

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki i Zarządzania
Instytut Informatyki

Praca dyplomowa inżynierska

THINKUBATOR

Janusz Bossy, 66222
Paweł Lubarski, 66276
Tomasz Nowak, 66293
Szymon Szafraniec, 67723

Promotor
dr inż. Przemysław Zakrzewski

Poznań, 2007 r.

Tutaj przychodzi karta pracy dyplomowej;
oryginał wstawiamy do wersji dla archiwum PP, w pozostałych kopiach wstawiamy
ksero.

Spis treści

1	Wstęp	1
2	Cel i zakres	5
2.1	Obecny stan wiedzy dziedzinowej	5
2.1.1	Jak definiuje się optymalne warunki inkubacji	5
2.1.2	Temperatura embrionu a temperatura inkubatora i jaja w gnieź- dzie	5
2.1.3	Wilgotność inkubatora i utrata wody	7
2.1.4	Ustawienie jaja, jego obracanie i zraszanie	7
2.1.5	Wymiana gazowa i wentylacja inkubatora	8
2.1.6	Nastawy klujnika	8
2.2	Stosowane rozwiązania	9
2.3	Cel projektu	11
2.3.1	Wizja systemu	11
2.3.2	Zasady działania systemu	12
2.3.3	Opis funkcjonalności systemu	13
2.3.4	Wymagania wydajnościowe	15
3	Architektura	17
3.1	Inkubator	17
3.1.1	Konstrukcja	17
3.1.2	Projekt mechaniczny	18
3.1.3	Wymiennik ciepła	18
3.1.4	Model	20
3.1.5	Algorytm sterowania	20
3.1.6	Elektronika	25
3.1.7	Aplikacja sterująca	27
3.1.8	System operacyjny	30
3.2	Komunikacja	30
3.2.1	Wykorzystane metody komunikacji	31
3.3	Stacja kontrolna	32

3.3.1	Przypadki użycia	33
3.3.2	Architektura aplikacji	36
3.4	Centrum nadzoru	38
3.4.1	Technologia	39
3.4.2	Baza danych	39
3.4.3	Implementacja	41
4	System w użyciu	45
4.1	Uruchomienie Inkubatora	45
4.2	Programowanie Inkubatora przy użyciu wbudowanej klawiatury . . .	45
4.3	Stacja Kontrolna	46
4.3.1	Interfejs kontroli	46
4.3.2	Interfejs programowania	46
4.4	Centrum Nadzoru	49
4.4.1	Strona wstępu	49
4.4.2	Strona inkubacji	49
4.4.3	Strona inkubatora	49
4.4.4	Strona gatunku	49
4.4.5	Interfejs administracyjny	49
5	Podsumowanie	51
5.1	Stan Systemu	51
5.2	Dalszy Rozwój	51
5.3	Wnioski	52
	Literatura	53

Rozdział 1

Wstęp

Realizacja niniejszej pracy inżynierskiej została rozpoczęta w grudniu 2005 roku jako projekt w konkursie *CSIDC* (ang. *Computer Society International Design Competition*). Organizatorem konkursu jest Towarzystwo Komputerowe przy amerykańskim Instytucie Inżynierii Elektrotechnicznej i Elektronicznej (ang. *IEEE Computer Society*). Konkurs ten zachęca studentów do pracy w zespole w celu stworzenia opartego na wykorzystaniu komputerów rozwiązania dla wybranego problemu. Zadaniem studentów jest zaprojektowanie, wykonanie, przetestowanie, udokumentowanie, a nawet sprzedanie wynalezionej przez nich systemu. Konkurs rozgrywany jest w trzech etapach. W pierwszym etapie studenci analizują zadany temat, wybierają problem i zgłaszają temat pracy. Ze wszystkich zgłoszeń wybieranych jest 300 drużyn, które przystępują do zgłębienia problemu i przygotowują plan realizacji projektu. Rezultatem jest raport wstępny (ang. *Interim Report*), na podstawie którego 100 najlepszych drużyn kwalifikuje się do trzeciego etapu. Następnie zespoły te realizują zaplanowane prace i przygotowują raport finałowy (ang. *Final Report*). Autorzy dziesięciu najlepszych prac są zapraszani na finały do Waszyngtonu, D.C., gdzie zespoły prezentują swoje projekty. Na podstawie prezentacji i raportu finałowego wybierani są zwycięzcy konkursu. Temat *CSIDC* w 2006 roku brzmiał: „Preserving, Protecting and Enhancing the Environment”, czyli w wolnym tłumaczeniu „Podtrzymywanie, Ochrona i Ulepszanie Środowiska”. Niniejszy projekt został zakwalifikowany do III etapu konkursu, a następnie był rozwijany i doczekał się obecnej formy pracy inżynierskiej.

Szeroko pojęta ochrona środowiska kojarzona jest zazwyczaj z zanieczyszczeniami środowiska (powietrza, wody lub gleby) czy globalnym ociepleniem. Do kwestii wymierania gatunków przywiązuje się wagę dużo mniejszą, podczas gdy niezmiernie istotne jest to, że spośród wielu codziennie wymierających gatunków każdy ewoluował do obecnej postaci miliony lat i ma wielki wpływ na równowagę swojego ekosystemu. Pomoc w przetrwaniu chociaż jednego gatunku wnosi istotny wkład w ochronę środowiska.

Inspiracją do napisania niniejszej pracy były rozmowy z pracownikami Poznańskiego Nowego Zoo. Dyrektor do spraw hodowli tego ogrodu, dr inż. Radosław Ratajszczak, opowiedział o następujących wydarzeniach:

W 1974 roku światowa populacja jednej z odmian pustułki (łac. *mauriti-
tius kestrel*) liczyła 10 sztuk, wśród których były tylko 2 samice. Wszystkie ptaki żyły w niewoli – gatunek był bardzo bliski wymarcia. Minęły dwa lata zanim jedna z samic złożyła jedno jajo. Zostało ono wzięte do inkubatora, by zapewnić mu przetrwanie. Inkubacja się udała, pisklę się wykluło, ale wydarzył się straszny wypadek: eter, który był używany w czujniku inkubatora wyciekł i zatruł pisklę. Jak widać, bezsensowny wypadek o mały włos nie doprowadził do wyginięcia gatunku.

Na szczęście pustułki nie wymarły, a ich dzisiejsza populacja oceniana jest na ok. 150 sztuk. Mimo to ta historia powinna być traktowana jako ostrzeżenie, bo podobny wypadek w przyszłości może mieć fatalne konsekwencje.

Inkubacja zagrożonych gatunków jest bardzo trudnym zadaniem i wymaga odpowiednich narzędzi. Analiza problemu wykazała że istniejące inkubatory zapewniają tylko podstawową funkcjonalność, niewystarczającą dla wielu gatunków, a także że brakuje inkubatorów ułatwiających prowadzenie badań naukowych. Podstawowa funkcjonalność której oczekują ornitolodzy to możliwość analizy przebiegu inkubacji (zapisywanie stanu inkubatora i możliwość jego wizualizacji) czy też programowalność (możliwość zaprogramowania zmiany parametrów inkubacji w czasie). Dodatkowo pożądana była możliwość zbierania i analizowania danych z wielu inkubatorów.

Powyższe przemyślenia zainspirowały autorów niniejszej pracy do stworzenia Thinkubatora – systemu umożliwiającego inkubację ptasich jaj w kontrolowanym i nadzorowanym środowisku, który może zrewolucjonizować podejście do inkubacji. W centrum systemu znajduje się wysokiej jakości inkubator. Jest on wyposażony w komputer przemysłowy z interfejsem ethernetowym umożliwiającym komunikację ze Stacją Kontrolną – aplikacją zainstalowaną na komputerze klasy PC umożliwiającą bezpośrednią interakcję z inkubatorami. Za pomocą Stacji Kontrolnej można programować i nadzorować wiele inkubatorów – oszczędza się dzięki temu czas potrzebny na programowanie wielu urządzeń. Stacja Kontrolna umożliwia także zapisywanie informacji o stanie inkubacji w celu ich wizualizacji lub do późniejszej analizy. Cały system jest zintegrowany ze zdalnym serwerem – Centrum Nadzoru. Serwer zbiera dane z wszystkich inkubatorów umożliwiając zaawansowaną analizę statystyczną lub analizę przy pomocy algorytmów wspomagania decyzji. Umożliwia on także wymianę informacji pomiędzy użytkownikami na całym świecie. Posiada również funkcję wizualizacji danych, która pozwala na współdzielenie wiedzy o ptakach pomiędzy profesjonalistami a hobbistami i jej poszerzanie.

Ornitologowie z Zoo w Poznaniu uważają, że system o takich parametrach jest wysoce pożądany. Analiza kosztów, zalet i wad tego systemu pokazała, że mógłby on zostać bez problemu wdrożony w wielu ogrodach zoologicznych na świecie.

Pomimo dużej funkcjonalności i zastosowania wielu przydatnych rozwiązań koszt urządzenia wraz z wdrożeniem byłby niższy niż koszt wdrożenia zwykłego inkubatora o podobnych parametrach.

W realizacji projektu brały udział cztery osoby. Tabela 1.1 przedstawia zadania wykonane przez każdą z nich.

Struktura pracy jest następująca. W rozdziale 2 opisano obecny stan wiedzy na temat inkubacji ptasich jaj, stosowane rozwiązania w komercyjnych inkubatorach oraz dokładnie zdefiniowano cel projektu. W rozdziale 3 opisano architekturę systemu Thinkubator. Jest on podzielony na cztery podrozdziały, opisujące realizację poszczególnych elementów systemu oraz zastosowane metody komunikacji między nimi. W rozdziale 4 opisano przykładowy scenariusz użycia systemu wraz z krótkim opisem interfejsu użytkownika. Praca zakończona jest krótkim podsumowaniem w rozdziale 5.

Czynność	Janusz Bossy	Paweł Lubarski	Tomasz Nowak	Szymon Szafraniec
Budowa inkubatora				
Wysokopoziomowy projekt inkubatora	✓	✓	✓	✓
Projekt wymiennika ciepła	✓	✓	✓	✓
Wykonanie wymiennika ciepła	✓	✓		✓
Wykonanie konstrukcji zewnętrznej	✓	✓		✓
Projekt komory inkubacyjnej	✓	✓		✓
Montaż elektroniki	✓	✓	✓	✓
Wykonanie elektroniki peryferyjnej			✓	
Montaż inkubatora	✓	✓	✓	✓
Oprogramowanie inkubatora				
Projekt wysokopoziomowy	✓	✓	✓	✓
Implementacja jądra systemu	✓			
Projekt algorytmów sterowania	✓	✓		✓
Implementacja algorytmów sterowania	✓	✓		✓
Kalibracja algorytmów sterowania	✓	✓		✓
Oprogramowanie UI			✓	
Uruchomienie <i>SBC</i>	✓	✓	✓	✓
Implementacja algorytmów komunikacji	✓	✓		✓
Stacja Kontrolna				
Projekt wysokopoziomowy	✓	✓		✓
Implementacja	✓			✓
Implementacja algorytmów komunikacji	✓			✓
Centrum Nadzoru				
Projekt wysokopoziomowy	✓	✓		✓
Implementacja UI		✓		
Projekt schematu bazy danych	✓	✓		✓
Implementacja algorytmów komunikacji		✓		

Tablica 1.1: Podział prac

Rozdział 2

Cel i zakres

2.1 Obecny stan wiedzy dziedzinowej

W tym rozdziale umieszczono opis podstawowych reguł, do których stosują się producenci inkubatorów. Zamieszczono też zalecenia, co robić, aby mając już jajo zmaksymalizować szanse na udane wyklucie.

2.1.1 Jak definiuje się optymalne warunki inkubacji

Optymalne warunki inkubacji mogą być definiowane jako takie, które prowadzą do maksymalnej klujności zdrowych załazków. Ogólnie przyjmuje się, że ewolucja doprowadziła do takich warunków w naturalnej inkubacji poprzez dobór naturalny: warunki środowiska, w którym żyje dany gatunek, sposób gniazdowania rodzica oraz jego zachowania inkubacyjne, a także poprzez adaptacje morfologiczne, anatomiczne, fizjologiczne i cząsteczkowe danego gatunku. Wynikłe w ten sposób warunki inkubacji dla poszczególnych gatunków ptaków są uważane za reprezentacyjne czynniki wyznaczające optymalną inkubację. Wśród tych czynników rozpoznajemy takie, których optymalne wartości zdają się być ogólne dla wszystkich gatunków. Dla pozostałych próbuje się określić zależności od masy jaja i tempa rozwoju embrionalnego.

Poprzez skorelowanie użytych parametrów z wynikami inkubacji próbuje się stworzyć uniwersalny model inkubacji. Można go wtedy zastosować do gatunków, co do których nie ma znajomości potrzebnych ustawień inkubatora (np.: bardzo rzadkich lub utrudniających badania), a następnie dalej optymalizować.

2.1.2 Temperatura embrionu a temperatura inkubatora i jaja w gnieździe

Podstawowym problemem w określeniu warunków sztucznej inkubacji jest różnica w sposobie dopływu i regulacji ciepła. Z pewnymi wyjątkami w naturze ptak

przekazuje ciepło przez skórę brzucha (często znajduje się tam specjalne, mocno ukrwione i łysiejące na czas składania jaj miejsce) bezpośrednio na wierzch jaja. Ciepło przepływa do wnętrza jaja, i równocześnie rozchodzi się po całym gnieździe. W zależności od troskliwości ptaka, częstości obracania jaja i temperatury otoczenia zmienia się gradient temperatury wewnątrz jaja i jej średnia wartość. Z tego powodu trudno określić na podstawie obserwacji natury jej wartość (i to dość stałą) optymalną do sztucznej inkubacji.

Różnice w tych temperaturach są bardzo istotne dla powodzenia procesu – wpływają na najważniejszą w procesie inkubacji – temperaturę embrionu T_{emb} . Ma ona duży wpływ na to, w jakim tempie (i czy w ogóle) zarodek będzie się rozwijał. W normalnym przedziale temperatury wewnątrz inkubatora wzrost młodego embrionu jest dużo bardziej podatny na zmiany temperatury (zwiększenie jej o $1^{\circ}C$ powoduje 10% przyspieszenie rozwoju) niż późnego embrionu [Ar95]. Korzystając z tej wiedzy można przyspieszyć inkubację bez przegrzewania zarodka.

Na T_{emb} mają wpływ również inne czynniki:

- ochłodzenie wynikające z parowania,
- ciepło wydzielane z embrionu z powodu jego metabolizmu,
- pojemność cieplna składników jaja,
- przewodność cieplna jaja.

Temperaturę zarodka T_{emb} mierzy się na kilka sposobów, z których każdy ma nierozdzielnie związane ze sobą wady.

- Wiele pomiarów zostało dokonanych poprzez szybkie umieszczenie w jaju termometru. Jajo zostawało wtedy zniszczone i nie można było prześledzić przebiegu T_{emb} podczas całej inkubacji.
- Pomiar pomiędzy jajami w gnieździe nie udzielają jednoznacznej odpowiedzi na temat temperatury wewnątrz jaja.
- Sztuczne jaja z umieszczoną wewnątrz sondą nie metabolizują, nie parują i mogą mieć inne parametry cieplne (przewodność, pojemność).

Pomiary dla różnych gatunków wskazywały zwykle wartość temperatury w gnieździe z przedziału $33,5^{\circ}C$ - $35,5^{\circ}C$. Biorąc pod uwagę wymienione wcześniej czynniki zauważa się, że T_{emb} przyjmuje wartość pomiędzy $35^{\circ}C$ i $37^{\circ}C$ i przyjmuje się przybliżone $36^{\circ}C$.

Na początku inkubacji temperatura jaja jest niższa od temperatury otoczenia o ok. $0-0,5^{\circ}C$ z powodu parowania. W połowie inkubacji straty ciepła z powodu parowania równoważone są poprzez ciepło z metabolizmu, natomiast pod koniec inkubacji T_{emb} potrafi być wyższa od temperatury wewnątrz inkubatora nawet o $2^{\circ}C$.

2.1.3 Wilgotność inkubatora i utrata wody

W dalszym ciągu najczęściej stosowanym urządzeniem do pomiaru wilgotności jest psychrometr. Pomiar polega na ustawieniu obok siebie termometrów suchego i mokrego (którego bańka jest owinięta wilgotną gazą i nawiewana powietrzem z prędkością $3\frac{m}{s}$). Na podstawie różnicy pomiarów wyznacza się z tablic wilgotność względną RH . Jednakże sama wilgotność RH nie ma znaczenia, ważna jest ilość wody utracona przez jaja podczas inkubacji – M_{H_2O} .

Utrata wody jest ważna z kilku powodów. Po pierwsze, pod koniec inkubacji woda wydzielana z powodu metabolizmu łącznie z naturalną jej utratą przywraca właściwą ilość wody i jonów w tkankach pisklaka. Po drugie, utrata wody skutkuje w powiększaniu się komory powietrznej, potrzebnej do właściwego rozpoczęcia oddychania powietrzem atmosferycznym.

Wykazano, że przeciętna utrata wody podczas inkubacji wynosi ok. 15% początkowej masy jaja M_{egg} . Zatem, dla inkubacji trwającej I dni, dzienna utrata wody powinna wynosić

$$m_{H_2O} = \frac{M_{egg} \cdot 0,15}{I}.$$

Należy tak nastawić inkubator, aby utrata wody wynosiła dziennie m_{H_2O} , przy uwzględnieniu warunku, że do momentu przeniesienia jaj do klujników powinny one utracić 13-13,5% przewidzianej utraty wody.

Dokładniejsze wyliczenia można znaleźć w literaturze. Korzystają one z wyliczonych wartości przepuszczalności pary i ciśnienia pary nasyconej wewnątrz jaja. Uwzględniając wszystkie ubytki masy składników jaja (woda, skorupka, membrana), waga nowo wyklutego pisklaka powinna wynosić 67% wagi świeżego jaja.

2.1.4 Ustawienie jaja, jego obracanie i zraszanie

Wpływ pozycji jaja w inkubatorze nie jest dobrze poznany. Ogólną regułą jest układanie jaj ptactwa udomowionego pionowo, spiczastym końcem do dołu, natomiast ptactwa wodnego poziomo. Dla wielu gatunków nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy w klujności dla obu wspomnianych wyżej skrajnych pozycji. Stwierdzona jest jednak szkodliwość ułożenia jaja ptaka udomowionego spiczastym końcem do góry – komora powietrzna ulega wtedy szkodliwej deformacji.

Ilość obrotów jaja nie jest dokładnie określona. Literatura wymienia częstość obracania na poziomie od jednego na godzinę do jednego na dzień. Badania nad konkretnymi gatunkami wskazują na znaczne różnice w optymalnej częstości obrotów. Wartością, którą można bezpiecznie przyjąć, jest 6 do 12 obrotów dziennie.

Optymalne kąty obrotów są bardzo słabo zbadane. Producenci inkubatorów stosują wartości pomiędzy ± 30 a ± 45 stopni. Bardzo dobre wyniki otrzymuje się

w inkubatorach, w których jaja są obracane na rolkach wzdłuż ich najdłuższej osi; taki sposób obracania zdaje się być najbardziej zbliżony do naturalnego.

Częstą praktyką dla jaj ptactwa wodnego jest codzienne zraszanie jaj wodą. Udowodniono, że zwiększa to klujność wielu gatunków. Ostatnie badania wykazują, że spryskiwanie można czasem zastąpić okresowym przechładzaniem jaj. Jak do tej pory działanie zraszania jaj nie zostało wyjaśnione. Przypuszczenia kierowane są na proces absorpcji wapnia ze skorupki.

2.1.5 Wymiana gazowa i wentylacja inkubatora

Atmosfera wokół jaj zależy od kilku czynników. Jednymi z nich są wspomniane już wilgotność względna RH oraz ciśnienie pary wodnej w inkubatorze. Parametry te wpływają na rozcieńczenie innych gazów. Przykładowo, na wysokości równej poziomowi morza, gdzie ciśnienie barometryczne P_b wynosi 760 Tor, w inkubatorze wilgotność bezwzględna P_{H_2O} dla temperatury $37,5^\circ C$ i $RH = 60\%$ wynosi 28,7 Tor, czyli 3,8% całego P_b . Zatem ciśnienie tlenu P_{O_2} spada ze 159 Tor (normalnie 20,9% powietrza) do 153 Tor (20,1%), zatem jest od początku niższe o 4%.

Kolejnym czynnikiem jest wentylacja inkubatora – V_i , czyli prędkość wprowadzania świeżego powietrza do wnętrza inkubatora. Nie chodzi tu jednak o prędkość cyrkulacji powietrza wewnątrz, co jest nawiasem mówiąc również bardzo ważne, bo zapobiega tworzeniu się „kieszeni” nierównego rozkładu gazów i temperatury. Wentylacja spełnia 4 role:

- utrzymuje P_{O_2} wysokie pomimo zużycia tlenu przez zarodki,
- utrzymuje P_{CO_2} niskie pomimo wydzielania go przez zarodki,
- zapobiega gromadzeniu się odparowanej z jaj wody i podnoszeniu się P_{H_2O} ,
- zapobiega przegrzaniu się zarodków z powodu wydzielania przez nie ciepła z metabolizmu.

Każda z tych ról może wymagać innego V_i . Dokładne wyliczenia można znaleźć w literaturze.

2.1.6 Nastawy klujnika

Proces wykluwania jest skomplikowany i niebezpieczny. Potrzeba dużego nakładu energii i koordynacji wielu czynności, aby mógł zakończyć się powodzeniem. Czynności te wymagają od otoczenia dodatkowego O_2 i generują dodatkowe ciepło. Z drugiej strony, kiedy skorupka jest już pęknięta, uwalniane są względnie duże ilości płynu, które chłodzią pisklaka. Nie ma prostego modelu tego procesu, który mógłby posłużyć do zminimalizowania obciążeń młodego ptaka. Czasem, przy

jajach z małą przewodnością, zaleca się wiercić otwory w komorze powietrznej na krótko przed przyjściem pisklaka na świat. Podnosi to tempo wymiany gazowej oraz wymiany pary wodnej i ciepła, co zmniejsza gwałtowność mającego nastąpić wstrząsu.

Pozostałe procesy zachodzące w fazie wykluwania to:

- wchłonięcie reszty żółtka i wcielenie pęcherzyka żółtkowego,
- stopniowe przechodzenie z wymiany gazowej dyfuzyjnej (przez membranę i skorupkę) na aktywne konwekcyjne oddychanie przez płuca,
- stopniowe przechodzenie z jednego, równoległego obiegu krwi (krew żylna i tętnicza mieszana w sercu) na szeregowy,
- stopniowe zmiany w powinowactwie do tlenu i równowadze kwasowo-zasadowej krwi,
- stopniowa zmiana pojemności termoregulacyjnej,
- inne.

Na końcu inkubacji wychodzą na jaw łączne efekty błędów podczas procesu, takie jak nieodpowiednio zbilansowany udział wody i energii. Dlatego ok. 50% przypadków śmiertelności zarodków zdarza się właśnie podczas klucia. Bardzo trudno znaleźć przepis na optymalne ustawienia kłujnika. Literatura jest w tym względzie sprzeczna. Najprościej i najbezpieczniej jest nie zmieniać warunków na ten czas (naśladując w ten sposób naturę), wyłączając jedynie obracanie jaj i podnosząc wentylację.

2.2 Stosowane rozwiązania

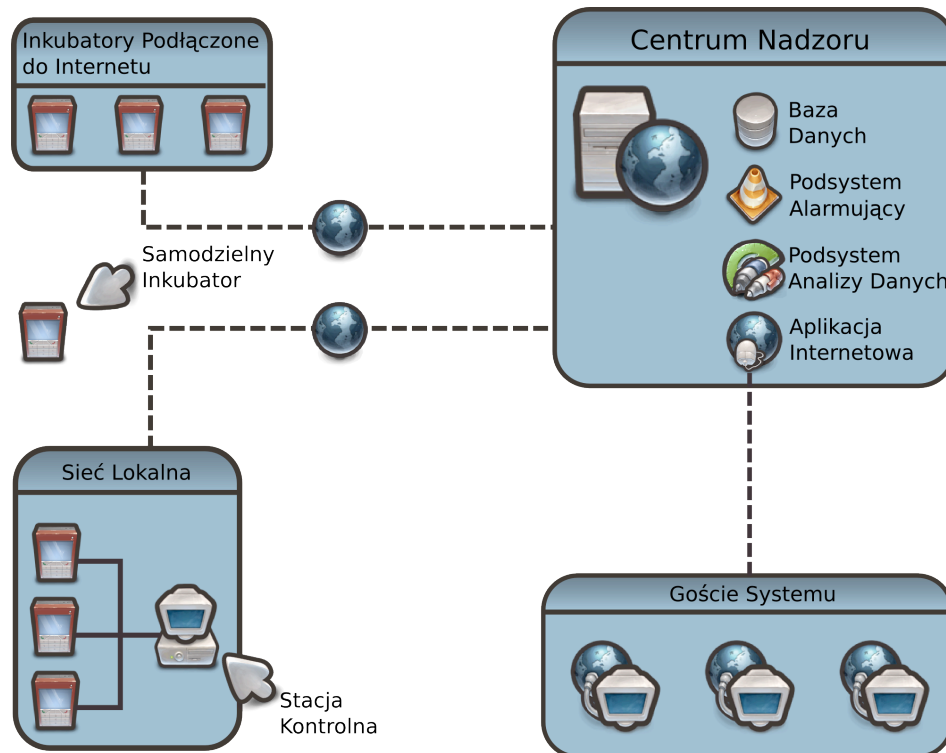
W trakcie realizacji projektu Poznańskie Nowe Zoo dysponowało kilkoma inkubatorami, pozwalającymi na inkubację łącznie około 200 jaj o rozmiarach od pustułych do strusich. Urządzenia te zostały zakupione w przeciągu ostatnich 20 lat i stosują wiele nieaktualnych rozwiązań, posiadają liczne wady i ograniczenia. Stosują one sterowanie liniowe. Zadane wartości *sterowanych parametrów* (temperatury, wilgotności, częstości obracania jaj) ustawia się w nich przy pomocy pary analogowych pokręteł, co jest nieprecyzyjne. Co więcej, pokrętła są podatne na przypadkowe zmiany pozycji i trudno jest z nich odczytać faktycznie nastawione wartości. Absurdalną sytuację zaobserwowano, gdy pracownicy Zoo kreślili po obudowie inkubatora, aby zapamiętać jakie powinny być położenia pokręteł. Aktualną temperaturę w stosowanych inkubatorach można zweryfikować jedynie poprzez odczytanie wskazania rtęciowego termometru umieszczonego wewnątrz inkubatora.

Analogowe metody pomiarów i sterowania są niedoskonałe i podatne na wzrost błędu wraz z czasem życia urządzenia. Niektóre inkubatory wymagały też regularnej interwencji personelu w celu obrócenia jaj.

Nowoczesne inkubatory [Bri06] [Met06] rozwiązują część z powyższych problemów. Posiadają takie cechy jak elektroniczne sterowanie temperaturą, wilgotnością i wentylacją oraz niezależne cyfrowe termometry gwarantujące obiektywny odczyt. Niektóre rozwiązania wyposażone są w alarm informujący o zbyt wysokiej lub zbyt niskiej temperaturze czy też awarii zasilania, a także posiadają w pełni automatyczny mechanizm obracania jaj, poprzez rotację komory inkubacyjnej.

Mimo postępu technologii zarówno w starszych inkubatorach jak i w urządzeniach najnowszych programowanie działania inkubatora ogranicza się do zadania stałej wartości sterowanym parametrom. Tymczasem możliwość zaprogramowania zmiennej w czasie funkcji temperatury lub wilgotności jest bardzo pożądana przez ornitologów. Podczas inkubacji niektórych gatunków co kilka dni trzeba zmieniać ręcznie ustawienia temperatury i wilgotności. Ponadto w celu symulowania warunków naturalnych co kilka godzin wietrzy się inkubatory na kilkanaście minut. W istniejących rozwiązaniach brakuje też możliwości rejestracji przebiegu inkubacji. Aby upewnić się, że urządzenie w danej chwili działa prawidłowo, ornitolog musi odczytać wartości sterowanych parametrów bezpośrednio z inkubatora. W przypadku nieudanej inkubacji, czyli niskiej klujności zdrowych załączków, niemożliwa jest ocena przyczyn niepowodzenia. W szczególności, nie można powiedzieć, czy zawiniły błędy teoretyczne, czyli niewłaściwie dobrane wartości sterowanych parametrów, czy błędy techniczne, jak np. nocna awaria zasilania. Te ograniczenia znacznie utrudniają prowadzenie badań naukowych na temat inkubacji.

Projekt Thinkubator ma za zadanie wprowadzić nową jakość do procesu inkubacji. Ma on umożliwiać programowanie dowolnej zmienności wszystkich sterowanych parametrów inkubacji w czasie. W prosty sposób da możliwość nastawienia chłodzenia, dobowych wahań temperatury oraz automatycznego rolowania. Po zaprogramowaniu inkubatora system będzie nieustannie monitorować proces inkubacji, co będzie umożliwiać sprawdzenie przebiegu procesu zarówno w trakcie jego trwania jak i po jego zakończeniu. Dzięki temu będzie to jedyny system, który w takim stopniu wspiera badania naukowe nad inkubacją zagrożonych gatunków. Dodatkowo system umożliwi zdalny monitoring inkubatora przez Internet oraz stworzenie mechanizmu szybkich powiadomień w przypadku awarii zasilania lub innych niepożądanych zdarzeń. Będzie pozwalać na współdzielenie doświadczeń z innymi jego użytkownikami, przez co umożliwi nawiązywanie współpracy ornitologom z różnych ogrodów zoologicznych. Ze współdzielenia informacji będą mogli korzystać również ornitolodzy-amatorzy, ponieważ narzędzie do programowania inkubacji zaproponuje użytkownikowi optymalne wartości sterowanych parametrów, nawet przy jednoczesnej inkubacji jaj różnych gatunków.



Rysunek 2.1: Diagram systemu

2.3 Cel projektu

Celem projektu jest stworzenie systemu do inkubacji jaj ptasich w kontrolowanym środowisku. System ten składa z urządzenia pozwalającego na inkubację jaj w warunkach identycznych z naturalnymi oraz podsystemu informatycznego, odpowiedzialnego za kontrolę i analizę procesu inkubacji. Ogólny schemat połączeń między urządzeniami został przedstawiony na rysunku 2.1.

2.3.1 Wizja systemu

Urządzenia wchodzące w skład systemu Thinkubator podzielone są na trzy poziomy:

Poziom 1. – Inkubator. Najważniejszy element systemu. Pozwala na inkubację jaj oraz monitorowanie tego procesu. Jako samodzielne urządzenie posiada pełną funkcjonalność typowego inkubatora. Dodatkowo wyposażony jest w klawiaturę oraz wyświetlacz LCD, pozwalające w intuicyjny sposób programować inkubator oraz wyświetlać aktualne wartości sterowanych parametrów.

Poziom 2. – Stacja Kontrolna. Komputer połączony z inkubatorami siecią lokalną Ethernet. Pozwala ornitologom na zaprogramowanie inkubatora. Pomaga

w doborze optymalnych wartości sterowanych parametrów w przypadku jednoczesnej inkubacji jaj różnych gatunków. Na bieżąco monitoruje i wizualizuje parametry trwających oraz zakończonych inkubacji.

Poziom 3. – Centrum Nadzoru. Zdalny serwer pracujący non-stop. Składa się z następujących podsystemów:

- bazy danych, która gromadzi informacje o przebiegu oraz efektywności inkubacji ze wszystkich zarejestrowanych w systemie inkubatorów oraz przechowuje wyniki analizy danych,
- podsystem alarmowania – w równych odstępach czasu rejestruje stan wszystkich inkubatorów, a w przypadku wykrycia błędnego stanu podejmuje odpowiednie działania alarmujące,
- podsystem analizy danych – narzędzia do analizy wpływu warunków inkubacji (np. średniej temperatury, najdłuższego czasu bez zasilania) na klujność; funkcjonalność ta została zaprojektowana z myślą o rozszerzeniu systemu w przyszłości,
- podsystem wizualizacji – aplikacja internetowa służąca do nadzoru systemu i wizualizacji przechowywanych danych,
- podsystem administracyjny – panel służący do zarządzania inkubatorami.

Poszczególne elementy systemu zostały tak zaprojektowane by ściśle współpracowały z urządzeniami na niższym poziomie, natomiast były niezależne od urządzeń na wyższym poziomie. Pozwala to na poprawne działanie systemu w przypadku gdy jest on ograniczony do dwóch poziomów (Inkubator i Stacja Kontrolna, Inkubator i Centrum Nadzoru) lub tylko jednego poziomu (Inkubator). Dodatkowo uniezależnienie poziomów pozwala na zwiększenie niezawodności systemu oraz zapewnia odporność na utratę danych w wyniku awarii urządzenia na niższym poziomie.

2.3.2 Zasady działania systemu

Poniższy scenariusz opisuje ogólny sposób wykorzystania systemu:

- Proces inkubacji rozpoczynany jest poprzez umieszczenie w inkubatorze jaj i zaprogramowanie inkubatora przy pomocy wbudowanej klawiatury lub Stacji Kontrolnej. Inkubacja trwa od dwóch tygodni do dwóch miesięcy. W dowolnej chwili można zmienić ustawiony program inkubacji.
- Przy programowaniu inkubatora Stacja Kontrolna wyświetla dostępne wzorce inkubacji pomagając w optymalnym doborze sterowanych parametrów.

- Stacja Kontrolna regularnie pobiera uaktualnienia wzorców inkubacji w Centrum Nadzoru.
- Wartości wszystkich sterowanych parametrów inkubacji są przechowywane w pamięci inkubatora i mogą być odczytane przez Stację Kontrolną.
- Wiadomości kontrolne z wartościami sterowanych parametrów są wysyłane do Stacji Kontrolnej i Centrum Nadzoru w równych odstępach czasu.
- Ornitolog może sprawdzić stan procesu inkubacji na trzy sposoby (trzy poziomy kontroli):
 - odczytując wskazania na cyfrowym wyświetlaczu inkubatora,
 - przy pomocy Stacji Kontrolnej, która wyświetla bieżące wartości sterowanych parametrów dla wszystkich działających inkubatorów w sieci lokalnej,
 - po zalogowaniu do Centrum Nadzoru, do którego ma dostęp z każdego miejsca na świecie.
- W przypadku błędnego stanu inkubacji uruchamiane są trzy sposoby alarmowania odpowiadające poziomom kontroli:
 - Inkubator – alarm dźwiękowy,
 - Stacja Kontrolna – wyświetlenie powiadomienia,
 - Centrum Nadzoru – powiadomienie e-mailowe, możliwość dodania funkcjonalności powiadomień sms-owych.
- Centrum Nadzoru gromadzi informacje o przebiegach inkubacji w celu współdzielenia doświadczeń i analizy danych.
- Za przyzwoleniem ogrodu zoologicznego informacja o stanie inkubatora może być udostępniona anonimowym użytkownikom aplikacji internetowej w Centrum Nadzoru. Pozwoli to na zwiększenie zainteresowania użytkowników Internetu pracami prowadzonymi w zoo i zachęci ich do odwiedzenia ogrodu.

2.3.3 Opis funkcjonalności systemu

Poszczególne części systemu thinkubator pełnią następujące funkcje:

Inkubator:

- zapewnienie optymalnych warunków inkubacji poprzez jak najwierniejsze odтворzenie rzeczywistych warunków inkubacji,
- sterowanie w zakresie temperatury, wilgotności i obracania jaj,

- wyświetlanie na wyświetlaczu LCD parametrów inkubacji,
- możliwość zaprogramowania inkubacji przy pomocy wbudowanej klawiatury,
- możliwość zaprogramowania inkubacji przy pomocy Stacji Kontrolnej,
- zbieranie danych pomiarowych,
- rozsyłanie danych pomiarowych do Stacji Kontrolnej i Centrum Nadzoru.

Stacja Kontrolna:

- jednoczesne monitorowanie wszystkich inkubatorów w sieci,
- wizualizacja przebiegu sterowanych parametrów inkubacji w funkcji czasu przez cały okres inkubacji,
- programowanie inkubatora,
- pomoc w doborze nastaw poprzez wizualizację wzorców inkubacji jaj jednego lub wielu różnych gatunków,
- pobieranie uaktualnień wzorców z Centrum Nadzoru,
- przechowywanie danych o przebiegu inkubacji w celu wizualizacji lub wysłania ich do Centrum Nadzoru.

Centrum Nadzoru:

- gromadzenie danych z przebiegu inkubacji (zaprogramowane i rzeczywiste wartości sterowanych parametrów),
- monitorowanie bieżącego stanu inkubatorów,
- wizualizacja przebiegu wartości sterowanych parametrów dla każdej inkubacji,
- analiza danych w celu tworzenia wzorców,
- alarmowanie o błędach,
- uwierzytelnianie i autoryzacja użytkowników – kontrola dostępu do poszczególnych funkcji systemu,
- zarządzanie kontami użytkowników.

2.3.4 Wymagania wydajnościowe

Mimo szerokiej funkcjonalności systemu Thinkubator, podstawowym wymogiem jakie musi on spełniać jest zapewnianie odpowiednich warunków inkubacji w komorze inkubacyjnej. Inkubator musi zagwarantować sterowanie temperaturą z dokładnością przynajmniej $0,3^{\circ}C$ (optymalnie $0,1^{\circ}C$) oraz wilgotnością z dokładnością do 5% względnej wilgotności (optymalnie 1%). Komora inkubacyjna powinna pomieścić około 50 jaj i być szczelna aby nie dopuszczać do wahań temperatury i wilgotności. Wnętrze komory musi być wietrzone by zapewnić świeży dopływ tlenu oraz nie dopuścić do nadmiernego wzrostu wilgotności. Aby idealnie odwzorowywać warunki naturalne inkubator musi być wyposażony w mechanizm obracania jaj.

Rozdział 3

Architektura

3.1 Inkubator

3.1.1 Konstrukcja

Większość współczesnych inkubatorów ma konstrukcję zewnętrzną polimerową (np. z poliuretanu) albo zbudowaną z kątowników aluminiowych i sklejki. Konstrukcje te są produkowane seryjnie w profesjonalnych zakładach. Najczęściej obudowy polimerowe są odlewami. Koszt wykonania takiej formy przekracza nawet 10 tysięcy zł.

Konstrukcję zewnętrzną inkubatora wykonano z płyty wiórowej, ponieważ jest ona łatwiejsza w obróbce niż polimery, natomiast obudowa aluminiowo-sklejkowa jest droższa i jej wykonanie jest bardziej czasochłonne (porównywalna konstrukcja musiałaby się składać z 23 elementów) niż wykonanie obudowy z płyty wiórowej (7 elementów). Największą wadą płyty wiórowej jest jej niska odporność na wilgoć. Rozwiązano ten problem zapewniając szczelność na poziomie polietylenowej konstrukcji wewnętrznej, która została profesjonalnie zespawana, więc jest w 100% hermetyczna.

Konstrukcja zewnętrzna jest podzielona na dwie części – inkubacyjną i techniczną. W części inkubacyjnej o rozmiarze 60 cm x 50 cm x 50 cm mieści się komora inkubacyjna oraz 10-milimetrowa warstwa izolacji styropianowej. Część techniczna ma rozmiar 20 cm x 50 cm x 50 cm i zawiera przestrzeń na wymiennik ciepła, silnik oraz system sterowania.

Konstrukcja wewnętrzna („komora inkubacyjna”) jest wykonana z polietylenu – bardzo gładkiego i śliskiego materiału, ułatwiającego mycie i sterylizację – to bardzo istotne dla pracowników ogrodu zoologicznego. Co więcej, polietylen posiada atest na kontakt z żywnością, więc jest niegroźny dla piskląt. Komora inkubacyjna została połączona z konstrukcją zewnętrzną, aby usztywnić całą konstrukcję inkubatora. Komora ta wyposażona jest w dwie ramki o rozmiarze 43 cm x 40 cm x 4 cm, które

mogą utrzymać około 50 jaj kurzych. Jej rozmiar wynosi 58 cm x 48 cm x 48 cm, co zapewnia ramkom odpowiednią przestrzeń, aby jaja o wymaganym rozmiarze mogły się obrócić.

Aby odizolować komorę inkubacyjną od konstrukcji zewnętrznej oraz wymiennik ciepła od reszty części technicznej użyto styropianu. Może on wytrzymać temperaturę rzędu 80°C (wymiennik ciepła może się rozgrzać nawet do 60°C).

3.1.2 Projekt mechaniczny

Obecnie stosuje się dwie technologie obracania jaj:

- rotacja częściowa - jaja są wkładane pionowo w specjalne ramki, które utrzymują je wychylając się pod pewnym kątem. To rozwiązanie jest najczęściej używane w inkubatorach jaj strusich (ze względu na ich rozmiar oraz na cechy gatunku) oraz w inkubatorach drobiu na skalę przemysłową (ze względu na małą utratę miejsca w inkubatorze);
- pełna rotacja - jaja są wkładane poziomo na rolki obracające się o 180°C w przeciwnych kierunkach. To rozwiązanie jest trudniejsze w konstrukcji oraz wymaga dodatkowego miejsca, gdyż w większości implementacji tego rozwiązania rolki z jajami przemieszczają się w poziomie. Z drugiej strony uważa się, że to rozwiązanie daje większą szansę na sukces podczas inkubacji.

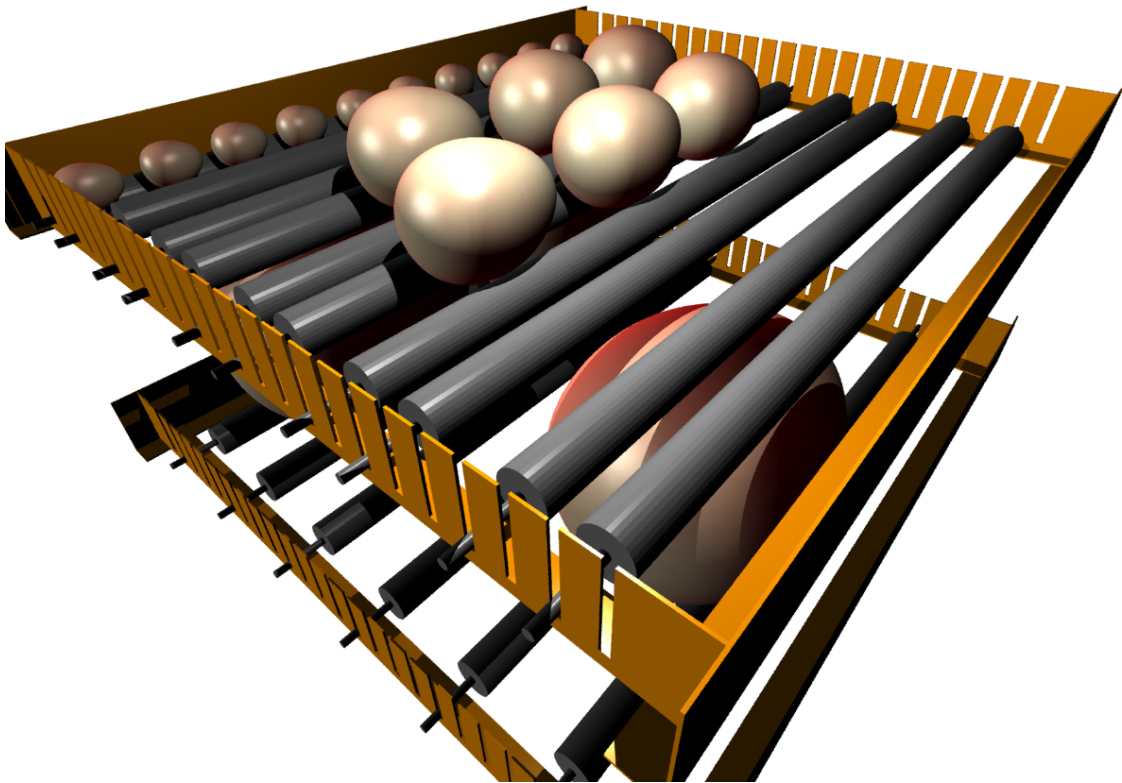
W Inkubatorze wybrano mechanizm pełnej rotacji, ze względu na to, że celem projektu jest maksymalizacja prawdopodobieństwa sukcesu podczas inkubacji – każde pisklę może się okazać bezcenne.

Główną częścią systemu rotacyjnego jest silnik elektryczny z mechanizmem samopowrotowym (w momencie, gdy napotka opór zmienia kierunek ruchu). Silnik napędza śrubę trapezową o skoku 4 mm z trzema nakrętkami – jedną „napędową” oraz dwoma „blokującymi”. Nakrętka „napędowa” połączona jest z ramkami za pomocą płaskownika aluminiowego natomiast nakrętki „blokujące” nakręcone są w miejscu gdzie mechanizm rotacji ma zawrócić (połowa obwodu inkubowanych jaj). W momencie gdy nakrętka napędowa połączy się z blokującymi, silnik odbija i śruba zaczyna się kręcić w przeciwną stronę.

Do inkubatora załączonych jest dwadzieścia rolek, które można zamocować w ramkach idealnie dopasowując odległość między nimi do rozmiarów inkubowanych jaj. Model ramek z rolkami przedstawiony jest na rysunku 3.1.

3.1.3 Wymiennik ciepła

Sterowanie temperaturą z dokładnością dochodzącą do $0,1^{\circ}\text{C}$ jest bardzo trudnym zadaniem, dlatego potrzebny jest dobry system urządzeń wykonawczych. Obec-



Rysunek 3.1: Model ramek z rolkami

nie stosuje się trzy typy rozwiązań:

- bezpośrednie podgrzewanie powietrza przez grzałki zainstalowane w podłodze,
- płaszcz wodny – podgrzewanie wody otaczającej komorę inkubacyjną – rozwiązanie bardzo trudne w wykonaniu (2 szczelne warstwy, wymuszanie ruchu wody na tym obszarze), lecz daje się dość dobrze nim sterować,
- podgrzewanie powietrza poza komorą inkubacyjną – dość łatwe w wykonaniu i sterowaniu; trudność konstrukcyjna polega na odpowiednim pobraniu powietrza z komory inkubacyjnej i wprowadzeniu go z powrotem tak, by zapewnić równomierne wymieszanie powietrza w komorze.

W Inkubatorze wybrany został system ogrzewania powietrza poza komorą w tzw. wymienniku ciepła, ponieważ minimalizuje on niepożądany wpływ elementów sterujących na obiekt sterowany i upraszcza modelowanie. Przepływ powietrza z komory inkubacyjnej przez wymiennik wymuszany jest przez wentylator o mocy 20W. Jako element grzejny zastosowano suszarkę do włosów, ze względu na jej doskonałe parametry – moc 1000 W i praktycznie zerową inercję. Pozwala ona na bardzo szybkie oddziaływanie na temperaturę powietrza w Inkubatorze. Dodatkowym atutem su-

szarki jest zintegrowany z nią wentylator. Zapewnia on odpowiedni ruch powietrza podczas grzania, zapobiegając przegrzaniu wymiennika ciepła.

Podczas fazy projektowania Inkubatora rozpatrzono kilka systemów sterowania wilgotnością. Te najczęściej spotykane w komercyjnych rozwiązaniach to:

- wanna z otwartą wodą, gdzie osobno ogrzewana jest woda, a osobno pomieszczenie,
- grzałka o dużej inercji na którą kapie woda,
- „wstrzykiwanie pary” (ang. *direct steam injection*).

Po konsultacji z pracownikami Zoo systemy te okazały się jednak niewystarczające, ponieważ nie są w stanie wygenerować wystarczająco wysokiej wilgotności, a sam proces nawilżania powietrza znacząco wpływa na temperaturę powietrza wewnątrz komory.

Problemy przedstawione powyżej oraz poszukiwania w Internecie zaowocowały zastosowaniem nawilżacza ultradźwiękowego. Jego niesamowita wydajność dochodząca do 200 ml wody wprowadzonych do powietrza w ciągu godziny, przy zachowaniu niskiego poboru mocy (20 wat) była najlepszym potwierdzeniem słuszności tego wyboru.

Grzałka i nawilżacz umieszczone są we wspólnym układzie, w taki sposób by nawilżać świeżo ogrzane powietrze, które bardziej chłonie wilgoć. Model wymiennika ciepła przedstawiony jest na rysunku 3.2.

3.1.4 Model

Na potrzeby konkursu *CSIDC* stworzono trójwymiarowy model Inkubatora, na którym wzorowano się później przy jego konstrukcji. Końcowy wygląd urządzenia jest bardzo zbliżony do tego przedstawionego na rysunku 3.3, w którym jednocześnie zawarto opisy najważniejszych części, co pomaga w ich odnalezieniu w samym urządzeniu.

3.1.5 Algorytm sterowania

Celem algorytmu sterowania jest utrzymanie w komorze inkubacyjnej zadanej wartości temperatury oraz wilgotności. Do oceny jakości algorytmu sterowania użyto średniej oraz maksymalnej wartości uchybu regulacji. Według ekspertów doskonały inkubator powinien popełniać błąd mniejszy niż $0,1^{\circ}\text{C}$ przy sterowaniu temperaturą oraz błąd mniejszy niż 1% przy sterowaniu wilgotnością.

Inkubator można zamodelować jako układ zamknięty ze sprzężeniem zwrotnym [Brz04] [Bub02] przedstawiony na rysunku 3.4. Bardziej szczegółowy schemat układu ukazuje rysunek 3.5.

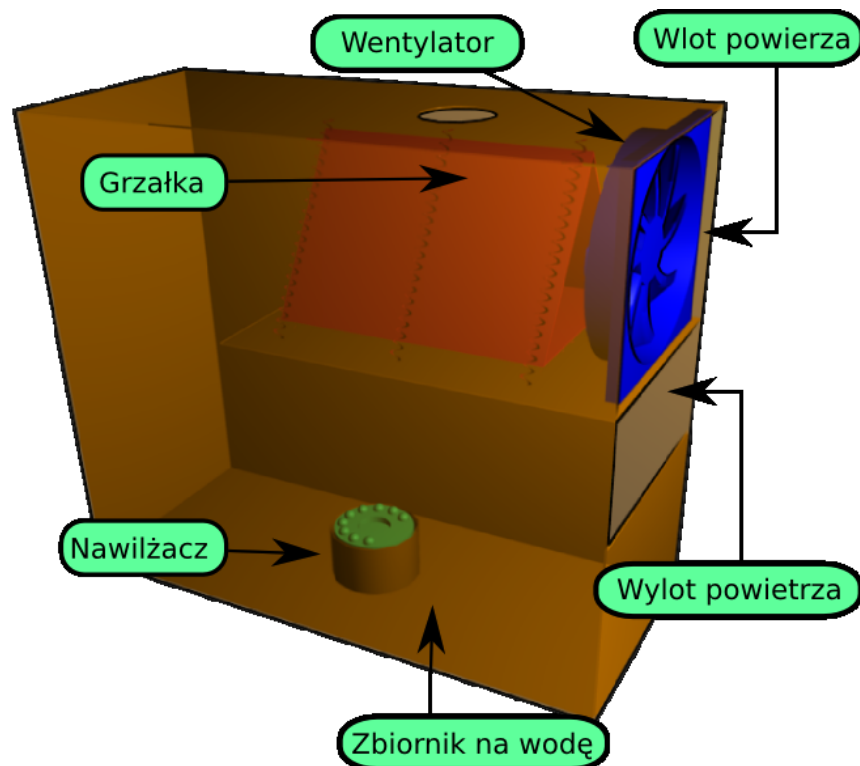
W fazie testowania sprzętu został zastosowany domyślny algorytm sterowania – załącz/wyłącz. Algorytm ten dał doskonałe rezultaty przy sterowaniu wilgotnością (dokładność 1%) oraz przeciętne rezultaty przy sterowaniu temperaturą (dokładność $0,8^{\circ}C$).

Proces jednoczesnego sterowania wilgotnością i temperaturą jest bardzo skomplikowany, ponieważ obie funkcje wykazują pewną korelację (np. wzrost temperatury obniża względną wilgotność). W przypadku inkubatora istnieją jednak następujące podstawy by pominąć tę zależność:

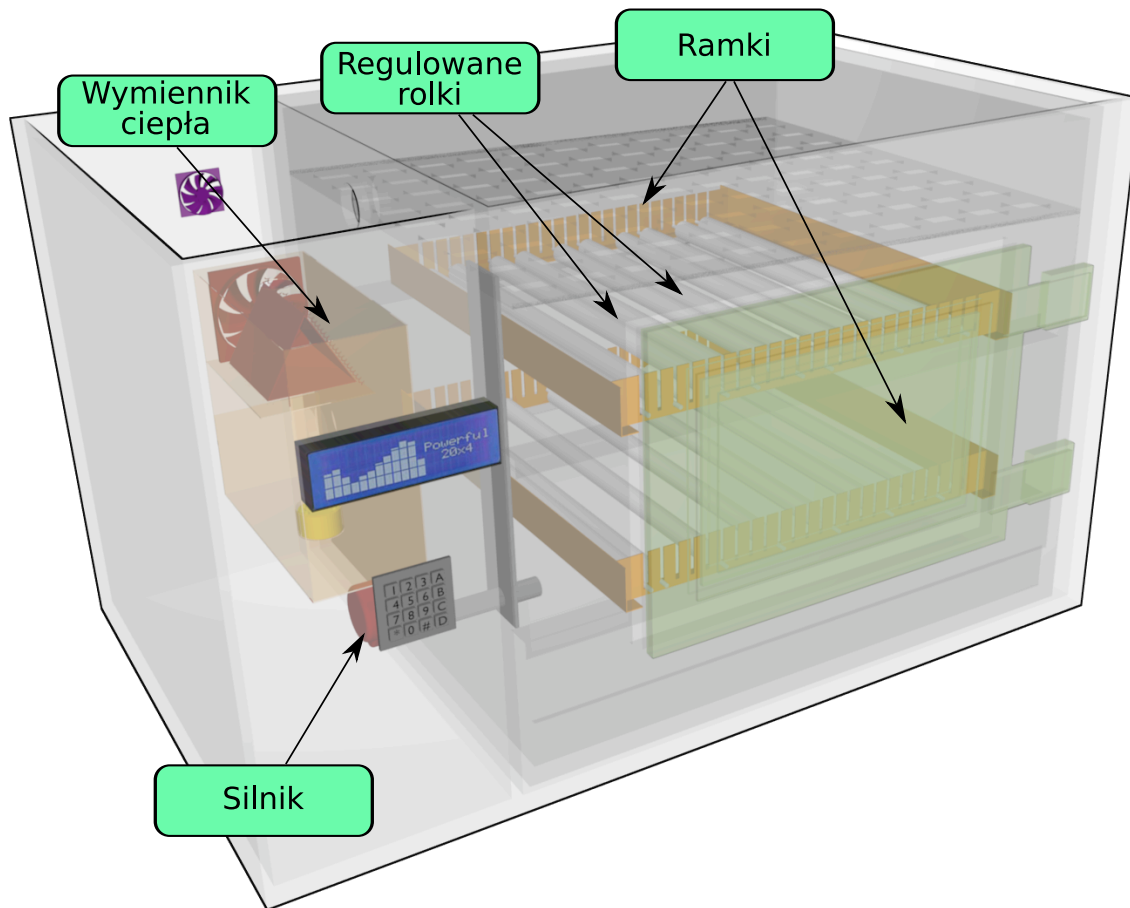
- przez cały czas zarówno temperatura jak i wilgotność utrzymywane są na stałym poziomie, minimalne odchylenia jednego parametru nie mają istotnego wpływu na wartość drugiego,
- niezależne sterowanie temperaturą i wilgotnością pozwala na znaczne uproszczenie modelu oraz napisanie czytelniejszego, łatwiejszego w modyfikacji i bardziej niezawodnego algorytmu.

Zastosowany algorytm sterowania wzorowany był na logice rozmytej [Kae98] [Pie99]. Wybrany został algorytm logiki rozmytej ze względu na cechy przydatne w zastosowaniu:

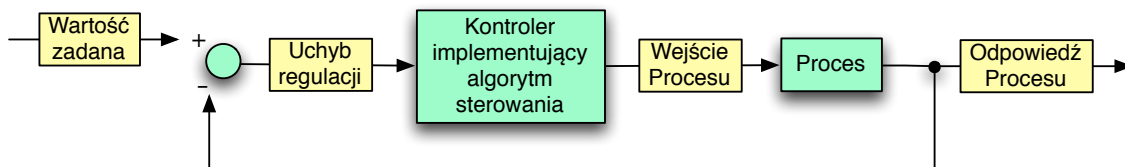
- brak konieczności znajomości modelu matematycznego procesu,
- łatwość reprezentacji,



Rysunek 3.2: Wymiennik ciepła



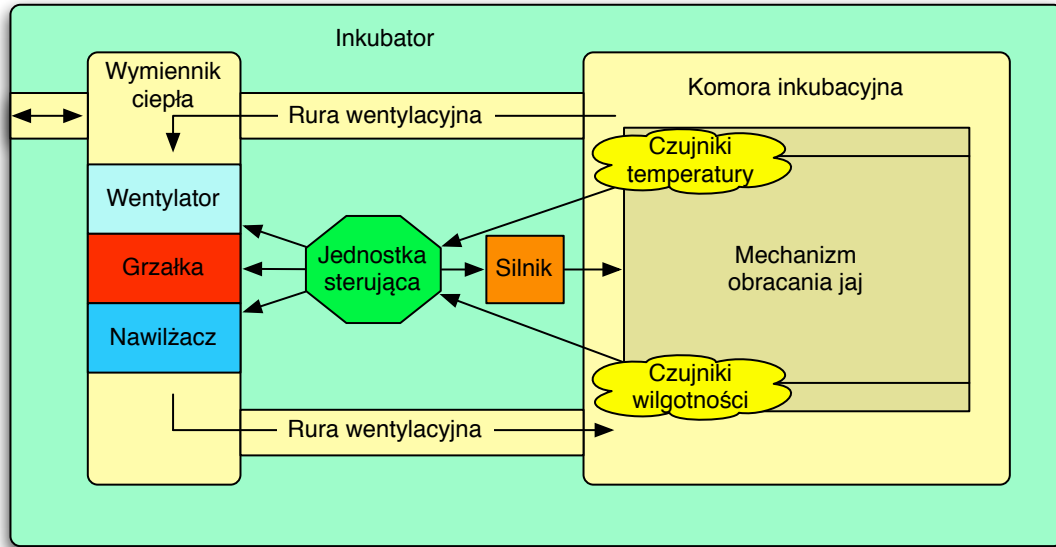
Rysunek 3.3: Model inkubatora



Rysunek 3.4: Układ regulacji z logiką rozmytą

- wysoka potwierdzona doświadczalnie dokładność.

Parametrem wejściowym algorytmu sterowania jest wartość uchybu regulacji e oraz jego pierwsza pochodna \dot{e} . Wyjście algorytmu określa sposób oddziaływania $y = f(e, \dot{e})$. Funkcja $f(e, \dot{e})$ jest skonstruowana jako suma ważona decyzji podejmowanej na podstawie wartości uchybu $y_1 = f_1(e)$ i decyzji podejmowanej na podstawie wartości pierwszej pochodnej uchybu $y_2 = f_2(\dot{e})$. Funkcje f_1, f_2 mają postać nierosnących liniowych funkcji sklepanych. Przyjmują one wartości z przedziału $[-1, 1]$, gdzie wartość -1 oznacza oddziaływanie ujemne, 0 – brak oddziaływania zaś 1 – oddziaływanie dodatnie. Intuicja podpowiada by większy wpływ na decyzję o oddziaływaniu miała wartość uchybu regulacji, zaś w przypadku gdy wartość ta nie jest rozstrzygająca (czyli bliska zeru), do głosu była dopuszczana wartość



Rysunek 3.5: Schmat inkubatora

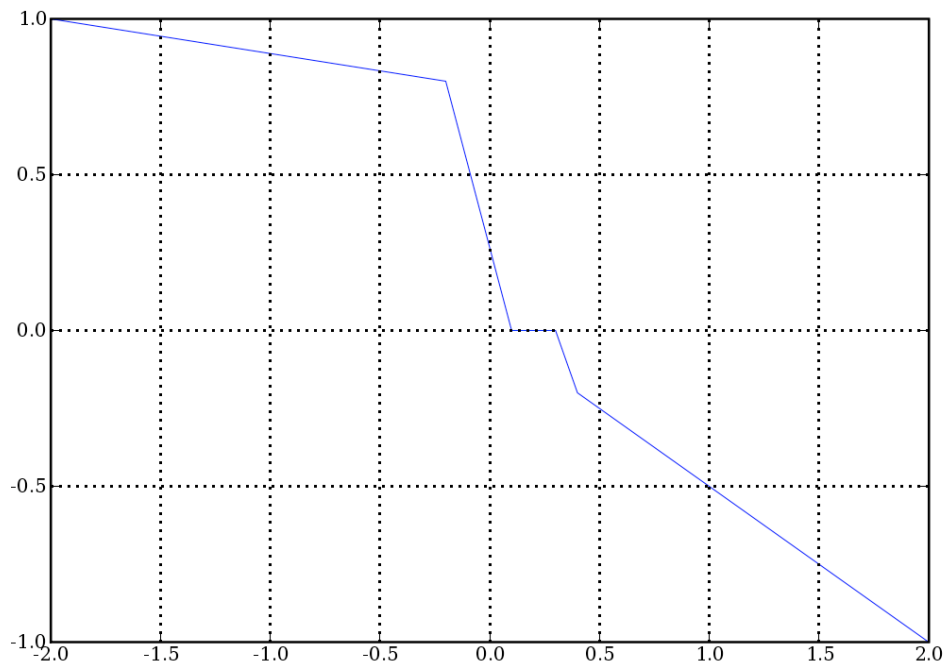
pochoďnej. Zgodnie z tym podejściem funkcja $f(e, \dot{e})$ została zdefiniowana następująco:

$$f(e, \dot{e}) = f_1(e) + (1 - |f_1(e)|) \cdot f_2(\dot{e}). \quad (3.1)$$

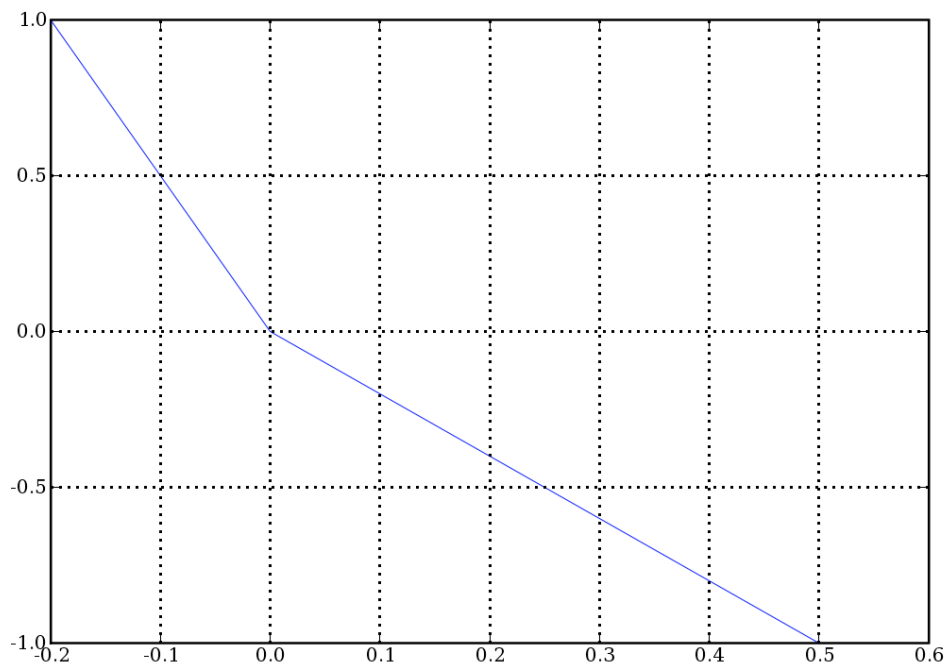
Decyzja podejmowana na podstawie pochoďnej uchybu \dot{e} ma tym większą wagę im mniejszą (co do wartości bezwzględnej) wartość ma funkcja f_1 . Początkowo przebieg funkcji sklejanych f_1 i f_2 został ustalony arbitralnie. Algorytm sterowania temperaturą dawał wówczas dokładność sterowania rzędu $0,5^\circ C$. Wynik ten był lepszy od wyniku algorytmu załącz/wyłącz, co potwierdziło użyteczność przyjętego algorytmu. Seria dalszych eksperymentów pozwoliła na taki dobór funkcji f_1 i f_2 , by błąd sterowania temperaturą mieścił się w granicach $0,1^\circ C$. Wynik ten jest najlepszym z wyników możliwych do osiągnięcia, zwłaszcza że wartość 0,1 stanowi maksimum uchybu regulacji, zaś średni uchyb jest niemalże równy zeru. Ostateczną postać liniowych funkcji sklejanych $y_1 = f_1(e)$ i $y_2 = f_2(\dot{e})$, uzyskanych drogą empiryczną przedstawiają rysunki 3.6 i 3.7.

Odpowiedź algorytmu w całej dziedzinie argumentów przedstawiona jest na rysunku 3.8.

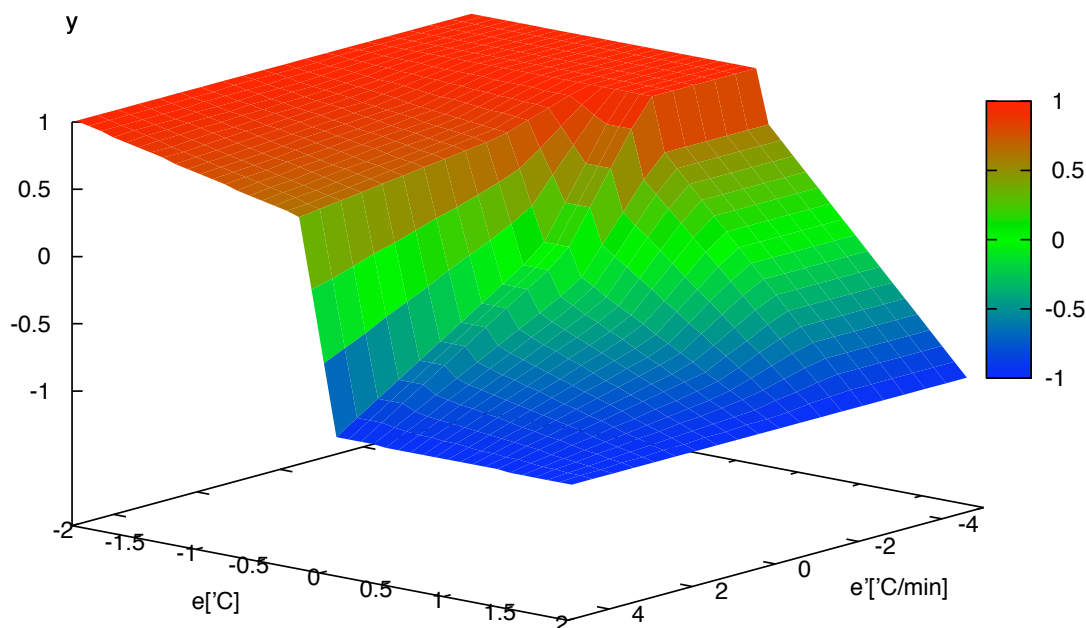
Opisany algorytm został zastosowany do sterowania temperaturą, natomiast do sterowania wilgotnością wykorzystano sprawdzony wcześniej algorytm załącz/wyłącz. W implementacji oba algorytmy rejestrują wartości uchybów co w sekund oraz podejmują decyzję co $n \cdot w$ sekund. Wartość uchybu (e) wykorzystywana na wejściu algorytmu sterowania obliczana jest jako średnia z ostatnich trzech zmierzonych uchybów, wartość pochoďnej uchybu (\dot{e}) jest obliczana jako różnica między średnią z trzech ostatnich uchybów i średnią z trzech poprzednich uchybów.



Rysunek 3.6: Odpowiedź względem temperatury ($f_1(e)$)



Rysunek 3.7: Odpowiedź względem zmiany temperatury ($f_2(\dot{e})$)



Rysunek 3.8: Odpowiedź w całej dziedzinie, rzut 3d ($f(e, \dot{e})$)

3.1.6 Elektronika

Prawidłowy przebieg inkubacji zapewnia komputer pokładowy. Spełnia on poniższe wymagania:

Niezawodność. Po przeprowadzeniu rozpoznania wybrano komputer PCM-9575 produkowany przez firmę Advantech. Jest to tzw. „Single Board Computer” formatu EBX 5,25 cala z procesorem VIA Embedded Eden 400MHz, którego wydajność w zupełności wystarcza. Komputer ten może działać bez wentylatora w temperaturach do 60°C , co pozwala działać mu bezawaryjnie w warunkach wewnątrz inkubatora. Wbudowany interfejs VGA/LCD pozwala podłączyć monitor i bezpośrednio obserwować działanie algorytmów i stan procesów, a także wprowadzać poprawki w sposób interaktywny.

Wysoka wydajność. Uruchomienie wielu osobnych procesów wymaga odpowiedniej mocy obliczeniowej oraz odpowiedniej ilości pamięci RAM. Procesor ma zapas mocy która może okazać się potrzebna w przypadku wprowadzenia dodatkowej funkcjonalności. Rozmiar pamięci operacyjnej – 128 MB jest szczególnie istotny, ponieważ w trakcie działania aplikacji większość operacji odczytu i zapisu przepro-

wadzanych jest na wirtualnym systemie plików właśnie w pamięci operacyjnej, celem zminimalizowania liczby operacji odczytu i zapisu na karcie pamięci CompactFlash.

Minimalny koszt wdrożenia. W celu obniżenia kosztu wdrożenia Thinkubatora do ogrodów zoologicznych zdecydowano o użyciu połączeń ethernetowych. Polskie ogrody są już podłączone do internetowego systemu inwentaryzowania zwierząt ISIS (<http://www.isis.org>), zatem infrastruktura sieciowa jest gotowa do użycia.

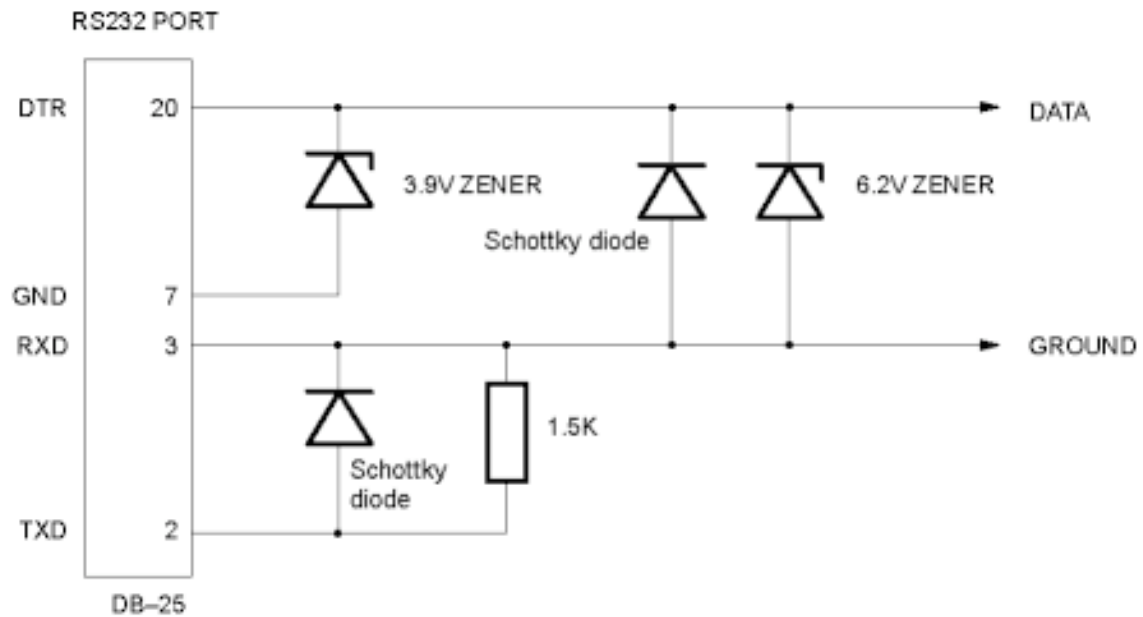
Rozszerzalność. Thinkubator znajduje się obecnie na etapie prototypu. Możliwość podłączenia dysków EIDE lub urządzeń USB umożliwia rozszerzanie systemu o standardowe komponenty. Korzystając z interfejsu PC/104-Plus komputer pokładowy można dowolnie rozszerzać o specjalistyczne urządzenia, które mogą mieć zastosowanie w ogrodach zoologicznych ze specjalnymi wymaganiami.

Łatwość rozwijania. Komputer posiada wbudowany czytnik kart typu CompactFlash. Na przygotowanej karcie CompactFlash o pojemności 256MB znajduje się system i pliki konfiguracyjne, a także partycja służąca za nieulotną pamięć do zapisu. Gdy połączenie Ethernet jest niedostępne, historia inkubacji jest zapisywana na karcie, którą można następnie odczytać na zwykłym komputerze PC i przesłać do Centrum Nadzoru.

Sterowanie środowiskiem opera się na sprzężeniu zwrotnym. Zastosowano kilka rodzajów czujników. Do pomiaru wilgotności zdecydowano się na użycie zintegrowanego czujnika wilgotności i temperatury Dallas Hygrochron ze względu na jego wysoką precyzję (0,6%RH) oraz możliwość łatwej komunikacji cyfrowej. Do produkcji seryjnej przewiduje się dużo tańsze czujniki pojemnościowe, jednak dla celów przejrzystości w prototypie stosowano rozwiązania pewne i sprawdzone. Pomiary przekazywane są poprzez magistralę szeregową 1-wire.

Do tej samej magistrali podłączono trzy czujniki temperatury serii DS1820. Zastosowanie tradycyjnego termostatu było wykluczone ze względu na konieczność centralnego sterowania środowiskiem z komputera. Zmierzona wartość temperatury wyświetlana jest na ekranie ciekłokrystalicznym. Eliminuje to konieczność umieszczenia termometru rtęciowego w komorze inkubacyjnej i wiążącego się z tym zagrożenia zatruciem tlenkami rtęci w przypadku uszkodzenia.

Czujniki podłączone są do opracowanej przez Dallas Semiconductors szyny 1-wire. Używa ona jedynie dwóch przewodów, jednego do zasilania i przesyłania sygnałów, drugiego do masy, dzięki czemu jest bardzo łatwa we wprowadzeniu i rozbudowie. Można do niej podłączyć dużą liczbę różnych urządzeń, m.in. czujników, adresowalnych przełączników, potencjometrów cyfrowych. W Inkubatorze wykorzystano samodzielnie zbudowany adapter podłączany do portu RS-232. Schemat ideowy adaptera widoczny jest na rysunku 3.9.



Rysunek 3.9: Adapter 1-wire

Interfejs użytkownika inkubatora składa się z niebiesko-białego wyświetlacza ciekłokrystalicznego zawierającego po 20 znaków w 2 rzędach oraz klawiatury z 16 guzikami podłączonej do portu *PS/2*. Ekran podłączony jest do portu równoległego komputera w trybie 4-bitowym.

Sygnały z komputera są wyprowadzone poprzez port równoległy. Oświetlenie komory lęgowej wykonano przy użyciu diod LED, zapewniając wysoką trwałość systemu oświetlenia i umożliwiając nieskrępowane załączanie i wyłączanie oświetlenia bez wprowadzania wahań temperatury. Diody są załączane poprzez tranzystor, natomiast trzy urządzenia wykonawcze są włączane przez płytkę z przekaźnikami.

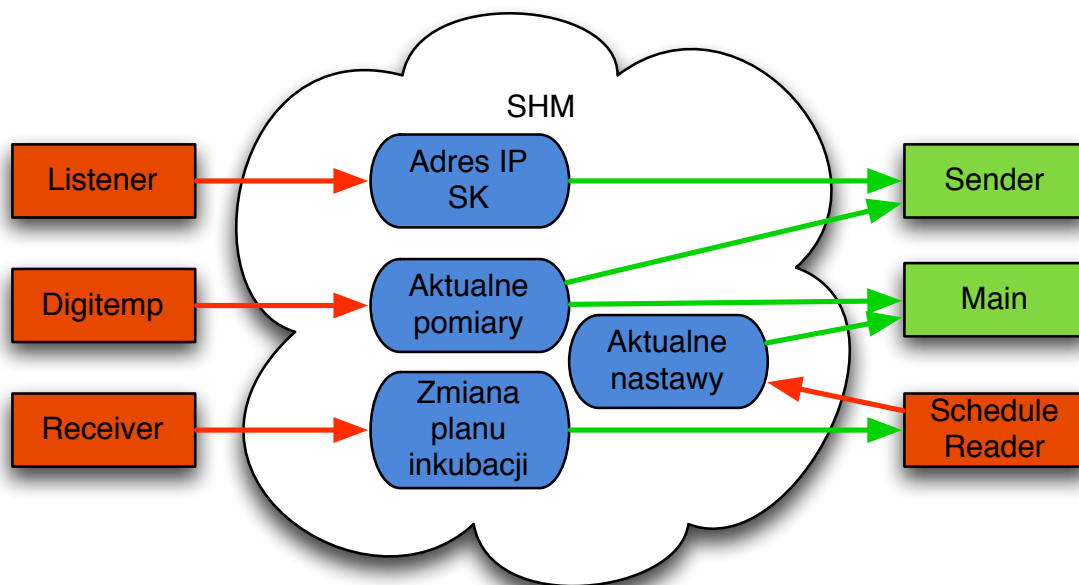
Grzałka na 230V jest podłączona do przekaźnika, który załącza napięcie w odpowiednim momencie.

Nawilżacz jest również załączany poprzez przekaźnik. Potrzebny mu zasilacz 24V prądu zmiennego jest podłączony do wejścia 220V wewnątrz części technicznej inkubatora.

Silnik do przesuwania rolek jest podłączony do źródła napięcia 220V i uruchamiany za pomocą przekaźnika.

3.1.7 Aplikacja sterująca

Architektura aplikacji sterującej inkubatorem oparta jest na grupie niezależnych procesów komunikujących się ze sobą za pomocą segmentu pamięci współdzielonej. Procesy zostały zaprojektowane w taki sposób, aby nie wymagały silnego zarządzania współbieżnością, ponieważ każdy z nich wykonuje własne unikatowe operacje. Interakcje pomiędzy procesami zostały przedstawione na rysunku 3.10.



Rysunek 3.10: Schemat procesów

Proces **Main** jest najważniejszą częścią aplikacji. Korzysta z wszystkich informacji zbieranych przez inne procesy i na ich podstawie podejmuje decyzje o uruchamianiu odpowiednich urządzeń wykonawczych w celu najlepszego odwzorowania planu inkubacji wewnątrz inkubatora. Jest podzielony na dwie główne części: moduł abstrakcji sprzętowej, czyli zaimplementowane funkcje włączające i wyłączające urządzenia oraz algorytm sterowania, który do poprawnego działania potrzebuje dwóch informacji. Pierwszą są aktualne parametry komory inkubacyjnej – temperatura i wilgotność, za zbieranie których odpowiedzialny jest proces **Digitemp** – adaptacja otwartego programu o tej samej nazwie służącego do odczytywania informacji z czujników 1-wire; drugą – parametry inkubacji ustawione przez operatora urządzenia. Dostarcza je proces **Schedule Reader**, którego zadaniem jest także wczytywanie nowego planu inkubacji, jeśli ten zostanie zmieniony w trakcie jej trwania. **Sender** jest odpowiedzialny za cykliczne wysyłanie informacji na temat stanu inkubacji do *Stacji Kontrolnej* oraz *Centrum Nadzoru*, natomiast **Receiver** nasłuchuje ruch sieciowy i odpowiada na wszystkie wiadomości wysłane do inkubatora za wyjątkiem sygnału rozgłoszeniowego wyszukującego inkubatory – za tę czynność odpowiedzialny jest **Listener**.

Dodatkowo działają dwa procesy związane z interfejsem zamontowanym na inkubatorze – wyświetlaczem LCD oraz klawiaturą.

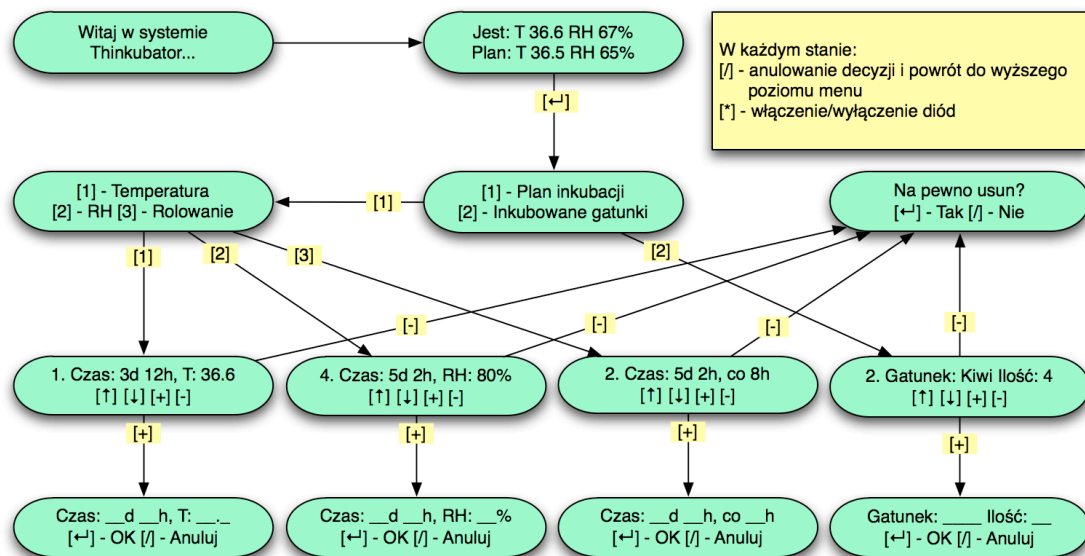
Proces keyboardd oczekuje na sygnały z klawiatury. Wykorzystywana jest metoda "poll". Poprzez załączanie napięcia na kolejnych liniach szyny poziomej i odczytywanie stanu poszczególnych linii szyny pionowej otrzymujemy bieżący stan klawiatury. Po zmianie stanu jednej z odczytywanych linii na wysoki i powrotu do

stanu niskiego wprowadzony znak jest rozpoznawany i umieszczany w kolejce FIFO /dev/kbd.

Proces displayd prezentuje na wyświetlaczu LCD przede wszystkim bieżący stan środowiska wewnątrz inkubatora. W przypadku problemów wyświetla informacje o zaistniałym zagrożeniu i podaje źródło, z którego można zasięgnąć informacji które będą służyły rozwiązaniu problemu. Ekran ciekłokrystaliczny stanowi też ważny komponent systemu sterowania inkubatorem: wyświetla złożony system menu, pozwalający na konfigurację, zaawansowany monitoring oraz wykonywanie czynności serwisowych.

Przez większość czasu proces oczekuje na operację odczytu z kolejki FIFO. Jednocześnie program wykorzystuje mechanizm sygnałów, aby obsłużyć zdarzenia z innych źródeł. Przykładowo, czas na zaktualizowanie wyświetlanej temperatury jest sygnalizowany co sekundę poprzez dostarczenie SIGALRM zamówionego przy pomocy funkcji systemowej alarm. Po nadejściu sygnału (czas zaktualizowania wyświetlanej temperatury, otwarcie drzwiczek, itd.) program przechodzi do jego obsługi i wraca oczekiwać na nowy znak. Przez cały ten czas na wyświetlaczu widać bieżącą temperaturę i wilgotność lub bieżący wycinek systemu menu – listę opcji, zachętę do wprowadzenia nowej temperatury czy potwierdzenie operacji wyłączenia inkubatora.

Diagram przejść stanów programu obsługi wyświetlacza znajduje się na rysunku 3.11. Przedstawia on zaimplementowany schemat menu, jego strukturę oraz działanie. Stanowi równocześnie ważną część instrukcji obsługi inkubatora.



Rysunek 3.11: Diagram menu

3.1.8 System operacyjny

Aplikacja została zaimplementowana na system operacyjny Linux. Wybrano ten system operacyjny gdyż potrzebowano pełnowymiarowego systemu operacyjnego, który zapewniłby:

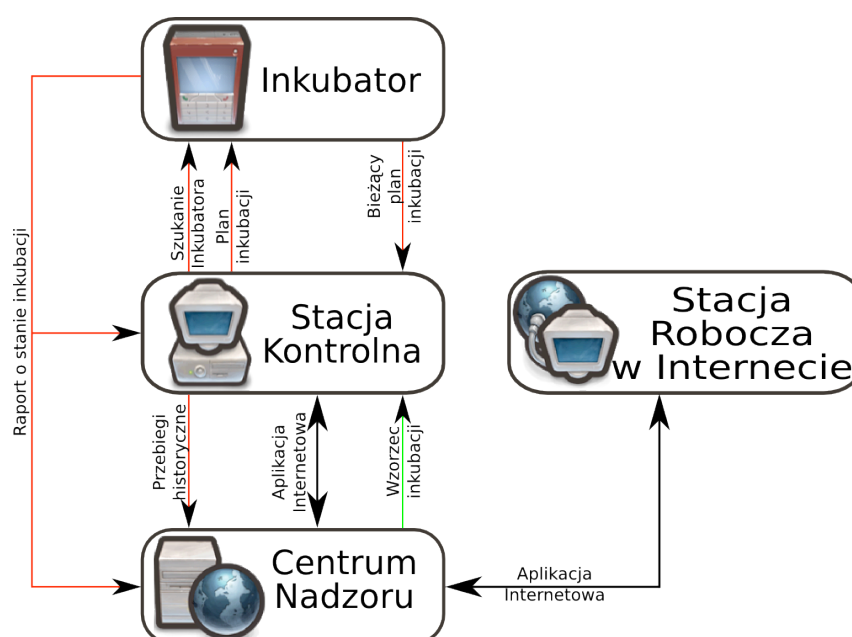
- stos TCP/IP,
- kontrolę nad współbieżnością,
- biblioteki zapewniające dogodny dostęp do portów i protokołów komunikacyjnych.

Wybór padł właśnie na system Linux, ponieważ dodatkowo:

- ma silne środowisko do implementacji,
- zapewnia łatwość rekonfiguracji systemu – dostosowanie systemu do posiadanej platformy sprzętowej,
- jest dobrze znany członkom zespołu.

3.2 Komunikacja

Ogólny przebieg komunikacji pomiędzy elementami systemu przedstawia rysunek 3.12. Linie czerwone oznaczają połączenia nawiązywane za pomocą gniazd BSD, zielone – XML-RPC, czarne – HTTP.



Rysunek 3.12: Diagram komunikacji

3.2.1 Wykorzystane metody komunikacji

Interfejs gniazd BSD System Thinkubator został zaimplementowany przy użyciu różnych języków programowania (C, C#, Python) oraz na różnych systemach operacyjnych (Gentoo Linux, Windows XP), dlatego pożądanym był sprawdzony interfejs komunikacji sieciowej wspierany przez wszystkie powyższe technologie. Interfejs gniazd został wykorzystany przy komunikacji na drodze Inkubator \leftrightarrow Stacja Kontrolna, Inkubator \rightarrow Centrum Nadzoru oraz Stacja Kontrolna \leftrightarrow Centrum Nadzoru.

W każdej aplikacji uruchomiony jest osobny wątek odpowiedzialny za odbieranie połączeń przychodzących. Wątek taki otwiera gniazdo na odpowiednim porcie i nasłuchuje na połączenia. W momencie nawiązania połączenia wątek nasłuchujący uruchamia kolejny wątek do obsługi połączenia, po czym powraca do nasłuchiwania na nowe połączenia. Dzięki temu jakikolwiek błąd komunikacji nie jest w stanie zawiesić głównego wątku oczekującego na połączenia. Wykorzystane porty to:

- w Inkubatorze port UDP BROADCAST_PORT – nasłuchiwanie na komunikat rozgłoszeniowy wysyłany przez Stację Kontrolną,
- w Inkubatorze port TCP SCHEDULE_PORT – służący do odbierania ze Stacji Kontrolnej poleceń dotyczących pobrania/wysłania planu inkubacji,
- w Stacji Kontrolnej port TCP STATE_REPORT_PORT – odbiór raportów z inkubatora,
- w Centrum Nadzoru port TCP STATE_REPORT_PORT – odbiór raportów z inkubatora lub Stacji Kontrolnej.

W celu ujednolicenia protokołu komunikacji wszystkie pakiety przesyłane tą drogą są zamknięte w jedną z dwóch struktur: struktura sterująca i struktura danych. Każdy akt komunikacji rozpoczyna się od przesłania jednej struktury sterującej z informacją o typie rozkazu/komunikacji, który określa dalszy przebieg komunikacji. Struktura danych służy do przesyłania raportów z inkubatora, historycznych przebiegów inkubacji oraz planów inkubacji. Definicja struktur została przedstawiona w tabeli 3.1.

Ogólnie jednorazowa komunikacja odbywa się według algorytmu:

```
send( message_t header );  
for i:=1 to header.amount do  
    send( point_t data );
```

Częściowe XML-RPC Stacja Kontrolna stosuje żądanie HTTP-GET do przesyłania parametrów wywołania lub HTTP-POST do wysyłania danych, zaś Centrum

Control Structure:

```
struct message_t {
    int deviceID;
    int processID;
    int type;
    int from_time;
    int to_time;
    int amount;
}
```

Data Structure:

```
struct point_t {
    int timestamp;
    int process_phase;
    double temperature;
    double humidity;
    int rolling;
    double scheduled_temperature;
    double scheduled_humidity;
    int scheduled_rolling;
}
```

Tablica 3.1: Definicja struktur komunikacyjnych

Nadzoru używa języka XML do zakodowania wyników wywołania oraz HTTP jako protokołu transportowego. XML-RPC jest również niezależny od platformy sprzętowej i języka programowania. Odpowiedź XML dostosowana jest do formatu w jakim Stacja Kontrolna przechowuje swoje dane. Technologia ta została wykorzystana gdy:

- Stacja Kontrolna pobiera z Centrum Nadzoru wzorce inkubacji,
- Stacja Kontrolna pobiera z Centrum Nadzoru informacje o znanych gatunkach,
- Stacja Kontrolna wysyła do Centrum Nadzoru informację o rozpoczęciu inkubacji,
- Stacja Kontrolna wysyła do Centrum Nadzoru informację o zakończeniu inkubacji,

3.3 Stacja kontrolna

Aplikacja działająca na Stacji Kontrolnej została napisana w środowisku Visual Studio .NET 2005 [Mic05], w języku programowania C#. Ponadto program wykorzystuje zewnętrzną bibliotekę graficzną *CSGL* (ang. *C# Graphics Library*). Stacja Kontrolna spełnia dwa główne zadania: monitorowanie oraz programowanie inkubatorów.

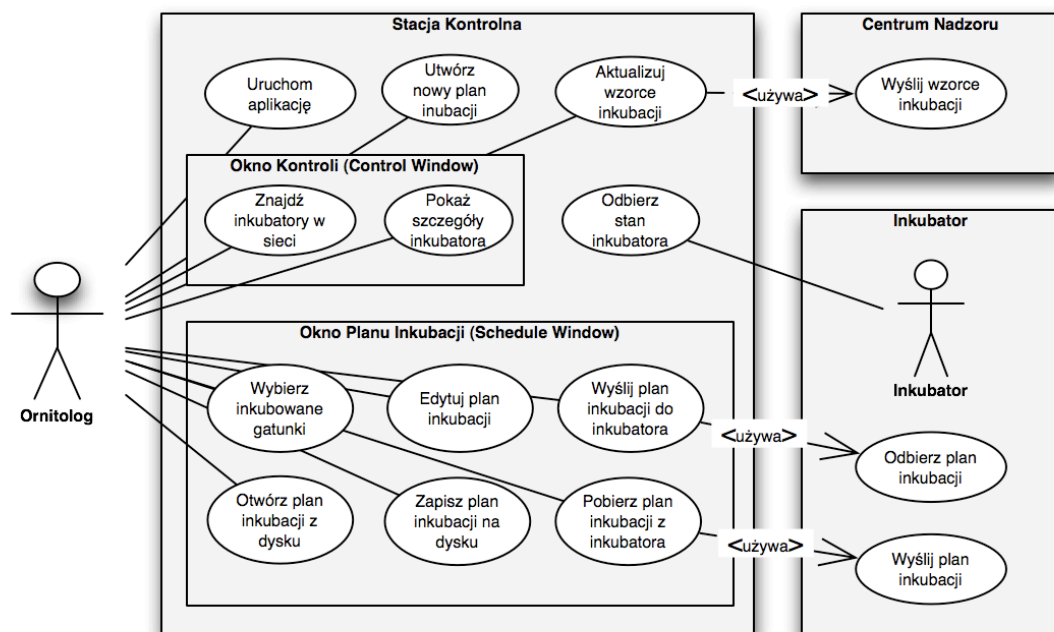
Monitorowanie realizowane jest poprzez mechanizm wysyłania z inkubatorów raportów z wartościami sterowanych parametrów inkubacji. W równych odstępach czasu Stacja Kontrolna rejestruje pakiet danych od inkubatora z informacją o zaplanowanych i aktualnych warunkach panujących w inkubatorze. Na tej podstawie Stacja Kontrolna wyświetla na ekranie aktualny stan wszystkich zarejestrowanych inkubatorów oraz ogólny przebieg temperatury i wilgotności w ciągu ostatniej doby.

Po wybraniu dowolnego inkubatora Stacja Kontrolna wyświetla szczegółowy przebieg sterowanych parametrów, obejmujący pełny okres inkubacji. Dzięki wykorzystaniu biblioteki *CSGL* możliwa jest płynna nawigacja po wykresie, zbliżenie na dowolny okres czasu lub dowolne wartości temperatury i wilgotności.

Funkcjonalność programowania inkubatora pozwala na precyzyjny dobór nastawu inkubatora w bardzo prosty sposób. Przy tworzeniu nowego planu inkubacji ornitolog wybiera inkubowane gatunki, zaś Stacja Kontrolna dobiera do nich wzorce inkubacji i wizualizuje je na ekranie. Półprzezroczyste wzorce inkubacji dla różnych gatunków są nakładane na siebie, dzięki czemu widoczne są rozbieżności w pożądanym przebiegach temperatury i wilgotności. Pozwala to na podjęcie decyzji o dopuszczeniu różnych gatunków do wspólnej inkubacji i dobór optymalnego planu inkubacji. Utworzony plan inkubacji może zostać zapisany na dysku lub przesłany do wybranego inkubatora. Stacja Kontrolna pozwala też na pobranie z inkubatora jego aktualnego planu i wprowadzenie w nim dowolnych zmian.

3.3.1 Przypadki użycia

Podczas projektowania aplikacji przeprowadzono konsultacje z użytkownikami końcowymi i przeanalizowano wymaganą oraz pożądaną funkcjonalność programu. W rezultacie wyznaczono 12 przypadków użycia, które ilustruje rysunek 3.13.



Rysunek 3.13: Diagram przypadków użycia stacji kontrolnej

Poszczególne przypadki użycia zdefiniowane są następująco:

Aktorzy:

1. Ornitolog – osoba przeprowadzająca/nadzorująca inkubację,
2. Inkubator – aplikacja inkubatora,
3. Stacja Kontrolna – opisywany system,
4. Centrum Nadzoru – zdalny serwer.

UC1 Uruchomienie aplikacji.

1. Ornitolog uruchamia aplikację Stacji Kontrolnej.
2. Stacja Kontrolna uruchamia wątek oczekujący na przychodzące połączenia z sieci.
3. Stacja Kontrolna wysyła w sieć lokalną wiadomość rozgłoszeniową z własnym adresem IP, celem poinformowania o nim Inkubatorów.
4. Stacja Kontrolna oczekuje kilka sekund na odpowiedź Inkubatorów.
5. Stacja Kontrolna rejestruje znalezione Inkubatory.
6. Stacja Kontrolna wyświetla główne okno aplikacji, Control Window.

UC2 Znajdź inkubatory w sieci.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję „Find incubators”.
2. Stacja Kontrolna wysyła w sieć lokalną wiadomość rozgłoszeniową z własnym adresem IP, celem poinformowania o nim Inkubatorów.
3. Stacja Kontrolna oczekuje kilka sekund na odpowiedź Inkubatorów.
4. Stacja Kontrolna rejestruje znalezione Inkubatory.

UC3 Pokaż szczegóły inkubatora.

1. Ornitolog wybiera jeden z inkubatorów widocznych w głównym oknie aplikacji.
2. Stacja Kontrolna wyświetla szczegółowy wykres wybranego inkubatora.
3. Ornitolog dowolnie nawiguje po wykresie, manipulując osiami czasu, temperatury i wilgotności.

UC4 Utwórz nowy plan inkubacji.

1. Ornitolog wybiera opcję „Schedule Tool” z menu aplikacji.
2. Stacja Kontrolna wyświetla okno do tworzenia planu inkubacji (Schedule Window).

UC5 Edytuj listę gatunków.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję „Birds”.
2. Stacja Kontrolna wyświetla dialog wyboru gatunków.
3. Ornitolog wybiera inkubowane gatunki i zatwierdza wybór.
4. Stacja Kontrolna aktualizuje wzorzec inkubacji w oknie planu inkubacji.

UC6 Zapisz plan inkubacji na dysku.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję zapisania planu inkubacji („Save”).
2. Stacja Kontrolna wyświetla dialog wyboru pliku.
3. Ornitolog wybiera plik do zapisu planu inkubacji.
4. Stacja Kontrolna zapisuje plan inkubacji.

UC7 Wczytaj plan inkubacji z dysku.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję wczytania planu inkubacji („Open”).
2. Stacja Kontrolna wyświetla dialog wyboru pliku.
3. Ornitolog wybiera plik do wczytania planu inkubacji.
4. Stacja Kontrolna wczytuje plan inkubacji.

UC8 Edytuj plan inkubacji.

1. Ornitolog wybiera z paska narzędzi edytowaną funkcję (temperatura, wilgotność lub rolowanie).
2. Ornitolog nanosi wartości požądanej funkcji na wykres.

UC9 Wyślij plan inkubacji do inkubatora.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję wysłania planu inkubacji do Inkubatora („Send schedule”).
2. Stacja Kontrolna wyświetla dialog wyboru inkubatora.
3. Ornitolog wybiera inkubator.
4. Stacja Kontrolna wysyła do Inkubatora informację o zmianie planu inkubacji.
5. Inkubator akceptuje zmianę.
6. Stacja Kontrolna wysyła plan inkubacji.
7. Inkubator odbiera plan inkubacji.
8. Stacja Kontrolna informuje Ornitologa o poprawnie wykonanej operacji.

UC10 Pobierz plan inkubacji z inkubatora.

1. Ornitolog wybiera z menu opcję pobrania planu inkubacji do inkubatora („Retrieve schedule”).
2. Stacja Kontrolna wyświetla dialog wyboru inkubatora.
3. Ornitolog wybiera inkubator.
4. Stacja Kontrolna wysyła do Inkubatora żądanie planu inkubacji.
5. Inkubator wysyła plan inkubacji.
6. Stacja Kontrolna odbiera plan inkubacji.
7. Stacja Kontrolna wyświetla pobrany plan inkubacji.
8. Stacja Kontrolna informuje Ornitologa o poprawnie wykonanej operacji.

UC11 Aktualizuj wzorce inkubacji.

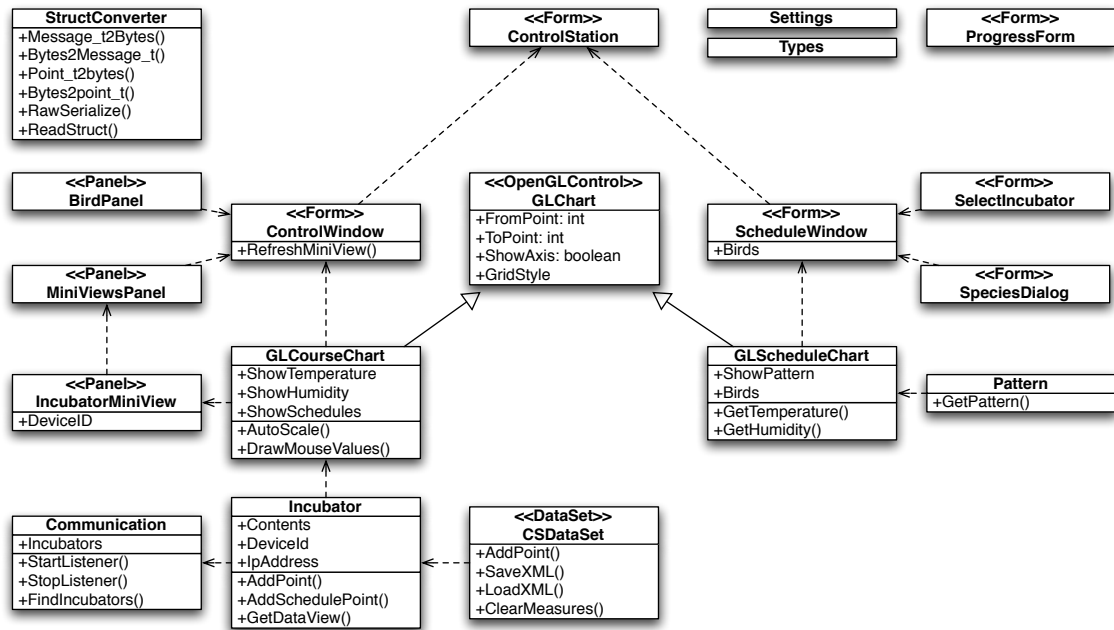
1. Ornitolog wybiera z menu opcję uaktualnienia wzorców.
2. Stacja Kontrolna pobiera wzorce inkubacji z Centrum Nadzoru poprzez HTTP.
3. Stacja Kontrolna informuje Ornitologa o poprawnie wykonanej operacji.

UC12 Odbierz stan inkubatora.

1. Inkubator wysyła do Stacji Kontrolnej pakiet danych pomiarowych z informacją o warunkach panujących aktualnie w komorze inkubacyjnej.
2. Stacja Kontrolna odbiera pakiet danych.
3. Jeśli inkubator nie był wcześniej wykryty, zostaje on zarejestrowany w Stacji Kontrolnej.
4. Stacja Kontrolna dodaje otrzymany pakiet danych do historii inkubacji danego Inkubatora.
5. Stacja Kontrolna zapisuje historię inkubacji danego Inkubatora na dysku.

3.3.2 Architektura aplikacji

Architektura aplikacji Stacji Kontrolnej zgodna jest z podziałem funkcjonalności na monitorowanie i programowanie inkubatorów. Funkcje te zostały zaimplementowane w dwóch klasach dziedziczących z klasy *Form*, o nazwie odpowiednio *ControlWindow* i *ScheduleWindow*. Okna te są zintegrowane w głównym oknie aplikacji (*ControlStation*). Algorytmy komunikacji sieciowej implementuje statyczna klasa *Listener*. Klasa ta zawiera również kolekcję obiektów klasy *Icubator*, które reprezentują znajdujące się w sieci Inkubatory. Szczegółowy diagram klas przedstawiony jest na rysunku 3.14.



Rysunek 3.14: Diagram klas aplikacji działającej na Stacji Kontrolnej

Opis klas tworzących aplikację Stacji Kontrolnej:

- ControlStation – główne okno aplikacji,
- ControlWindow – okno kontrolne, zawsze otwarte w głównym oknie aplikacji, zawiera widok listy inkubatorów i podgląd wybranego inkubatora,
- GLChart – kontrolka dziedzicząca z klasy *OpenGLControl* umożliwiająca renderowanie wykresów przy użyciu biblioteki *CSGL*,
- GLCourseChart – kontrolka dziedzicząca z klasy *GLChart*, dostosowana do renderowania przebiegów temperatury i wilgotności,
- MiniViewsPanel – kontrolka, na której wyświetlana jest lista kontrolki typu *IncubatorMiniView*,
- IncubatorMiniView – kontrolka, na której wyświetlana jest informacja o warunkach panujących w inkubatorze oraz wykres temperatury i wilgotności z ostatniej doby,
- BirdPanel – kontrolka, na której wyświetlana jest lista gatunków w wybranym inkubatorze,
- ScheduleWindow – okno do programowania inkubatora,
- ScheduleChart – kontrolka dziedzicząca z klasy *GLChart*, dostosowana do nanoszenia planu inkubacji,

- Pattern – klasa reprezentująca wzorce inkubacji,
- SpeciesDialog – dialog wyboru inkubowanych gatunków,
- SelectIncubator – dialog wyboru inkubatora, służy do wysyłania i pobieranie planu inkubacji z inkubatora,
- Incubator – klasa reprezentująca inkubator, zawiera informacje o zawartości inkubatora i bieżącym procesie inkubacji,
- CSDataSet – zbiór danych pomiarowych z przebiegu inkubacji,
- Communication – statyczna klasa odpowiedzialna za komunikację sieciową, zawiera inkubatory zarejestrowane w systemie,
- ProgressForm – okno z paskiem postępu wyświetlanym w trakcie szukania inkubatorów,
- Settings – ustawienia aplikacji zapamiętywane w rejestrze systemowym,
- Types – klasa zawierająca definicję typów strukturalnych i wyliczeniowych,
- TimeConverter – statyczna klasa udostępniająca metody konwersji czasu między formatami stosowanymi w C# i C,
- StructConverter – statyczna klasa udostępniająca metody konwersji struktur do strumienia bajtów wysyłanych przez sieć.

3.4 Centrum nadzoru

Centrum Nadzoru jest dopełnieniem systemu Thinkubator, które choć nie jest niezbędne do prowadzenia inkubacji, to daje niespotykane dotychczas możliwości. Jest ono odpowiedzialne za:

- gromadzenie danych z przebiegu inkubacji (zaprogramowane i rzeczywiste wartości sterowanych parametrów),
- monitorowanie bieżącego stanu inkubatorów,
- wizualizacja dotychczasowego przebiegu każdej inkubacji,
- informowanie o stanie wiedzy na temat gatunków,
- analiza danych celem tworzenia wzorców,
- alarmowanie o błędach,

- kontrola dostępu użytkowników do poszczególnych funkcji systemu,
- zarządzanie kontami użytkowników.

W tej chwili nie ma ono pełnej oczekiwanej funkcjonalności gdyż analiza danych w takim systemie to bardzo złożony problem wymagający długotrwałych badań zarówno na poziomie informatyki jak i biologii. Obecna implementacja jest podstawą do dalszego rozwoju.

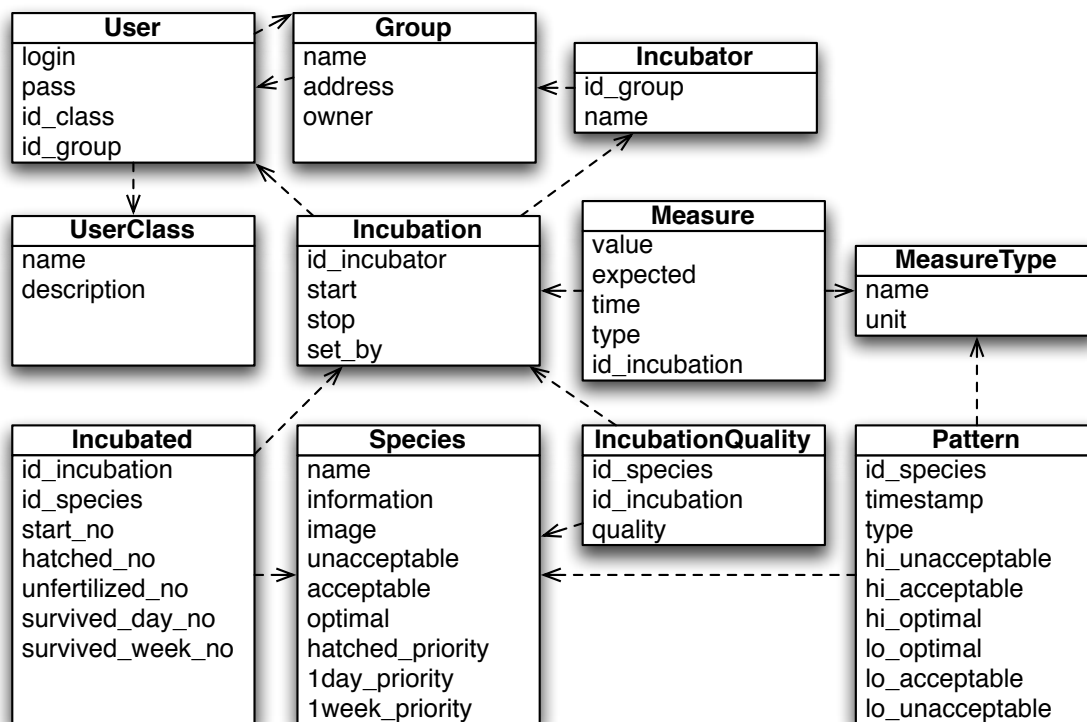
3.4.1 Technologia

Ze względu na krótki czas rozwoju i duże wymagania dla Centrum Nadzoru, do implementacji postanowiono użyć środowiska programistycznego TurboGears [Dan06] napisanego w języku Python. Jest to jedno z najnowszych z narzędzi służących do rozwoju internetowych aplikacji w architekturze *MVC* (ang. *Model, View, Controller*). Wnioski z testów przeprowadzonych przez niezależnego eksperta sugerują, że można około 9 razy szybciej rozwijać aplikacje internetowe w TG niż przy użyciu *J2EE* (ang. *Java 2 Enterprise Edition*), zakładając że wykorzystano *Hibernate* jako warstwę trwałości. Przy zastosowaniu *EJB* (ang. *Enterprise JavaBeans*) przewaga TG rośnie jeszcze bardziej, oczywiście w teście założono nierozróżnialność jakościową (funkcjonalność, wydajność itd.) aplikacji. Oprócz tego TG udostępnia aplikacje do zarządzania bazą danych oraz wspiera wykorzystanie *AJAX* (ang. *Asynchronous JavaScript And XML*), co będzie miało znaczenie również przy rozbudowywaniu naszego systemu. TG aktywnie korzysta z infrastruktury *setuptools* [Eby06] – dzięki czemu można korzystać z różnego rodzaju modułów przygotowanych i udostępnianych przez użytkowników systemu np.: generator wykresów *PlotKit* [Plo06]. Przy tworzeniu bazy danych skorzystano z mapera obiektowo relacyjnego *SQLObject*. Jako bazę danych wykorzystano *MySQL* ze względu na jego szybkość, łatwość obsługi i dostępność dokumentacji. Warstwa trwałości jest niezależna od bazy danych więc w razie potrzeby można bazę danych zmienić.

3.4.2 Baza danych

Relacyjny schemat tabel bazy danych przedstawiono na rysunku 3.15. Poniżej przedstawiony jest krótki opis tabel znajdujących się na nim:

- **Group** – opisuje grupy użytkowników. Najczęściej występującą grupą będą pracownicy jakiejś instytucji mający dostęp do określonej puli Inkubatorów. Grupa ma właściciela (pole *owner*), może on edytować użytkowników grupy.
- **User** – opisuje Użytkowników systemu. Użytkownik może należeć do różnych klas z tabeli *UserClass*.



Rysunek 3.15: Schemat bazy danych centrum nadzoru

- **UserClass** – krotki w tej tabeli odpowiadają klasom użytkowników. Dla każdej klasy użytkowników zdefiniowane są w systemie pewne prawa dostępu.
- **Incubator** – opisuje Inkubatory. Inkubator należy do grupy użytkowników. Użytkownik może go opisać, aby było mu łatwo rozróżnić Inkubatory.
- **Measure** – opisuje pomiary z czujników w Inkubatorze. Pomiar dotyczy inkubacji oraz ma typ z tabeli MeasureType. Każdy pomiar jest również umiejscowiony w czasie.
- **MeasureType** – zawiera typy pomiarów (np. temperatura, wilgotność).
- **Incubation** – opisuje inkubację: na którym inkubatorze jest przeprowadzona, w jakim czasie i kto ją zainicjował.
- **Inlubated** – opisuje wynik inkubacji dla danego gatunku. System zapamiętuje ilość jaj, ilość wyklutych piskląt oraz ilość piskląt, które przeżyły 24 godziny oraz pierwszy tydzień. Dla zoologów są to bardzo ważne dane gdyż większość piskląt umiera podczas pierwszego tygodnia po wykluciu. Może się więc okazać, że mimo iż pewne inkubacje są nierozróżnialne pod względem klujności, to przeżywalność w dłuższym czasie się zmienia.
- **Species** – zawiera podstawowe dane o gatunkach.

- **DataAnalysis** – zawiera dane o jakości inkubacji (pole „parameters”). Są one generowane w oparciu o wartości pomiarów dla danej inkubacji oraz jej wynik. Jakość inkubacji jest wagą w oparciu o którą generowany jest wzorzec inkubacji dla danego gatunku.
- **Pattern** – przechowuje wzorzec inkubacji dla danego gatunku. Opisuje on chwilę w czasie i przyporządkowuje im nastawy które są pożądane, dopuszczalne i niedopuszczalne. Pole „type” determinuje czy krotka opisuje wilgotność czy temperaturę.

3.4.3 Implementacja

W tym podrozdziale zostały opisane szczegóły implementacji Centrum Nadzoru. Wynikają one z architektury TurboGears. Cała aplikacja składa się z obiektów czterech rodzajów:

- **Wzorców** – są to klasy wygenerowane z języka wzorców Kid [Tom05]. Wzorce reprezentują warstwę prezentacji aplikacji. Język Kid opiera się o XHTML. Przy jego pomocy projektowane były komponenty Wizualne. Przed uruchomieniem aplikacji kontroler TurboGears zamienia wzorce na obiekty, które są wywoływane przez Kontrolery.
- **Komponentów** – są to klasy specyficzne dla TurboGears. Komponenty są klasami, które dodają do Wzorców pewną funkcjonalność. Wzorzec tylko wygląda, a komponent jeszcze posiada pewną funkcjonalność. Komponent może się składać z wielu innych komponentów (np. formularz) oraz z wielu wzorców. Komponenty korzystają transparentnie z biblioteki MochiKit, ułatwiając implementację komponentów korzystających z technologii *AJAX*.
- **Klasy modelu** – implementują one klasy mapera obiektowo relacyjnego *SQLObject*. Klasy modelu reprezentują krotki w bazie danych. Klasy modelu są typów zgodnych z typami tabel bazy danych. Baza danych została utworzona w oparciu implementację klas modelu.
- **Kontrolerów** – implementują one elementy serwera CherryPy. Kontrolery łączą ze sobą wszystkie pozostałe klasy. One wykonują zapytania w oparciu o dane wejściowe przy pomocy klas modelu, obrabiają je i wywołują wzorce lub komponenty z odpowiednimi parametrami.

W następnej części dokumnetu bardziej szczegółowo opisano najważniejsze części aplikacji.

Kontrolery:

- **Index** – domyślny kontroler odpowiada za wygląd i strukturę dokumentu.
- **Info** – jest on implementacją prostego systemu zarządzania treścią CMS, zawiera ogólne informacje o projekcie.
- **Incubators** – implementuje system pozwalający śledzić stan inkubatorów,
- **Incubations** – ten kontroler pozwala śledzić stan inkubacji (zmienne procesowe inkubatora). Pozwala edytować ilość jaj poszczególnych gatunków oraz wyniki inkubacji.
- **Species** – ten kontroler jest odpowiedzialny za wyświetlanie stanu wiedzy systemu o poszczególnych gatunkach (np. ilość inkubacji, średnia klujność oraz wzorce inkubacji).
- **Plotter** – ten kontroler jest odpowiedzialny za generowanie odpowiednich wykresów.
- **XML-RPC** zajmuje się odpowiadaniem na zapytania Stacji Kontrolnej. W momencie gdy Stacja kontrolna potwierdzi zakończenie inkubacji, uruchamia on także generator wzorców.
- **Catwalk** jest komponentem służącym bezpośrednio do przeglądania bazy danych. W tej chwili funkcjonalność administracyjna jest bardzo ograniczona. Zakłada się, że jest jeden administrator, który bezpośrednio edytuje zawartość bazy danych przy pomocy tego komponentu.

Generowanie wzorców. W tej chwili do dyspozycji jest prosty algorytm generujący wzorce, oparty o linearyzację wag inkubacji i ich pomiarów. Dla każdej inkubacji liczona jest jej waga (W), równoważna klujności danego gatunku w danej inkubacji. Jest ona liczona w oparciu o stosunek ilości piskląt, które się wykluły (p_w), piskląt, które przeżyły 24 godziny (p_{24}) oraz piskląt, które przeżyły tydzień (p_t) oraz wag dla tych ilości ustalonych dla danego gatunku – odpowiednio: w_w , w_{24} i w_t , do ilości zależonych jaj (j_z) pomnożonych przez sumę wag. Końcowy wzór przedstawiono w równaniu 3.2.

$$W = \frac{p_w \cdot w_w + p_{24} \cdot w_{24} + p_t \cdot w_t}{(w_w + w_{24} + w_t) \cdot j_z} \quad (3.2)$$

W każdym punkcie pomiarowym generowana jest funkcja wagi W od pomiaru m – $W(m)$. Funkcja $W(m)$ przyporządkowuje każdemu pomiarowi m w danej chwili wartość wagi inkubacji z jakiej ten pomiar pochodzi (W). Na tą przestrzeń ($W(m)$) rzutowane są wartości charakteryzujące wszystkie inkubacje danego gatunku. Tak

więc dla danej inkubacji trwającej 2 tygodnie, dla której pomiary zbierane są co 5 minut otrzymujemy $2 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 12 \approx 4000$ przyporządkowań wartości W do pomiaru m .

Wartości maksymalne tej funkcji stają się podstawą podziału na kategorie w oparciu o klujność danego gatunku. Skrajne temperatury, których wartość odpowiada wartości odcięcia klas dla danego gatunku stają się odpowiednio najniższą i najwyższą akceptowaną temperaturą w danej klasie. W tej chwili rozróżniamy 3 klasy: optymalna, akceptowalna i nieakceptowalna.

Generowanie wykresów. Do generowania wykresów wykorzystano bibliotekę *PlotKit* zaimplementowaną w języku JavaScript. Istnieje moduł *TurboPlotKit*, który udostępnia funkcjonalność tej biblioteki bezpośrednio w środowisku TurboGears. Biblioteka ta generuje pliki *SVG* (ang. *Scalable Vector Graphic*) z danych wysłanych z serwera. Przeglądarka internetowa renderuje te pliki do postaci obrazów, które są wyświetlane użytkownikowi. Wykresy są generowane i renderowane na komputerze użytkownika. Dzięki temu obciążenie serwera jest minimalne – pobiera on dane z bazy danych i zamieszcza je w kodzie strony. Komputer klienta obrabia je, a następnie renderuje z nich obraz. Badano również zastosowanie biblioteki *matplotlib*, ale zrezygnowano z jej wykorzystania ze względów wydajnościowych, gdyż w przypadku jej wykorzystania to Centrum Nadzoru renderowało obraz, który użytkownik pobierał. Taki mechanizm utrudniał dostosowanie wykresu do wymagań użytkownika oraz powodował duże obciążenie procesora oraz łącza internetowego Centrum Nadzoru.

Wydajność. Początkowo wykresy generowane były w momencie przybycia nowych danych za pośrednictwem gniazd *BSD* (komunikacja z Inkubatorem) albo *XML-RPC* (komunikacja ze Stacją Kontrolną) i zapisywane do odpowiednich katalogów przy pomocy biblioteki *matplotlib*. Wygenerowane wykresy są formatu *PNG* (ang. *Portable Network Graphics*). Zdecydowano, aby wykresy były generowane w momencie przybycia danych, a nie w momencie nadejścia żądania danego wykresu od użytkownika aplikacji internetowej. Zaobserwowano, że wąskim gardłem serwera jest generowanie wykresów stanu inkubacji co 5 minut, gdy nadejdą nowe dane z inkubatorów. Wszystkie inne wymagające mocy obliczeniowej zdarzenia zachodzą bardzo rzadko (aktualizacja wzorców zachodzi na koniec inkubacji która trwa 2-8 tygodni). Większą część interaktywnej aplikacji internetowej można przechowywać w pamięci operacyjnej (*RAM cache*), a jej logika biznesowa nie obciąża zbyt mocno procesora. Dlatego zastosowano bibliotekę *PlotKit*, która przenosi obciążenie związane z generowaniem wykresu na użytkownika, dzięki czemu odciąża Centrum Nadzoru z najbardziej kosztownego obliczeniowo zadania.

Testowanie. TG ma system wspierający automatyczne testowanie z którego skorzystano przy testach jednostkowych. Ponadto przeprowadzono interaktywne testy „czarnej skrzynki”, w których uczestniczyli członkowie zespołu.

Rozdział 4

System w użyciu

4.1 Uruchomienie Inkubatora

Inkubator powinien stać w pomieszczeniu w miejscu przewiewnym i suchym. Przed uruchomieniem Inkubatora należy dokładnie wymyć komorę inkubacyjną. W tym celu można wyciągnąć z komory ramki z rolkami i przemyć ściany komory płynem dezynfekującym. Ponadto należy uzupełnić pojemnik z wodą destylowaną do nawilżania powietrza. Po tych czynnościach można podłączyć Inkubator do zasilania oraz sieci lokalnej Ethernet i uruchomić go. Inkubator uruchamia się około 2 minut, w tym czasie ładowany jest do pamięci system operacyjny i uruchamiana jest aplikacja sterująca. Po uruchomieniu na ekranie inkubatora pojawi się odpowiedni komunikat. Jeżeli przed ostatnim wyłączeniem inkubator znajdował się w trakcie inkubacji to automatycznie przystąpi on do kontynuowania tego procesu i sterowania nim. Jeżeli natomiast jest to pierwsze uruchomienie lub poprzednia inkubacja została zakończona, Inkubator będzie gotowy do zaprogramowania nowej inkubacji. Do zaprogramowania można wykorzystać Stację Kontrolną lub wbudowaną klawiaturę.

4.2 Programowanie Inkubatora przy użyciu wbudowanej klawiatury

Po uruchomieniu Inkubatora użytkownik może wybrać z menu aplikacji rozpoczęcie nowej inkubacji lub modyfikację trwającego procesu. W obu przypadkach programowanie polega na podaniu punktów, przez które ma przebiegać zadana funkcja temperatury i wilgotności. Do zdefiniowania każdego punktu należy podać chwilę czasu oraz zadaną wartość sterowanego parametru w tej chwili. W minimalnej wersji do zaprogramowania przebiegu temperatury wystarczy podać 2 punkty: pożądaną temperaturę w momencie rozpoczęcia inkubacji oraz w momencie zakończenia. Al-

gorytm sterowania połączy podane punkty linią łamaną tworząc zadaną funkcję sterowanego parametru. Podczas programowania należy również podać częstość obracania jaj i wychładzania inkubatora.

4.3 Stacja Kontrolna

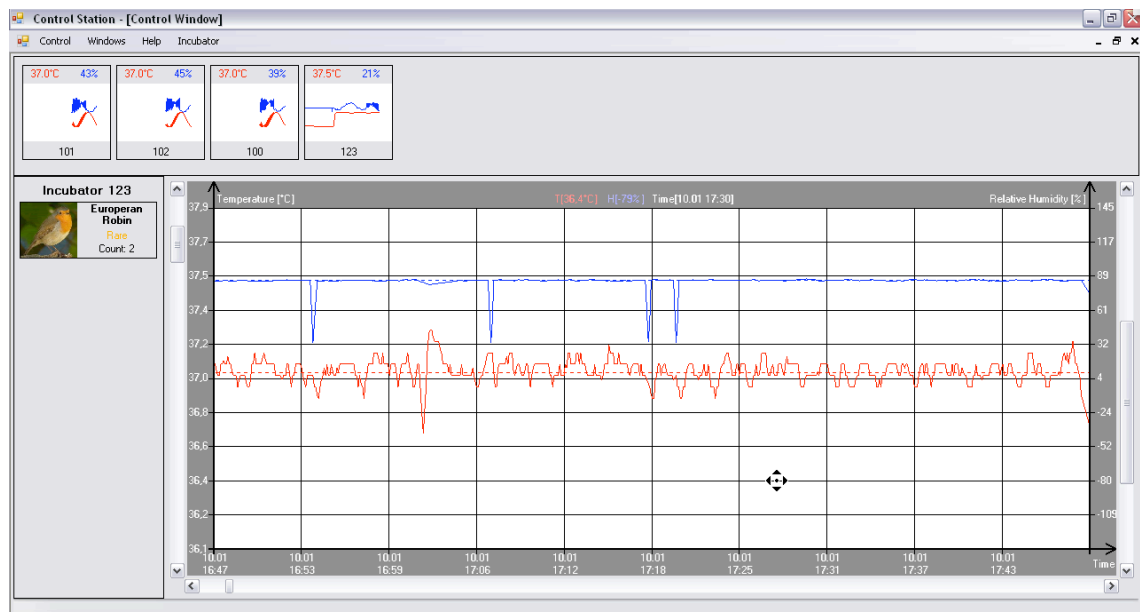
Wykorzystanie Stacji Kontrolnej wymaga, aby inkubatory oraz Stacja Kontrolna znajdowały się w jednej sieci lokalnej. Podczas uruchomienia aplikacja Stacja Kontrolna automatycznie wyszukuje znajdujące się w sieci Inkubatory i rozpoczyna zbieranie pomiarów.

4.3.1 Interfejs kontroli

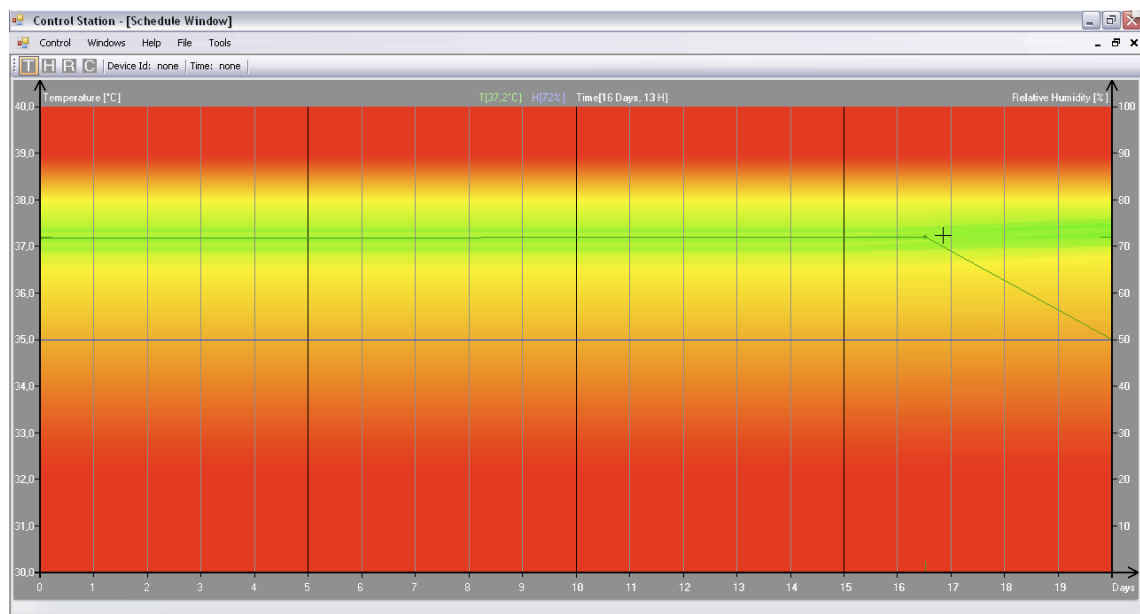
Po uruchomieniu aplikacji Stacja Kontrolna otwarte jest okno kontroli (Control-Window) przedstawione na rysunku 4.1. Na górnym panelu wyświetlone są panele monitorujące poszczególne inkubatory. Przedstawiają one wykres temperatury i wilgotności w funkcji czasu z ostatniej doby. Aby uzyskać szczegółowe informacje o którymś inkubatorze należy kliknąć na monitorujący go panel. W lewym panelu wyświetlana jest wówczas informacja o gatunkach ptaków, których jaja znajdują się w wybranym inkubatorze. Pozostałą część okna zajmuje wykres szczegółowy temperatury i wilgotności w wybranym inkubatorze. Na osi poziomej odłożono czas, zaś na osi pionowej wartość temperatury i wilgotności. Wykres szczegółowy można dowolnie przesuwając wzdłuż wszystkich osi oraz robić dowolne zbliżenia przy pomocy urządzenia wskazującego. Dla ułatwienia nawigacji po wykresie pod prawym przyciskiem myszy dostępnych jest kilka opcji automatycznego doboru rozmiaru wykresu. Na wykresie oprócz faktycznych wartości temperatury i wilgotności nanoszone są również wartości zaplanowane. Pozwala to sprawdzić czy dana inkubacja przebiega zgodnie z planem od momentu rozpoczęcia. Wszystkie dane pomiarowe są automatycznie zapisywane na dysku. Dzięki temu po ponownym uruchomieniu aplikacji nie trzeba pobierać starych pomiarów z inkubatora.

4.3.2 Interfejs programowania

Po wyborze w menu opcji „Schedule” (Plan inkubacji) wyświetlane jest okno programowania (ScheduleWindow) przedstawione na rysunku 4.2. Okno to służy do ustalenia pożądanych wartości sterowanych parametrów inkubacji. Na pasku narzędzi do wyboru jest temperatura, wilgotność oraz częstość obracania i chłodzenia. Ustalanie przebiegu funkcji sterowanych parametrów odbywa się podobnie jak w inkubatorze przez dobór punktów (czas, wartość) przez które ma przebiegać zadana funkcja. Użytkownik może też określić gatunki ptaków, których jaja chce inkubo-



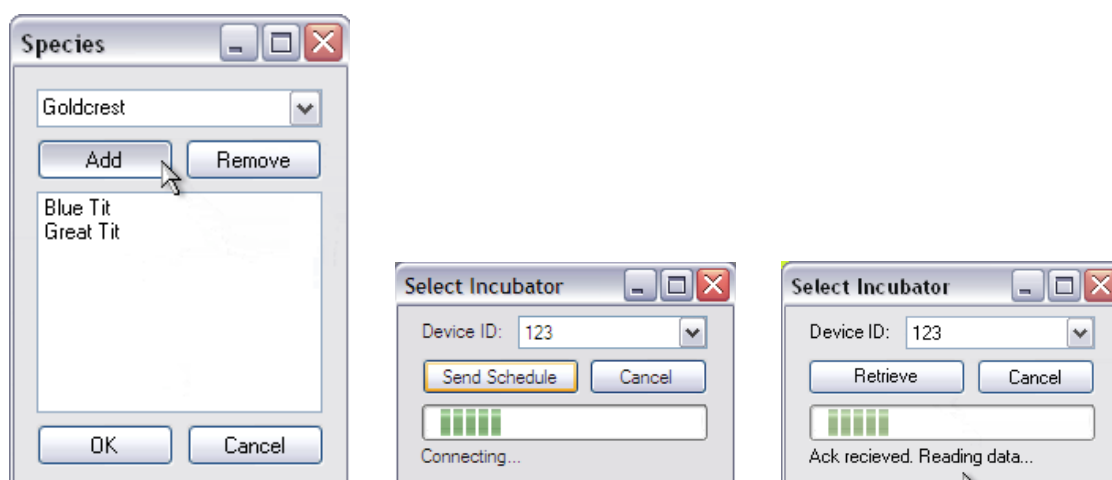
Rysunek 4.1: Okno kontroli



Rysunek 4.2: Okno Planu Inkubacji z nałożonymi na siebie wzorcami inkubacji trzech różnych gatunków

wać, wybierając z menu opcję „Tools” (Narzędzia) → „Species” (Gatunki). Okno dialogowe wyboru gatunków przedstawione jest na rysunku 4.3a. Po wyborze gatunków w tle wykresu pojawiają się nałożone na siebie wzorce inkubacji wybranych gatunków. Mają one postać gradientu koloru od czerwonego (dla zbyt wysokich wartości), poprzez zielony (dla optymalnych wartości) do czerwonego (dla zbyt niskich wartości ustalonej funkcji). Użytkownik powinien tak ustalać przebieg funkcji by znajdowała się ona w obszarze optymalnym. Na wspomnianym rysunku 4.2 nałożone są wzorce temperatury dla trzech różnych gatunków. Jak widać obszary optymalne dla wybranych gatunków przesunięte są względem siebie o około $0,2^{\circ}\text{C}$. Zielona pozioma kreska przedstawia przebieg funkcji temperatury, dobrany tak by minimalizować łączny błąd nastaw względem wzorca. Po ustaleniu wszystkich parametrów plan inkubacji można przesłać do inkubatora. W tym celu należy wybrać w menu opcję „Tools” (Narzędzia) → „Send schedule” (Prześlij plan inkubacji). Pojawia się wówczas okno dialogowe (rysunek 4.3b), w którym użytkownik wybiera identyfikator inkubatora, który chce zaprogramować. Wybrany inkubator otrzymuje nowy plan inkubacji i od tej chwili zaczyna go realizować.

Okno programowania (ScheduleWindow) pozwala też na pobranie z inkubatora aktualnego planu inkubacji. W tym celu należy wybrać z menu opcję „Tools” (Narzędzia) → „Retrieve schedule” (Pobierz plan inkubacji). Podobnie jak przy wysyłaniu, w oknie dialogowym (rysunek 4.3c) należy podać identyfikator inkubatora, z którego ma być pobrany plan inkubacji. Pobrany plan można dowolnie zmodyfikować i przesłać z powrotem do inkubatora.



(a) Wybór inkubowanych gatunków

(b) Wysyłanie planu inkubacji do inkubatora

(c) Pobieranie planu inkubacji od inkubatora

Rysunek 4.3: Okna dialogowe w Stacji Kontrolnej

4.4 Centrum Nadzoru

4.4.1 Strona wstępu

Na tej stronie użytkownik może zobaczyć informacje o projekcie. Można tutaj zamieścić informacje ułatwiające użytkownikowi korzystanie z systemu (*FAQ* – często zadawane pytania lub *HOWTO* – poradnik)

4.4.2 Strona inkubacji

Na tej stronie użytkownik może obejrzeć stan inkubacji (takiej, która się toczy lub takiej która się zakończyła), którą może wybrać z menu po lewej stronie. W górnej liście zakładek może zobaczyć informację odnośnie liczby inkubowanych jaj lub wyklutych piskląt w danej inkubacji. Na każdej zakładce dostępne są informacje o innym gatunku. W dolnej liście zakładek użytkownik może zobaczyć wykres reprezentujący stan zmiennych procesowych w czasie. W każdej zakładce dostępne są informacje o innej zmiennej.

4.4.3 Strona inkubatora

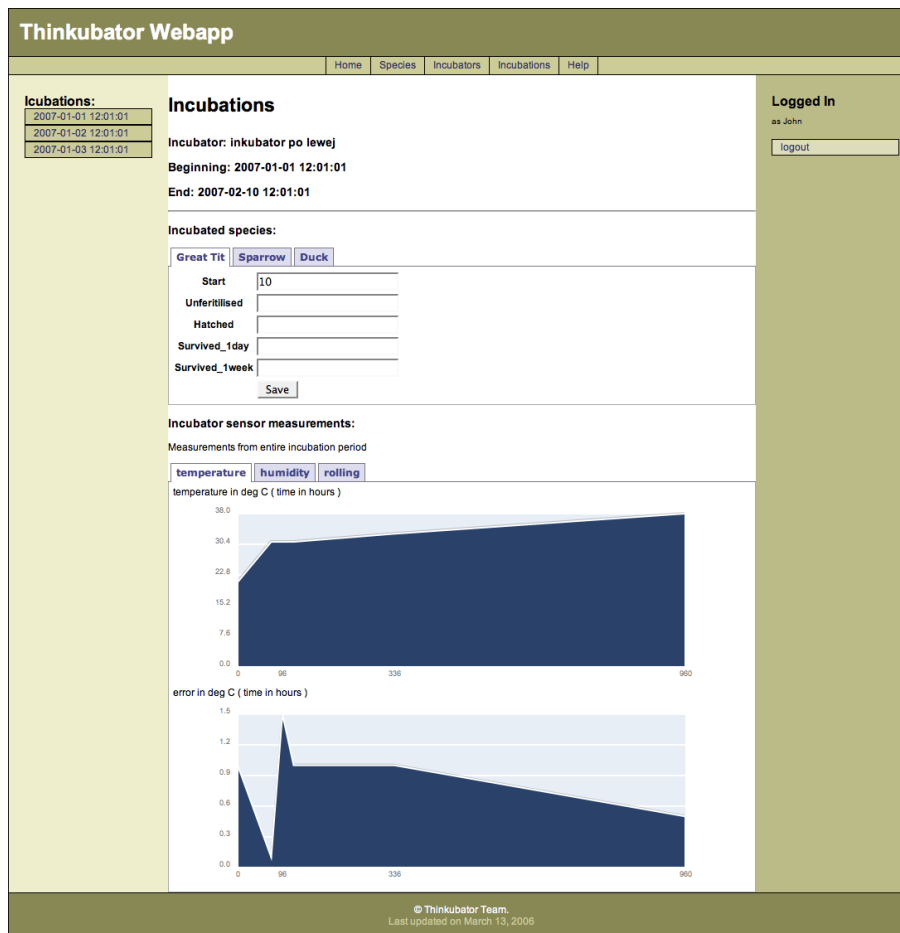
Na tej stronie (rysunek 4.4) użytkownik może przejrzeć stan inkubatorów w jego grupie – lista dostępnych inkubatorów jest dostępna w lewej części strony. Może również ustawić czas, po którym zostanie do niego wysłany e-mail alarmujący, gdy Centrum Nadzoru nie uzyska informacji o stanie inkubatora.

4.4.4 Strona gatunku

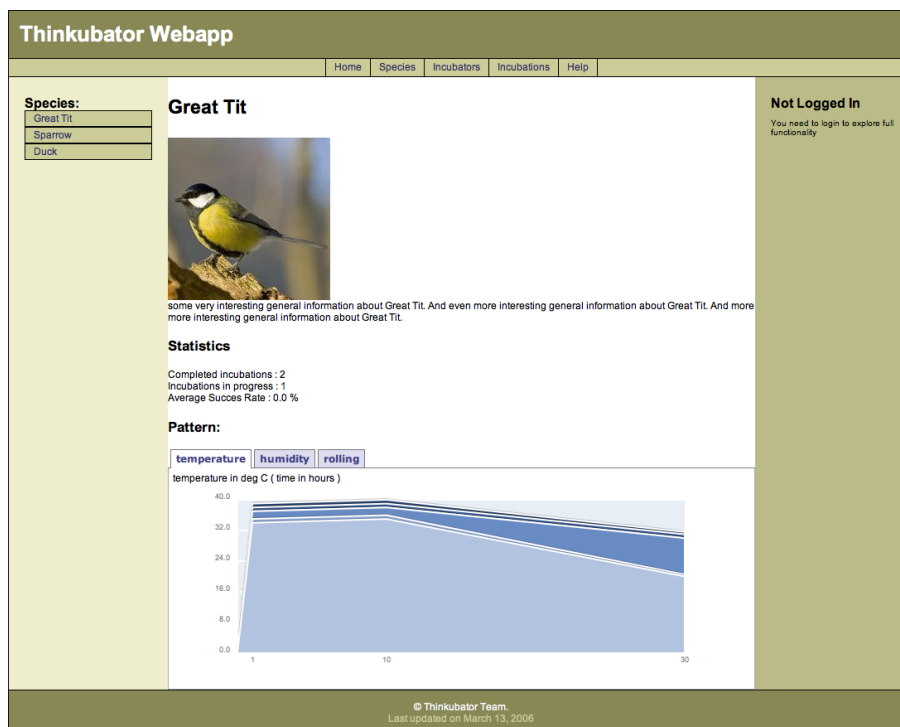
Na tej stronie (rysunek 4.5) użytkownik może zobaczyć obrazek przedstawiciela gatunku, krótką informację oraz statystyki opisujące stan wiedzy systemu na temat tego gatunku (np. ilość inkubacji, średnia klujność). Najciekawszą informacją na tej stronie jest wzorzec inkubacji dla danego gatunku. Ze względów bezpieczeństwa użytkownik nie może edytować stałych używanych przy generowaniu wzorców, może je jedynie obejrzeć.

4.4.5 Interfejs administracyjny

Na tej stronie Administrator może bezpośrednio edytować zawartość bazy danych. Dzięki temu ma on ułatwiony dostęp do jej zawartości i może wygodnie edytować wartości, które mają wpływ na globalną pracę systemu. Może on również poprawiać błędy użytkowników.



Rysunek 4.4: Strona inkubatora



Rysunek 4.5: Strona gatunku

Rozdział 5

Podsumowanie

5.1 Stan Systemu

Projekt zakończył się sukcesem, ponieważ w trakcie pisania pracy był już w pełni funkcjonalny – zaimplementowano wszystkie określone w wymaganiach funkcje. Pokonano wiele trudności z dziedziny informatyki, automatyki oraz termodynamiki. Uzyskano jakość sterowania temperaturą dorównującą lub nawet przekraczającą tę w obecnie stosowanych komercyjnie rozwiązaniach. System Thinkubator umożliwia rozproszoną wymianę danych oraz zdalne ustawianie urządzeń. Użytkownik może korzystać z przyjaznego interfejsu podczas wykonywania tych trudnych czynności. W najbliższym czasie twórcy będą się konsultować z przedstawicielami Poznańskiego Nowego Zoo w celu wdrożenia systemu oraz przeprowadzenia pierwszego praktycznego testu – próby wyklucia, który ostatecznie sprawdzi funkcjonalność Thinkubatora.

5.2 Dalszy Rozwój

Głównym celem systemu Thinkubator jest ułatwienie pracy osobom zajmującym się sztuczną inkubacją ptaków. Jego celem drugorzędnym jest wsparcie dla osób zajmujących się badaniem tego procesu. W tej chwili stworzony system jest platformą umożliwiającą implementację zajmujących się tym rozszerzeń. Po wdrożeniu, gdy tabele bazy danych Centrum Nadzoru wypełnią się informacjami z przeprowadzonych inkubacji oraz ich wynikami, możliwe będzie opracowanie i wdrożenie zaawansowanych algorytmów wyszukiwania wzorcowych przebiegów procesu. Do tego celu potrzebne będą także konsultacje z osobami zajmującymi się badaniami nad inkubacją od strony biologicznej.

Inną opcją systemu jest dostosowanie go do wylęgu gadów, płazów, owadów, pajęczaków, gdzie również konieczna jest precyzyjna dobową manipulacja temperaturą. Podczas tworzenia systemu Thinkubator nie brano pod uwagę tych grup

zwierząt, jednak ze względu na wielkie możliwości stworzonego systemu, można go będzie łatwo dostosować do wymagań inkubacji wymienionych gromad. Zastosowanie wymiennika ciepła pozwala stworzyć urządzenie przystosowane do każdego rodzaju jaj, ponieważ nie jest on integralną częścią komory inkubacyjnej.

5.3 Wnioski

Realizacja projektu wymagała od twórców wiedzy z bardzo wielu dziedzin szeroko pojętej inżynierii. Podczas zbierania trudnych do zrozumienia wymagań konieczne było poznanie ornitologicznego żargonu. Z kolei zastosowane rozwiązania programistyczne były dobrane tak, aby twórcy mieli styczność z najnowszymi i najciekawszymi narzędziami. Praca ze sprzętem wymagała dostosowywania koncepcji do dostępnych zasobów oraz często zmieniającej się sytuacji (np. awarie), a praca w czteroosobowym zespole wymagała sporej wiedzy z dziedziny zarządzania (nie tylko projektem informatycznym). Dzięki temu autorzy projektu zyskali najcenniejszą rzecz – doświadczenie.

Literatura

- [Ar95] Amos Ar. Principles of optimal artificial incubation for wild and recently domesticated bird species. The 3rd conference of the European Committee of the Association of Avian Veterinarians, 1995.
- [Bri06] Brinsea Incubators, brooders and accessories. <http://www.brinsea.com>, 2006.
- [Brz04] J. Brzózka. *Regulatory i układy automatyki*. MIKOM, Warszawa, 2004.
- [Bub02] Z. Bubnicki. *Teoria i algorytmy sterowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
- [Dan06] Kevin Dangoor. Turbo Gears – the rapid development megaframework you’ve been looking for. <http://docs.turbogears.org/1.0>, 2006.
- [Eby06] Phillip J. Eby. setuptools.
<http://peak.telecommunity.com/DevCenter/setuptools>, 2006.
- [Kae98] Steven D. Kaehler. Fuzzy Logic Tutorial – An Introduction.
<http://www.seattlerobotics.org/encoder/mar98/fuz/flindex.html>, 1998.
- [Met06] Incubating and hatching ducks and geese. <http://www.metzerfarms.com>, 2006.
- [Mic05] Microsoft .NET framework documentation. <http://msdn2.microsoft.com>, 2005.
- [Pie99] A. Piegat. *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 1999.
- [Plo06] Plotkit. <http://media.liquidx.net/js/plotkit-doc/PlotKit.html>, 2006.
- [Tom05] Ryan Tomayko. Kid Language Specification.
<http://www.kid-templating.org/language.html>, 2005.



© 2007 Janusz Bossy, Paweł Lubarski, Tomasz Nowak, Szymon Szafraniec

Instytut Informatyki, Wydział Informatyki i Zarządzania
Politechnika Poznańska

Skład przy użyciu systemu L^AT_EX.

BibT_EX:

```
@mastersthesis{ key,  
  author = "Janusz Bossy \and Paweł Lubarski \and Tomasz Nowak \and  
Szymon Szafraniec",  
  title = "{Thinkubator}",  
  school = "Poznan University of Technology",  
  address = "Pozna{\n}, Poland",  
  year = "2007",  
}
```