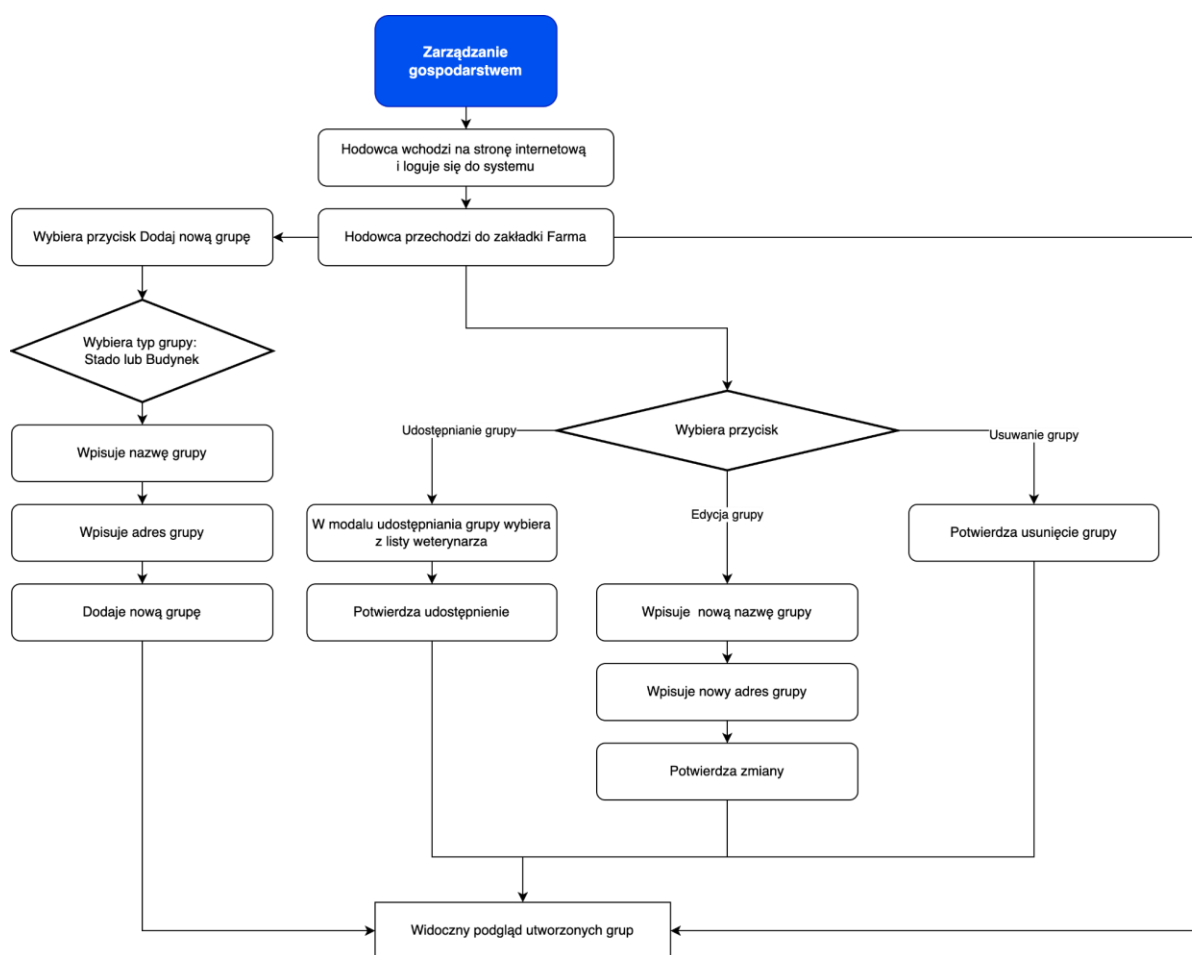


Diagram przedstawia pełen proces zarządzania gospodarstwem przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji “Farma”. W tej sekcji wyświetlane są grupy, czyli stada i budynki utworzone przez hodowcę. Każda grupa ma odpowiednio przyciski podglądu grupy, pomiarów, udostępniania, edycji i usuwania. Stada mają dodatkowo przycisk podglądu badań.

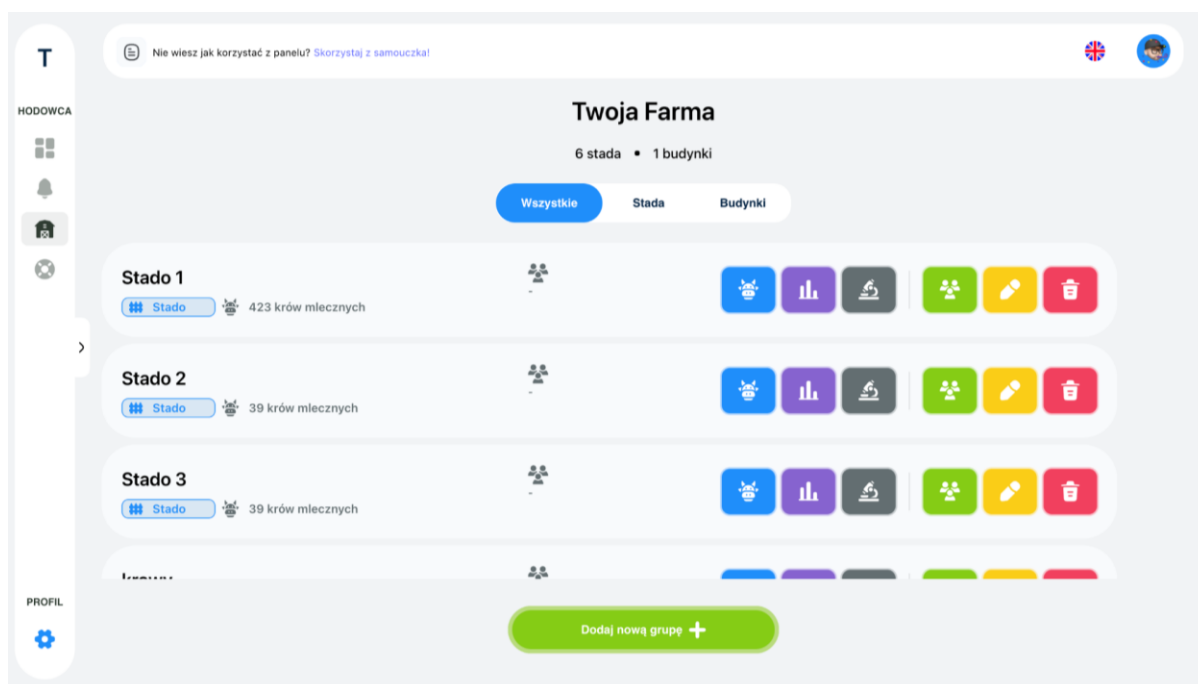


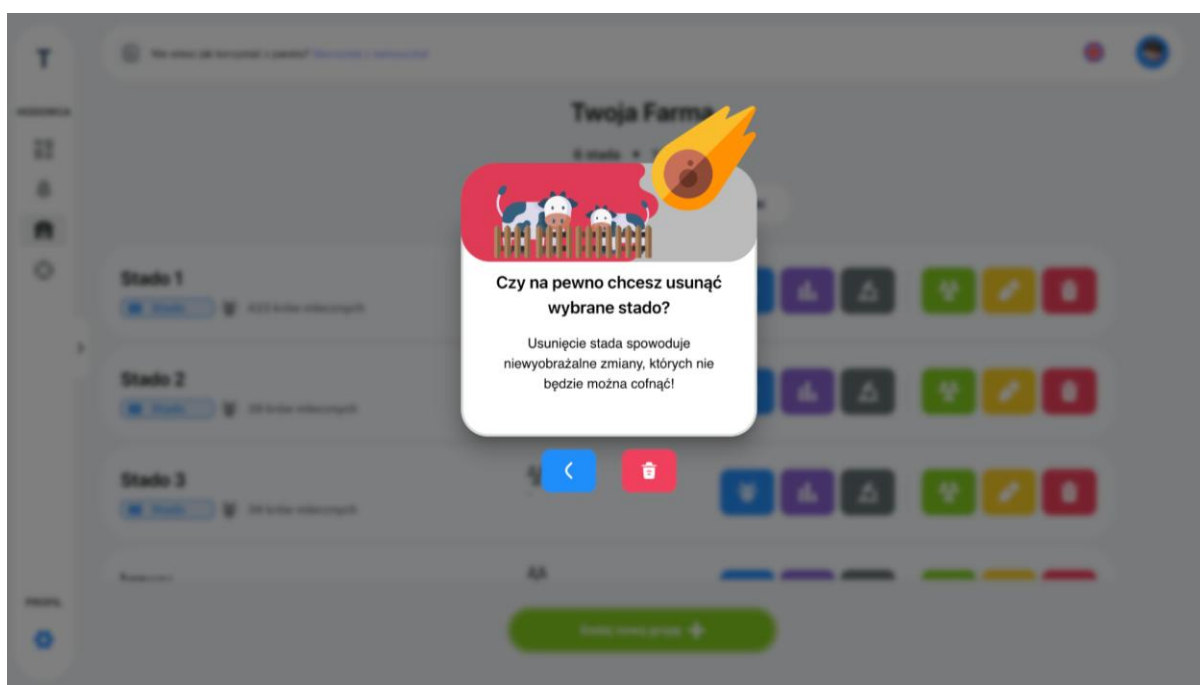
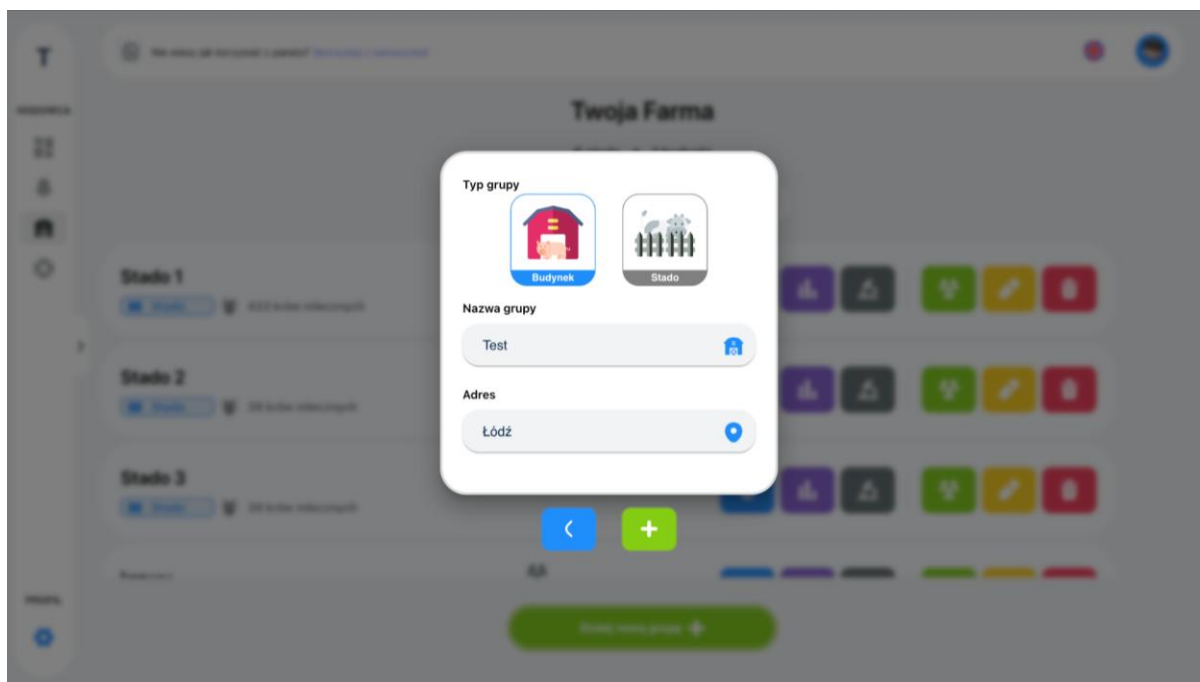
Aby dodać nową grupę hodowca musi użyć przycisku “Dodaj nową grupę” co wywołuje modal dodawania grupy. Zostanie on poproszony o wybranie typu grupy pomiędzy stadem a budynkiem, wpisanie nazwy oraz adresu grupy i potwierdzenie danych przyciskiem, co skutkuje utworzeniem nowej grupy.

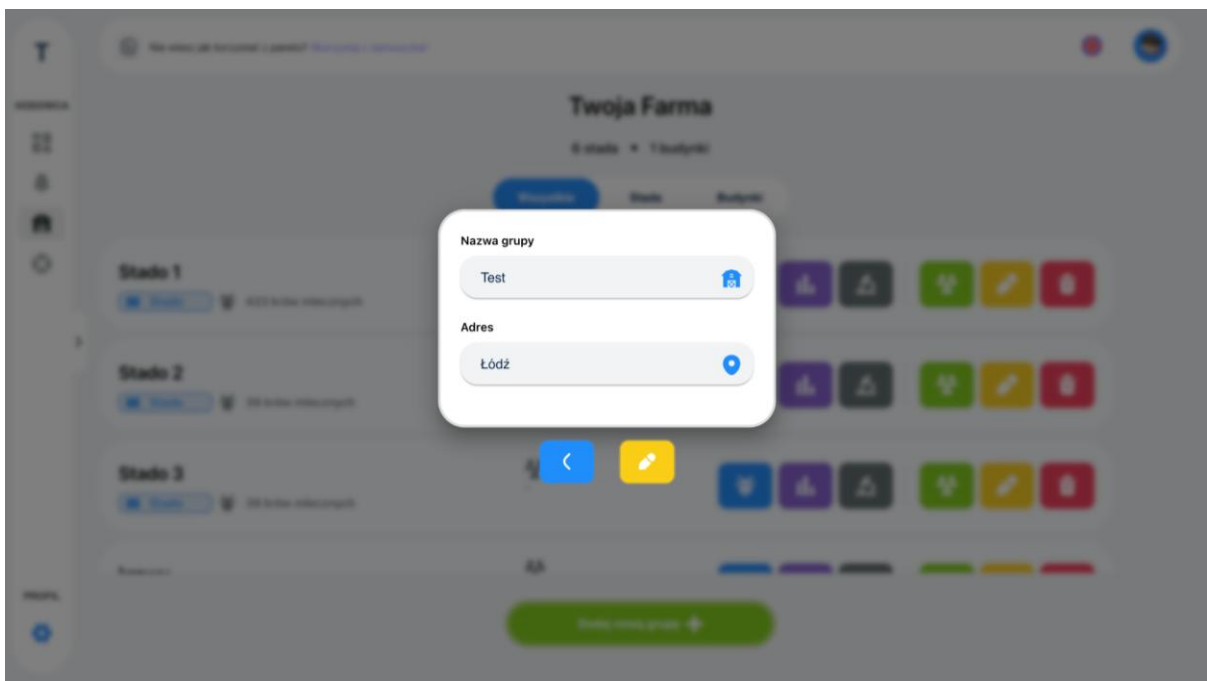
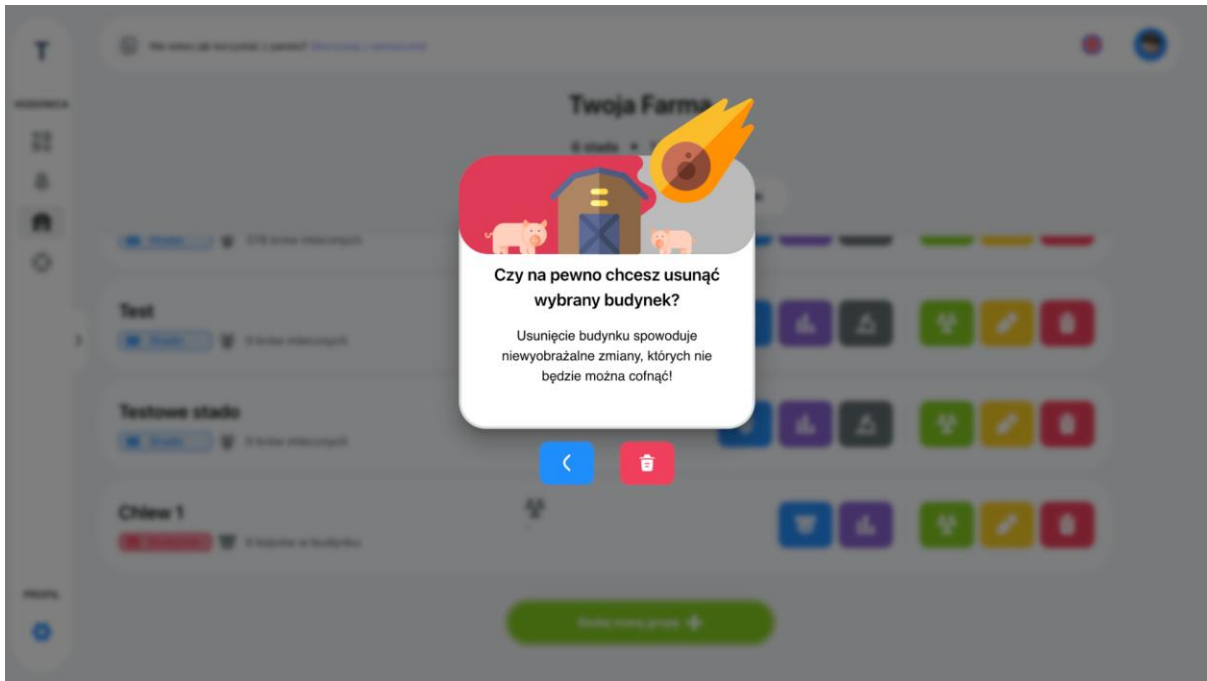
Hodowca może operować na istniejących grupach w następujące sposoby:

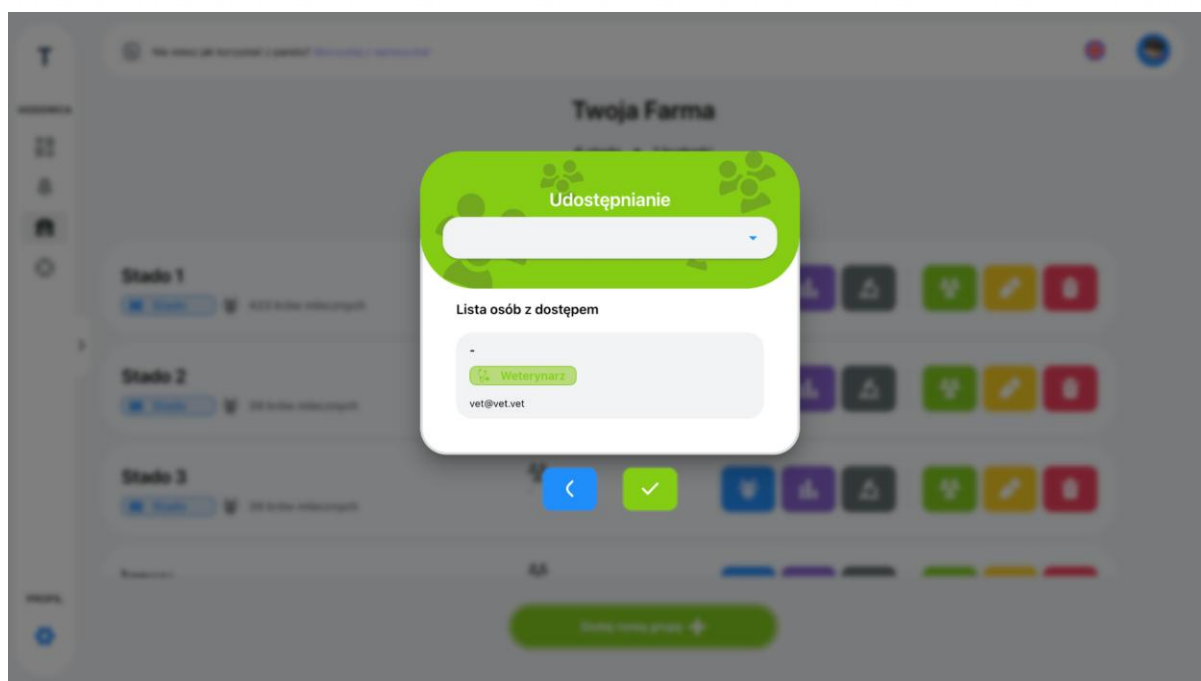
- Edycja - pozwala na zmianę danych istniejącej grupy, po kliknięciu przycisku edycji danej grupy, zostaje wyświetlony modal proszący o podanie nowej nazwy i adresu. Po potwierdzeniu wpisanych danych przyciskiem, grupa zostaje zmieniona
- Usuwanie - po kliknięciu przycisku usuwania, hodowca zostaje poproszony o potwierdzenie usunięcia, po którym dana grupa zostaje zlikwidowana
- Udostępnianie - pozwala na udostępnienie grupy określonemu weterynarzowi, po kliknięciu przycisku udostępniania pojawia się modal z rozwijaną listą dostępnych weterynarzy. Hodowca może wybrać weterynarza z listy i potwierdzić udostępnienie mu danej grupy przyciskiem

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:











6.3.2.3. Zarządzanie stadem

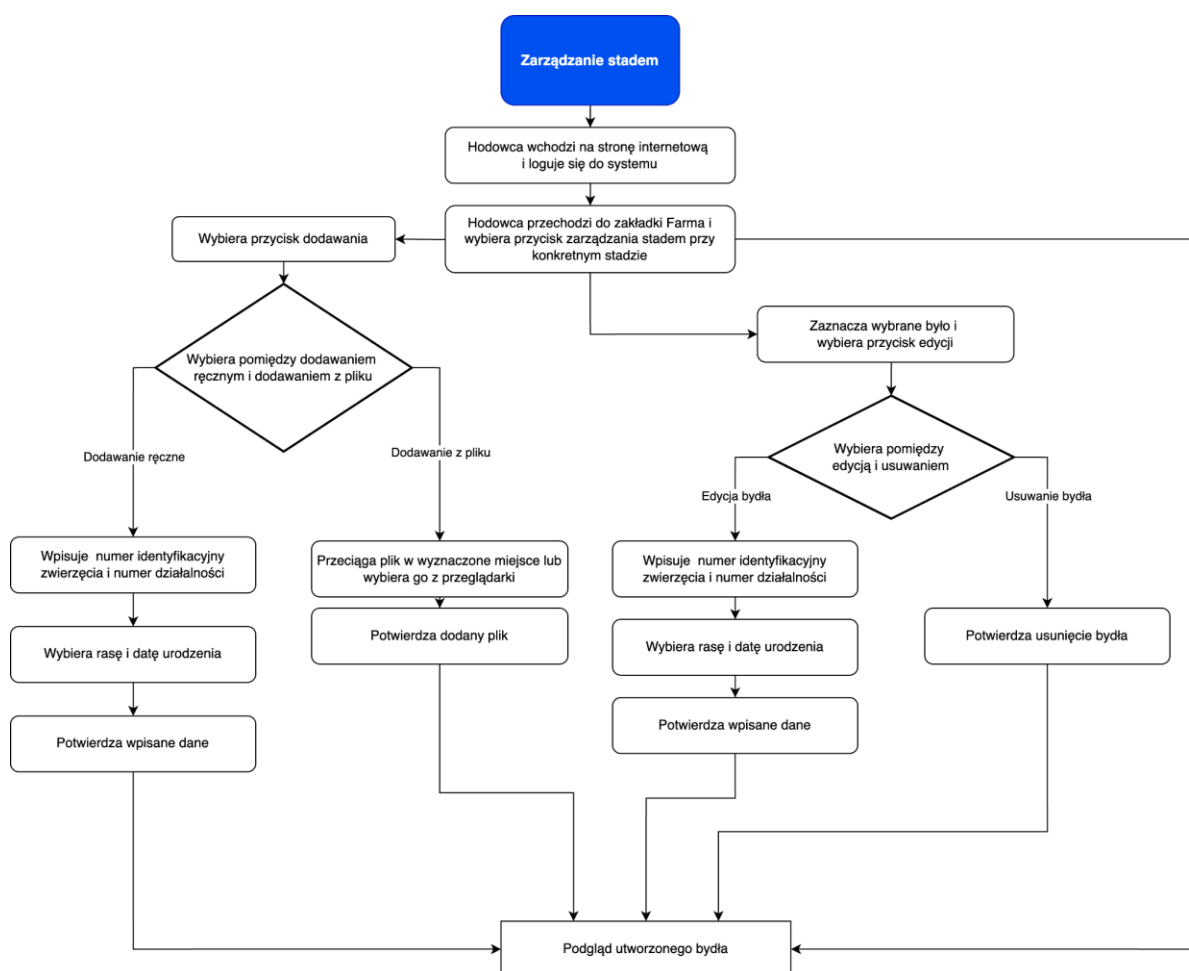


Diagram przedstawia pełen proces zarządzania stadem przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji “Farma”. Następnie po kliknięciu przycisku podglądu stada zostanie przeniesiony do widoku przedstawiającego wszystkie zwierzęta stada. Z poziomu tego widoku hodowca ma możliwość dodawania i edycji wpisów.

Proces dodawania zwierząt rozpoczęty jest poprzez kliknięcie przycisku dodawania, następnie wyróżnione są dwie opcje:



1. Dodawanie za pomocą pliku PDF:

- Hodowca klika przycisk przeznaczony do wgrywania pliku IRZ
- Następnie klika w wyznaczone pole, aby wybrać plik z lokalnego dysku, lub przeciąga plik bezpośrednio na to pole
- Po wybraniu pliku IRZ w formacie PDF, system prezentuje opcję potwierdzenia dodania badania
 - Jeśli hodowca wybierze "Tak", zwierzęta z pliku IRZ zostaną przetworzone i dodane do danego stada
 - Jeśli hodowca wybierze "Nie" (np. w celu zmiany pliku), powraca do kroku wyboru/przeciągania pliku

2. Dodawanie ręczne:

- Hodowca klika przycisk służący do ręcznego wprowadzania danych zwierzęcia
- Następnie wypełnia dedykowany formularz, podając numer identyfikacyjny, numer działalności, oraz rasę zwierzęcia i datę urodzenia
- Po wypełnieniu formularza, hodowca klika przycisk zatwierdzenia, co skutkuje zapisaniem zwierzęcia i powiązaniem go ze stadem

Hodowca po zaznaczeniu zwierzęcia ma do dyspozycji następujące operacje umożliwiające mu zarządzanie stadem:

- Edycja - po wybraniu opcji edycji, hodowca proszony jest o wypełnienie dedykowanego formularza, podając numer identyfikacyjny, numer działalności, oraz rasę zwierzęcia i datę urodzenia, po czym klika przycisk zatwierdzenia, co skutkuje zapisaniem nowych danych dla danego zwierzęcia
- Usuwanie - po wybraniu opcji usunięcia, hodowca jest proszony o potwierdzenie operacji po czym zwierzę zostaje usunięte

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:



TherMobEye

HODOWCA

- Dashboard
- Powiadomienia
- Farma
- Pomoc

Zobacz profil

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

Wyszukaj zwierzę...

	ID Zwierzęcia	Nr Działalności	Gatunek	Rasa	Data urodzenia
☐	PL005475382781	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL0054344444	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL005492781635	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2021.1.20
☐	PL005492781604	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.15
☐	PL005492781598	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.30

1 2 3 4 5 ... 85

T

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

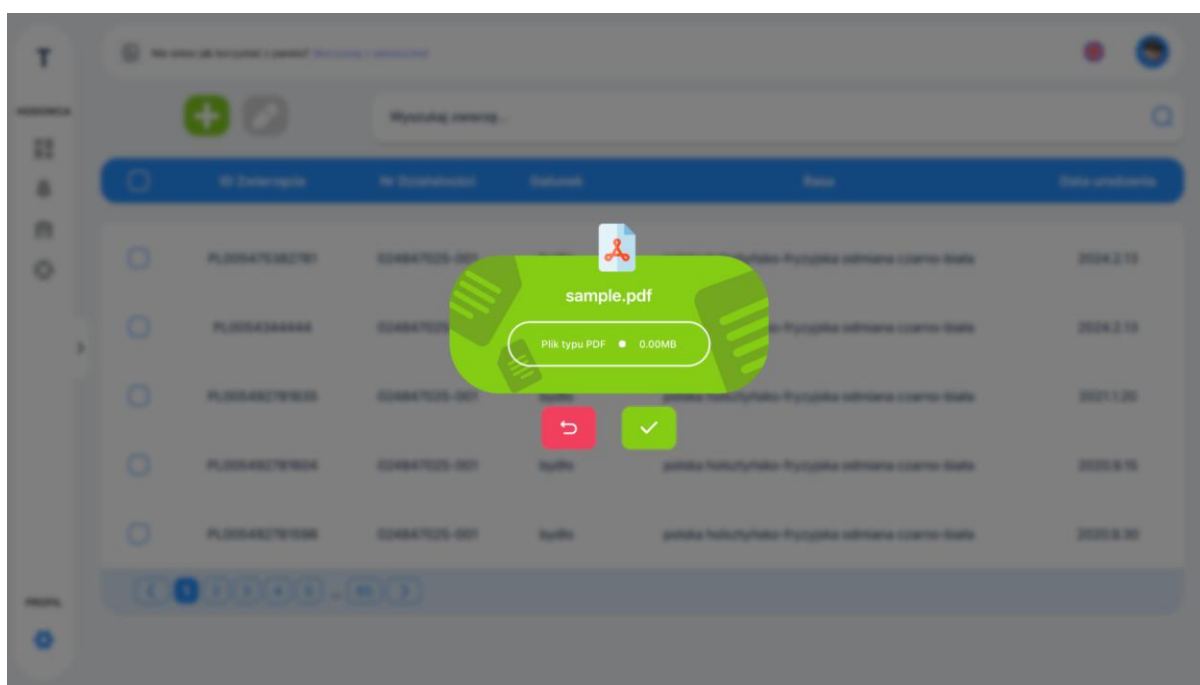
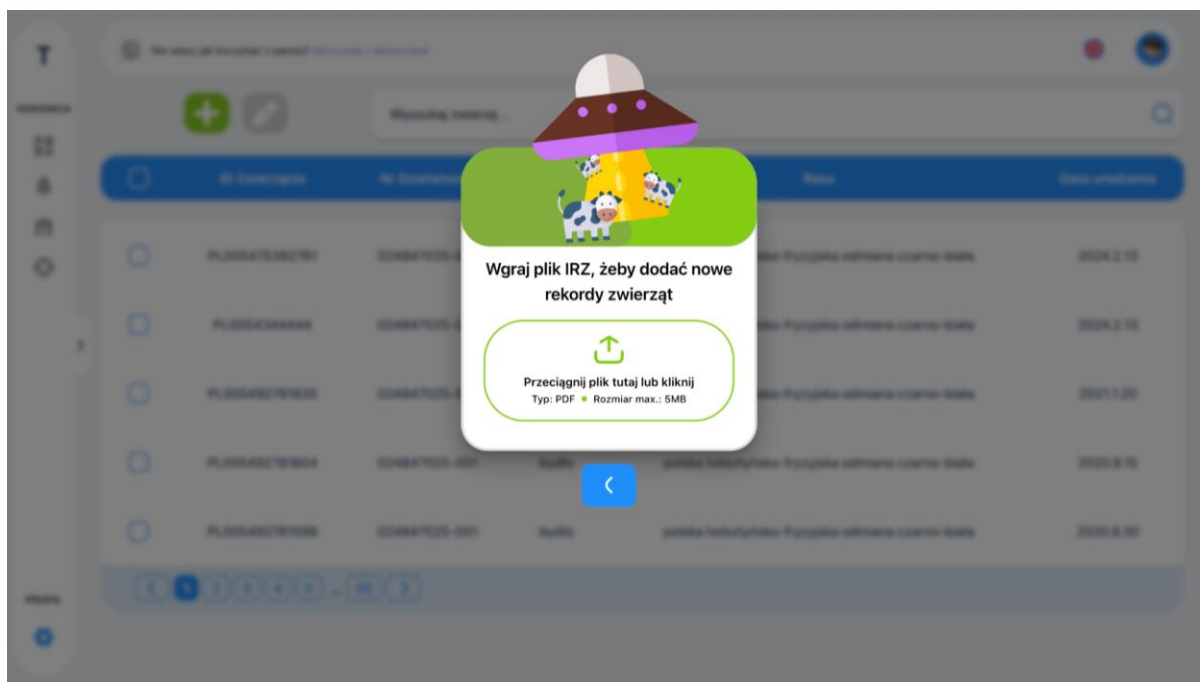
Wyszukaj zwierzę...

Wgraj plik IRZ

Dodaj rekord ręcznie

	Nr Działalności	Gatunek	Rasa	Data urodzenia	
☐	PL005475382781	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL0054344444	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL005492781635	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2021.1.20
☐	PL005492781604	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.15
☐	PL005492781598	024847025-001	bydło	polska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.30

1 2 3 4 5 ... 85





Wyszukaj zwierzę...

ID Zwierzęcia	Nr Działalności	Rasa	Data urodzenia
TEST123	123123	jersey	15.10.2024

< +

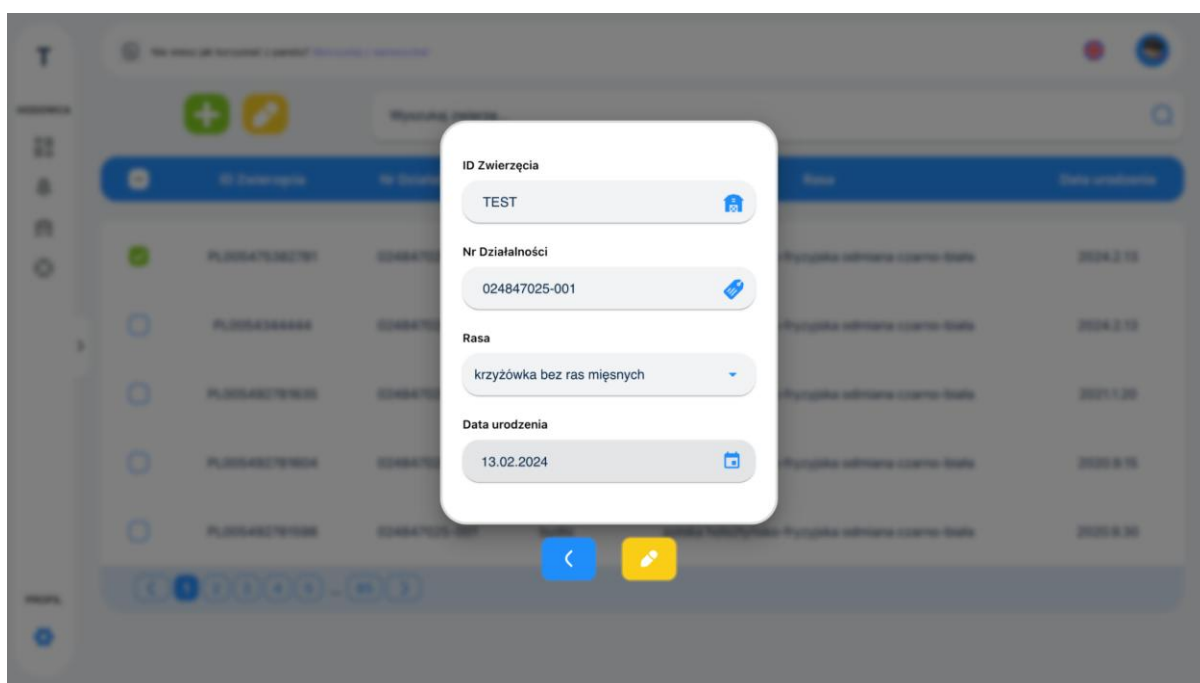
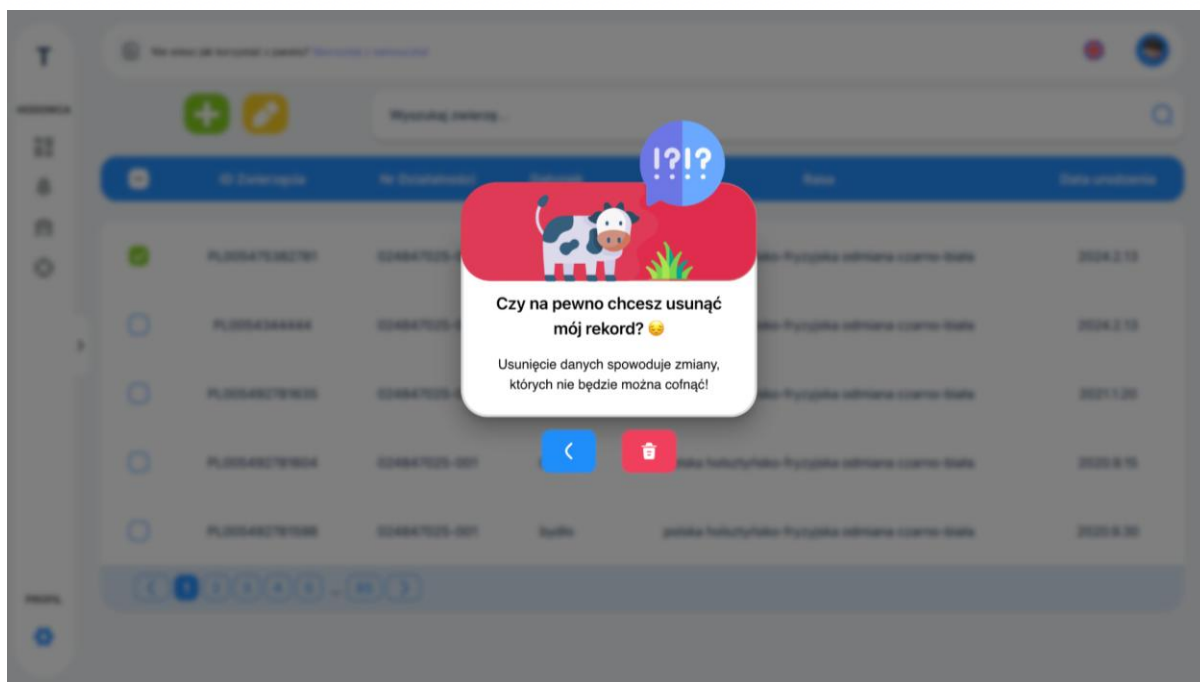
Wyszukaj zwierzę...

Edytuj rekord

Usuń rekord

	ID 2	Nr Działalności	Gatunek	Rasa	Data urodzenia
☒	PL005475382781	024847025-001	bydło	poliska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL0054344444	024847025-001	bydło	poliska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2024.2.13
☐	PL005492781635	024847025-001	bydło	poliska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2021.1.20
☐	PL005492781604	024847025-001	bydło	poliska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.15
☐	PL005492781598	024847025-001	bydło	poliska holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno-biała	2020.9.30

< 1 2 3 4 5 - 85 >





6.3.2.4 Zarządzanie budynkiem



Diagram przedstawia pełen proces zarządzania budynkiem przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji "Farma". Następnie po kliknięciu przycisku podglądu budynku zostanie przeniesiony do widoku przedstawiającego wszystkie kojce danego budynku.



Z poziomu tego widoku hodowca ma możliwość dodawania i edycji wpisów.

Proces dodawania kojca rozpoczęty jest poprzez kliknięcie przycisku dodawania, następnie hodowca wypełnia dedykowany formularz, podając nazwę kojca, numer kolczyka oraz podział gatunkowy w kojcu pomiędzy maciory, prosięta, tuczniki w cyklu zamkniętym i otwartym. Po wypełnieniu formularza, hodowca klika przycisk zatwierdzenia, co skutkuje zapisaniem kojca i powiązaniem go z budynkiem.

Hodowca po zaznaczeniu zwierzęcia ma do dyspozycji następujące operacje umożliwiające mu zarządzanie stadem:

- Edycja - po wybraniu opcji edycji, hodowca proszony jest o wypełnienie dedykowanego formularza, podając nazwę kojca, numer kolczyka oraz podział gatunkowy w kojcu, po czym klika przycisk zatwierdzenia, co skutkuje zapisaniem nowych danych dla danego kojca
- Usuwanie - po wybraniu opcji usuwania, hodowca jest proszony o potwierdzenie operacji po czym kojec zostaje usunięty

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:

The screenshot displays the 'TherMobEye' web application interface. A modal form is open for adding or editing a piglet. The form contains the following fields and controls:

- Nazwa kojca**: A text input field with a calendar icon on the right.
- Nr kolczyka**: A text input field with a tag icon on the right.
- Podział gatunkowy kojca**: A section with four rows, each representing a category and its count:
 - Tuczniki (cykl otwarty)**: A row with a green minus button, a text input showing '0', and a green plus button.
 - Tuczniki (cykl zamknięty)**: A row with a red minus button, a text input showing '0', and a red plus button.
 - Maciory**: A row with a purple minus button, a text input showing '0', and a purple plus button.
 - Prosięta**: A row with a yellow minus button, a text input showing '0', and a yellow plus button.

At the bottom of the form, there are two buttons: a blue back arrow and a grey checkmark confirmation button.



Wyszukaj kójca...

	Nr kójca	Nr kółczyka	Podział gatunkowy kójca
☒	1X_D	12345FD	3 1 2 2
☐	1X_E	12345FD	53 33 24 30
☐	1X_E	12345FD	53 33 30
☐	1X_T	12345FL	6 3 4 2
☐	1X_DD	123FEEE	1 2 3 4

Wyszukaj kójca...

	Nr kójca	Nr kółczyka	Podział gatunkowy kójca
☒	1X_D	12345FD	3 1 2 2
☐	1X_E	12345FD	53 33 24 30
☐	1X_E	12345FD	53 33 30
☐	1X_T	12345FL	6 3 4 2
☐	1X_DD	123FEEE	1 2 3 4

!?!?

Czy na pewno chcesz usunąć mój rekord? 🤖

Usunięcie danych spowoduje zmiany, których nie będzie można cofnąć!

Podział gatunkowy kójca			
Tuczniaki (cykl otwarty)	-	3	+
Tuczniaki (cykl zamknięty)	-	1	+
Maciory	-	2	+
Prosięta	-	2	+

6.3.2.5. Podgląd pomiarów

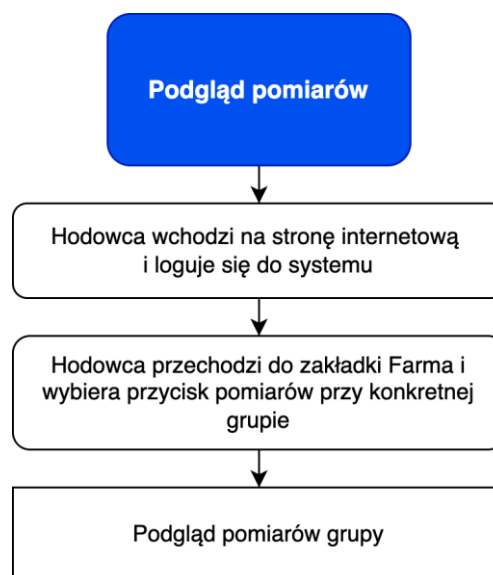
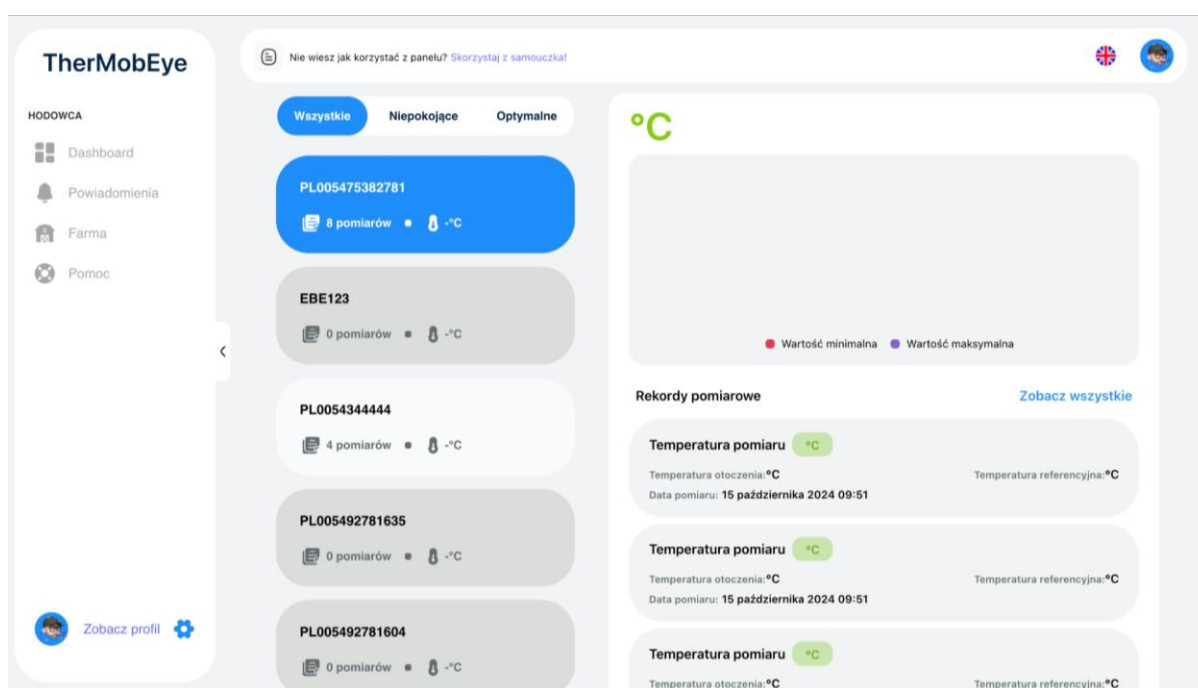


Diagram przedstawia podstawowy przepływ uzyskiwania podglądu pomiarów danej grupy przez hodowcę w systemie.



Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji “Farma”, w której wybiera przycisk podglądu pomiarów przy wybranej przez siebie grupie. Zostaje następnie przekierowany do widoku wyświetlającego wszystkie zwierzęta lub kojce danej grupy. Po kliknięciu w dane zwierzę lub kojec zostaną przedstawione szczegóły pomiarów.

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:



6.3.2.6. Podgląd badań

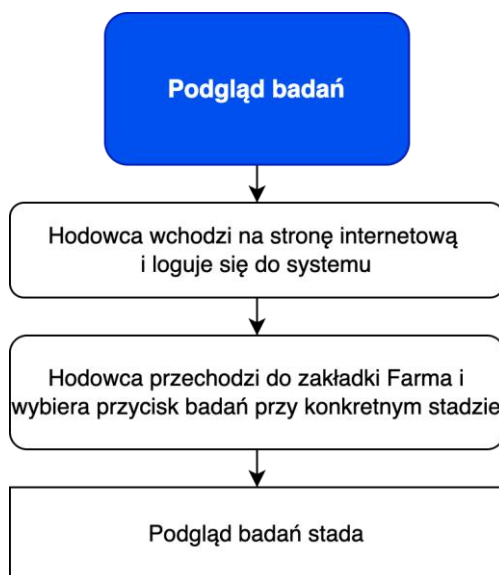
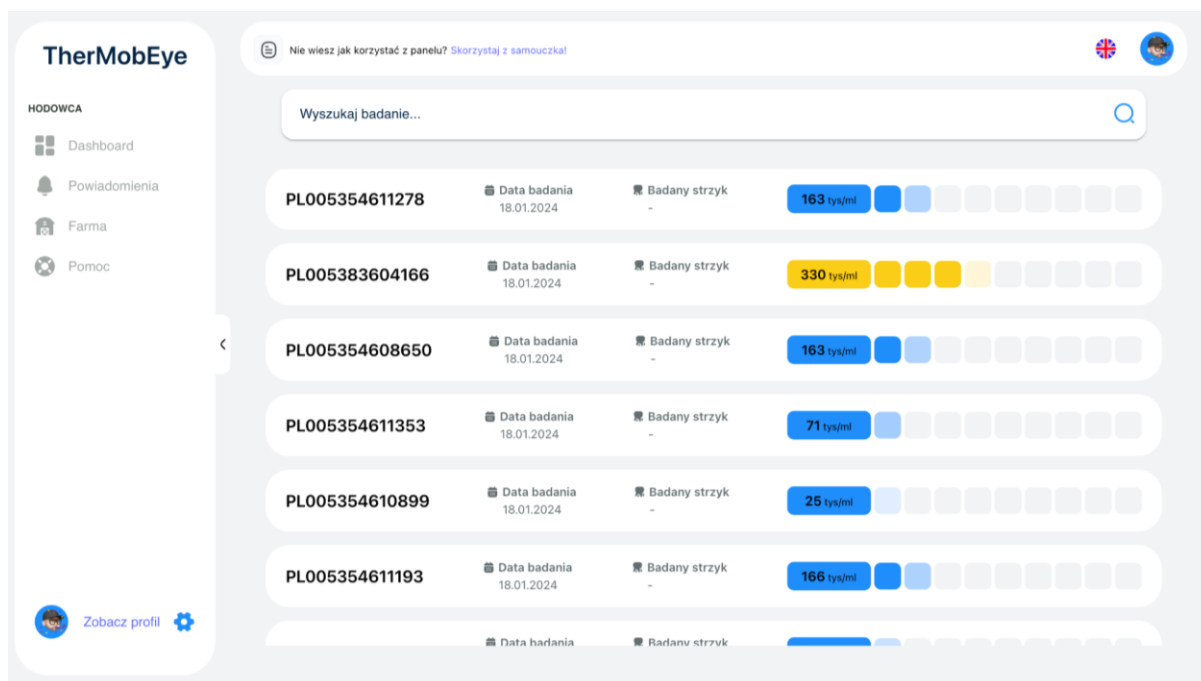
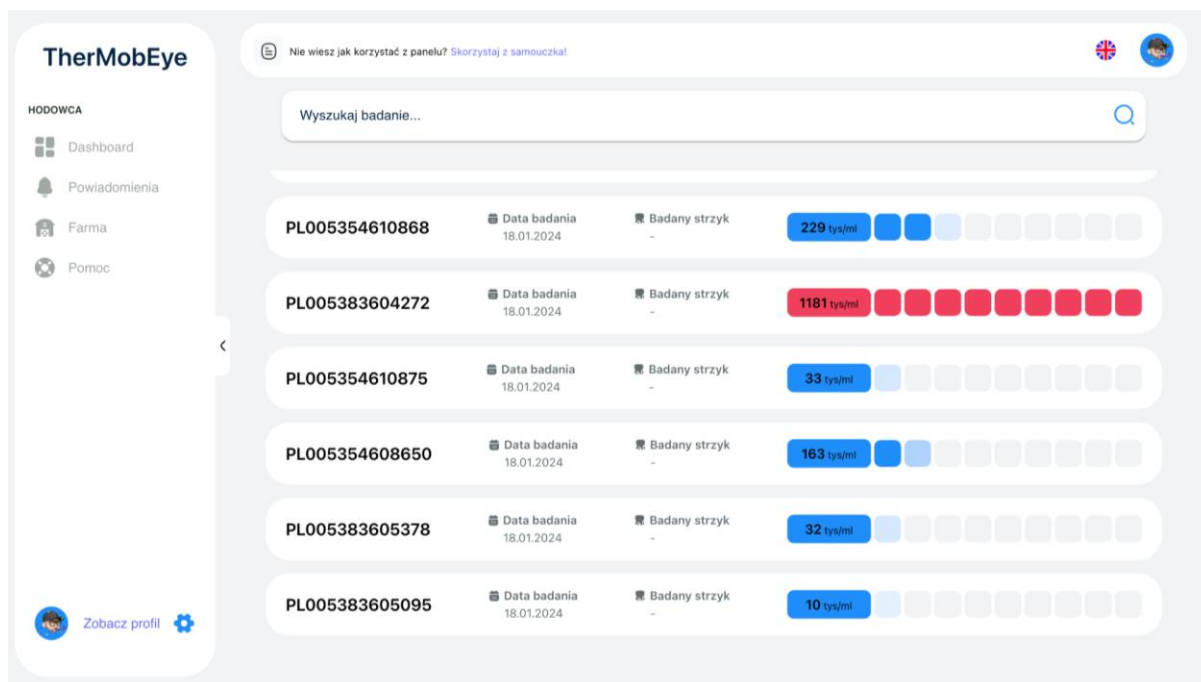


Diagram przedstawia podstawowy przepływ uzyskiwania podglądu badań danego stada przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji “Farma”, w której wybiera przycisk podglądu badań przy wybranej przez siebie grupie. Zostaje następnie przekierowany do widoku wyświetlającego wszystkie badania danego stada.



Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:





6.3.2.7. Analiza danych offline

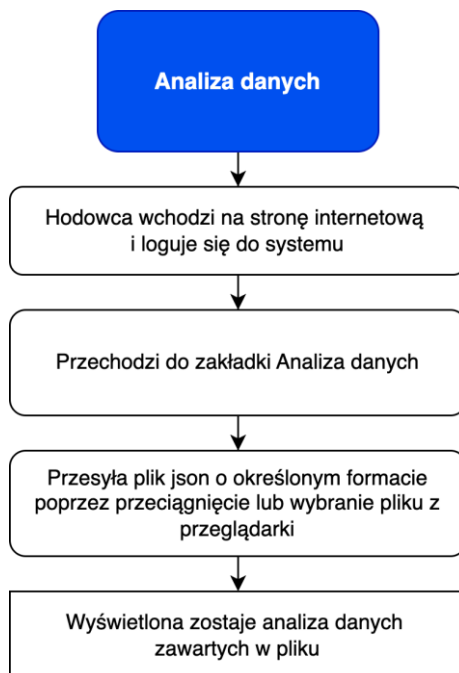


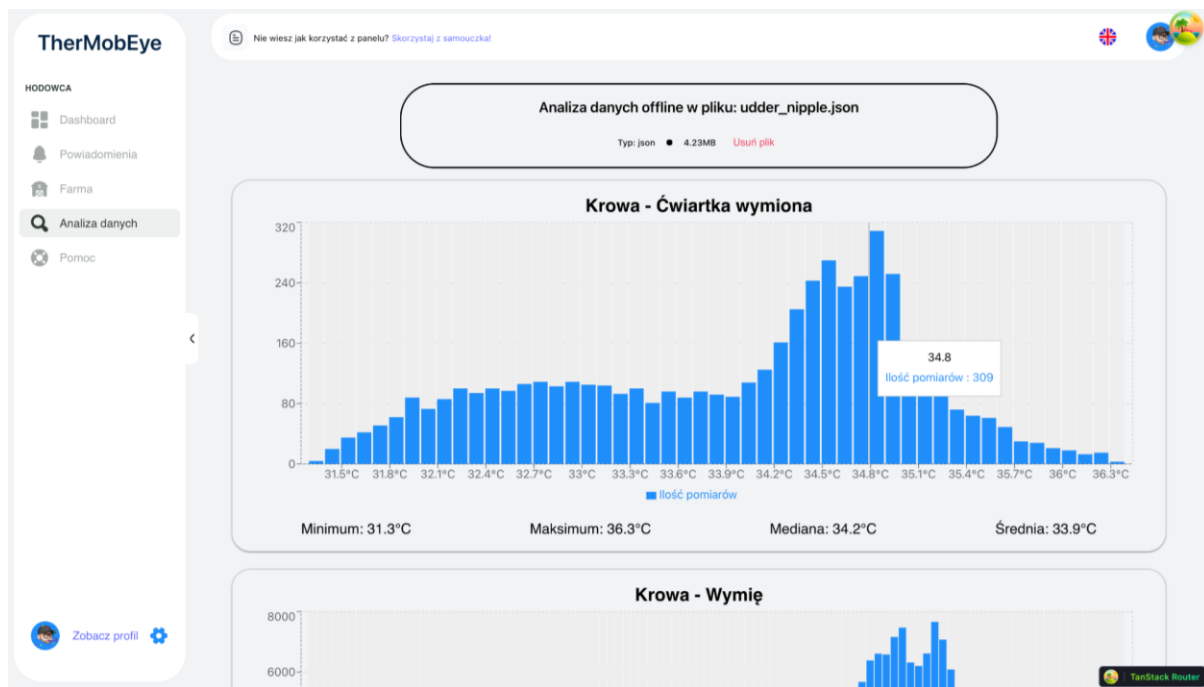
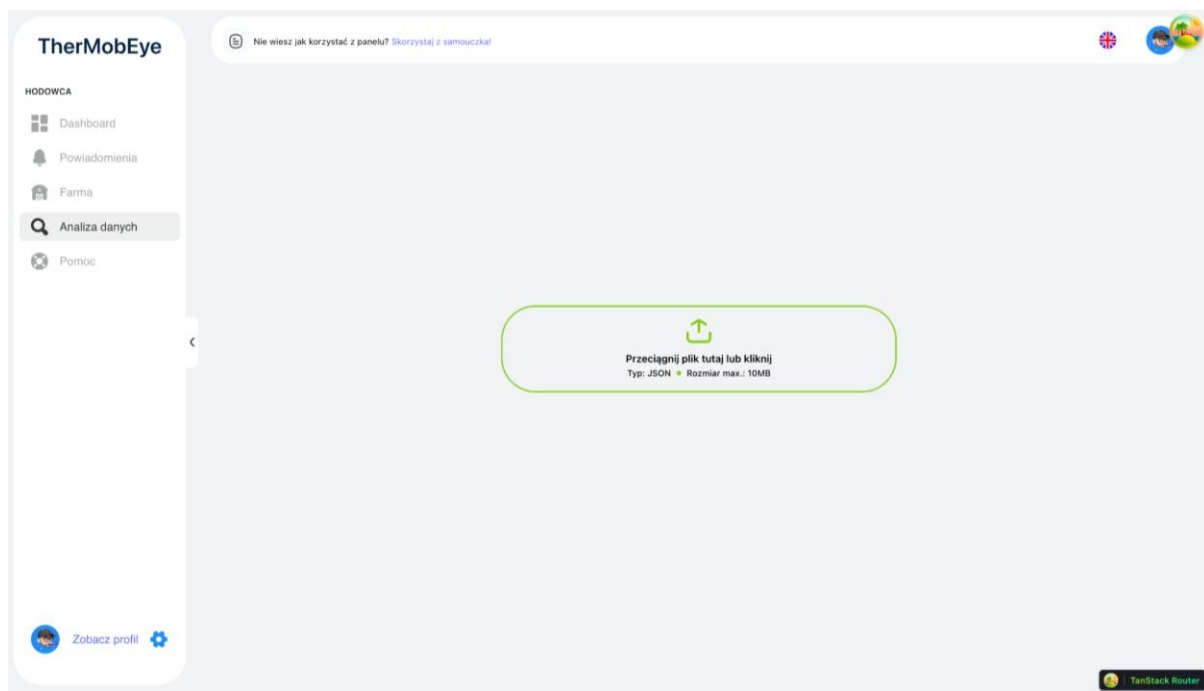
Diagram przedstawia pełen proces uzyskania analizy danych offline przez hodowcę w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji hodowcy, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, hodowca musi przejść do sekcji "Analiza danych".

Aby uzyskać analizę danych hodowca klika w wyznaczone pole, aby wybrać plik z lokalnego dysku, lub przeciąga plik bezpośrednio na to pole. Plik musi być plikiem JSON w określonym formacie. Po przesłaniu poprawnego pliku wyświetla się analiza danych w nim zawartych. Aby przeanalizować inny plik, użytkownik może usunąć plik, lub odświeżyć stronę



Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:





6.3.3. Weterynarz

6.3.3.1. Podgląd badań

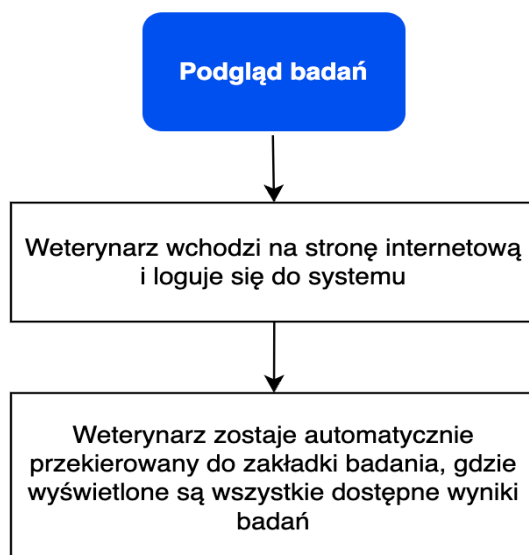


Diagram przedstawia podstawowy przepływ uzyskiwania podglądu wyników badań przez weterynarza w systemie.

Proces rozpoczyna się od akcji weterynarza, który wchodzi na stronę internetową aplikacji i loguje się do swojego konta w systemie. Po pomyślnym uwierzytelnieniu, weterynarz jest automatycznie przekierowywany przez system do dedykowanej zakładki "badania". W tej sekcji wyświetlane są wszystkie dostępne wyniki badań powiązane z kontem użytkownika. Schemat ilustruje główną, pomyślną ścieżkę dostępu do podglądu badań.

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:



TherMobEye

WETERYNARZ

Powiadomienia

Badania

Hodowcy

Pomoc

Zobacz profil

Ustawienia

🔍

Wyszukaj badanie...

PL005492333384

📅

Data badania

23.03.2024

🐄

Badany strzyk

Prawy dolny

4 tys/ml

PL005354610639

📅

Data badania

15.02.2024

🐄

Badany strzyk

-

40 tys/ml

PL005354610905

📅

Data badania

15.02.2024

🐄

Badany strzyk

-

60 tys/ml

PL005354610936

📅

Data badania

15.02.2024

🐄

Badany strzyk

-

139 tys/ml

PL005354610653

📅

Data badania

15.02.2024

🐄

Badany strzyk

-

62 tys/ml

PL005354609893

📅

Data badania

15.02.2024

🐄

Badany strzyk

-

12 tys/ml



6.3.3.2. Zarządzanie hodowcami pod opieką weterynarza

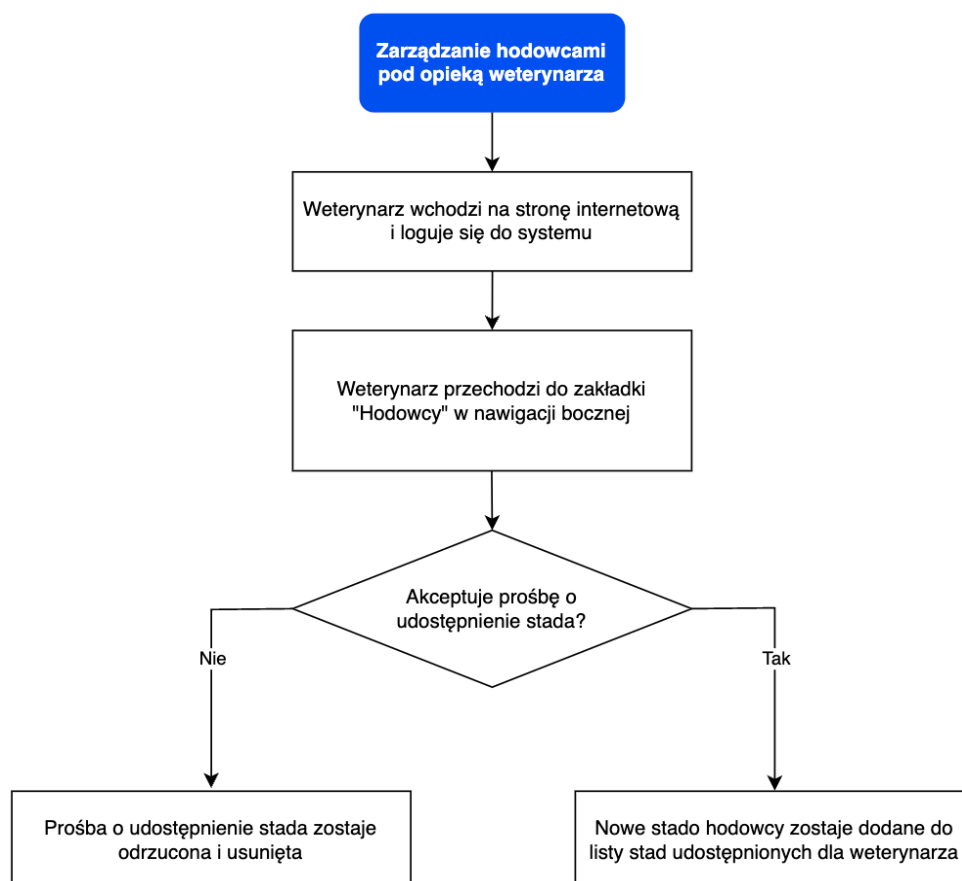


Diagram ilustruje proces zarządzania przez weterynarza prośbami o udostępnienie danych stada pochodzącymi od hodowców.

Przepływ rozpoczyna się od zalogowania się weterynarza do systemu przez stronę internetową. Po pomyślnym zalogowaniu, weterynarz przechodzi do zakładki "Hodowcy", która jest dostępna w menu nawigacji bocznej. W tym miejscu weterynarz staje przed koniecznością podjęcia decyzji dotyczącej otrzymanej prośby o udostępnienie stada.

Diagram przedstawia dwa możliwe scenariusze:

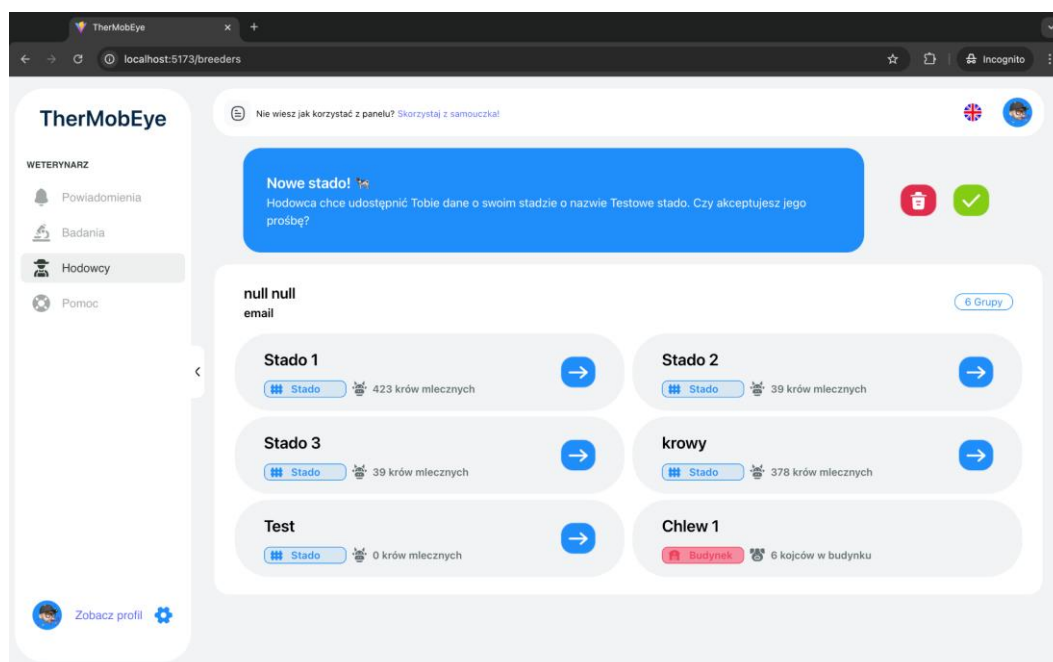
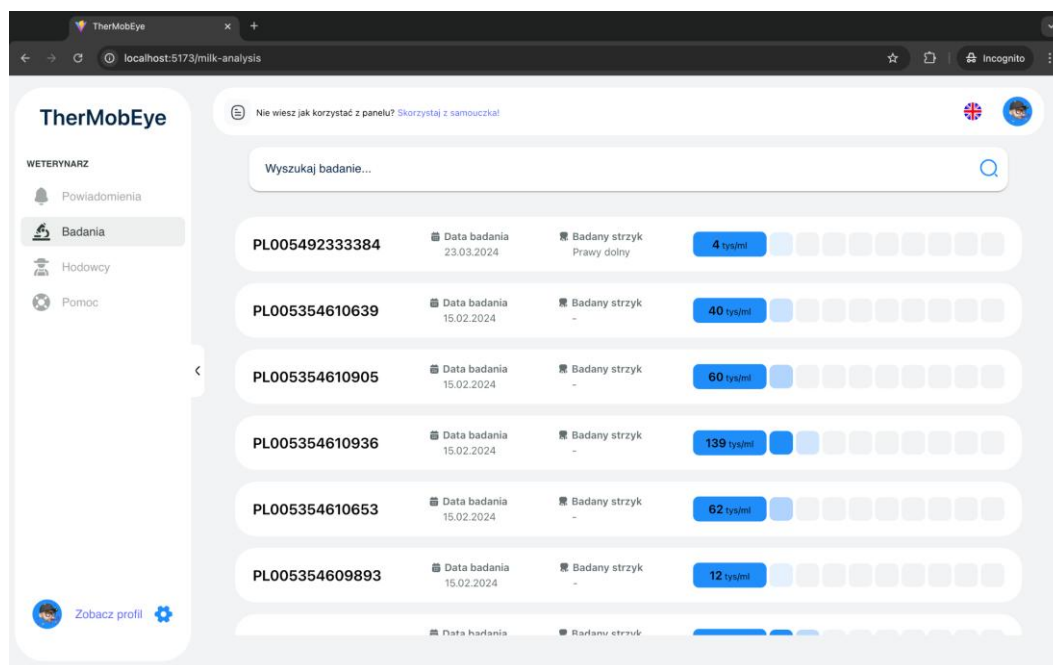
- Ścieżka "Tak": Jeśli weterynarz akceptuje prośbę, nowe stado należące do hodowcy zostaje dodane do listy stad, które są udostępnione i widoczne dla weterynarza w systemie.



- Ścieżka "Nie": Jeśli weterynarz odrzuca prośbę, zostaje ona usunięta z systemu, a weterynarz nie uzyskuje dostępu do danych tego stada.

Schemat przedstawia podstawowy mechanizm decyzyjny weterynarza dotyczący przyjmowania stad hodowców pod swoją opiekę w ramach aplikacji.

Poniżej odzwierciedlenie na stronie internetowej:





6.3.3.3. Dodawanie badań danego stada

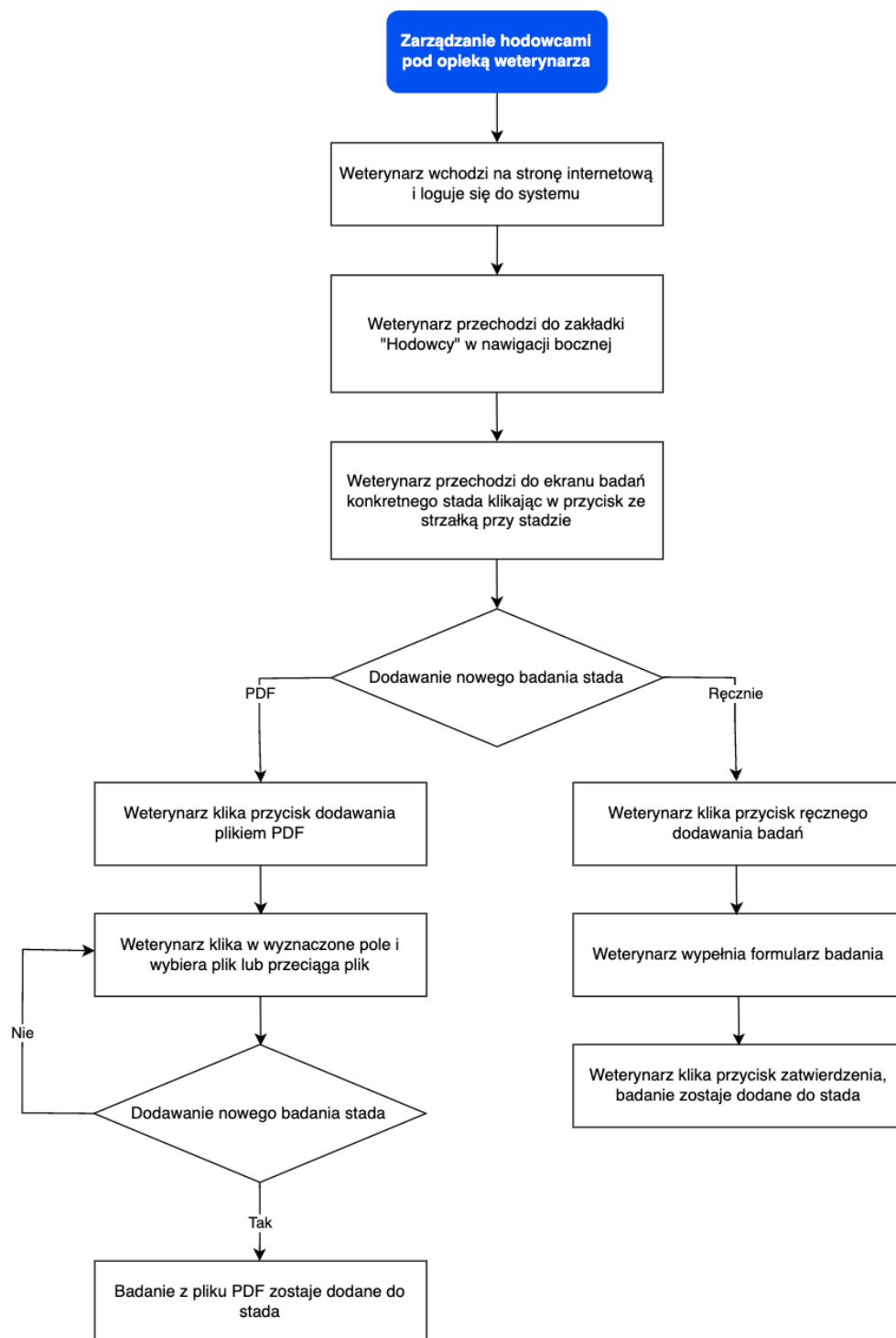




Diagram szczegółowo opisuje proces dodawania nowego badania dla konkretnego stada przez weterynarza w systemie.

Proces rozpoczyna się od zalogowania weterynarza do systemu poprzez stronę internetową. Następnie weterynarz przechodzi do sekcji "Hodowcy" dostępnej w nawigacji bocznej. Z listy hodowców i stad wybiera konkretne stado, klikając przycisk ze strzałką, aby przejść do ekranu dedykowanego badaniom tego stada.

Na ekranie badań stada, weterynarz staje przed wyborem metody dodania nowego badania:

1. Dodawanie za pomocą pliku PDF:

- Weterynarz klika przycisk przeznaczony do dodawania badań z pliku PDF.
- Następnie klika w wyznaczone pole, aby wybrać plik z lokalnego dysku, lub przeciąga plik bezpośrednio na to pole.
- Po wybraniu pliku, system prezentuje opcję potwierdzenia dodania badania.
 - Jeśli weterynarz wybierze "Tak", badanie z pliku PDF zostaje przetworzone i dodane do historii badań danego stada.
 - Jeśli weterynarz wybierze "Nie" (np. w celu zmiany pliku), powraca do kroku wyboru/przeciągania pliku.

2. Dodawanie ręczne:

- Weterynarz klika przycisk służący do ręcznego wprowadzania danych badania.
- Następnie wypełnia dedykowany formularz, podając wszystkie wymagane informacje dotyczące badania.
- Po wypełnieniu formularza, weterynarz klika przycisk zatwierdzenia, co skutkuje zapisaniem badania i powiązaniem go z wybranym stadem.

Schemat ten prezentuje dwie alternatywne ścieżki wprowadzania danych o badaniach stada, umożliwiając elastyczność w zależności od formy posiadanych wyników (plik PDF lub wpisywanie ręczne).



TherMobEye

WETERYNARZ

- Powiadomienia
- Badania
- Hodowcy
- Pomoc

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

Nowe stado! 🐄
Hodowca chce udostępnić Tobie dane o swoim stadzie o nazwie Testowe stado. Czy akceptujesz jego prośbę?

6 Grupy

Stado 1
423 krów mlecznych

Stado 2
39 krów mlecznych

Stado 3
39 krów mlecznych

krowy
378 krów mlecznych

Test
0 krów mlecznych

Chlew 1
6 kociów w budynku

Zobacz profil

TherMobEye

WETERYNARZ

- Powiadomienia
- Badania
- Hodowcy
- Pomoc

Nie wiesz jak korzystać z panelu? Skorzystaj z samouczka!

Wyszukaj badanie...

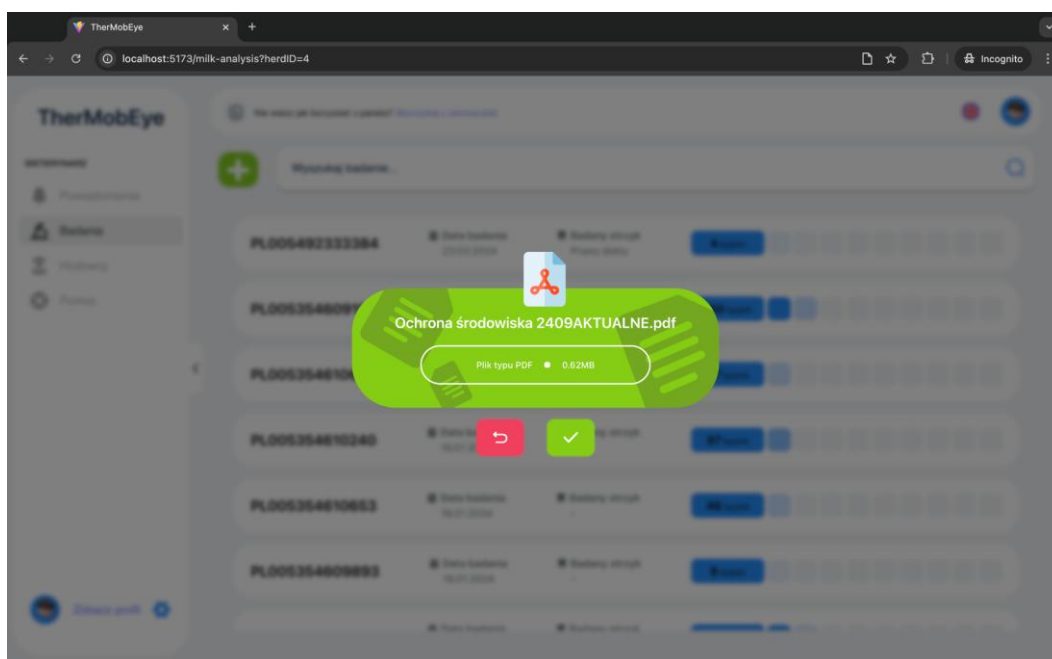
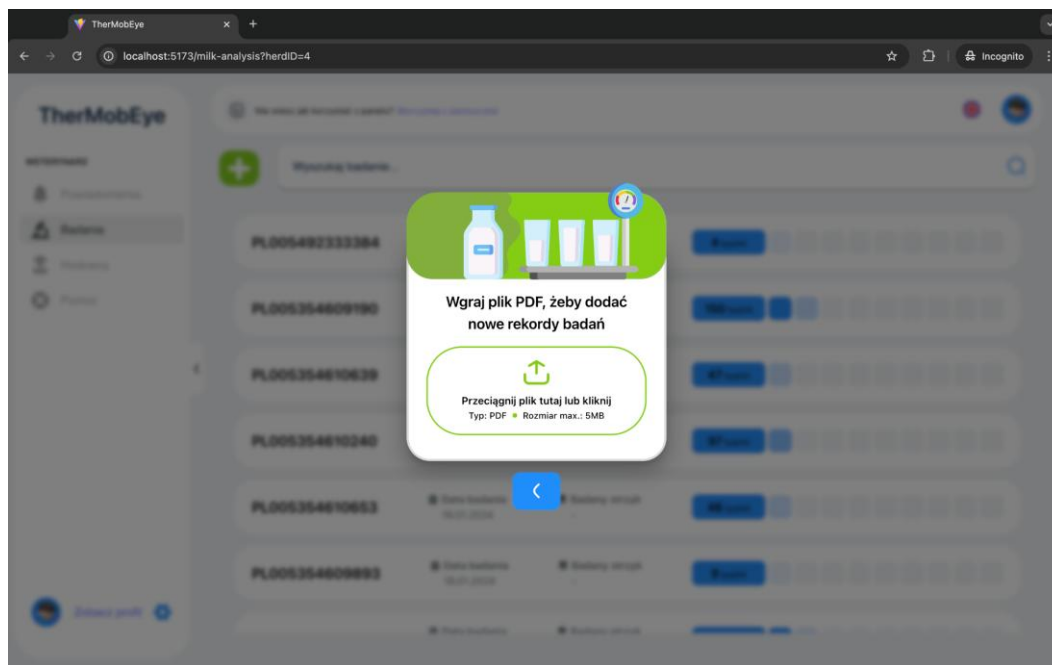
PL005492333384	Data badania 23.03.2024	Badany strzyk Prawy dolny	4 tys/ml
PL005354609190	Data badania 18.01.2024	Badany strzyk -	150 tys/ml
PL005354610639	Data badania 18.01.2024	Badany strzyk -	47 tys/ml
PL005354610240	Data badania 18.01.2024	Badany strzyk -	97 tys/ml
PL005354610653	Data badania 18.01.2024	Badany strzyk -	46 tys/ml
PL005354609893	Data badania 18.01.2024	Badany strzyk -	9 tys/ml

Data badania

Badany strzyk



Ścieżka dodawania PDF





Ścieżka dodawania ręcznego

The screenshot shows the TherMobEye web application interface. A modal form is open for adding a new animal record. The form contains the following fields and options:

- ID Zwierzęcia:** A dropdown menu with a blue arrow icon.
- Data badania:** A date input field showing "15.10.2024" with a calendar icon.
- Liczba komórek somatycznych:** A numeric input field with a "Podaj ilość" label, a minus button, a value of "0", and a plus button.
- Badane wymiona:** A section with four checkboxes:
 - Prawy górny strzyk
 - Lewy górny strzyk
 - Prawy dolny strzyk
 - Lewy dolny strzyk
- Opcjonalnie:** A section with no visible options.

The background shows a list of animals with columns for ID, Date, and Status. The first visible entry is "PL005354810653".

The screenshot shows the same TherMobEye web application interface, but the modal form now contains the following data:

- ID Zwierzęcia:** "PL005475382781"
- Data badania:** "15.10.2024"
- Liczba komórek somatycznych:** "3"
- Badane wymiona:** The "Prawy górny strzyk" checkbox is checked, while the others are unchecked.
- Opcjonalnie:** No visible options.

The background shows the same list of animals. The first visible entry is "PL005354810653".



7. Aplikacja mobilna

7.1 Informacje Ogólne

7.1.1 Omówienie Aplikacji

System TherMobEye to wielowarstwowa platforma przeznaczona do pomiarów i analizy obrazów radiometrycznych bydła oraz trzody chlewnej, wspierająca działania diagnostyczne i zarządcze w gospodarstwach rolnych. Aplikacja umożliwia użytkownikom końcowym – hodowcom, oraz badaczom – prowadzenie kompleksowego nadzoru nad stanem zdrowia zwierząt poprzez integrację danych pomiarowych z funkcjonalnymi interfejsami użytkownika, zarówno w aplikacji mobilnej, jak i webowej.

Główne założenia funkcjonalne aplikacji koncentrują się wokół rejestrowania, przeglądania i analizy pomiarów temperatur zwierząt przy użyciu dedykowanej aparatury pomiarowej (kamera termowizyjna FLIR ONE PRO) zamontowanej na smartfonie. Dane zebrane podczas pomiarów są następnie przesyłane do systemu, gdzie podlegają przetwarzaniu i analizie przy pomocy zaawansowanych algorytmów detekcji i segmentacji obrazu.

7.1.2 Technologie Aplikacji

System został zrealizowany z wykorzystaniem nowoczesnych technologii – część serwerowa oparta została na architekturze Spring Boot (Java), z użyciem PostgreSQL jako bazy danych oraz Elasticsearch jako komponentu analitycznego. Część mobilna funkcjonuje na urządzeniach z systemem Android oraz iOS, zapewniając pełne wsparcie dla terenowego zbierania informacji.

7.1.3 Dostępność Aplikacji

System TherMobEye został zaprojektowany z myślą o maksymalnej dostępności i elastyczności użytkowania, zarówno w środowisku stacjonarnym, jak i terenowym. Aplikacja mobilna dostępna jest na systemy operacyjne Android oraz iOS, co pozwala na jej instalację i obsługę na większości smartfonów i tabletów. Z uwagi na specyfikę pracy w gospodarstwach rolnych, mobilna wersja aplikacji została zoptymalizowana pod kątem obsługi w warunkach



terenowych – zapewnia intuicyjny interfejs badacza, wsparcie dla aparatury pomiarowej (FLIR ONE PRO).

Dostępność na obie platformy mobilne umożliwia szerokiemu gronu użytkowników korzystanie z aplikacji bez potrzeby inwestowania w specjalistyczne urządzenia. Dzięki temu hodowcy oraz weterynarze mogą w czasie rzeczywistym wykonywać pomiary temperatury zwierząt, przeglądać dane historyczne, zarządzać stadem lub budynkami oraz synchronizować dane z systemem webowym.

7.2. Role Aplikacji

System mobilny TherMobEye został zaprojektowany jako rozwiązanie wielomodułowe, w którym każda grupa użytkowników otrzymuje dostęp do dedykowanych funkcjonalności, zgodnych z jej zakresem obowiązków oraz poziomem uprawnień. Takie podejście umożliwia skuteczne zarządzanie dostępem do danych, jednocześnie zapewniając wysoką elastyczność i skalowalność systemu.

Wyróżniono dwie podstawowe role użytkowników końcowych: Hodowca, oraz Badacz. Każda z tych ról realizuje odrębny zestaw funkcji, umożliwiających odpowiednio prowadzenie dokumentacji hodowlanej i pomiarowej, wykonywanie czynności diagnostycznych, analizę danych w kontekście badań naukowych oraz nadzór nad strukturą i bezpieczeństwem systemu. Podział funkcjonalny pozwala na klarowną separację odpowiedzialności, a jednocześnie umożliwia efektywną współpracę pomiędzy użytkownikami w ramach jednej platformy.

W kolejnych podpunktach szczegółowo opisano zakres funkcjonalności przysługujących poszczególnym rolom oraz omówiono ich znaczenie w kontekście wykorzystania aplikacji TherMobEye w codziennej pracy.

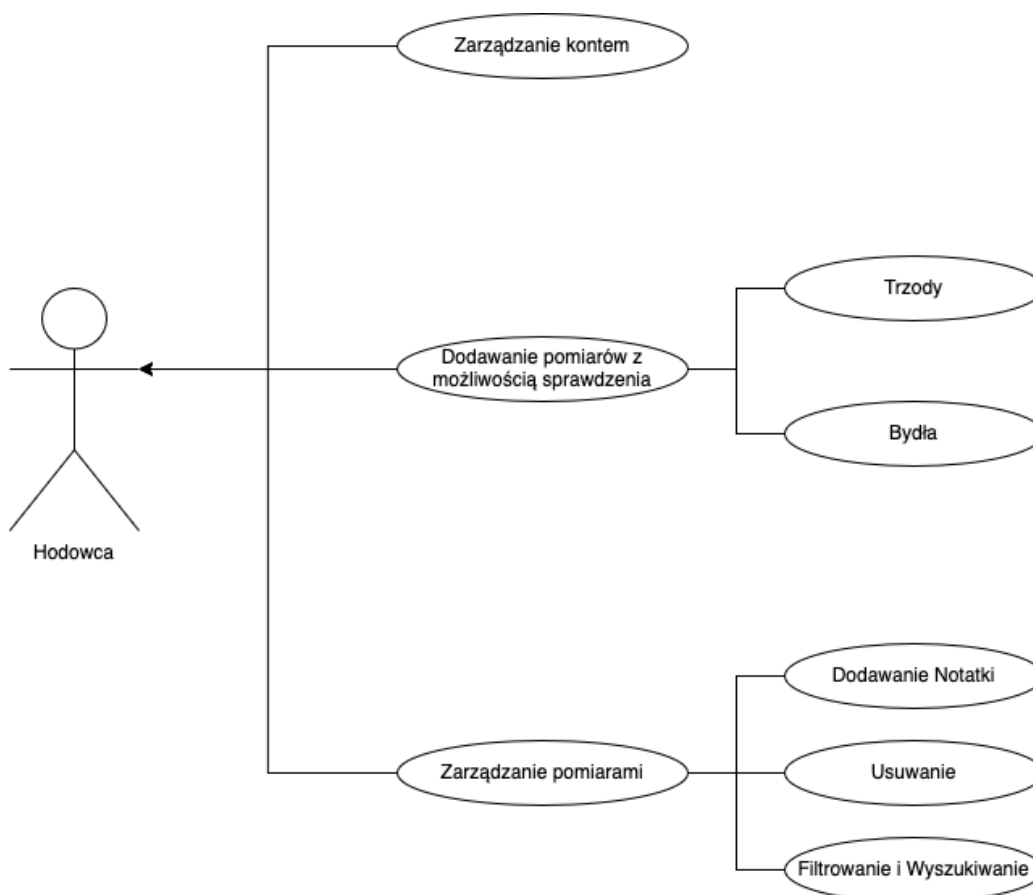
7.2.1 Hodowca

Użytkownik o roli **Hodowcy** posiada pełen dostęp do funkcji związanych z organizacją i zarządzaniem hodowlą. W aplikacji mobilnej może rejestrować pomiary termowizyjne, a także sprawdzać ich poprawność. Posiada również możliwość przeglądania danych dotyczących pomiarów. Interfejsy użytkownika umożliwiają zarządzanie kontem (zmiana danych, usuwanie konta), filtrowanie i sortowanie rekordów pomiarowych oraz intuicyjne



wykonywanie i zatwierdzanie pomiarów z poziomu aplikacji mobilnej.

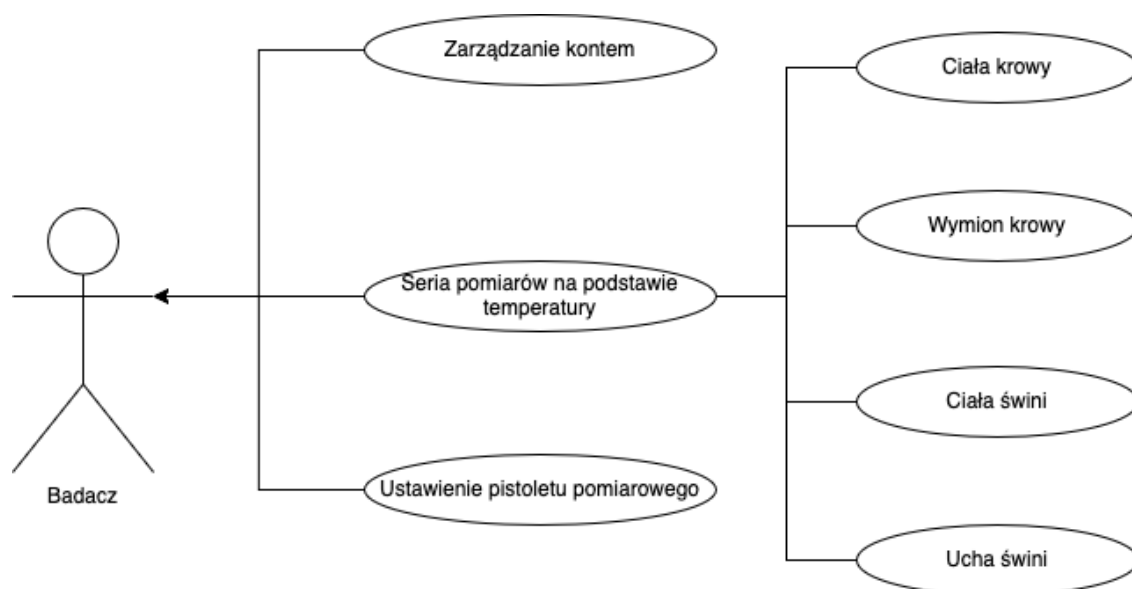
Diagram funkcjonalności użytkownika „Hodowca” znajduje się poniżej:



7.2.2 Badacz

Rola Badacza w systemie TherMobEye została zaprojektowana z myślą o użytkownikach zajmujących się analizą danych pomiarowych w kontekście badań naukowych, diagnostyki i rozwoju nowych modeli analitycznych. Badacz nie posiada możliwości modyfikacji danych czy zarządzania strukturą hodowli. Badacz nie posiada dostępu do funkcji edycyjnych ani możliwości komentowania rekordów.

Funkcjonalność Badacza wpisuje się w szerszy kontekst integracji aplikacji TherMobEye oraz podnoszenia jakości i szybkości prowadzonego nadzoru zdrowotnego nad zwierzętami.. Diagram funkcjonalności użytkownika „Badacz” można przedstawić za pomocą poniższego



diagramu:



7.3. Rozwinięcie funkcjonalności

7.3.1 Funkcjonalność wspólna - Zarządzanie Kontem

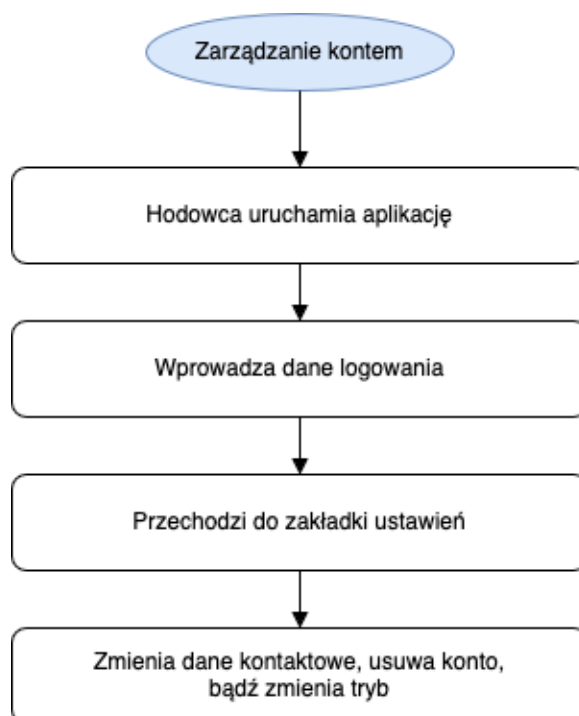


Diagram przedstawia uproszczoną ścieżkę zarządzania kontem użytkownika bez względu na rolę użytkownika. Proces rozpoczyna się od uruchomienia aplikacji, po czym użytkownik wprowadza dane logowania. Następnie przechodzi do zakładki „Ustawienia”, w której ma możliwość wykonania trzech głównych operacji:

zmiany danych kontaktowych,
usunięcia konta,
zmiany trybu użytkowania aplikacji.

Schemat ten obejmuje wyłącznie kluczowe akcje, pomijając rozwidlenia – zakładając, że użytkownik podejmuje jedną z wymienionych decyzji bez konieczności dodatkowej walidacji.



Poniżej odzwierciedlenie w aplikacji mobilnej:

The image displays three mobile application screens for 'TherMobEye'.

Screen 1: Login

- Logo placeholder: LOGO
- App Name: TherMobEye
- Adres e-mail: test123@gmail.com
- Hasło: [Empty field]
- Buttons: Zaloguj się →, Google, Apple
- Footer: Nie posiadasz konta? [Zarejestruj się teraz!](#) 😊, [Resetowanie hasła tutaj!](#)

Screen 2: Ogólne (Main Menu)

- Informacje o użytkowniku
- Polityka prywatności
- Strefa zagrożenia: Usuń konto
- Zarządzanie aktywnością: Wyloguj się
- Bottom navigation bar: Home, Search, Add, Settings

Screen 3: Informacje o użytkowniku (User Information)

- Imię: Adam
- Nazwisko: Nowak
- Numer telefonu: 123 456 789
- Tryb systemu: Wybierz 1 (Podstawowy, Badawczy)
- Button: Zapisz zmiany ✓

Arrows indicate the flow from the Login screen to the Main Menu, and from the Main Menu to the User Information screen.



7.3.2 Funkcjonalność hodowcy - Dodawanie pomiarów

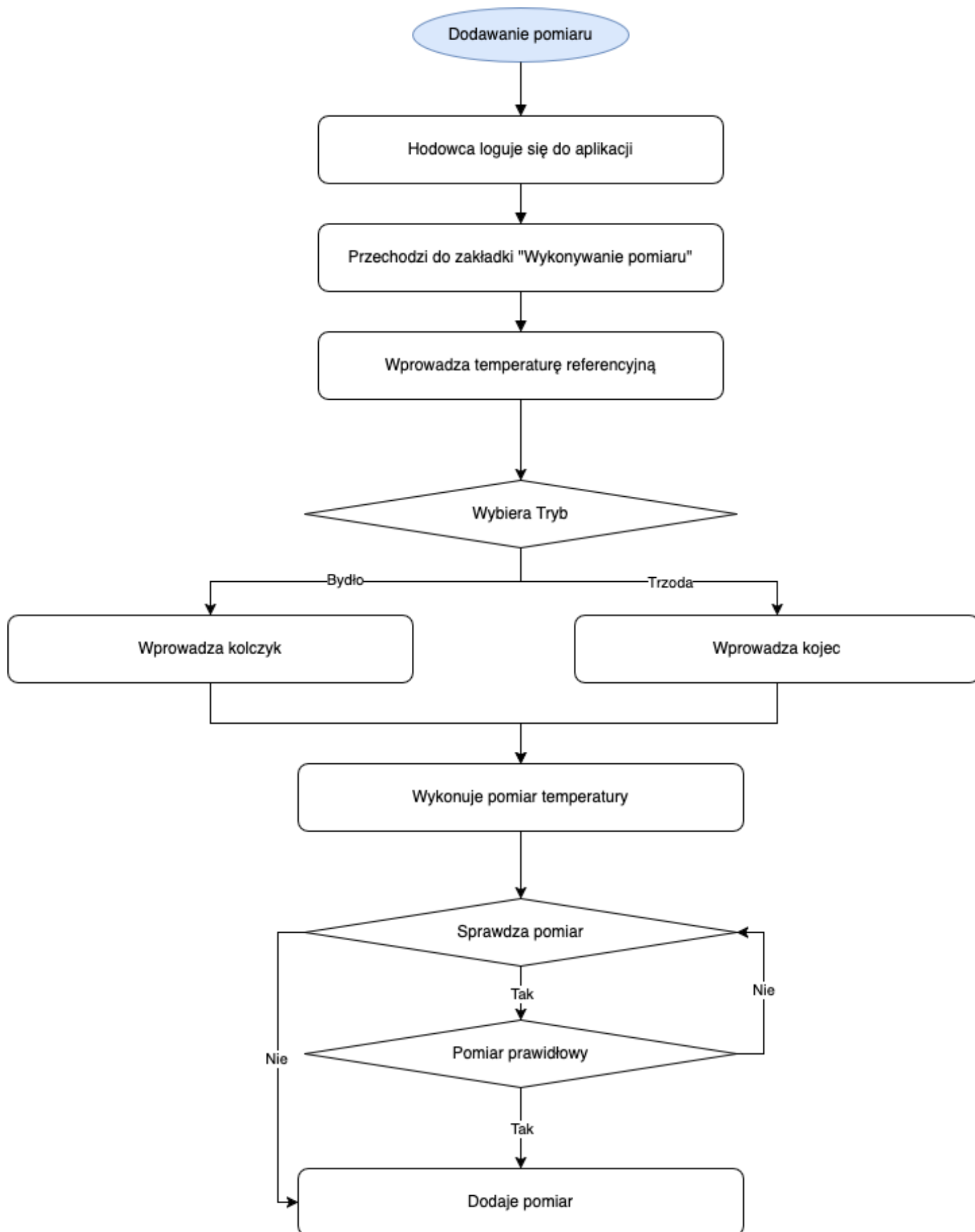
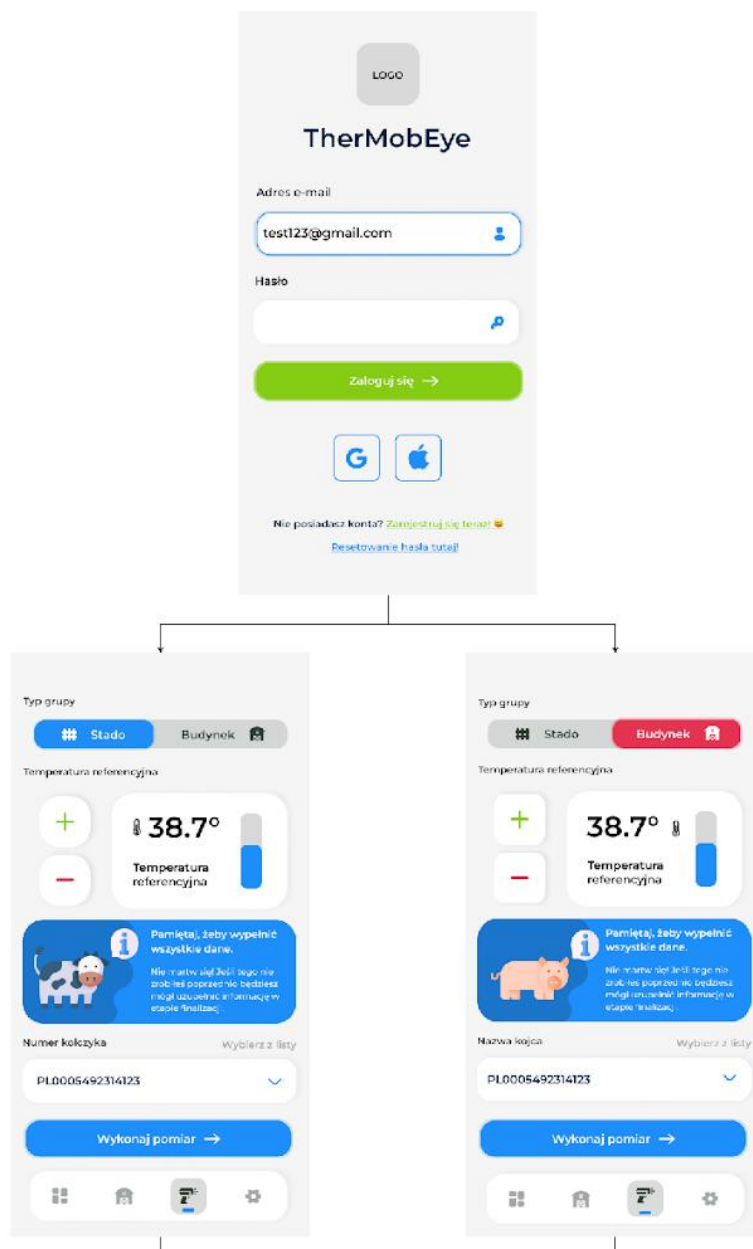




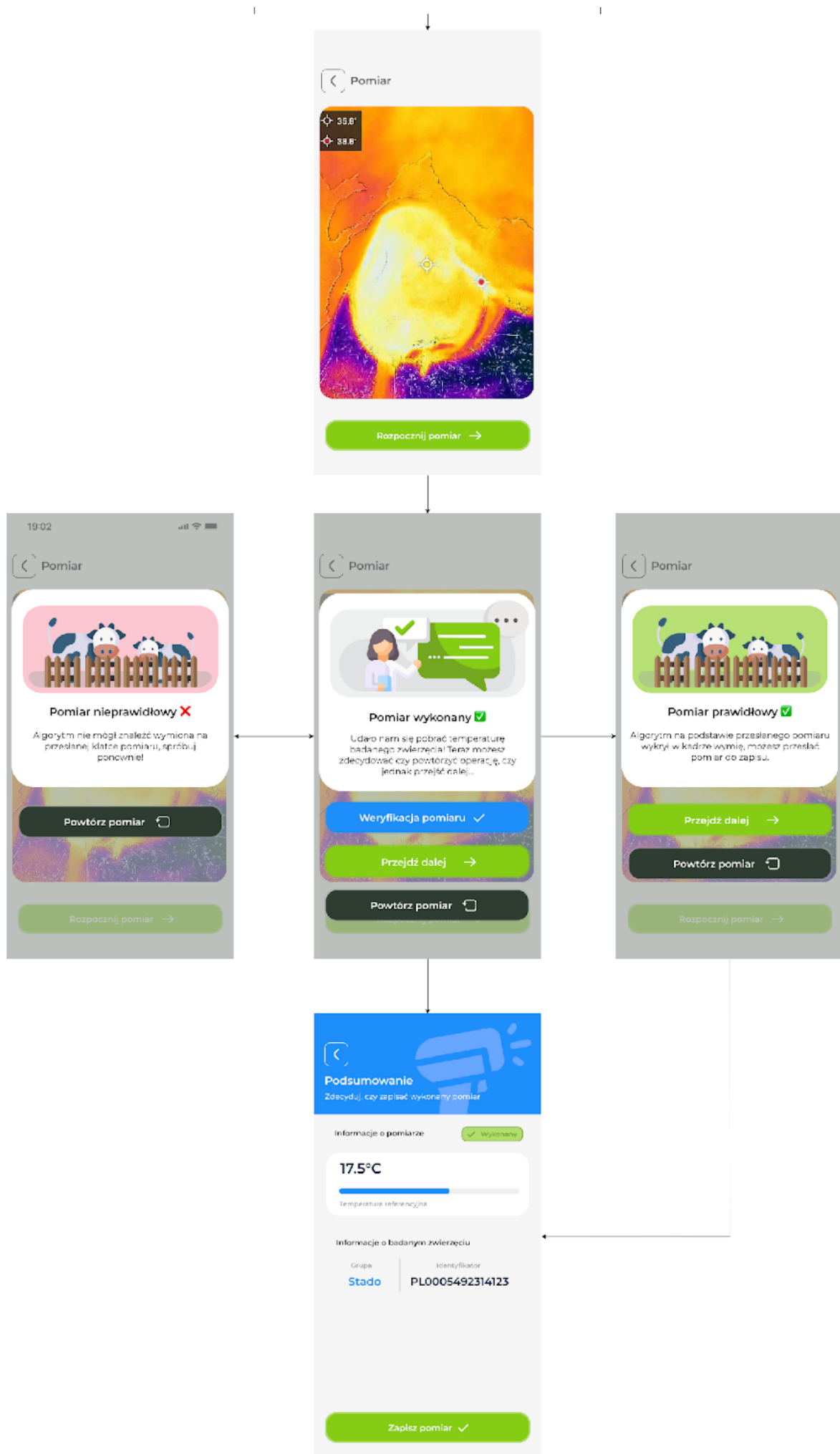
Diagram ilustruje pełną ścieżkę procesu dodawania nowego pomiaru temperatury przez Hodowcę, z uwzględnieniem dwóch trybów: **bydła** i **trzody**.

Proces rozpoczyna się od zalogowania do aplikacji, przejścia do zakładki „Wykonywanie pomiaru” oraz wprowadzenia temperatury referencyjnej. Następnie użytkownik wybiera tryb:

- **Bydło** – wprowadza numer kolczyka,
- **Trzoda** – wprowadza numer kojca.



Po wykonaniu pomiaru użytkownik przechodzi do jego weryfikacji. System sprawdza poprawność pomiaru – jeśli wynik jest błędny, użytkownik jest cofany do wcześniejszego etapu. Jeśli pomiar zostanie uznany za prawidłowy, zostaje on dodany do systemu.





7.3.2 Funkcjonalność hodowcy - Zarządzanie listą pomiarów

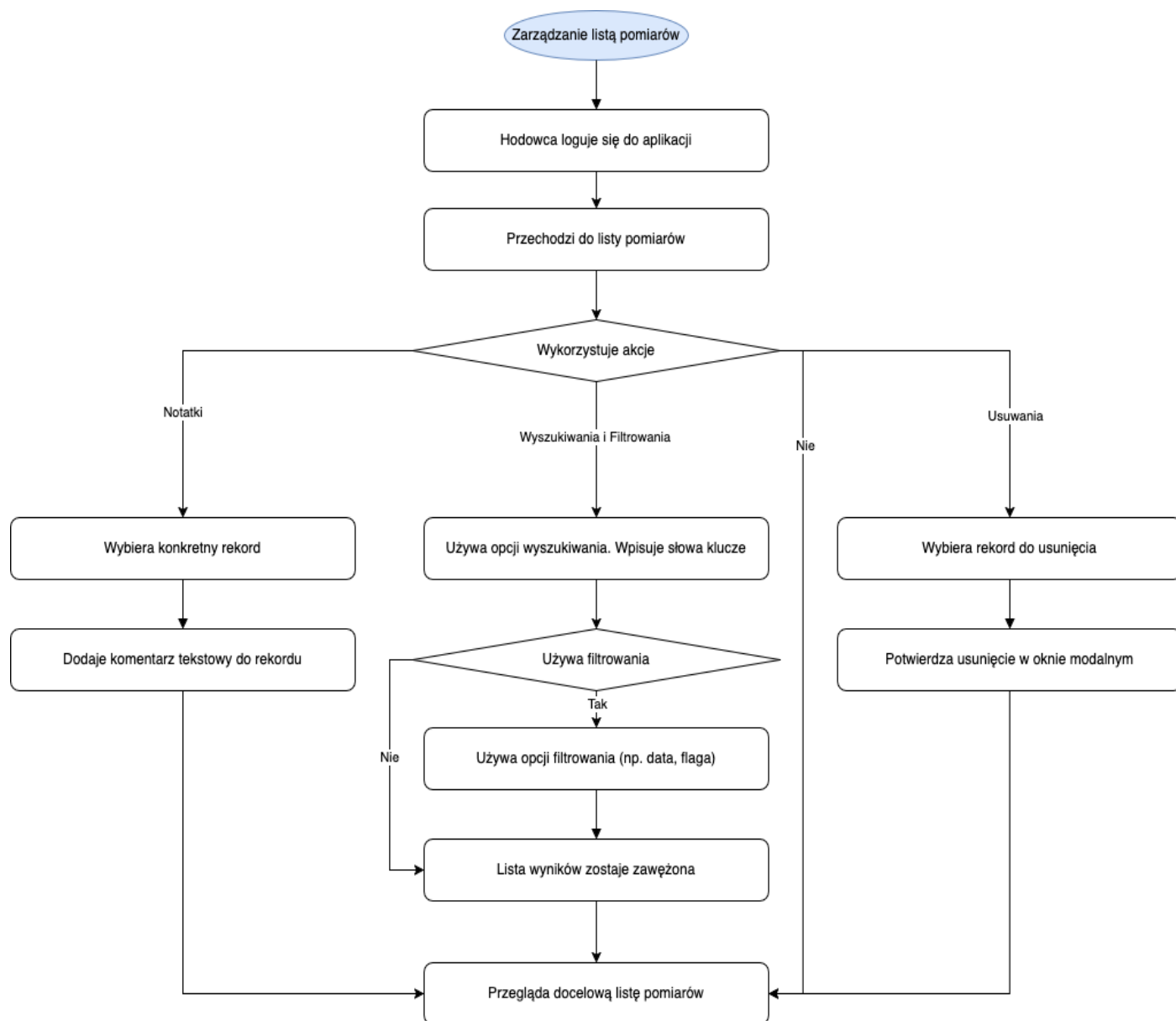


Diagram ten opisuje rozgałęziony proces obsługi zapisanych pomiarów przez Hodowcę. Po zalogowaniu użytkownik przechodzi do listy pomiarów, gdzie ma do wyboru trzy główne akcje:

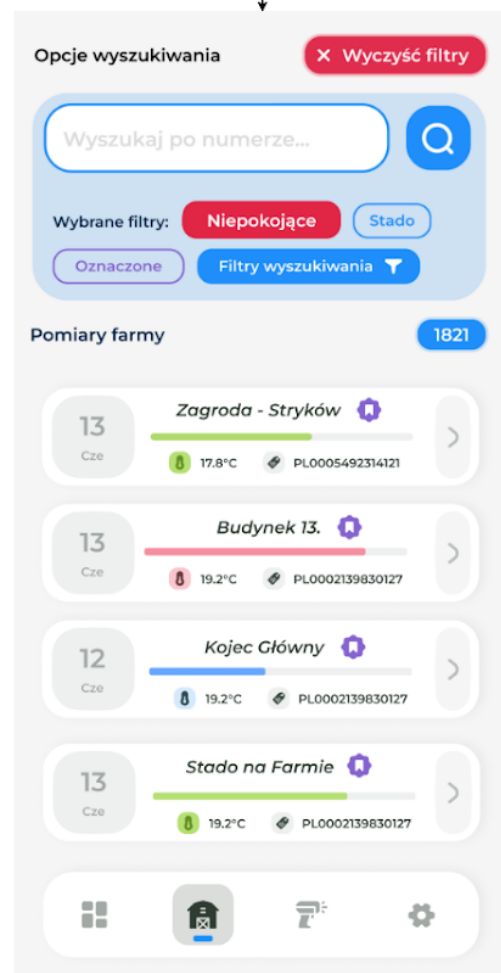
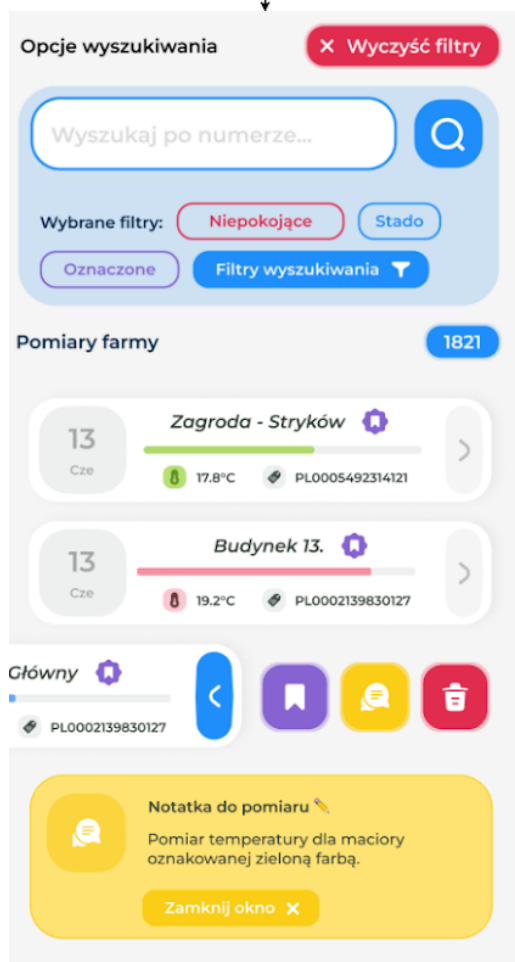
- **Dodanie notatki** – użytkownik wybiera konkretny rekord, do którego może dodać komentarz tekstowy.
- **Wyszukiwanie i filtrowanie** – użytkownik korzysta z pola wyszukiwania i filtrów (np. daty, flagi), aby zawęzić listę rekordów, a następnie przegląda wyniki.



- **Usuwanie pomiaru** – użytkownik wybiera rekord do usunięcia i zatwierdza operację w oknie modalnym.

Diagram wyróżnia się równoległym rozwidleniem, które dobrze oddaje możliwości użytkownika w zakresie zarządzania danymi i ich przeglądania.







7.3.4 Funkcjonalność badacza - wykonywanie serii pomiarów

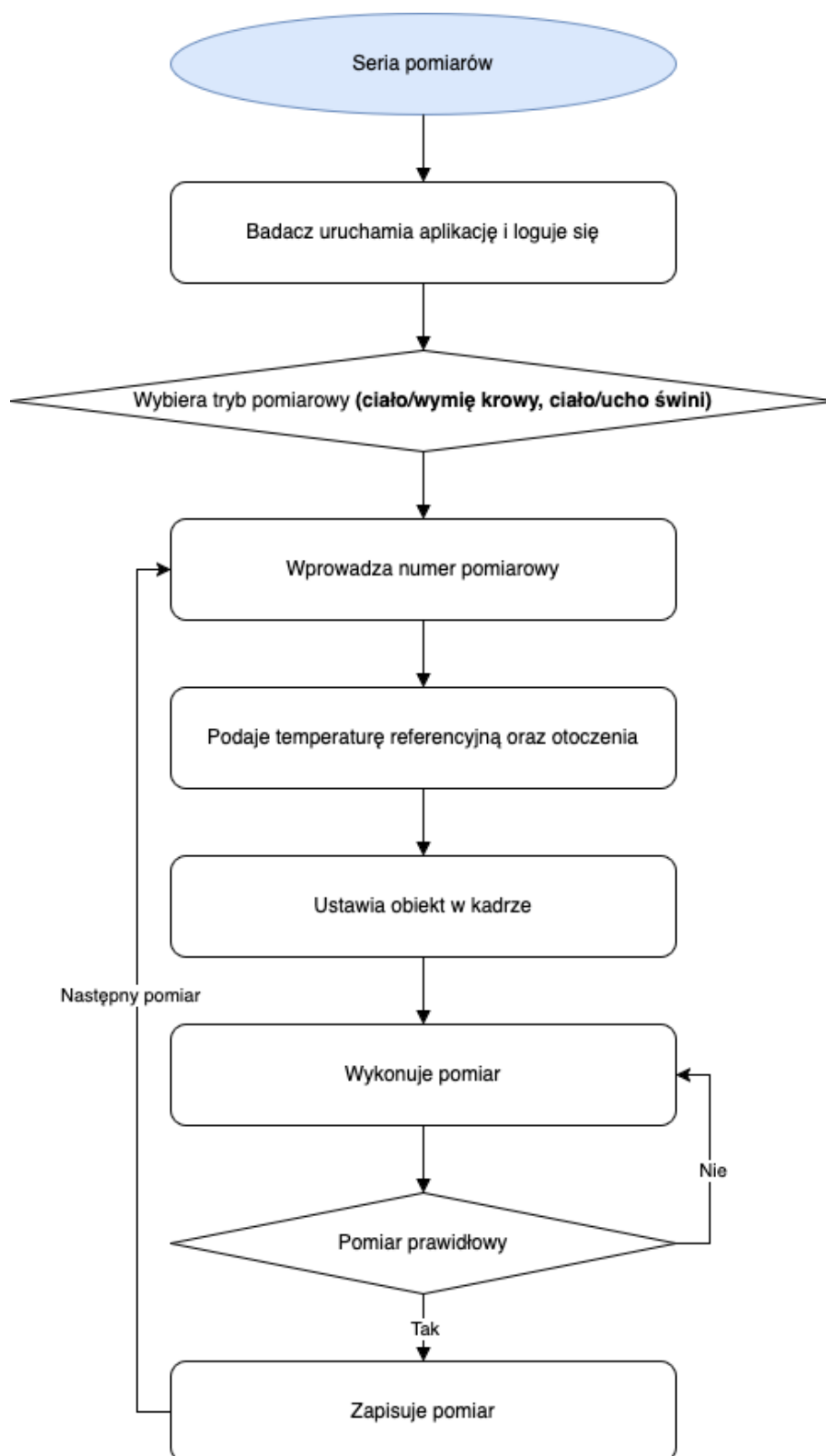
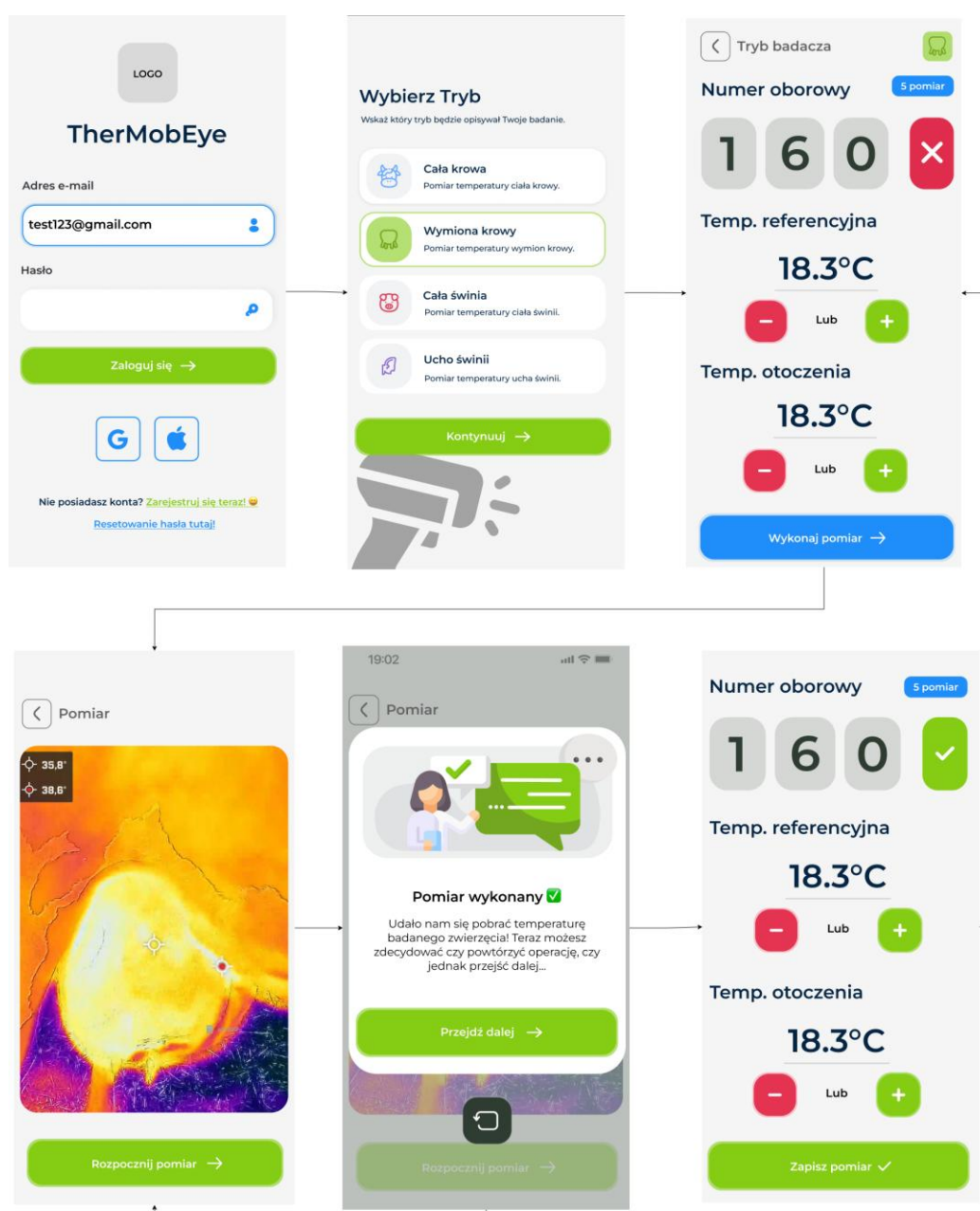




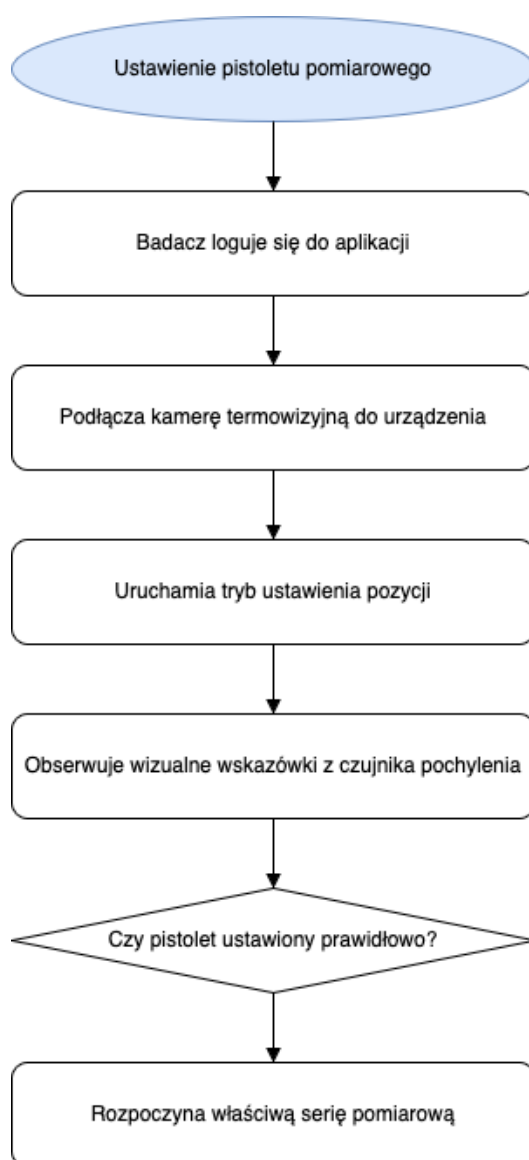
Diagram przedstawia logiczny przepływ procesu wykonywania serii pomiarów w aplikacji mobilnej przez użytkownika z rolą Badacza. Proces rozpoczyna się od uruchomienia aplikacji i zalogowania się na konto. Następnie użytkownik wybiera tryb pomiarowy odpowiedni do gatunku i części ciała zwierzęcia: dostępne są opcje obejmujące ciało krowy, wymię krowy, ciało świni oraz ucho świni. Po wyborze trybu, badacz wprowadza numer pomiarowy przypisany do danej próby, a następnie określa warunki środowiskowe — wpisując temperaturę referencyjną oraz temperaturę otoczenia.





Kolejnym krokiem jest fizyczne ustawienie zwierzęcia w odpowiedniej pozycji względem urządzenia. Po uzyskaniu właściwego ujęcia badacz przechodzi do wykonania pomiaru. System automatycznie analizuje jego poprawność — zwraca uwagę na jakość ujęcia, rozpoznaną część ciała oraz zgodność z wybranym trybem.

7.3.5 Funkcjonalność badacza - Kalibracja pistoletu pomiarowego





Powyższy diagram przedstawia ścieżkę użytkownika przygotowującego urządzenie pomiarowe do prawidłowego działania w aplikacji mobilnej. Proces rozpoczyna się od zalogowania się **Badacza** do systemu. Po uzyskaniu dostępu użytkownik podłącza zewnętrzną kamerę termowizyjną do urządzenia mobilnego, a następnie uruchamia dedykowany tryb w aplikacji umożliwiający ustawienie pozycji.

W trybie tym wyświetlane są wskazówki oparte na danych z czujnika pochylenia i akcelerometru — aplikacja wizualnie prowadzi użytkownika do osiągnięcia wymaganej pozycji urządzenia, umożliwiając wykonanie poprawnych pomiarów. Jeśli pozycja pistoletu nie spełnia wymagań, użytkownik kontynuuje dostosowywanie ustawienia. Gdy system uzna pozycję za prawidłową, wyświetlana zostaje możliwość przejścia do właściwej serii pomiarowej.



8. Podsumowanie wdrożonych innowacji

W ramach realizacji projektu opracowano kompleksowe, innowacyjne rozwiązania diagnostyczne TherMobEye, które znacząco przyczyniają się do poprawy procesów produkcji zarówno w sektorze bydła mlecznego, jak i trzody chlewnej. System TherMobEye, łącząc technologię bezkontaktowej analizy termicznej z inteligentnymi algorytmami przetwarzania danych oraz rozbudowaną platformą informatyczną, wprowadził nową jakość w zakresie monitorowania zdrowotności zwierząt gospodarskich. Głównym celem projektu było stworzenie narzędzia umożliwiającego szybkie i precyzyjne wykrywanie stanów chorobowych na wczesnym etapie rozwoju, zanim pojawią się widoczne objawy kliniczne, co bezpośrednio wpływa na poprawę dobrostanu zwierząt oraz optymalizację procesów technologicznych w gospodarstwach rolnych.

8.1 Innowacja w obszarze procesu produkcji krów mlecznych

8.1.1 Wczesne wykrywanie zapaleń wymienia

Wczesne wykrywanie zapaleń wymienia (mastitis) stanowi jedno z kluczowych wyzwań technologii produkcji mleka w nowoczesnych gospodarstwach mlecznych. Mastitis jest chorobą generującą poważne straty ekonomiczne, obejmujące nie tylko koszty leczenia weterynaryjnego, ale także spadek wydajności mlecznej, obniżenie jakości mleka, wzrost liczby komórek somatycznych oraz konieczność czasowego wycofania mleka z obrotu. W projekcie TherMobEye zastosowano innowacyjne podejście do wczesnej diagnostyki stanów zapalnych wymienia poprzez wykorzystanie precyzyjnych pomiarów temperatury powierzchniowej zwierząt za pomocą mobilnego urządzenia termowizyjnego. System umożliwia detekcję subtelnych, wczesnych zmian temperatury w obrębie konkretnych ćwiartek wymienia jeszcze na etapie subklinicznym, zanim pojawią się widoczne objawy kliniczne takie jak obrzęk, zmiana konsystencji mleka czy spadek wydajności. Wprowadzenie technologii TherMobEye znacząco skraca czas od wystąpienia pierwszych zmian zapalnych do momentu ich wykrycia i wdrożenia leczenia. Pozwala to na podjęcie szybkich działań interwencyjnych, ograniczenie rozprzestrzeniania się infekcji w stadzie oraz zwiększenie skuteczności leczenia, co zmniejsza konieczność stosowania agresywnych terapii antybiotykowych. W efekcie rolnik jest w stanie nie tylko zminimalizować koszty leczenia, ale także ograniczyć wycofywanie mleka z produkcji oraz zmniejszyć ryzyko brakowania



wartościowych krów z powodu przewlekłych zapaleń wymienia. Technologia TherMobEye umożliwia prowadzenie codziennego monitoringu zdrowotnego stada bez konieczności pobierania próbek mleka czy przeprowadzania czasochłonnych analiz laboratoryjnych. Dzięki temu hodowca zyskuje narzędzie pozwalające na znaczne ograniczenie pracy ręcznej związanej z tradycyjną diagnostyką mastitis. System automatycznie przypisuje wyniki do konkretnych zwierząt, zapisuje je w chmurze i udostępnia poprzez aplikację mobilną lub webową, co znacznie usprawnia organizację zarządzania stadem oraz zapewnia pełną dokumentację historii zdrowotnej każdej krowy.

8.1.2 Redukcja zużycia antybiotyków

Redukcja zużycia antybiotyków w produkcji mleka jest jednym z kluczowych celów współczesnego rolnictwa, wynikającym zarówno z wymagań regulacyjnych Unii Europejskiej, jak i rosnącej świadomości konsumentów w zakresie bezpieczeństwa żywności i odpowiedzialnej produkcji zwierzęcej. Wprowadzenie systemu TherMobEye do codziennego nadzoru zdrowotnego krów mlecznych otwiera nowe możliwości w zakresie ograniczenia stosowania leków przeciwdrobnoustrojowych, umożliwiając precyzyjne monitorowanie zdrowia zwierząt i wczesne identyfikowanie niepokojących zmian fizjologicznych zanim choroba osiągnie zaawansowane stadium wymagające intensywnego leczenia farmakologicznego. Dzięki ciągłemu nadzorowi i dostępności danych termowizyjnych hodowca lub lekarz weterynarii może znacznie szybciej podjąć decyzję o wdrożeniu łagodnych interwencji profilaktycznych lub stosowaniu alternatywnych metod wsparcia zdrowia, takich jak poprawa warunków środowiskowych, zmiana zarządzania żywieniem czy zastosowanie terapii wspomagających odporność, zanim konieczne stanie się podanie antybiotyku. W praktyce ogranicza to liczbę sytuacji, w których leczenie chorób przebiega z wykorzystaniem farmakoterapii systemowej i szerokospektralnej, wymagającej długich okresów karencji mleka i generującej wysokie koszty leczenia oraz straty produkcyjne. Ponadto, zastosowanie TherMobEye wspiera podejście selektywnego leczenia, polegające na dokładnej identyfikacji zwierząt rzeczywiście wymagających interwencji farmakologicznej, co eliminuje niepotrzebne leczenie całych grup technologicznych lub stad. Ograniczenie nieuzasadnionego stosowania antybiotyków nie tylko przyczynia się do poprawy zdrowia publicznego poprzez zmniejszenie ryzyka rozwoju antybiotykooporności, ale także zwiększa bezpieczeństwo mleka, minimalizując ryzyko obecności pozostałości substancji farmakologicznych w surowcu



trafiającym do konsumenta. Wprowadzenie takiego rozwiązania ma również wymiar ekonomiczny, ponieważ zmniejsza straty wynikające z konieczności utylizacji mleka objętego karencją oraz pozwala na utrzymanie wyższych standardów jakości, wymaganych przez zakłady przetwórcze oraz programy certyfikacji jakości mleka.

TherMobEye wpisuje się także w strategię gospodarstw ekologicznych i wysokiej jakości produkcji mleka, gdzie minimalizacja użycia chemicznych środków farmaceutycznych stanowi podstawowe kryterium produkcji. Z punktu widzenia optymalizacji technologii produkcji bydła mlecznego ograniczenie zużycia antybiotyków dzięki wykorzystaniu nowoczesnych systemów diagnostycznych prowadzi do budowy zdrowszych, bardziej odpornych stad, co w dłuższej perspektywie pozwala na zwiększenie wydajności przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów leczenia oraz poprawie parametrów użytkowych krów. System TherMobEye, poprzez swoje zastosowanie, umożliwia gospodarstwom osiągnięcie większej zgodności z nowymi regulacjami prawnymi dotyczącymi przeciwdziałania antybiooporności oraz budowę pozytywnego wizerunku producenta mleka jako odpowiedzialnego i nowoczesnego partnera na rynku rolno-spożywczym.

8.1.3 Optymalizacja zarządzania stadem mlecznym

Wdrożenie systemu TherMobEye w gospodarstwach zajmujących się produkcją mleka stwarza istotne możliwości w zakresie optymalizacji zarządzania stadem poprzez dostarczanie precyzyjnych, bieżących informacji zdrowotnych o pojedynczych zwierzętach oraz grupach technologicznych. Integracja systemu z istniejącymi platformami zarządzania gospodarstwem rolnym umożliwia automatyczne przypisywanie danych pomiarowych do konkretnych krów, co znacznie zwiększa przejrzystość i kompletność dokumentacji zdrowotnej na poziomie jednostki produkcyjnej. Uzyskane w ten sposób dane pozwalają hodowcom na bardziej świadome i trafne podejmowanie decyzji dotyczących organizacji pracy w stadzie, szczególnie w zakresie planowania zabiegów weterynaryjnych, harmonogramowania szczepień, określania momentów przeprowadzania badań kontrolnych czy weryfikacji efektów wprowadzonych programów profilaktyki zdrowotnej. Systematyczne monitorowanie parametrów zdrowotnych umożliwia również bardziej precyzyjną selekcję zwierząt, w której decyzje o brakowaniu lub dalszym utrzymaniu w stadzie nie są oparte jedynie na parametrach produkcyjnych, ale również na analizie stabilności zdrowotnej na przestrzeni czasu. Dzięki zastosowaniu TherMobEye hodowca może efektywniej zarządzać cyklami reprodukcyjnymi, wykorzystując



dane zdrowotne do optymalnego planowania krycia lub inseminacji, unikając działań w okresach, gdy zwierzęta wykazują objawy stanów zapalnych lub innych zaburzeń, które mogłyby wpłynąć negatywnie na skuteczność rozrodu. W gospodarstwach, gdzie stado podzielone jest na grupy technologiczne według laktacji, wydajności lub wieku, system pozwala na precyzyjne przypisywanie priorytetów zabiegów weterynaryjnych, żywieniowych lub środowiskowych, w oparciu o aktualną kondycję zdrowotną każdej grupy. Dzięki dostępności szczegółowych danych historycznych TherMobEye umożliwia analizę trendów zdrowotnych w czasie, co pozwala na strategiczne planowanie produkcji mleka, obejmujące prognozowanie wydajności, ocenę ryzyka sezonowych spadków produkcji wynikających z czynników zdrowotnych oraz lepsze zarządzanie przepływem zwierząt pomiędzy sekcjami produkcyjnymi. Precyzyjne zarządzanie zdrowiem stada przyczynia się także do efektywniejszego wykorzystania zasobów gospodarstwa, zarówno pod względem organizacji pracy ludzi, jak i planowania inwestycji związanych z infrastrukturą, wentylacją, systemami chłodzenia czy modernizacją stanowisk udojowych. Wprowadzenie technologii TherMobEye pozwala gospodarstwu na przejście z tradycyjnego, często intuicyjnego zarządzania zdrowotnością stada na systematyczne, oparte na danych podejście analityczne, co w sposób bezpośredni przekłada się na poprawę efektywności operacyjnej oraz zwiększenie stabilności wyników produkcyjnych gospodarstwa. Integracja precyzyjnych danych zdrowotnych z innymi danymi produkcyjnymi otwiera nowe możliwości tworzenia modeli optymalizacyjnych, które mogą uwzględniać zdrowotność jako krytyczny czynnik wpływający na rentowność produkcji mleka, tym samym wpisując się w najnowsze kierunki rozwoju rolnictwa precyzyjnego i inteligentnego zarządzania produkcją zwierzęcą.

8.1.4 Wydłużenie użytkowości krów mlecznych

Wdrożenie systemu TherMobEye w produkcji bydła mlecznego tworzy realne możliwości wydłużenia użytkowości krów poprzez skuteczniejsze zarządzanie ich zdrowiem i kondycją fizjologiczną na każdym etapie cyklu produkcyjnego. Jednym z głównych powodów przedwczesnego brakowania krów mlecznych są przewlekłe lub nawracające problemy zdrowotne, które w tradycyjnym systemie zarządzania stadem są często diagnozowane dopiero w zaawansowanym stadium choroby, gdy skuteczność leczenia jest już ograniczona, a straty produkcyjne nieodwracalne. Dzięki regularnym pomiarom termowizyjnym wykonywanym przez TherMobEye, możliwe jest wykrywanie subtelnych zaburzeń zdrowotnych na bardzo



wczesnym etapie ich rozwoju, co pozwala na szybkie wdrożenie działań profilaktycznych lub terapeutycznych, zanim choroba wpłynie trwale na zdolności produkcyjne i rozrodcze zwierzęcia. Systematyczne monitorowanie parametrów fizjologicznych umożliwia bardziej świadome zarządzanie dobrostanem krów, pozwalając nie tylko na ograniczenie liczby przypadków ciężkich stanów zapalnych czy powikłań, ale także na bieżącą ocenę zdolności adaptacyjnych zwierząt do zmieniających się warunków środowiskowych i technologicznych w gospodarstwie. Dzięki temu hodowca może wcześniej identyfikować osobniki wykazujące tendencje do obniżonej odporności lub słabej adaptacji do stresu cieplnego czy zmian żywieniowych, a co za tym idzie, wprowadzać odpowiednie działania korygujące na poziomie indywidualnym, takie jak zmiana grupy technologicznej, dostosowanie żywienia lub modyfikacja procedur pielęgnacyjnych. W efekcie stosowania TherMobEye możliwe staje się utrzymanie wysokiego poziomu zdrowia i wydajności mlecznej zwierząt przez większą liczbę laktacji, co jest jednym z kluczowych czynników wpływających na opłacalność produkcji mleka. Dłuższe użytkowanie krowy w stadzie pozwala na rozłożenie kosztów wychowu jałówki oraz pierwszych laktacji na więcej lat produkcji, co znacząco poprawia bilans ekonomiczny gospodarstwa. Każdy dodatkowy rok użytkowania zdrowej, wysokowydajnej krowy w stadzie oznacza wyższą rentowność produkcji mlecznej przy niższych kosztach inwestycyjnych związanych z odtwarzaniem stada. Wydłużenie użytkowości krów dzięki zastosowaniu systemu TherMobEye wpisuje się także w aktualne trendy zrównoważonego rozwoju rolnictwa, ograniczając presję na intensyfikację produkcji jałówek oraz zmniejszając ślad środowiskowy związany z hodowlą. Utrzymanie zdrowych i długowiecznych krów sprzyja poprawie wydajności jednostkowej produkcji mleka oraz zmniejsza emisję gazów cieplarnianych przypadających na litr wytworzonego surowca, co jest coraz ważniejszym aspektem konkurencyjności gospodarstw mlecznych na rynku krajowym i międzynarodowym. TherMobEye, jako narzędzie codziennego nadzoru zdrowia krów, staje się zatem nie tylko wsparciem w zarządzaniu bieżącą produkcją mleka, ale również strategicznym elementem budowania długofalowej wartości stada, zwiększając żywotność, produktywność oraz ogólną efektywność jednostki produkcyjnej.



8.1.5 Zarządzanie rozrodem krów

Zastosowanie systemu TherMobEye w produkcji mleka może przynieść także istotne korzyści w zakresie zarządzania rozrodem krów, stanowiąc nowe narzędzie wspierające skuteczność strategii reprodukcyjnych w stadach mlecznych. Skuteczność rozrodu, rozumiana jako liczba udanych pokryć lub inseminacji zakończonych ciążą oraz jakość przebiegu cyklu rujowego, jest ściśle powiązana ze stanem zdrowia ogólnego zwierzęcia, a zwłaszcza z jego kondycją fizjologiczną w okresach okołorujowych i okołoporodowych. Wiele schorzeń subklinicznych, takich jak stany zapalne, gorączki czy zaburzenia metaboliczne, pozostaje niewykrytych na etapie standardowej obserwacji, a jednak istotnie wpływa na obniżenie skuteczności reprodukcji poprzez osłabienie wyrazu objawów rui, pogorszenie jakości komórek jajowych, zaburzenia hormonalne oraz zwiększoną liczbę strat zarodkowych. Wprowadzenie regularnego monitoringu termowizyjnego za pomocą TherMobEye umożliwia wczesne wykrywanie takich stanów, zanim jeszcze dojdzie do nieodwracalnych zmian w układzie rozrodczym. Dzięki precyzyjnemu pomiarowi temperatury powierzchni ciała, możliwe jest szybsze wychwycenie zwierząt, które przechodzą ukryte infekcje lub są w stanie podklinicznego stresu, co pozwala na czasową modyfikację planów inseminacyjnych, odroczenie krycia lub wdrożenie działań wspierających regenerację organizmu. Regularne monitorowanie zdrowotności umożliwia także skuteczniejsze określanie optymalnego momentu inseminacji poprzez wykluczanie z zabiegów zwierząt, u których parametry fizjologiczne wskazują na niewłaściwą kondycję do rozrodu. System TherMobEye wspiera również analizę skuteczności zabiegów inseminacyjnych w dłuższej perspektywie, pozwalając na powiązanie historii zdrowotnej krów z wynikami rozrodu, co w praktyce umożliwia lepsze tworzenie grup hodowlanych i bardziej świadome planowanie programów genetycznych. Dzięki precyzyjnemu przypisywaniu wyników zdrowotnych do poszczególnych zwierząt, hodowca może wprowadzić strategię selekcji uwzględniającą nie tylko wydajność mleczną, ale również parametry zdrowotne i rozrodcze, budując stado bardziej odporne na choroby i zdolne do dłuższego, efektywnego użytkowania. W kontekście optymalizacji zarządzania stadem, zastosowanie TherMobEye może wpłynąć także na zmniejszenie liczby nieudanych inseminacji, ograniczenie kosztów związanych z powtarzaniem zabiegów rozrodowych oraz zmniejszenie liczby brakowanych zwierząt z powodu problemów z płodnością. Wysoka skuteczność rozrodu przekłada się bezpośrednio na płynność produkcji mleka i równomierne obciążenie obory, co jest szczególnie ważne w gospodarstwach intensywnych, gdzie sezonowość rozrodu lub wysokie



wskaźniki pustostanu mogą prowadzić do znaczących strat produkcyjnych. TherMobEye, poprzez umożliwienie bieżącej kontroli kondycji zdrowotnej stada, wpisuje się w ideę precyzyjnego zarządzania reprodukcją, które jest jednym z fundamentów nowoczesnej, zrównoważonej produkcji mleka, ukierunkowanej na maksymalizację wydajności przy minimalizacji strat wynikających z nieefektywnego zarządzania cyklem życiowym zwierząt.

8.1.6 Automatyzacja procesu diagnostycznego

Wprowadzenie systemu TherMobEye do gospodarstw mlecznych otwiera zupełnie nowe możliwości w zakresie automatyzacji procesu diagnostycznego stanu zdrowia bydła, nie ograniczając się jedynie do wykrywania pojedynczych jednostek chorobowych. Tradycyjne metody nadzoru zdrowia zwierząt wymagają dużego nakładu pracy ludzkiej, codziennych obserwacji, ręcznego zbierania danych i częstego angażowania personelu weterynaryjnego w celu potwierdzenia podejrzeń chorobowych. W przypadku stad liczących kilkadziesiąt lub kilkaset krów taki model zarządzania staje się coraz mniej efektywny i kosztowny, szczególnie przy obecnych wyzwaniach rynku pracy oraz rosnących wymaganiach jakościowych w produkcji mleka. System TherMobEye wprowadza zasadniczą zmianę, automatyzując proces detekcji parametrów fizjologicznych poprzez regularne zbieranie danych termowizyjnych z powierzchni ciała zwierząt, ich analizę z użyciem algorytmów sztucznej inteligencji oraz natychmiastową klasyfikację wyników pod kątem odchyłeń od normy. Hodowca, zamiast samodzielnie przeprowadzać wielokrotne kontrole wzrokowe lub ręczne badania, otrzymuje gotowe informacje o stanie zdrowia swoich zwierząt. Zautomatyzowany proces nie tylko przyspiesza identyfikację nieprawidłowości, ale również zwiększa obiektywność oceny, eliminując czynnik ludzkiej subiektywności oraz zmęczenia, które mogą wpływać na jakość obserwacji w tradycyjnym modelu pracy. Ponadto, automatyczna rejestracja danych środowiskowych takich jak temperatura otoczenia, wilgotność czy typ podłoża pozwala na lepsze zrozumienie wpływu warunków produkcyjnych na stan zdrowia zwierząt i umożliwia tworzenie modeli predykcyjnych. W perspektywie długoterminowej TherMobEye umożliwia więc hodowcom przejście z modelu zarządzania opartego na reakcji na problemy zdrowotne, do modelu zarządzania predykcyjnego, opartego na analizie danych i zapobieganiu chorobom zanim wpłyną one na wyniki produkcyjne. Automatyzacja procesu diagnostycznego oferowana przez system nie tylko zwiększa efektywność zarządzania stadem i ogranicza koszty pracy, ale również pozwala na bardziej świadome podejmowanie decyzji o leczeniu, brakowaniu



zwierząt, organizacji grup technologicznych czy optymalizacji parametrów środowiskowych w oborze, co przekłada się na ogólną poprawę wydajności i rentowności produkcji mleka.

8.2 Innowacja w obszarze procesu produkcji trzody chlewnej

8.2.1 Wczesne wykrywanie infekcji i stanów gorączkowych

Wczesne wykrywanie infekcji oraz stanów gorączkowych w stadach trzody chlewnej odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu wysokiej efektywności produkcji oraz w minimalizowaniu strat ekonomicznych wynikających z chorób. W praktyce chowu świń infekcje wirusowe, bakteryjne czy pasożytnicze często rozwijają się początkowo w sposób skryty, nie powodując wyraźnych objawów klinicznych, co znacznie utrudnia ich wczesną identyfikację metodami tradycyjnej obserwacji. Zwierzęta na początkowym etapie infekcji mogą wykazywać jedynie niewielkie zmiany fizjologiczne, z których najwcześniejszą i najbardziej obiektywną jest podwyższenie temperatury ciała. Wprowadzenie systemu TherMobEye umożliwia monitorowanie parametrów termicznych powierzchni ciała świń, w szczególności w rejonach anatomicznych najbardziej reprezentatywnych dla emisji ciepła, takich jak podstawa ucha. Dzięki wysokiej czułości czujników termowizyjnych możliwe jest wychwycenie nawet niewielkich odchyśleń temperatury od wartości referencyjnych, zanim pojawią się bardziej zaawansowane symptomy chorobowe, takie jak apatia, brak apetytu, zmniejszenie przyrostów czy zaburzenia oddechowate. Wdrożenie technologii TherMobEye do codziennej praktyki w tuczarniach pozwala na identyfikację pojedynczych zwierząt lub całych grup, w których pojawia się podwyższona temperatura, umożliwiając natychmiastową reakcję w postaci odseparowania podejrzanych osobników, przeprowadzenia dodatkowej diagnostyki lub wprowadzenia działań profilaktycznych, zanim infekcja rozprzestrzeni się w obrębie stada. Tego typu szybkie działania pozwalają znacząco ograniczyć straty wynikające z zahamowania wzrostu, zwiększonego zużycia paszy czy konieczności stosowania masowych terapii antybiotykowych. Wczesna detekcja stanów gorączkowych jest szczególnie istotna w przypadku chorób zakaźnych o wysokiej dynamice szerzenia się, takich jak PRRS, mykoplazmoza, pleuropneumonia czy salmonelloza, gdzie czas od pierwszego zakażenia do wystąpienia objawów klinicznych jest krótki, a rozprzestrzenienie choroby w stadzie może być



trudne do opanowania. System TherMobEye, poprzez bezdotykowe i szybkie pomiary, eliminuje stres związany z manipulacją zwierzęciem podczas badania, co dodatkowo zwiększa dokładność uzyskiwanych wyników, szczególnie w stadach dużych, gdzie tradycyjne metody kontroli zdrowia, takie jak pomiar temperatury rektalnej, są czasochłonne, kosztowne i trudne do przeprowadzenia na dużą skalę. Rejestracja danych termicznych w sposób ciągły lub w regularnych odstępach czasu pozwala na budowanie profilu zdrowotnego grup i wykrywanie wzorców odchyleń od normy, co zwiększa skuteczność działań prewencyjnych oraz wspiera podejmowanie decyzji dotyczących bioasekuracji.

W praktyce produkcyjnej zastosowanie systemu TherMobEye umożliwia zatem przesunięcie całego procesu zarządzania zdrowotnością zwierząt z modelu reaktywnego, opartego na leczeniu chorób po wystąpieniu objawów, na model proaktywny, bazujący na wczesnym wykrywaniu nieprawidłowości i szybkim wdrażaniu działań naprawczych. To podejście nie tylko wpływa na ograniczenie strat ekonomicznych i poprawę wskaźników produkcyjnych, ale także przyczynia się do zwiększenia dobrostanu zwierząt i podniesienia standardów jakości w produkcji wieprzowiny, co w warunkach rosnącej konkurencji rynkowej oraz wzrostu wymagań konsumentów staje się elementem strategicznym dla nowoczesnych gospodarstw zajmujących się tuczem świń.

8.2.2 Selekcja zwierząt wraz z ich izolacją

Jednym z kluczowych zastosowań systemu TherMobEye w produkcji trzody chlewnej jest wsparcie procesu selekcji zwierząt do izolacji na podstawie obiektywnych, szybko dostępnych danych fizjologicznych. W warunkach intensywnego tuczu, gdzie zwierzęta utrzymywane są w dużych grupach technologicznych, szybka identyfikacja jednostek wymagających odseparowania od reszty stada stanowi istotny element strategii bioasekuracyjnej oraz zarządzania zdrowotnością. TherMobEye umożliwia bezpośrednią ocenę stanu fizjologicznego zwierząt poprzez analizę parametrów termicznych, pozwalając na wychwycenie osobników, u których występują wczesne oznaki zaburzeń zdrowotnych, bez konieczności przeprowadzania czasochłonnych i stresogennych dla zwierząt badań indywidualnych. Dzięki regularnemu monitorowaniu powierzchniowych temperatur ciała TherMobEye dostarcza danych umożliwiających dynamiczne podejmowanie decyzji o separacji zwierząt, nie opierając się wyłącznie na subiektywnych obserwacjach zmian w zachowaniu czy wyglądzie fizycznym. System TherMobEye pozwala na natychmiastowe oznaczenie jednostek odbiegających od



normy, które następnie mogą być łatwo skierowane do sektorów izolacyjnych w celu dalszej diagnostyki lub leczenia, minimalizując ryzyko rozprzestrzeniania się potencjalnej choroby na zdrowe zwierzęta. Dzięki możliwości przypisywania danych do poszczególnych numerów identyfikacyjnych zwierząt, cały proces selekcji może być dokumentowany i analizowany w czasie rzeczywistym, co usprawnia podejmowanie decyzji oraz pozwala na weryfikację skuteczności działań bioasekuracyjnych na poziomie grupy technologicznej.

Selekcja zwierząt do izolacji oparta na danych z TherMobEye może również przyczyniać się do poprawy komfortu pracy w gospodarstwie, zmniejszając presję na personel w zakresie codziennej obserwacji wszystkich świń oraz ograniczając liczbę błędów w ocenie kondycji zdrowotnej. Zwiększenie szybkości i trafności identyfikacji osobników wymagających interwencji przekłada się na ograniczenie strat produkcyjnych wynikających z późnego leczenia oraz na zwiększenie skuteczności działań prewencyjnych, co ma istotne znaczenie w utrzymaniu wysokiej wydajności tuczu i minimalizacji kosztów weterynaryjnych. W szerszej perspektywie system TherMobEye wspiera budowę bardziej odpornych stad poprzez ograniczenie liczby wtórnych zakażeń oraz szybsze zamykanie dróg szerzenia się chorób w obrębie sektora produkcyjnego, co w długim okresie wpływa na stabilność wyników produkcyjnych oraz rentowność gospodarstwa zajmującego się tuczem trzody chlewnej.

8.2.3 Wspomaganie zarządzania karmieniem oraz mikroklimatem

System TherMobEye, poprzez możliwość stałego monitorowania parametrów termicznych ciała świń, staje się także narzędziem wspomagającym zarządzanie zarówno procesem karmienia, jak i mikroklimatem w tuczarni, co w bezpośredni sposób wpływa na efektywność produkcji i dobrostan zwierząt. Prawidłowe warunki środowiskowe oraz odpowiednio dobrany program żywieniowy są podstawowymi filarami uzyskania wysokich przyrostów masy ciała przy optymalnym wykorzystaniu paszy. Jednak zmienność warunków w pomieszczeniach produkcyjnych, sezonowe wahania temperatury i wilgotności oraz indywidualna reakcja zwierząt na zmiany diety mogą powodować trudne do wychwycenia zaburzenia w fizjologii, które bezpośrednio przekładają się na pogorszenie tempa wzrostu oraz zwiększoną podatność na choroby. TherMobEye, rejestrując zmiany powierzchniowej temperatury ciała zwierząt, umożliwia hodowcom obserwowanie nie tylko zmian zdrowotnych, ale także wczesnych sygnałów świadczących o nieprawidłowym funkcjonowaniu systemu wentylacji,



niedostosowaniu parametrów mikroklimatycznych lub nieprawidłowej adaptacji zwierząt do nowej paszy. Wzrost średnich temperatur skóry w grupie bez jednoczesnych objawów infekcyjnych może wskazywać na niewystarczające chłodzenie, nadmierną wilgotność, zbyt dużą koncentrację amoniaku lub inny problem środowiskowy wpływający na komfort termiczny świń. Z kolei obniżone wartości mogą sugerować przeciągi, nadmierne wychłodzenie pomieszczenia lub zbyt szybkie zmiany w warunkach cieplnych po wprowadzeniu nowej grupy. Integracja danych temperaturowych z informacjami o przebiegu karmienia umożliwia także identyfikację problemów żywieniowych na bardzo wczesnym etapie. Spadek aktywności termicznej grupy może wskazywać na ograniczone pobranie paszy, problemy trawienne lub niedostosowanie dawki do potrzeb energetycznych zwierząt w danym momencie tuczu. Dzięki szybkiemu dostępowi do takich informacji możliwe jest natychmiastowe korygowanie dawki pokarmowej, zmiana jakości paszy, dostosowanie ilości składników mineralnych lub wprowadzenie innych działań mających na celu przywrócenie optymalnych warunków żywieniowych. System TherMobEye pozwala również na prowadzenie długoterminowej analizy wpływu zmian w zarządzaniu mikroklimatem i karmieniem na kondycję fizjologiczną świń. W praktyce oznacza to możliwość optymalizacji ustawień wentylacji, doboru systemów chłodzenia, rozmieszczenia poidel i karmideł, a także ocenę wpływu różnych programów żywieniowych na zdrowie i wyniki produkcyjne. Dzięki temu hodowca dysponuje narzędziem, które nie tylko wspiera codzienne decyzje operacyjne, ale również umożliwia budowanie bardziej wydajnych i zrównoważonych strategii zarządzania produkcją trzody chlewnej.

8.2.4 Redukcja wskaźnika FCR

Wskaźnik wykorzystania paszy, określany jako FCR (Feed Conversion Ratio), jest jednym z kluczowych parametrów oceny efektywności produkcji trzody chlewnej, bezpośrednio wpływającym na ekonomikę tuczu. Osiągnięcie niskiego wskaźnika FCR, czyli zmniejszenie ilości paszy potrzebnej do przyrostu jednostki masy ciała, jest jednym z głównych celów każdego systemu zarządzania produkcją świń. Wprowadzenie systemu TherMobEye w tuczarni może istotnie przyczynić się do poprawy tego wskaźnika poprzez umożliwienie szybkiej identyfikacji zwierząt o obniżonej wydajności wzrostu spowodowanej ukrytymi problemami zdrowotnymi, nieprawidłowościami w mikroklimacie lub zaburzeniami w pobraniu paszy. W warunkach intensywnej produkcji nawet niewielkie zmiany w zdrowotności



czy komforcie cieplnym zwierząt mogą prowadzić do spadku tempa przyrostów oraz zwiększenia zapotrzebowania na paszę, co bezpośrednio podnosi koszty produkcji. Zwierzęta przechodzące stany podkliniczne infekcji, nieodczuwalne w codziennej obserwacji, często nie wykazują drastycznych zmian w zachowaniu, ale ich przemiana materii jest zaburzona, co powoduje nieefektywne wykorzystanie paszy i zwiększenie FCR. System TherMobEye, poprzez ciągły monitoring termiczny, pozwala na wczesne wykrycie takich nieprawidłowości i natychmiastowe wdrożenie działań korygujących, takich jak leczenie jednostkowe, zmiana zarządzania grupą czy korekta mikroklimatu. Precyzyjne wychwytywanie zwierząt odbiegających od średnich parametrów grupy umożliwia również eliminację osobników, które negatywnie wpływają na wyniki całych sektorów produkcyjnych, poprzez np. zwiększone zapotrzebowanie na paszę lub podnoszenie ryzyka rozprzestrzeniania infekcji. W efekcie zarządzanie stadem z wykorzystaniem TherMobEye sprzyja tworzeniu bardziej jednorodnych grup produkcyjnych o wyrównanym tempie wzrostu, co ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania niskiego wskaźnika FCR na poziomie całego stada.

8.2.5 Redukcja użycia antybiotyków

Redukcja zużycia antybiotyków w produkcji trzody chlewnej jest jednym z najważniejszych wyzwań stojących przed współczesnym rolnictwem, zarówno ze względów ekonomicznych, jak i w kontekście rosnących wymagań regulacyjnych oraz społecznych dotyczących ograniczenia ryzyka rozwoju oporności bakterii na środki przeciwdrobnoustrojowe. W intensywnej produkcji świń leczenie antybiotykami bywa często stosowane nie tylko w odpowiedzi na stwierdzone infekcje, ale również profilaktycznie lub na zasadzie terapii grupowej w przypadku późnego wykrycia choroby w stadzie. Wprowadzenie systemu TherMobEye umożliwia zasadniczą zmianę tego podejścia poprzez wczesne, precyzyjne wychwytywanie zwierząt z pierwszymi oznakami zaburzeń fizjologicznych, takich jak podwyższona temperatura ciała, co pozwala na podjęcie ukierunkowanych działań prewencyjnych i terapeutycznych na poziomie pojedynczego osobnika, a nie całej grupy. Dzięki regularnym pomiarom parametrów termicznych TherMobEye umożliwia szybkie wskazanie świń, które mogą przechodzić początkowe fazy infekcji, zanim nastąpi kliniczne zaostrenie choroby wymagające masowego leczenia. W praktyce oznacza to możliwość wdrażania działań ograniczających rozwój zakażenia, takich jak izolacja zwierzęcia, poprawa



mikroklimatu, zmiana zarządzania grupą lub podanie leków wspierających odporność, bez konieczności natychmiastowego stosowania antybiotyków. Jeśli leczenie farmakologiczne staje się niezbędne, możliwe jest zastosowanie terapii selektywnej, ograniczonej do rzeczywiście chorych osobników, zamiast obejmowania leczeniem całych grup produkcyjnych.

8.2.6 Poprawa jakości mięsa

Wprowadzenie systemu TherMobEye do nadzoru zdrowia trzody chlewnej może istotnie przyczynić się do poprawy jakości mięsa poprzez ograniczenie występowania stanów chorobowych, które bezpośrednio wpływają na właściwości technologiczne i sensoryczne surowca. W produkcji wieprzowiny choroby infekcyjne, stany zapalne oraz przewlekłe stresy środowiskowe mogą powodować zmiany metaboliczne skutkujące występowaniem mięsa PSE (bladego, miękkiego, ciekącego) lub DFD (ciemnego, twardego, suchego), co obniża jego wartość handlową i technologiczną. Dzięki możliwości wczesnego wykrywania zaburzeń fizjologicznych na podstawie analizy parametrów termicznych TherMobEye pozwala na szybsze podejmowanie działań korygujących, takich jak poprawa warunków środowiskowych, dostosowanie programu żywienia lub wdrażanie interwencji weterynaryjnych ograniczających rozwój infekcji. Zdrowsze zwierzęta, pozostające dłużej w stanie fizjologicznej równowagi, charakteryzują się lepszą jakością mięsa, wyższą retencją wody, bardziej stabilnym pH oraz właściwą strukturą włókien mięśniowych. System TherMobEye, umożliwiając hodowcom lepsze zarządzanie zdrowotnością stada i ograniczając sytuacje stresogenne, przyczynia się tym samym do uzyskiwania bardziej jednolitych partii tusz o wyższej jakości, co jest szczególnie istotne w kontekście rosnących wymagań zakładów mięsnych oraz rynku konsumenckiego.

8.2.7 Redukcja śmiertelności

Systemu TherMobEye w produkcji trzody chlewnej przyczynia się do zmniejszenia śmiertelności poprzez umożliwienie szybkiej identyfikacji zwierząt we wczesnych fazach choroby, zanim infekcja osiągnie zaawansowane stadium. Dzięki ciągłemu monitoringowi



parametrów termicznych możliwe jest natychmiastowe odseparowanie i leczenie zwierząt wymagających interwencji, co ogranicza rozwój powikłań oraz ryzyko śmierci. Redukcja śmiertelności przekłada się bezpośrednio na poprawę wyników produkcyjnych i ekonomicznych gospodarstwa oraz zwiększenie stabilności cykli produkcyjnych w tuczarni.

8.2.8 Zwiększenie świadomości dot. dbania o dobrostan zwierząt w rolnictwie

Korzystanie z systemu w gospodarstwach rolnych przyczynia się nie tylko do poprawy wyników produkcyjnych, ale także do istotnego wzrostu świadomości hodowców w zakresie troski o dobrostan zwierząt. Dzięki codziennemu monitorowaniu parametrów fizjologicznych, takich jak temperatura powierzchni ciała, rolnicy uzyskują dostęp do obiektywnych danych świadczących o stanie zdrowia i kondycji ich zwierząt, co umożliwia szybsze podejmowanie decyzji ukierunkowanych na poprawę warunków bytowych. Stałe śledzenie nawet subtelnych zmian pozwala hodowcom lepiej rozumieć, jak duży wpływ na zdrowie i wyniki produkcyjne mają czynniki takie jak komfort cieplny, jakość mikroklimatu, odpowiednie żywienie czy ograniczenie stresu środowiskowego.

TherMobEye sprzyja budowaniu nowoczesnego podejścia do produkcji zwierzęcej, w którym troska o dobrostan nie jest traktowana jako dodatkowy obowiązek, ale jako kluczowy element strategii zarządzania gospodarstwem. Rosnąca świadomość hodowców w zakresie zależności pomiędzy dobrostanem a rentownością produkcji przekłada się na większe zaangażowanie w stosowanie praktyk ograniczających stres i promujących zdrowie zwierząt, co ma bezpośrednie przełożenie na poprawę wydajności oraz jakość produktów rolnych. System TherMobEye, dzięki możliwości dokumentowania zmian zdrowotnych i analizy ich przyczyn, ułatwia również wprowadzanie standardów dobrostanu wymaganych przez programy certyfikacyjne i odbiorców komercyjnych, budując konkurencyjność gospodarstw na rynku krajowym i międzynarodowym.



8.3 Wnioski końcowe

W odniesieniu do produkcji bydła mlecznego system TherMobEye szczególny nacisk położył na wczesne wykrywanie zapaleń wymienia (mastitis), jednej z głównych przyczyn strat ekonomicznych i obniżenia jakości mleka w nowoczesnych gospodarstwach. Dzięki wysokiej precyzji urządzenia termowizyjnego możliwe jest wykrycie subtelnych zmian temperatury w obrębie konkretnych ćwiartek wymienia, co pozwala na szybkie wdrożenie leczenia oraz ograniczenie rozwoju choroby. W praktyce przekłada się to na zmniejszenie liczby brakowanych krów, ograniczenie strat mlecznych oraz podniesienie rentowności produkcji. System umożliwia jednocześnie ograniczenie zużycia antybiotyków poprzez selektywne leczenie rzeczywiście chorych osobników, wpisując się w aktualne strategie redukcji antybiotykoterapii i zwiększając bezpieczeństwo produktów mlecznych. Dzięki integracji z systemami zarządzania stadem TherMobEye wspiera optymalizację organizacji pracy w gospodarstwie, umożliwiając bieżące przypisywanie wyników do konkretnych zwierząt oraz długoterminową analizę trendów zdrowotnych. Technologia ta w sposób istotny wpływa także na wydłużenie użytkowości krów mlecznych, umożliwiając wcześniejszą interwencję w przypadku problemów zdrowotnych oraz poprawiając zarządzanie cyklem rozrodczym, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie liczby laktacji i poprawę bilansu ekonomicznego produkcji mleka. Dzięki stałemu monitorowaniu kondycji zdrowotnej możliwe staje się nie tylko osiąganie wyższej wydajności, ale także redukcja śladu węglowego poprzez lepsze wykorzystanie potencjału zwierząt i ograniczenie presji na intensyfikację hodowli.

W przypadku produkcji trzody chlewnej system TherMobEye umożliwia wykrywanie wczesnych faz infekcji i stanów gorączkowych wśród tuczników, co pozwala na natychmiastową reakcję i ograniczenie rozprzestrzeniania się chorób w grupach produkcyjnych. Regularne pomiary temperatury powierzchniowej ciała świń w kluczowych miejscach anatomicznych, takich jak podstawa ucha, pozwalają na wykrycie nawet subtelnych odchyleń od normy, co umożliwia szybkie odseparowanie zagrożonych zwierząt i podjęcie działań profilaktycznych. Dzięki temu system znacząco wspiera zarządzanie bioasekuracją oraz zmniejsza ryzyko strat produkcyjnych. TherMobEye pomaga także w lepszym zarządzaniu karmieniem oraz mikroklimatem w tuczarni, pozwalając na korektę programów żywieniowych oraz ustawień wentylacji i chłodzenia na podstawie rzeczywistych potrzeb zwierząt. Wczesne wychwycenie problemów środowiskowych lub żywieniowych pozwala na



utrzymanie zwierząt w optymalnych warunkach, co bezpośrednio wpływa na poprawę tempa wzrostu i zdrowotności tuczników. System wspiera również osiąganie lepszych wskaźników FCR, ograniczając marnotrawstwo paszy i zwiększając efektywność produkcji. Z perspektywy strategii ograniczenia antybiotykoterapii rozwiązanie TherMobEye stanowi istotne wsparcie w selektywnej identyfikacji zwierząt wymagających leczenia, co nie tylko zmniejsza zużycie leków, ale także poprawia jakość produktu końcowego, ograniczając ryzyko obecności pozostałości leków w mięsie. Z kolei poprzez ograniczenie stresu cieplnego, poprawę zarządzania zdrowiem oraz wcześniejsze wykrywanie stanów zapalnych system przyczynia się do uzyskania mięsa o lepszej jakości technologicznej i sensorycznej, bardziej pożądanej przez zakłady przetwórcze i konsumentów.

Ostatecznie projekt TherMobEye pokazał, że zastosowanie nowoczesnych technologii w produkcji zwierzęcej nie tylko podnosi standardy dobrostanu, ale również znacząco wpływa na optymalizację procesów produkcyjnych, zmniejszenie kosztów jednostkowych oraz zwiększenie konkurencyjności gospodarstw na wymagającym rynku produktów rolnych. Dzięki zastosowaniu precyzyjnych danych, automatyzacji procesu diagnostycznego oraz integracji z istniejącymi systemami zarządzania stadem TherMobEye wpisuje się w trend inteligentnego rolnictwa i stanowi solidną podstawę do dalszej modernizacji i profesjonalizacji produkcji zwierzęcej w Polsce i na świecie.