**Българска академия на науките**
**Институт по информационни и комуникационни технологии**
**Секция: „Киберфизични системи“**

автор: **маг. инж. КРИСТИЯН СИМЕОНОВ ДИМИТРОВ**

# Д И С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

## Тема: КИБЕР-ФИЗИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМПЛЕКСИТЕ ЗА ОТГЛЕЖДАНЕ НА ЖИВОТНИ

научна област: 5. Технически науки

професионално направление: 5.2 Електротехника, Електроника и Автоматика

Докторска програма: Автоматизирани системи за обработка на информация и управление

научен ръководител: **проф. д-р Найден Шиваров**

Българска Академия на Науките – София, април, 2025г

## Благодарности

*Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Найден Шиваров, за съдействието и насоките през целия период на моята докторантура, както и за помощта при провеждане на изследванията и подготовката на тази дисертация.*

# Съдържание

Увод ..... 9

ГЛАВА 1. Обзор, анализ и систематизация на съществуващи изследвания и практики по темата ..... 12

1.1 Въведение ..... 12

1.1.1 Дефиниране на проблема ..... 12

1.1.2 Мотивация ..... 12

1.2 Влияние на средата върху продуктивността в животновъдни ферми ..... 14

1.2.1 Влияние на микроклимата върху млеконадоя в краве ферма ..... 14

1.2.2 Влияние на микроклимата върху производството на месо в свинеферми и птицеферми ..... 16

1.3 Влияние на средата върху производството на аквакултури в аквапонична система ..... 17

1.4 Обобщение ..... 19

ГЛАВА 2. Изследване на съществуващи методи и средства ..... 20

2.1 Съществуващи методи за поддържане на микроклимата в животновъдни стопанства ..... 20

2.1.1 Изпълнителни механизми ..... 20

2.1.2 Сензори ..... 29

2.1.3 Компютри за управление на микроклимата в животновъдни ферми ..... 30

2.2 Съществуващи методи за поддържане на средата и управление на аквапонични системи ..... 34

2.2.1 Изпълнителни механизми ..... 35

2.2.2 Сензори ..... 38

2.2.3 Компютри за управление на аквапонични системи ..... 39

2.2.4 Примери за съществуващи научни разработки на системи за мониторинг и контрол в аквапониката ..... 40

2.3 Обобщение ..... 41

ГЛАВА 3. Разработване на концепция с изисквания за създаване на КФС за интелигентно управление на комплекси за отглеждане на животни ..... 42

3.1 Дефиниции на Кибер физична система ..... 42

3.2 Изисквания към КФС ..... 42

3.2.1 Определяне на параметрите които могат да се контролират ..... 42

3.2.2 Определяне на параметрите които е необходимо да се контролират автоматизирано ..... 43

3.2.3 Определяне на параметрите на управляваната среда чиято стойност е необходимо да се знае ..... 43
3.2.4 Определяне на параметрите които ще бъдат измервани директно чрез сензори .. 43
3.2.5 Определяне на вида на сензорите ..... 43
3.2.6 Определяне броя на сензорите за измерване на един и същ параметър на средата ..... 44
3.2.7 Определяне на местоположението на сензорите ..... 44
3.2.7.1 В животновъдни стопанства ..... 44
3.2.7.2 В аквапонична система ..... 44
3.2.8 Избор на вида на свързване на сензорите към системата ..... 45
3.2.9 Избор на релета за управление на управляващи механизми и крайни устройства ..... 45
3.2.10 Избор на управляващи механизми ..... 46
3.2.11 Избор на крайни устройства ..... 46
3.2.12 Избор на управляващ компютър ..... 46
3.2.13 Избор на операционна система ..... 47
3.2.14 Избор на специализиран софтуер ..... 47
3.3 Обобщение ..... 48
ГЛАВА 4. Изследване и анализ на софтуер и системи за управление на КФС. Разработка на концепция за софтуерна система за управление на КФС в комплекс за отглеждане на животни ..... 49
4.1 Изисквания към операционната система и софтуера ..... 49
4.1.1 MQTT протокол ..... 50
4.1.2 Modbus протокол ..... 51
4.2 Избор на операционна система ..... 52
4.2.1 OpenHAB ..... 52
4.2.2 OpenHABian ..... 53
4.3 Избор на допълнителен софтуер ..... 53
4.3.1 Eclipse Mosquitto MQTT Broker ..... 53
4.3.2 InfluxDB ..... 53
4.3.3 Grafana ..... 54
4.3.4 Samba ..... 55
4.3.5 Frontail ..... 55
4.3.6 Amanda Backup ..... 55

4.3.7 Visual Studio Code ..... 55
4.3.8 Solar-PuTTY ..... 56
4.3.9 Tasmotizer ..... 56
4.3.10 MQTT.fx ..... 58
4.3.11 MG Configuration ..... 59
4.4 Обобщение ..... 60
ГЛАВА 5. Изследване и избор на IoT изпълнителни устройства и сензори с необходимите параметри за използване в Кибер-физичната система за управление на комплекс за отглеждане на животни. ..... 61
5.1 Сензори ..... 61
5.1.1 Сензори за температура и относителна влажност. ..... 61
5.1.1.1 Сензор за температура DS18B20, Maxim Integrated – Analog Device ..... 62
5.1.1.2 Сензор за температура и относителна влажност AM2302, Aosong Electronics ..... 63
5.1.1.3 Сензори за температура и относителна влажност SHT31 и SHT35, Sensirion 64
5.1.2 Сензори за въглероден диоксид $CO_2$ ..... 65
5.1.2.1 Сензор за въглероден диоксид MH-Z19B (MH-Z19C), Winson ..... 65
5.1.2.2 Сензор за въглероден диоксид Senseair S88 LP, Senseair ..... 66
5.1.2.3 Сензор за въглероден диоксид SCD30, Sensirion ..... 66
5.1.3 Сензор за амоняк KM21, KLHA ..... 67
5.1.4 Сензор за метан MH-Z1341B, Winson ..... 68
5.1.5 Сензор за въглероден оксид, температура и относителна влажност - JXBS-3001-CO/TH-RS, Jingxun ..... 68
5.1.6 Сензор за сероводород JXBS-3001-H2S, Jingxun ..... 69
5.1.7 Сензор за фини прахови частици (PM2.5 и PM10) RS-PM-2-EX, Renke ..... 69
5.1.8 Сензор за скорост и посока на движение на въздуха (анемометър) RS-CFSFX-N01-3-EX, Renke ..... 70
5.1.9 Сензор за диференциално налягане A2G-50, WIKA ..... 71
5.1.10 Сензор за осветеност BH1750, ROHM Semiconductor ..... 72
5.1.11 Сензор за осветеност TSL2561, ams-OSRAM AG ..... 72
5.1.12 Сензор за разтворен кислород и температура TriOxmatic 700 IQ, YSI Incorporated ..... 73
5.1.13 Сензор за амоний и калий AmmoLyt Plus 700 IQ, YSI Incorporated ..... 73
5.1.14 Сензор за нитрити и нитрати NiCaVis 701 IQ NI, YSI Incorporated ..... 74

5.1.15 Сензор за pH (водороден показател) SensoLyt 700 IQ, YSI Incorporated ..... 74
5.1.16 Сензор за ниво на течности SL-M5, НН ЕЛЕКТРОНИК ..... 75
5.2 Контролери ..... 75
5.2.1 Контролер NodeMCU ..... 75
5.2.2 Контролер Modbus gateway ADM-5832G ..... 76
5.2.3 IQ SensorNet 282 и 284, YSI Incorporated ..... 77
5.3 Обобщение ..... 77
ГЛАВА 6. Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на животни на базата на OpenHAB. ..... 79
6.1 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на дойни крави 79
6.1.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на дойни крави 79
6.1.2 Сензори и системи за управление ..... 81
6.1.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при авариен режим ..... 82
6.1.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при нормален режим ..... 84
6.1.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в кравеферма ..... 88
6.2 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на свине ..... 90
6.2.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на свине ..... 90
6.2.2 Сензори и системи за управление ..... 92
6.2.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в свинеферма ... 93
6.2.4 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в свинеферма ..... 97
6.3 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на бройлери .... 98
6.3.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на бройлери .... 98
6.3.2 Видове вентилация в птицеферма ..... 101
6.3.2.1 Минимална вентилация ..... 101
6.3.2.2 Преходна вентилация ..... 102
6.3.2.3 Тунелна вентилация ..... 102
6.3.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в птицеферма. 104
6.3.4.1 Алгоритъм за подготовка на помещенията преди настаняване на пилета ... 107
6.3.4.2 Работен алгоритъм ..... 107
6.3.4.2.1 Основна част на работния алгоритъм ..... 107
6.3.4.2.2 Клонове при работа на минимална вентилация $M_1$ и $M_2$ ..... 108

6.3.4.2.3 Клон при работа на преходна вентилация $T_г$ ..... 111

6.3.4.2.4 Клон при работа на тунелна вентилация $T_u$..... 112

6.3.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в птицеферма ..... 115

6.4 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на риба и растения в аквапонична система по метода на дълбоководните култури..... 118

6.4.1 Специфики и изисквания към среда при отглеждането на аквакултури в аквапонична система..... 118

6.4.1.1 Температура на водата..... 119

6.4.1.2 Водороден показател (pH)..... 119

6.4.1.3 Твърдост на водата ..... 120

6.4.1.4 Разтворен кислород ..... 120

6.4.1.5 Въглероден диоксид $CO_2$..... 121

6.4.1.6 UV радиация ..... 121

6.4.1.7 Общ азот ..... 121

6.4.1.8 Електропроводимост (EC) и общо разтворени твърди вещества (TDS)..... 122

6.4.1.9 Механична филтрация..... 122

6.4.1.10 Бактериално развитие и биофилтрация ..... 123

6.4.1.11 Биообрастване..... 124

6.4.1.12 Повърхностна обработка на резервоара за отглеждане на риба ..... 125

6.4.1.13 Обобщени параметри за постигане на баланс и повишаване на качеството на водата в аквапоничните системи ..... 125

6.4.2 Компоненти на аквапоничната система..... 126

6.4.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на средата в аквапонична система ..... 130

6.4.3.1 Цикъл за стартиране и бактериално развитие в аквапоничната система ..... 131

6.4.3.2 Работен алгоритъм на аквапоничната система..... 133

6.4.3.3 Цикъл на хранене ..... 137

6.4.3.4 Цикъл за допълване с вода..... 138

6.4.4 Проведени тестове на КФС за управление на средата в аквапонична система .. 138

6.5 Инсталиране и конфигуриране на системата..... 142

6.6 Обобщение ..... 149

ГЛАВА 7. Изследване и разработка на графичен интерфейс за КФС за интелигентно управление на комплексите за отглеждане на животни с възможност за дистанционно управление през Интернет, базиран на OpenHAB. ..... 151
7.1 Разработка на GUI на базата на Bacic UI ..... 151
7.1.1 Конфигуриране на GUI базиран на Basic UI ..... 155
7.2 Разработка на GUI на базата на HABPanel..... 157
7.2.1 Конфигуриране на GUI базиран на HABPanel ..... 159
7.3 Обобщение ..... 162
Заключение ..... 163
Приноси ..... 164
Библиография ..... 165
Декларация за оригиналност..... 176
Публикации по дисертационната тема ..... 177

# Увод

Първите данни за контролиране на параметрите на средата при отглеждане на животни са още от около 1620 година, когато холандския изобретател Корнелис Дребел, който по това време живее в Англия, изобретява живачен термостат с обратна връзка за да контролира температурата в инкубатор за пилета. През 1830 шотландския химик Андрю Уре изобретява биметалния термостат, а през 1886г. Алберт Буц изобретява и патентова електрическия термостат. По времето на тези открития термостатите започват масово да се използват в инкубаторите за пилета.

За начало на съвременното автоматизирано управление на микроклимата в животновъдни ферми може да се определят 70те години на 20ти век, когато започват да се използват термостати за управление на вентилатори и отопление. По-късно с появата на първите микропроцесори и контролери, започва масово внедряване на системи за контролиране на вентилацията, температура или влажност на въздуха. През 90те години на 20ти век се появяват компютърни системи които за пръв път едновременно отчитат, управляват и събират данни за няколко параметъра на околната среда като температура, влажност, скорост на движение на въздуха, осветеност и др. След 2000та година след широкото навлизане на безжичните технологии и интернет се появяват и системи за дистанционно наблюдение и контрол. Появяват се и системи които следят качеството на въздуха, като се следят различни вредни газове като амоняк NH3, въглероден диоксид CO2, въглероден оксид CO, сероводород H2S, метан CH4, както и наличието на фини прахови частици или бактериалната контаминация във въздуха.

Целта на този труд е да се разработи Кибер-физична система (КФС) за управление на микроклимата в комплексите за отглеждане на животни и за управление на средата при отглеждане на риба на базата на openHAB.

Обект на изследването е не само проучването на възможността за реализиране на КФС с избрания софтуер, но и анализирането на влиянието на средата върху продуктивността и здравословното състояние на животните.

Предмета на изследването включва необходимостта да се разгледат различните параметри на микроклимата в животновъдните ферми и влиянието което оказват върху дадения вид животни директно и индиректно. Разглежда се и влиянието на параметрите и качеството на водата при отглеждане на риби или други водни животни в затворена екосистема или т.н. аквапонична система. Разглеждат се различни способи за контролирането на тези параметри, защото средата оказва влияние както на здравословното състояние на животните, така и на производителността им и не на последно място и на хуманното отношение към тях. Затова е много важно да се разработят системи които могат надеждно да контролират средата, като за целта се използват минимални ресурси.

Актуалност на темата

В наши дни управлението на микроклимата в животновъдните ферми придобива все по-голямо значение. Това се дължи не само на нарастващите изисквания за

енергоефективност, повишаване на продуктивността и устойчивост, но и на хуманното отношение към животните. Микроклиматът е съвкупност от параметри като температура, влажност, скорост на движение на въздуха, осветеност и концентрация на вредни газове и др. които оказват пряко и косвено въздействие върху здравето, продуктивността и благосъстоянието на животните. Неподходящите условия могат да доведат до забавен растеж, намалена производителност на месо, мляко, яйца, повишена заболеваемост и смъртност.

Темата е особено актуална и в контекста на климатичните промени и въвеждането на все по-строгите екологични регулации. Автоматизираните системи могат да помогнат за по-ефективно използване на ресурси като електроенергия, вода и време за управление на стопанството. Освен това, цифровизацията и използването на „умни“ технологии се вписват в тенденцията към изграждане на устойчиво и прецизно земеделие.

Въвеждането на автоматизирани системи за управление на микроклимата е ключово за модернизацията на фермите. Те позволяват прецизен контрол на вътрешната среда чрез сензори и алгоритми, които в реално време могат да управляват параметрите на средата. Като се има предвид цената на съществуващите системи за управление на микроклимата в животновъдните ферми е необходимо разработването на нови системи, които са достъпни за по-широк кръг потребители.

Предложения дисертационен труд съдържа седем глави които са показателни за решаването на предварително зададените му задачи.

**ГЛАВА 1. Обзор, анализ и систематизация на съществуващи изследвания и практики по темата:** В главата са разгледани основните влияния на микроклимата към продуктивността и здравословното състояние на животните като цяло. Разглежда се и влиянието на средата за осъществяване на баланс в аквапонична система.

**ГЛАВА 2. Изследване на съществуващи методи и средства:** Във тази глава са разгледани методите и средствата за контрол на средата както в животновъдните ферми, така и в аквапонична система. Направено е сравнение на възможностите и недостатъците на системите за управление на различни производители, както и на някои предложени научни разработки.

**ГЛАВА 3. Разработване на концепция с изисквания за създаване на КФС за интелигентно управление на комплекси за отглеждане на животни:** В трета глава е направена първа стъпка за разработване на КФС, като в концепцията за създаването и са споменати всички стъпки, параметри и насоки на които трябва да се обърне внимания при реализиране на системата.

**ГЛАВА 4. Изследване и анализ на софтуер и системи за управление на КФС. Разработка на концепция за софтуерна система за управление на КФС в комплекс за отглеждане на животни:** В тази глава е разгледана нуждата от специфични функции на софтуера необходим за реализирането на подобна КФС. Избрана е подходяща операционна

система, както и допълнителен софтуер необходим за не само за работата на системата, но и за нейното създаване.

**ГЛАВА 5. Изследване и избор на IoT изпълнителни устройства и сензори с необходимите параметри за използване в Кибер-физичната система за управление на комплекс за отглеждане на животни:** В пета глава са избрани и тествани различните компоненти необходими за реализирането на КФС като сензори и допълнителни контролери.

**ГЛАВА 6. Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на животни на базата на openHAB:** В тази глава е описана основната задача на дисертационния труд. Тя включва проучвания за изискванията за отглеждане на различните домашни животни, разработване на алгоритми за управление на КФС и проведени тестове и експерименти. Разгледан е и начина на инсталиране и конфигуриране на системата.

**ГЛАВА 7. Изследване и разработка на графичен интерфейси за КФС за интелигентно управление на комплексите за отглеждане на животни с възможност за дистанционно управление през Интернет, базиран на openHAB:** В последната глава са разработени два вида потребителски графични интерфейса които позволяват системата да бъде наблюдавана и управлявана през различни устройства като персонален компютър, таблет или смартфон.

# ГЛАВА 1. Обзор, анализ и систематизация на съществуващи изследвания и практики по темата

## 1.1 Въведение

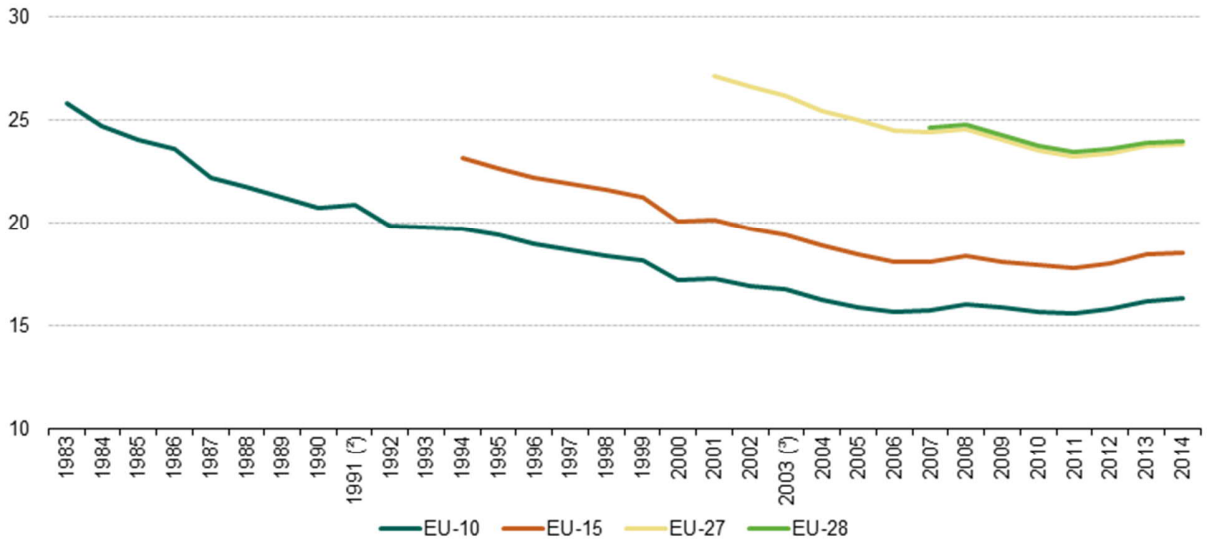
Основна цел на първите две глави е да се покаже нуждата от това изследване и да се дефинира проблемната област. Тук се разглежда мотивацията, представят се целите, методологията и разглежданите задачи на дисертацията.

### 1.1.1 Дефиниране на проблема

В първа и втора глава са разгледани основните проблеми които стоят на дневен ред в съвременното животновъдство и методи и практики за подобряването и развитието му. По конкретно е обърнато внимание на методите и средствата за подобряване на микроклимата в затворени животновъдни стопанства за отглеждане на дойни крави, прасета и бройлери. Разгледани са и някои основни проблеми при подобряване на средата за отглеждане на риби и растения в аквапонични системи. Разгледано е директното и косвеното влияние на микроклимата върху икономическите показатели на стопанства за отглеждане на животни. Показани са съществуващи системи за автоматизация на микроклимата с основните им подсистеми на водещи фирми в световен мащаб, както и са разгледани някои научни разработки от последните няколко години, с цел да се добие обща представа до къде е стигнало развитието в дадената област.

### 1.1.2 Мотивация

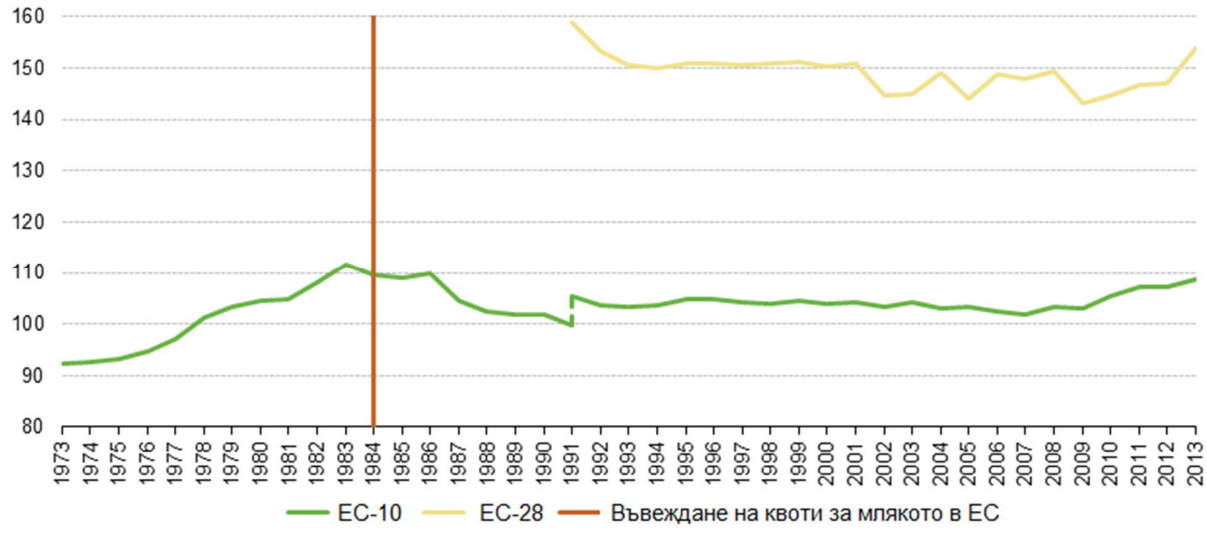
През годините консумацията на месо в България и Европа нараства с бавни темпове, като за последните 60 години се е увеличила около 2,5 пъти, докато в Азия тенденцията е за бързо нарастване или около 15 пъти за този период. При млечните продукти тенденцията е също към повишаване на консумацията но в по-бавни темпове. От друга страна са изкупните цени на суровото мляко и месото. Те имат тенденцията да остават сравнително постоянни и дори да намаляват спрямо ръста на инфлацията. Това се постига с въвеждане на нови технологии и оптимизиране на производствените процеси. В Европейския съюз от 1983г ( Състоящ се от 10 членки тогава) до 2014г дойните крави намаляват значително от 25.8 милиона глави до 16.3 милиона (фиг.1.1) [1], като за същия период производството на мляко е регулирано с квоти, които позволяват минимално увеличение фиг.1.2 [1].




(¹) Включително биволи
(²) Отнася се за обединена Германия от тази година натам
(³) Данните за Румъния през 2003 година са взети от 2002г

Фигура 1.1 Количество едър рогат добитък в ЕС.

Това се дължи на повишаване на продуктивността на глава добитък. Затова е толкова важно да се обърне сериозно внимание на оптимизирането на разходите и повишаване на продуктивността на стопанствата за производство на мляко и месо.




Фигура 1.2 Квоти за производство на мляко в ЕС.

На фона на продължаващата световна икономическа криза от 2020 породена от COVID 19, постоянно нарастващите цени за модернизация на съществуващи, и строежи на нови

животновъдни стопанства могат да се използват новите технологии заедно с ценово ориентирани компоненти за създаване на нов клас системи за контрол на микроклимата в животновъдните стопанства.

## 1.2 Влияние на средата върху продуктивността в животновъдни ферми

### 1.2.1 Влияние на микроклимата върху млеконадоя в кравеферма

Микроклимата влияе както директно, така и индиректно на производителността. От една страна микроклимата директно оказва влияние на млеконадоя в много широки граници. Температурата е основния фактор който трябва да се контролира. Термо неутралната зона TNZ (Thermoneutral Zone) е температурен диапазон в който животните не изразходват допълнителна енергия за поддържане на телесната си температура. За говедата това е температура между 0.5°C и 25°C . При по-ниски и съответно по-високи температури животните изпадат в температурен стрес. При температури над 28 °C, дори и при ниска относителна влажност кравите показват състояние на хипертония и топлинен стрес [2,3] при което приема на фураж, млеконадоя, производството на млечна мазнина и протеини, както и степента на плодовитост намаляват [4]. Влиянието което температурата оказва на животните е в пряка зависимост с относителната влажност RH. Това се определя от т.н. температурно - влажностен индекс THI (temperature-humidity index) (Фигура 1.3) [5].

Температурно - влажностен индекс THI

| Относителна влажност % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 22 | 66 | 66 | 67 | 68 | 69 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 24 | 68 | 69 | 70 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
| 26 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 77 | 78 | 79 |
| 28 | 72 | 73 | 74 | 76 | 77 | 78 | 80 | 81 | 82 |
| 30 | 74 | 75 | 77 | 78 | 80 | 81 | 83 | 84 | 86 |
| 32 | 76 | 77 | 79 | 81 | 83 | 84 | 86 | 88 | 90 |
| 34 | 78 | 80 | 82 | 84 | 85 | 87 | 89 | 91 | 93 |
| 36 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 93 | 95 | 97 |
| 38 | 82 | 84 | 86 | 89 | 91 | 93 | 96 | 98 | 100 |
| 40 | 84 | 86 | 89 | 91 | 94 | 96 | 99 | 101 | 104 |

Зона на комфорт
Умерен топлинен стрес
Тежък топлинен стрес
Смърт при кравите

Фигура 1.3 Температурно - влажностен индекс THI, определящ зоната на комфорт или топлинен стрес при крави.

Той също е показател за топлинния стрес при животните. Може да се изчисли по следната формула:

Формула 1.1 $$THI = 0.8*T + RH*(T-14.4) + 46.4$$

където T = температура на околната среда в °C и RH е относителна влажност на въздуха (като стойност например 50% се записва като 0,5).

При стойности на THI до 71 не се наблюдава топлинен стрес при дойните крави. Затова и най-благоприятния диапазон на THI е в границите между 66 и 71. Това е т.н. зона на комфорт или термо неутрална зона. При стойности на THI от 72 до 79 се наблюдава умерен топлинен стрес. При стойности от 80 до 99 се достига до т.н. тежък топлинен стрес който оказва влияние освен на млеконадоя, и на здравословното състояние на кравите. При стойности от 100 и повече може да се стигне до смърт при кравите. Промените на THI извън зоната на комфорт оказват влияние върху хранителния режим, като се намалява приема на сухо вещество DMI (Dry Matter Intake). При ниски стойности на THI влиянието е по-малко, но при повишаването на THI влиянието нараства и от там и добива на мляко намалява значително. Високите стойности на THI оказват най-голямо влияние на млеконадоя след два дни [6].

При стойност на THI около 68 имаме най-голям млеконадой, а повишаването на стойността на THI от 68 на 78 намалява DMI с 9,6% и производството на мляко с 21% [7], а при повишаването на THI до 83 може да се стигне до намаляване на добива с до 30%. Като това се получава при запазване на другите фактори които също оказват влияние, като вида на храната например. Добивът на мляко намалява с 0,41 кг за една крава на ден за всяко увеличение на THI с една единица над 69. Също се отбелязва, че приемът на храна започва да намалява на следващия ден след започване на топлинния стрес HS, докато добивът на мляко намалява на втория ден след HS [8].

Според други изследвания [9], THI не оказва влияние на млеконадоя при стойности между 35 и 72. Това във всеки случай зависи и от породата на кравите, като може да се установи опитно и да се намерят стойности THI за оптимален млеконадой съобразен с разходите за поддръжка на THI в съответните граници спрямо сезона и външните температури.

Топлинния стрес оказва влияние и на здравословното състояние на кравите. Когато са изложени на топлинен стрес, температурата на телесната повърхност и ректалната им температура се увеличават, честотата на дишане нараства, което от своя стана повишава и сърдечната честота. Достигането на ректална температура 39°C или по-висока и честота на дишане над 60/мин означава, че кравите са били изложени достатъчно дълго време на топлинен стрес, за да повлияе това на репродуктивната им способност [10]. При температури на въздуха над от 25-26°C приемът на фураж на млекодайните крави започва да намалява, като при температури над 30°C влиянието е още по силно. При умерени климатични условия и при 40°C може да намалее с до 40% [11]. Повишаването на температурата на въздуха променя основните физиологични механизми на търбуха на преживните животни, което повишава риска от метаболитни нарушения и здравословни проблеми [12]. С повишаване на температурата на въздуха се наблюдава увеличаване на случаите на окуцяване [13], което може да доведе до други заболявания и по-ранно бракуване на животните. Увеличаването на THI над термо неутралната зона води до повишена честота на мастит при дойните крави [14].

### 1.2.2 Влияние на микроклимата върху производството на месо в свинеферми и птицеферми

Микроклиматът оказва сериозно влияе върху здравословното състояние и производството на всички възрастови категории свине [15,16]. От всички фактори, най-голямо влияние върху метаболизма и здравето на прасетата оказва температурата. Повишаването и над зоната на комфорт води до намаляване приема на храна и от тава прогресивно намалява и производителността на прасето [17]. Тя влияе на репродуктивните способности, растежа и развитието на тялото, качеството и количеството на продукцията, развитието на нови заболявания и смъртността [18]. Температури по-високи от зоната на комфорт или т.н. термо неутрална зона за съответната категория прасета, водят до следните промени: намален апетит и консумация на храна, повишена жажда съответно увеличен прием на вода, по-ниски нива на производство, промяна на метаболизма, повишена честота на дишане, повишена сърдечна честота и промени в поведението [19]. При повишаване на температурата от 27ºC до 33ºC, нарастването на теглото на прасетата намалява с 21%[20].

Отклонението от номиналните параметри на микроклимата в помещението води до намаляване на среднодневното наддаване на тегло и влияе върху безопасността на птиците, особено през есенно-зимния период, както и върху продуктивната [21]. Оптималният микроклимат в птицефермите намалява цената на продуктите при птиците с 15-20%. В студени, влажни и лошо вентилирани птицеферми птиците са до 4 пъти по-податливи на заболявания, а тяхната продуктивност намалява с 10-50%, въпреки че консумацията на фураж се увеличава с 10-30% [22]. Здравословното състояние на бройлери е силно повлияно от фактори на околната среда като прекомерната влажност, скоростта на движение на въздуха и температурата. От тези стресови фактори най-сериозният е топлинният стрес, причинен от високите температури. Той има отрицателно въздействие върху потреблението на фуражи, ефективността на фуражите, индекса на телесна маса, качеството на месото и смъртността [23]. Въпреки напредъка на технологиите и модернизациите сектора, птицевъдството в световен мащаб е значително засегнато от гледна точка на производителността, здравето и цялостното благосъстояние на пилетата от топлинния стрес [24]. Топлинният стрес предизвиква множество физиологични, здравни и поведенчески проблеми, като намалена консумация на фуражи, електролитен дисбаланс, невро-ендокринни нарушения и системна имунна дисрегулация, което от своя страна повлиява неблагоприятно усвояването на хранителните вещества и оползотворяването им, степента на растеж и оцеляване [25]. Неспособността на птиците да се справят с висока температура води до производство на повече метаболитна топлина, отколкото могат да освободят. Състояние, известно като хипертермия, при което температурата на тялото се повишава ненормално, предизвиква топлинен стрес. При домашните птици, изложени на топлинен стрес се наблюдават отклонения в имунната система, хормонални нередности, дихателните затруднения и електролитния дисбаланс [26, 27]. За да се премахне топлинния стрес е необходимо не само да се подържа температурата в необходимите граници спрямо възрастта на пилетата, но и да не се превишава максимално допустимата относителна влажност RH. Затова и при пилетата е приложимо използването на THI за определяне на термо неутрална зона която е се определя от възрастта на пилетата и при промяна на температурата и относителната влажност RH, но запазване на THI не се наблюдават промени във

физиологията и поведението на бройлерите [28]. При невъзможност да се подържа THI в термо неутралната зона трябва да се увеличи скоростта на движение на въздуха като се използва т.н. Windchill effect или охлаждане от вятъра.

Освен температурата и относителната влажност RH е необходимо да се подържа и равномерно движение на въздуха в животновъдните ферми, което се осигурява с помощта на подходяща вентилация. Скоростта на движение на въздуха трябва да е съобразена не само с вида и възрастта на животните, но и с температурата в сградата, като през студените периоди максималната допустима скорост на движение на въздуха за дадено животно е по-ниска от колкото през топлите периоди.

Вентилацията оказва сериозно влияние на всички параметри на микроклимата в сградата. Тя влияе на температурата, като може да я променя в зависимост от външната температура. В общия случай вентилация намалява относителната влажност във фермата. Тя осигурява и свеж въздух за животните, като контролира друг важен фактор за поддържане на благоприятен микроклимат. Това е отсъствието на вредни газове в животновъдните ферми. В зависимост от вида на животните и начина на отглеждане при слаба вентилация могат да се образуват газове, чиято концентрация превишава допустимите норми за възрастта и вида на отглежданите животни. Това са газове като въглероден диоксид $CO_2$, въглероден оксид CO, амоняк $NH_3$, сероводород $H_2S$ и метан $CH_4$.

Като се вземе предвид по-горното, стигаме до извода, че благосъстоянието, здравето и производителността на отглежданите животни са силно зависими от контрола на околната среда в животновъдните ферми. Затова е необходимо създаването на достъпни системи за управление на микроклимата, които могат да бъдат използвани за подобряване на условията в малките и средни ферми изоставащи от тенденцията на големите ферми използващи модерни и скъпоструващи системи.

### 1.3 Влияние на средата върху производството на аквакултури в аквапонична система

Във връзка с повишената консумация на хранителни продукти през последните години отглеждането на аквакултури също се развива значително. Това са изкуствено заградени пространства в естествени водоеми, или изкуствено създадени такива с цел отглеждане на различни видове риба или морски дарове при което средата на отглеждане се контролира по някакъв начин. През последните 20 години в ЕС аквакултурите имат устойчив темп на растеж като добива на риба чрез аквакултури от общия добив, е нараснал от около 15% през 2000г до около 20% през 2021г [29]. В същото време при аквакултурите широко се използват пилонни мрежи [30]. Обръща се внимание и на рециркулацията на отпадъчни води което има голямо въздействие върху намаляването на замърсяването в аквакултурите [31].

Все по-често сезонни култури се търсят целогодишно, което отваря нова ниша. На това търсене може да отговори използването на аквапонични системи които осигуряват непрекъснато производство както на риба и морски дарове, така и на пресни зеленчуци, плодове и билки, независимо от сезона, чрез контролиране на средата. Аквапониката

съчетава използването на хидропоника, за отглеждане на земеделски култури без почва и рециркулиращи аквакултури [32].

Най-ранната информация за използването на аквапоника е от около 12 век. Споменава се, че ацтеките са отглеждали растения върху салове във водоеми в които имало риба. Аквапониката във вида в който е позната започва развитието си през 70те години на 20век, но набира все по-голяма популярност през последните години. Особено в региони където липсата на вода, плодородна почва или свободно място са ограничени.

При отглеждане на аквакултури с висока плътност, замърсяването на водата от отпадъчни продукти като екскременти, остатъци от храна и други се превръща във вредни вещества като амоняк $NH_3$, нитрити $NO_2$ и сероводород $H_2S$. Те могат да бъдат изключително опасни във високи концентрации за отглеждани аквакултури. Това може да доведе до големи икономически загуби, както и до отрицателни въздействия върху околната среда в глобален мащаб [33,34]. Едно от предимствата на аквапониката е затвореният цикъл, при който рибните отпадъци, освободени през хрилете и като урина, които са основно амоняк, се преобразуват чрез процесите на нитрификация [32] и минерализация [35]. Отделят се и твърди отпадъци, част от които се превръщат в амоняк чрез микробна активност[32]. Това намалява биологичното замърсяване на отпадъчните води. В аквапониката се използва минимален воден ресурс, тъй като в една добре балансирана система единствените загуби на вода са от изпарение [36]. В аквапониката има висок добив от единица площ, както за отглежданите риби, така и за растенията. Не е необходимо да се използват изкуствени торове за растенията, с изключение на необходимостта от някои макроелементи, тъй като процесът на нитрификация осигурява необходимите нитрати за растенията[37,38]. Един от основните проблеми във водните системи е биообрастването. [39]. Важни изисквания за всяка аквакултура са доброто качество на водата и нейната поддръжка. Поради високата плътност на рибата в аквариуми, качеството на водата прогресивно се влошава и различни видове патогенни бактерии (включително родовете Flavobacterium, Pseudomonas, Staphylococcus и др.) се развиват прекалено много, което засяга здравето на рибите. А потоците от отпадъци влияят отрицателно на свързаните водни системи. Известно е, че тези проблеми са тясно свързани с образуването на замърсяване и микробен биофилм.

Има различни техники които могат да се използват за реализирането на една аквапонична система, като най-разпространените са т.н. „Системи с наводняване и оттичане“ (Media bed technique), „Техника на хранителните филми“ (Nutrient film technique или NFT) и „Техника с дълбоководни култури“ (Deep water culture technique или DWC). Всяка от тях има предимства и недостатъци. Системите с наводняване и оттичане имат опростен дизайн и са подходящи за всички видове растения, освен това използват малко електрическа и са подходящи за начинаещи. Но са доста тежки и трудоемки за изграждане. NFT системите са рентабилни от първите като използват по-малко вода, системата е по-лека и имат по-лесно обслужване. От друга страна водата се филтрира по-трудно и растенията не могат да се засяват директно. Поради наличието на по-малко вода температурата и се променя бързо което може да стресира рибите. DWC системите имат най много предимства, като при тях имаме най-малко изпарение, голямото количество вода прави системата по-

инертна. Всички параметри на средата се променят плавно, като така не се стресират рибите. Това позволява по-лесното им контролиране. Не се влияе от кратки прекъсвания на тока. Растенията се отглеждат в малки отвори в плочи или салове от полистирол, а корените са потопени директно във водата от където си осигуряват хранителни вещества и кислород. Полистироловите салове изолират водата, като я предпазват не само от промяна на температурата но и от изпарение и в същото време играят ролята на биофилтърна повърхност. Засаждането и обирането на продукцията също е по-лесно. Този метод се използва главно за производство на маруля и босилек, но е подходящ за всякакви видове нискостъблени зеленчуци. Поради тази причина в този труд ще бъде изследван само метода DWC.

Аквапоничните системи могат да се разположат на открито или на закрито. Спецификата на климата в даден регион определя дали дадена система може да се реализира на открито, но във всеки случай за предпочитане е системата да бъде на закрито [40], като така се осигуряват постоянни условия, по-малко разходи за поддържане на температурата на водата в студените дни и валежите не оказват влияния на качествата на водата. Има много примери при които се комбинира аквапоника и оранжерии и този подход се развива непрекъснато[41,42,43].

### 1.4 Обобщение

След внимателен преглед и анализ на показаните по-горе факти относно влиянието на средата и микроклимата върху отглежданите животни, можем да заключим, че осъществяването на контрол на определени параметри на средата е от изключително значение за благосъстоянието им. Управлението на средата спомага както за увеличаване на продуктивността, така и за подобряване на здравословното състояние на животните и не на последно място осигурява хуманно отношение към тях.

Можем да обобщим, че в затворени животновъдни стопанства е необходимо да се контролират температурата, влажността и скоростта на движение на въздуха, наличието на замърсители във въздуха като вредни газове, прахови частици и микробна контаминация, както и осветеността и околния шум. Във втория случай в една аквапонична система е необходимо да се контролира не само качеството на водата, но и други параметри на средата. Това са температура и pH на водата, разтворен кислород и въглероден диоксид, амоняк, нитрити, нитрати и други параметри, както и излагането на пряка слънчева светлина.

Затова е необходимо да се разгледат и сравнят съществуващите методи и средства за контрол на средата и микроклимата в животновъдните ферми и при аквапоничните системи. Това сравнение би дало възможност да се анализират някои пропуски и слабости, като се предложат нови методи или по-достъпни начини за управление.

# ГЛАВА 2. Изследване на съществуващи методи и средства

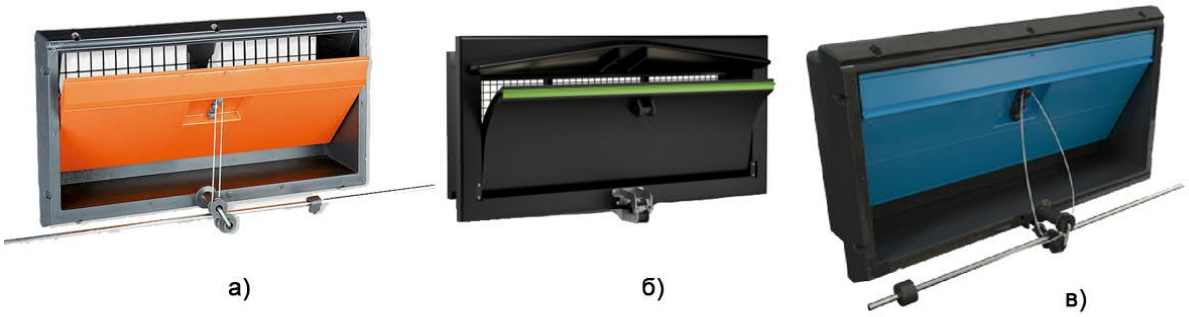
## 2.1 Съществуващи методи за поддържане на микроклимата в животновъдни стопанства

Като примери за лидери в производството на системи за автоматизация и контрол на животновъдни ферми може да разгледаме фирми като Big Dutchman, Fancom, SKOV и др.

### 2.1.1 Изпълнителни механизми

Те предлагат разнообразие от оборудване за поддържане на микроклимата. Имат различни видове клапи за свеж въздух, жалузи, комини за свеж въздух или циркулация, вентилатори, отоплителни системи пръскачки за изпарително охлаждане и др. По-долу са разгледани някои основни компоненти за управляване на микроклимата в животновъдните стопанства.

Вентилационните клапи за стена (Фигура 2.1) [44,45,46] или за таван (Фигура 2.2) [44,45] позволяват лесно управление чрез сервомотор (Фигура 2.3) [44,45], като принципа на работа е следния. Те са оборудвани с пружина която ги държи плътно затворени, като сервомотора издърпва стоманено жило или водеща рейка за която е свързано въженце закачено за подвижната част на клапата. Въженцето или стоманеното жило минават по ролка, която обръща посоката на движение.




Фигура 2.1 Вентилационни клапи за стена а) Big Dutchman CL-1211, б) Fancom, в) SKOV.

При задвижване на сервомотора в обратна посока, пружините на клапите ги затварят обратно. Това позволява безстепенно регулиране на отвора, както и създаването на групи от по няколко елемента които могат да се управляват с един сервомотор. Вентилационните клапи могат да насочват влизащия въздух така, че той да се смесва с топлия въздух в горната част на помещението. Така не се позволява влизащият студен въздух да падне директно към животните или пода. Затова те не се отварят напълно, а само до определен ъгъл, който зависи от конкретната им конструкция [44,45,46].

Фигура 2.2 Вентилационни клапи за таван а) Big Dutchman CL-1540, б) Fancom.

Вентилационните клапи за таван се използват основно в по-големи помещения, в които клапите монтирани по стените не могат да осигурят необходимото количество свеж въздух [44,45].

Фигура 2.3 Сервомотор за отваряне на клапи и жалузи а) Big Dutchman CL 175 б) SKOV.

Клапите тип комин (Фигура 2.4) [44,45] имат предимството пред другите таванни клапи, защото не се влияят от скоростта на вятъра.

Фигура 2.4 Коминни клапи за таван с или без вентилатор а) Big Dutchman F.C.A., б) за свеж въздух SKOV DA 60-820, в) за отвеждане на въздуха SKOV DA 600

Те се разделят на два вида според начина на използване. Първите са коминни клапи за отвеждане на въздуха, като те най-често са оборудван с вентилатор. Вторите са коминни клапи за свеж въздъх, като и те могат да бъдат с или без вентилатор [44,45,46].

На фигура 2.5 [45] е показана вентилационна клапа с възможност за управление на височината на отвора, на която жалузите могат да се регулират ръчно за да се насочи въздуха в желаната посока. Управлението отново е чрез сервомотор, който издърпва или отпуска въже, за което е закачен подвижния капак [45].

Фигура 2.5 Клапа за стена Fancom.

Жалузите се използват когато е необходимо вентилационните отвори да са по-големи. Например при по-топъл климат, при естествена вентилация, при тунелна вентилация. Управлението им е подобно на показаните по-горе клапи, но някои жалузи не са снабдени с пружина за затваряне. Тогава затварянето се осъществява с издърпване на въжето от обратната страна, отново през ролка, за да се използва един сервомотор за управлението[44,46]. На фигура 2.6 [44,46] са показани жалузи за големи отвори на Big Dutchman, SKOV.

Фигура 2.6 жалузи за големи отвори а) Big Dutchman MultiVent, б) SKOV.

За тунелна вентилация, освен жалузи, могат да се използват и клапи с вертикално отваряне (Фигура 2.7) [45] или големи панелни клапи (Фигура 2.8) [44]. Предимството на вертикалните клапи е, че заемат по малко място, спрямо вторите. И двете имат по-малко въздушно съпротивление спрямо жалузите [44,45].

Фигура 2.7 Клапа за тунелен отвор с вертикално отваряне Fancom.

Панелните клапи осигуряват най-добрата топлоизолация от всички варианти изброени по-горе. Те могат да бъдат с дължина до 40м.

Фигура 2.8 Панелна клапа за тунелна вентилация-Big-Dutchman TD-L.

В много случаи е по-удобно и евтино да се използват щори (Фигура 2.9) [44 ] вместо клапи или жалузи. Щорите се използват често когато е необходимо да се доставят големи количества свеж въздух и не е необходимо помещението да се затваря плътно дори и през студените месеци. Те най-често се използват в краве ферми или птицеферми. Основно се делят на два вида. С горно отваряне или с долно отваряне. В първия случай тръбата за навиване е в долната част на отвора, а платното е окачено на профил издърпван от стоманени въжета. При движение на мотора в едната посока той завърта тръбата и платното се навива върху нея, като в същото време развива стоманените въжета, който отпускат профила държащ другия край на платното. В обратната посока въжетата опъват профила нагоре а платното се развива от тръбата. Щорите с долно отваряне са два вида. Едните са с тръба в горния край на която е навито платното а в другия край на платното е закрепен тежък профил който издърпва платното надолу при развиване на тръбата. При втория вариант горния край на платното е закрепен неподвижно над отвора, а тръбата се движи нагоре и

надолу докато навива или развива платното. Има варианти при които мотора се движи нагоре и надолу заедно с тръбата, но може да бъде монтиран неподвижно, а връзката между него и тръбата е посредством кардан [44].

Фигура 2.9 Щори а) с горно отваряне б) с долно отваряне.

Вентилаторите използвани в животновъдните стопанства могат да се разделят на няколко групи спрямо предназначението им. Това са вентилатори за свеж или отработен въздух (нагнетяващи или изсмукващи), циркулационни вентилатори или вентилатори от смесен тип [44,45,46].

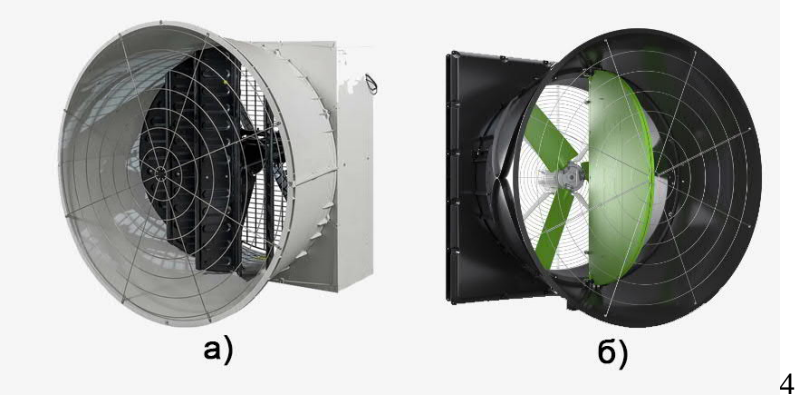
Спрямо конструкцията на перките, вентилаторите могат да се разделят на аксиални или радиални (центробежни). Има вентилатори с или без клапи за затваряне на отвора. Те могат да бъдат без възможност за регулиране на скоростта, със стъпково регулиране или с възможност за безстепенно регулиране. В последните години се появиха и т.н. смарт вентилатори [45].

На фигура 2.10 [44] са показани нерегулируеми аксиални вентилатори с автоматично отваряне на жалузите или клапите.

Фигура 2.10 Нерегулируеми аксиални вентилатори с автоматично отваряне Big Dutchman а) AirMaster 140C с жалузи, б) AirMaster Flex 140C с клапа.

Предимството на тези вентилатори е по-ниската им цена спрямо тези с възможност за регулиране. Имат автоматичното отваряне на жалузите или клапата от въздушното течение, като те са снабдени с противотежести за минимално съпротивление по време на работа. При втория вариант има възможност за аварийно отваряне на клапата [44].

Вентилаторите с възможност за регулиране на оборотите (Фигура 2.11) [44] са по-скъпи не само заради двигателите, но и заради допълнителното задвижване на клапите или жалузите. Те не могат да се отварят сами, защото при ниски обороти въздушното течение не е достатъчно силно. От друга страна те позволяват по-прецизно регулиране на вентилацията и при определени условия са по-енергоефективни [44,45].




4

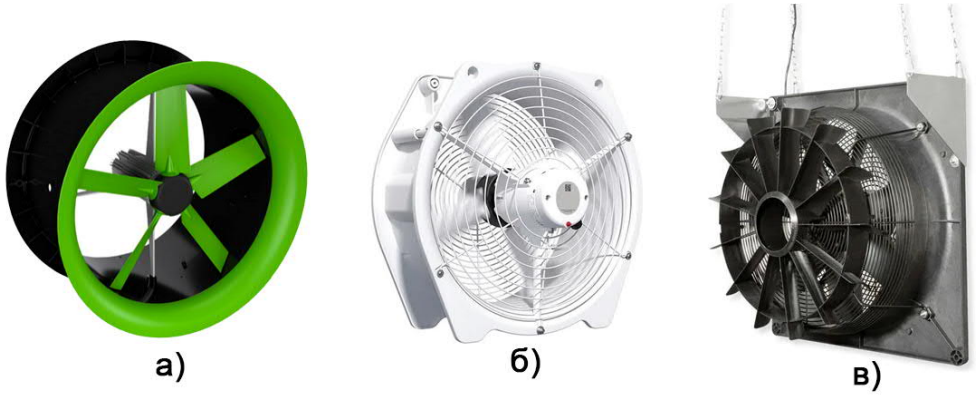
Фигура 2.11 Вентилатори с безстепенно регулиране а) с жалузи Big Dutchman AirMaster Blue 130C б) с клапи I-Fan 145 Xtra.

Радиалните вентилатори (Фигура 2.12) [47] се използват когато има по-голямо въздушно съпротивление, най-често в системи от въздуховоди. Осигуряват високо налягане до 1500 Pa, и дебит до 100 000 $m^3$. Двигателя може да е монтиран както във вентилатора, така и да бъде външен с ремъчна предавка [47].

Фигура 2.12 Радиални вентилатори за монтаж във въздуховоди Lion King а) с вграден двигател б) за външен двигател.

Циркулационните вентилатори (Фигура 2.13) [44,45] осигуряват движението на въздуха вътре в сградата. Чрез тях се постига равномерно движение на въздуха и премахване

на мъртви зони при големи сгради. Тяхната работа е особено важна когато вентилаторите за свеж въздух са изключени или работят на минимум през студените периоди. Те оказват важна роля в икономията на разходи за отопление, като свалят топлия въздух от горната част на помещенията. Те също могат на бъдат с или без регулация, като най-често се използват два типа монтаж. Неподвижно монтирани или висящи. При вторите вентилаторите се закачат в горния им край на две или четири вериги. Когато работят на ниска мощност, те висят вертикално, а въздушното течение се движи хоризонтално. С увеличаване на мощността им те започват да се накланят от въздушната струя която от хоризонтална се променя към вертикална. В зависимост от това дали се използват две или четири вериги и разстоянието между предните и задните вериги може да се регулира тяхното накланяне и съответно промяната на посоката на въздушната струя спрямо мощността [44,45,46].




Фигура 2.13 Циркулационни вентилатори а) неподвижен Fancom, б) неподвижен Big Dutchman 4E45, в) окачен на вериги Big Dutchman FCO-050-4EQ.

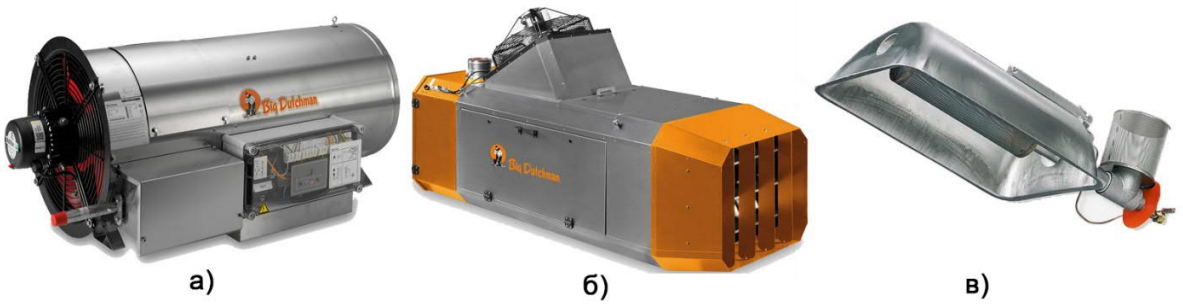
Вентилаторите от смесен (Фигура 2.14) [44] тип представляват комбинация от клапа за свеж въздух и вентилатор.

Фигура 2.14 Вентилатор от смесен тип Big-Dutchman.

Вентилатора нагнетява свежия въздух през разпределителя в помещението. Оборудван е с дроселова клапа, разположена над вентилатора, като чрез нея се регулира количеството засмукан въздух. В зависимост от положението на клапата (вертикално или хоризонтално) в помещението се доставя до 100 % свеж въздух или циркулира до 100 % оборотен въздух. При всички други позиции на клапата, свежият въздух се смесва с въздуха от помещението. Последният се засмуква в комина през процеп с ширина 10 см. По този начин в зависимост от изискванията за вентилация в конкретното помещение, може да се осигури свеж, смесен или обработен въздух[44].

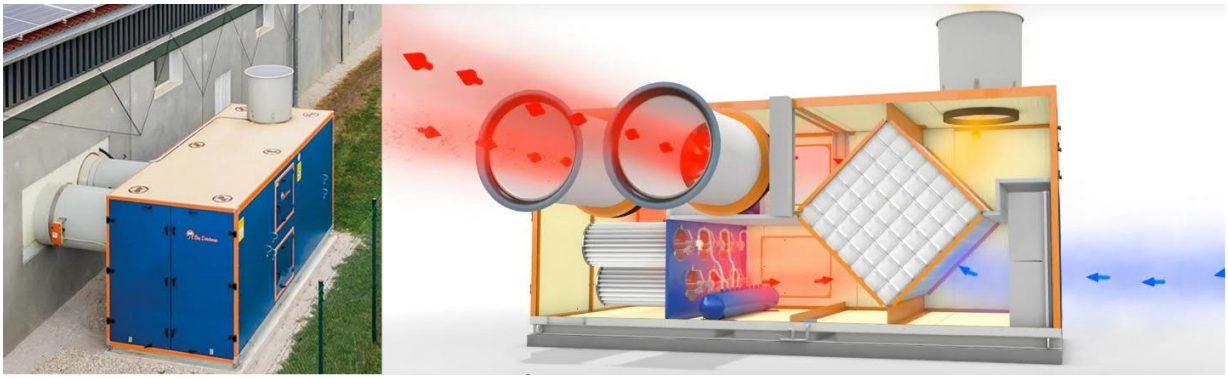
Така наречените смарт вентилатори представляват вентилатори с възможност за регулиране с или без клапи, които са оборудвани със собствен управляващ блок, сензори за температура, влажност и сензор за вредни газове, най често за въглероден диоксид. При загуба на управляващ сигнал от системата, вентилатора може сам да се включва и регулира скоростта си спрямо отчетните параметри. Това позволява в случай на аварийна ситуация при повреда на системата за управление да се гарантира достъпа на свеж въздух в сградата. Смарт вентилаторите могат да бъдат оборудвани и с акумулатор, който да осигури захранване за определено време и при отпадане на основното захранване [45].

На пазара могат да се намерят различни системи за отопление. Освен конвенционалното парно отопление с радиатори или лири, има различни методи за отопление. На фигура 2.15 [44] са показани различни варианти на газово отопление. Газовите горелки с пълно отдаване на топлината имат най-голямо КПД спрямо другите газови отоплители, но образуват въглероден двуокис при изгарянето и влошават качеството на въздуха [44]. Те са подходящи за помещения в които вентилацията е по-интензивна. Горелките с индиректно изгаряне имат затворена горивна камера, като изгорелите газове се отстраняват през комин. Те имат по ниско КПД, но не влошават качеството на въздуха и са подходящи за всякакъв вид помещения [44]. Горелките за инфрачервено лъчисто отопление се използват главно при отглеждане на пилета, като при тях топлината се насочва към определена зона, а температурата на въздуха в помещението може да се подържа по ниска, от което се получава икономия на енергия за отопление [44,45,46].



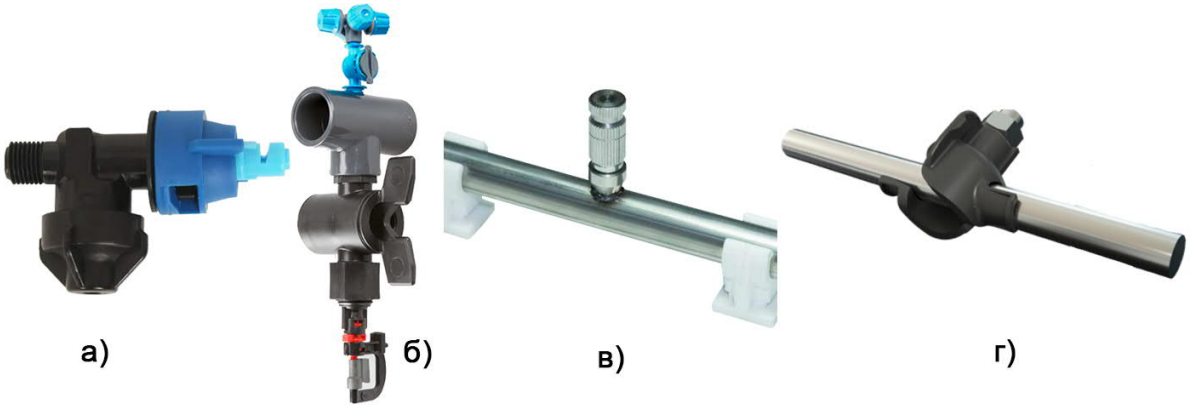

Фигура 2.15 Газови отоплители Big-Dutchman а) с пълно отдаване на топлината, б) с индиректно изгаряне, в) за инфрачервено лъчисто отопление.

През последните години все по-често се използват Системи за отопление с топлообменници (Фигура 2.16) [44] в животновъдните ферми. При тях разходите за отопление може да се намалят с над 50% [44]. Принципа им на работа е следния. Топлия отработен въздух, който се извежда от помещенията, минава през топлообменника и нагрява студения въздух без да се смесват. След това студения въздух се нагрява допълнително и се въвежда в помещението. Тези системи могат да бъдат оборудвани с филтри за отработения въздух, като по този начин се намаляват изпусканите в атмосферата емисии на амоняк, неприятните миризми и финитe прахови частици.



Фигура 2.16 Система за отопление с топлообменник Big Dutchman Earny 2.

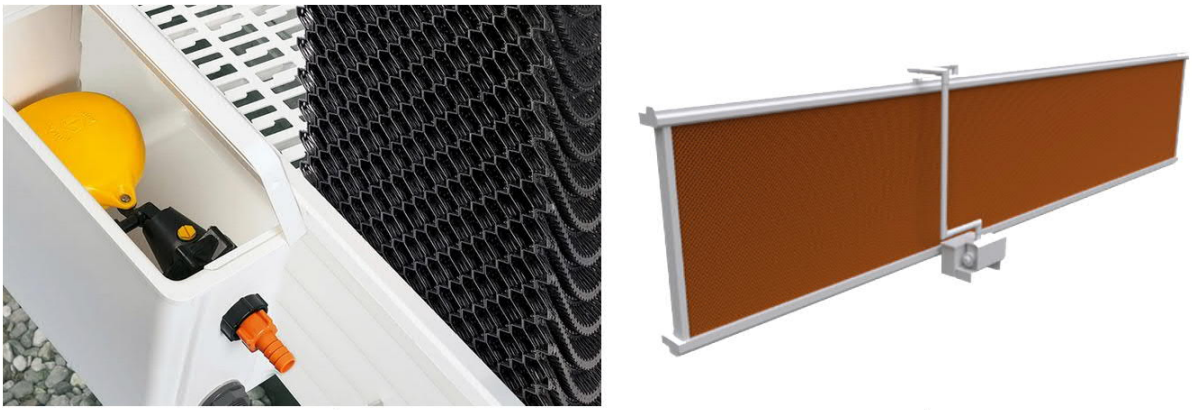
Пръскачките (Фигура 2.17) [46,48] се използват за охлаждане на въздуха и контролиране на влажността в помещенията, за директно намокряне на животните с цел охлаждане, за разкисване на засъхнала мръсотия по стените и пода, както и за дезинфекция на помещенията [46,48]. Могат да се използват в птицеферми, свинеферми и кравеферми като основното им предимство спрямо други системи за охлаждане е по-ниската цена. Те са най-ефективни при сух климат и високи температури.




Фигура 2.17 Пръскачки а) пръскачка ниско налягане за дезинфекция и охлаждане на крави, б) комбинирана пръскачка ниско налягане за охлаждане и намокряне Meier-Brakenberg MBWeich200, в) пръскачка високо налягане за охлаждане Meier-Brakenberg, г) пръскачка високо налягане за охлаждане SKOV.

Като недостатъци може да се посочат чести запушвания на дюзите при използване на варовита вода, дори и да е филтрирана, както и това, че при висока влажност не трябва да се използват, защото тогава не може да се изпари цялото количество вода. В зависимост от ситуацията може да се стигне до умокряне на постелята и влошаване на условията в помещенията. Пръскачките ниско налягане могат да се свържат директно към водопровода ПВЦ тръби, като работното има налагане трябва да бъде над 3,5 bar, а за пръскачките високо налягане е необходима система от тръби от неръждаема стомана, както и помпа с работно налагане около 70 bar. Но за сметка на по-скъпата първоначална инвестиция, се поучава много фино разпръскване на водата което води до по-добро изпарение и по висока ефективност.

Изпарителните охладителни пити (Фигура 2.18) [44,46] намират широко приложение в различни видове стопанства, като се използват при тунелната вентилация. Те се монтират на тунелните входове като принципа им на работа е следния. В горния им край се обливат с вода, като така се умокрят целите пити. При преминаване на въздуха през тях, водата се изпарява и се получава охлаждане на въздуха без в него да остават водни капки които могат да намокрят постелята и да влошат условията в помещението. Най-често изпарителните охладителни пити са направени от целулоза [46], която попива водата, но вече има и такива направени от пластмаса [44]. Те имат по дълъг живот, могат да се почистват по-лесно и предотвратяват възможността в тях да се заселят гризачи.



а) б)

Фигура 2.18 Изпарителна охладителна пита а) от пластмаса Big Dutchman, б) от целулоза SKOV DA 150B.

### 2.1.2 Сензори

Сензорите които масово се използват за контролиране на микроклимата в животновъдни ферми следят само някой от параметрите на средата. Това са сензори за температура и относителна влажност RH, като обикновено е един комбиниран сензор, сензор за амоняк $NH_3$, за въглероден диоксид $CO_2$, за налягане, за скорост на движение на въздуха и за осветеност. Дори световни лидери в автоматизацията не използват сензори за постоянно наблюдение на въглероден оксид CO, метан $CH_4$, сероводород $H_2S$ и фини прахови частици [44,45,46]. В такъв случай, за да се гарантира отсъствието им е необходимо

вентилацията да работи на по-висока мощност а от там спада и енергийната ефективност. На фигура 2.19 [49] и фигура 2.20 [49] са показани сензори на фирма Dol, които се използват в системите на различни доставчици на автоматизирани системи за животновъдни ферми [44,45,46,49].

Фигура 2.19 сензори Dol а) за температура и относителна влажност RH - DOL114 б) за въглероден диоксид $CO_2$ - DOL119 в) за амоняк $NH_3$ - DOL53.

Те са специализирани в областта на селското стопанство, надеждни са, но с доста висока цена.

Фигура 2.20 сензори Dol а) за осветеност - DOL16 б) за температура - DOL12 в) за диференциално налягане – DOL18, г) за посока и скорост на движение на въздуха и атмосферно налягане – DOL58.

2.1.3 Компютри за управление на микроклимата в животновъдни ферми

На пазара съществуват разнообразни решения за управление на микроклимата в животновъдните ферми. В едната крайност управленията варират от системи за управление на 1 помещение с възможност за включване на няколко сензора за температура, при което спрямо нея може да се включва или изключва отопление и охлаждане, а мощността на вентилацията се настройва ръчно и не се коригира от измерената температура. В другата крайност са системи с многозонов контрол, възможност за включване на сензори за вътрешна и външна температура, относителна влажност RH, скорост на движение на въздуха, за наличие на амоняк $NH_3$ и въглероден диоксид $CO_2$, осветеност, измерване на

потребление на вода, тегло на животните и други. Те могат да контролират мощността на отоплението, охлаждането, вентилацията за да балансират температурата. Могат да контролират относителната влажност RH чрез вентилацията и пръскачките, управляват подаването на храна, регулират осветлението. Могат да се управляват дистанционно и съответно да активират аларми при установяване на нередност [44,45].

Като примери за такива системи могат да се дадат управляващите компютри на фирма Fancom и на Big Dutchman, защото те илюстрират двете основни стратегии за управление. Fancom предлага две основни групи компютри за управление. Първите са от по-нисък клас, с възможност за частично контролиране на параметрите на едно помещение. Вторите имат възможност да управляват до 24 помещения в една сграда плюс контрол на централна вентилация. Big Dutchman предлагат компютри от висок клас които са предназначени да управляват само едно помещение, но могат да бъдат свързани посредством мрежа и софтуер към персонален компютър от който да бъде извършвано управлението на цяла сграда. Компютрите на Fancom също могат да бъдат свързани в мрежа с помощта на специализиран софтуер и да бъдат управлявани дистанционно. На фигура 2.21 [44], фигура 2.22 [45] и фигура 2.23 [45] са показани възможностите за свързване на сензори, както и какво може да се управлява от системата съответно на Big Dutchman и на Fancom.

| Преглед на функциите | |
|---|---|
| Свеж въздух: | 4 входа за свеж въздух |
| Отработен въздух: | 2 въздушни групи с безстъпково регулиране |
| | 8 въздушни групи Вкл/Изкл |
| | 2 рециркулиращи въздушни групи |
| Отопление: | 2 x аналогови или Вкл/Изкл групи |
| Охлаждане: | 1 x охлаждане |
| Аварийно отваряне: | температурно контролирано аварийно отваряне, аварийно реле |
| Сензори: | 4 сензора за вътрешна температура |
| | 1 сензор за външна температура |
| | 1 сензор за вътрешна относителна влажност PH |
| | 1 сензор за външна относителна влажност PH |
| | 1 сензор за налягане |
| | 1 сензор за въглероден диоксид CO2 |
| Таймери: | до 6 таймера |
| Вода: | 1 водомер |
| | 2 x промиване с вода |
| Храна: | 2 x силозно претегляне |
| Осветление | до 3 осветителни групи |
| Претегляне: | до 2 везни |

Фигура 2.21 Възможности за свързване на компютър за управление Big Dutchman Vento III.

## Компютри за управление Fancom

| | Aura 12 | Aura 14 | Lumina 17 | Lumina 20 | Lumina 21 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Брой помещения** | | | | | |
| Брой помещения/секции | 1 | 1 | 1 | 24 | 24 |
| **Сензори** | | | | | |
| Температура | 3 | 3 | 24 | 288 | 288 |
| Относителна влажност РН в помещението | - | - | 1 | 24 | 24 |
| Налягане | - | - | 1 | 24 | 24 |
| Амоняк $CO_2$ | - | - | 1 | 22 | 22 |
| Външна температура | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Относителна влажност РН външна | - | - | 1 | 1 | 1 |
| Скорост и посока на вятъра | - | - | 1 | 1 | 1 |
| Скорост на движение на въздуха в помещението | 1 | 1 | 1 | 24 | 24 |
| Водомер | 3 | 3 | 32 | 32 | 32 |
| **Управление** | | | | | |
| Механична вентилация | 1 | 1 | 3 | 72 | 72 |
| Отопление | 1 | 1 | 4 | 96 | 96 |
| Охлаждане | 1 | 1 | 1 | 24 | 24 |
| Овлажняване | - | - | 1 | 24 | 24 |
| Отопление вода | - | - | 1 | 1 | 1 |
| Ценкрален канал | - | - | - | 1 | 1 |

Фигура 2.22 Възможности за свързване на компютри за управление Fancom серии Aura и Lumina.

Двете системи имат прилики и разлики които е необходимо да се разгледат, за да се добие ясна представа за начина на управление на микроклимата. И при двете системи е заложен принципа на минимална и максимална вентилация. Минималната вентилация се базира на необходимото количество свеж въздъх в $m^3/h$ за едно животно спрямо възрастта му. Необходимо е задаване на броя на животните в даденото помещение и възрастта при

настаняване, като и двете системи имат часовници, отчитащи промяната на възрастта и автоматично коригират параметрите, спрямо предварително зададени таблици.

## Компютри за управление Fancom

| | Aura 12 | Aura 14 | Lumina 17 | Lumina 20 | Lumina 21 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Часовници** | | | | | |
| Часовник за хранене | - | - | 1 | 24 | 24 |
| Стандартен часовник | - | - | 4 | 24 | 24 |
| История | - | - | 1 week | 1 week | 1 week |
| **Сигнални функции** | | | | | |
| Външни аларми | - | - | 4 | 28 | 28 |
| Детекция на пожари | - | - | 1 | 25 | 25 |
| **Управление** | | | | | |
| Управление на животни | - | - | √ | √ | √ |
| Температурни криви | - | 1 | 1 | 5 | 5 |
| Регистриране на групи | - | - | 4 | 48 | 48 |
| Вентилационни криви | - | 1 | 1 | 5 | 5 |
| **Начин на управление** | | | | | |
| Екран с докосване | √ | √ | √ | √ | √ |
| Голям екран | | | | | |
| Софтуер и връзка с PC | √ | √ | √ | √ | √ |
| Отдалечен достъп чрез приложение | √ | √ | √ | √ | √ |

Фигура 2.23 Възможности за свързване на компютри за управление Fancom серии Aura и Lumina.

За да работят коректно е необходимо всеки ден в тях да се записват промени в броя на животните ако има такива, и смъртните случай. Максималната вентилация се настройва на база на вида и възрастта на животните в дадено помещение, като тя се съобразява с нормите за съответното животно. Системите контролират вентилацията между минималната и максималната в зависимост от вътрешната и външната температура и

относителната влажност RH. Реално при системата на Big Dutchman вентилацията не зависи от качеството на въздуха, защото тя не се променя в зависимост от измерените въглероден диоксид $CO_2$ и амоняк $NH_3$. При наличие на концентрация над нормите системата активира аларма при което персонала трябва или да увеличи минималната вентилация, или да подобри почистването за да се спре превишаване на допустимата концентрация. Докато при някои системи, като тази на Fancom, системата автоматично повишава минималната вентилация през определени стъпки и определено време, като съответно и увеличава отвора на клапите до достигане на допустима концентрация на съответните газове. От тук следва и основната разлика в принципите на работа на двете системи. Системата на Big Dutchman работи с настройката на т.н. матрици при които например за определена температура в помещението съответства определена степен на вентилацията, като в случая са 64 стъпки между минималната и максималната зададена. Съответно от температурата чрез други матрици се определя дали да се включи отопление или охлаждане. Има матрици за относителната влажност RH, които също могат да увеличат отоплението, да спрат изпарителното охлаждане или да повлияят на вентилацията по предварително зададени стъпки. Системата на Fancom работи по следния начин. Вместо матрици, в нея се задават криви които по подобен начин контролират изпълнителните механизми. Разликата е, че при тази система се работи с потоци на влияние. Например, ако температурата в помещението е в норма, но относителната влажност RH не е, системата променя вентилацията и отоплението или охлаждането с определена стъпка за дадено време за да влезе относителната влажност в зададените норми. Ако това не се случи след като изтече времето, системата увеличава влиянието си с още една стъпка. Това се случва или докато параметрите се вкарат в норма, или докато системата достигне предварително зададената максимална стойност за даденото влияние. Външната температура също може да приложи влияние на вентилацията. Двете влияния или повече ако има такива могат да се сумират или ако са с обратна посока да се извадят и накрая се променя дадения параметър като промяната също има предварително зададена максимална стойност. Дори и сумата от влиянията да е по голяма, за дадения период се изпълнява максимално зададената стойност на влиянието.

## 2.2 Съществуващи методи за поддържане на средата и управление на аквапонични системи

Когато става въпрос за автоматизация в съществуващите и предлагани на пазара в момента аквапоничните системи, можем да кажем , че тя е в началото на развитието си. Аквапоничните системи вече са обстойно изследвани, като е събрана достатъчна информация, която позволява да бъдат създадени системи за управление на основните параметри на средата, но на практика такива почти не съществуват. Системите за аквапоника които се предлагат от реномирани световни марки с дългогодишен опит предлагат минимална автоматизация като параметрите които се следят автоматизирано се изчерпват с измерване и регулиране на температурата на водата в резервоарите и температурата на въздуха в помещението в което се намира системата. Някои доставчици на оборудване за аквапониката предлагат и уреди за следене на pH, които имат възможност за подаване на сигнал към автоматизираната система за наблюдение. При други се измерва

и външна температура на въздуха. Следи се потока на водата чрез дебитомери за да се гарантира необходимия дебит или чрез сензори за налягане се проверява дали работи въздушната помпа. Разработени са автоматизирани хранилки, но настройката се свежда до задаване конкретни часове за хранене и подаване на фиксирано количество храна. Има системи които при засичане на някакъв вид проблем като прекъсване на захранването, промяна на температурата над зададените граници, липса на дебит на вода или въздух могат да подадат алармен сигнал чрез телефонно обаждане, SMS или имейл. Останалите параметри на средата като твърдост на водата, разтворен кислород, въглероден диоксид $CO_2$, амоняк $NH_3$, амоний $NH_4-$, нитрити $NO_2-$ и нитрати $NO_3-$ се следят ръчно чрез тестови комплекти с реактиви и лакмус ленти.

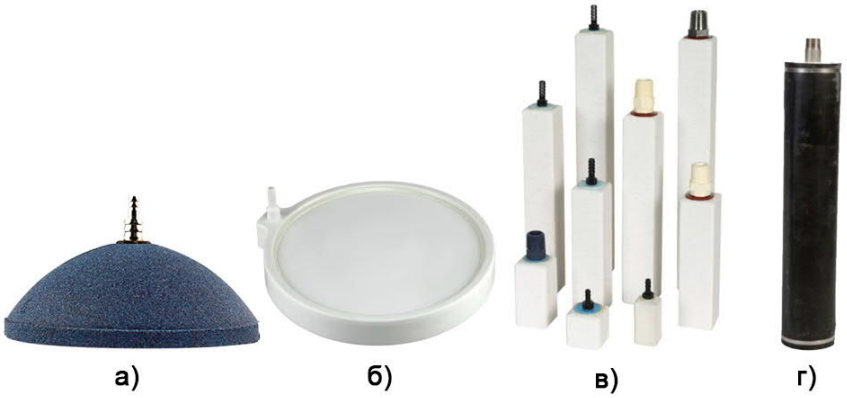
През последните години с развитието на сензорите се появиха доста научни разработки които следят автоматизирано параметрите на средата в аквапоничните системи, но без да се прилага автоматичното им регулиране с изключение на температурата. По-долу са показани някои примери за съществуващи системи и разработки отнасящи се основно за DWC системите.

### 2.2.1 Изпълнителни механизми

На фигура 2.24 [50] са показани въздушни помпи за аериране на водата. Много важно е те да се подберат правилно, за да осигурят необходимото количество разтворен кислород (Dissolved Oxygen – DO). Помпите основно се делят на два вида спрямо конструкцията им. Първите са бутални, а вторите са турбинни. Те основно се използват в по-големи водни резервоари, по-скъпи са и с по дълъг живот. Буталите помпи от своя страна са сравнително по-евтини, но имат ограничен във времето ресурс поради износване на буталата и сегментите им. В съществуващите на пазара аквапонични системи въздушните помпи работят непрекъснато, а разтворения кислород DO не се измерва постоянно. Като се има в предвид, че DO зависи от количеството на отглежданата риба, от микробната контаминация и количеството попаднала светлина във водния резервоар [32] , DO се променя непрекъснато през денонощието. За да се гарантира необходимото количество на разтворения кислород трябва да се подбере достатъчно голяма помпа, което от своя страна влошава енергийната ефективност на системата, спрямо система с контролиране на работата на помпата.

Фигура 2.24 въздушни помпи за аериране на вода а) и б) бутални б) турбинна.

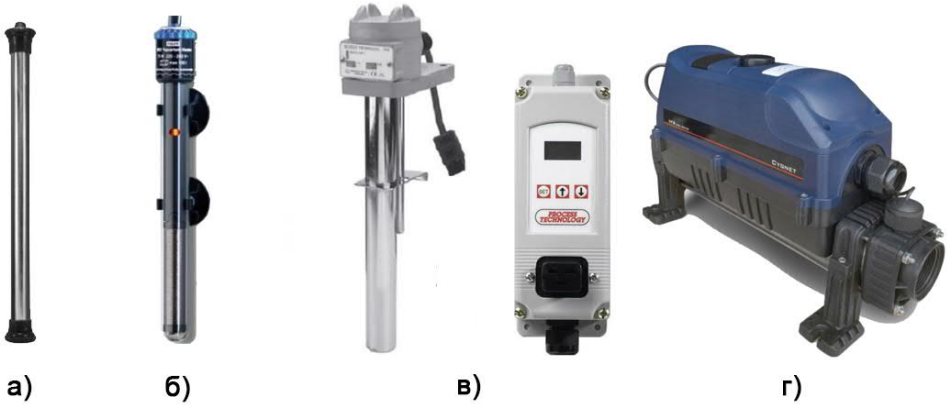
За да бъде ефективна системата и за да може повече кислород да преминава от балончетата въздух във водата е необходимо те да са възможно най-малки [32]. За тази цел се използват дифузери (Фигура 2.25) [50,51]. Те могат да бъдат направени от различни порести материали като вулканичен камък например. Могат да бъдат изработени също от различни видове пластмаса, керамика или метал. Дифузерите с по-малки отвори са по ефективни, но за тях е необходимо по-високо налягане на въздуха. Освен това се запушват по лесно и е необходима по-честа профилактика [32].




Фигура 2.25 дифузери а) от вулканичен камък б) от керамика в) от полиетилен г) от ABS пластмаса.

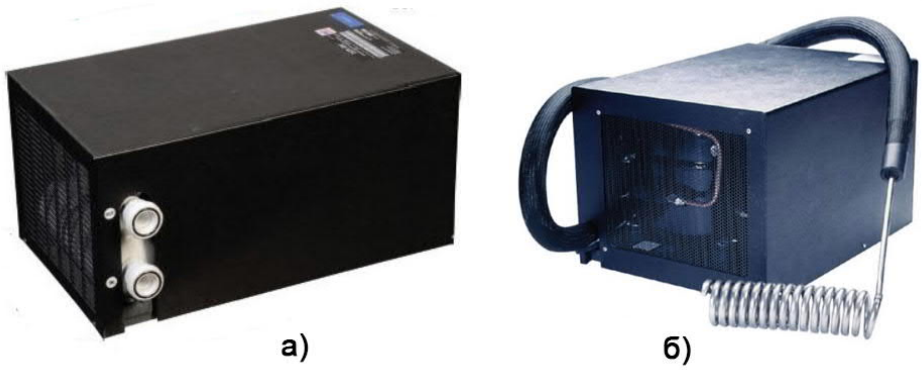
Аквапоничните системи са така проектирани, че за циркулацията на водата да се използва една помпа, която качва водата от най-ниската точка на системата, до най-високата. По останалата част от системите водата се движи по гравитачен път. Циркулационните помпи могат да бъдат от всякакъв вид, но основно се използват такива за голям дебит и с нисък воден стълб, защото в случая са най-ефективни.

За поддържане на температурата в аквапоничните системи основно се използват електрически нагреватели (Фигура 2.26) [50,51,52]. Често са изработени от титан, заради високата му корозионна устойчивост. Нагревателите могат да бъдат оборудвани със сензори за температура, а някой са оборудвани и с контролер. Може да се монтират потопени в резервоарите или на тръбния път на циркулиращата вода [50,51,52].



Фигура 2.26 Нагреватели а) титаниев TH-C800 800W б) Jager EHEIM 300W с вграден терморегулатор в) Pentair EASYPLUG с мощности до 6000W с вграден сензор за температура и външен контролер г) проточен титаниев Pentair TILO-- с мощност до 18kW.

При по-студен климат е по-изгодно да се използват термо помпени инсталации което позволява разхода за отопление на вода да се намали значително, но при по-висока първоначална инвестиция. Термопомпите могат и да охлаждат водата, което е от съществено значение при отглеждане на студеноводни риби които не могат да се отглеждат ефективно при температури над 18°C [32]. Термопомпите могат да се използват и за големи резервоари, като типично се предлагат такива с мощност до 21000 BTU [50]. На фигура 2.27 [50] освен термопомпа е показан спирален охладител за вода тип чилър при който охлаждането е посредством спирала потопена във водата. При него е необходимо да има достатъчна циркулация на водата около спиралата, за да не замръзне. Това се постига или като се монтира до тръбата на входящата в резервоара вода, или над дифузера за обогатяване на водата с кислород. Спиралните охладители не са подходящи за големи басейни поради ограничението в мощността им обикновено до около 6000 BTU.



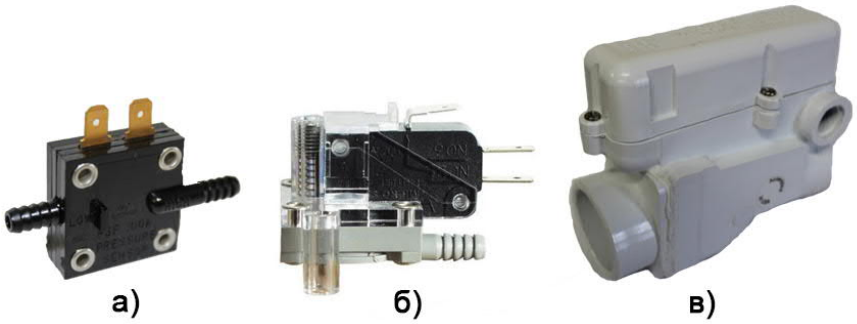

Фигура 2.27 а) Термопомпа въздух вода Pentair DSHP-4 4000BTU б) Спирален охладител Pentair AE3D 3000BTU.

За храненето на рибите се използват автоматични хранилки които могат много точно да дозират храната (Фигура 2.28) [50,51]. При съществуващите системи хранилките се управляват само по таймер който задава часовете от деня и продължителността на подаването на храна. При някои системи на пазара, те могат да се контролират от обикновени таймери, а при други – от специализирани компютри които следят и управляват част от параметрите на средата както и следят за различни видове аларми. Вибрационните хранилки са подходящи за всякакъв вид храна, като дори и по-мазни храни преминават без да запушват хранилката. Хранилките с ротационен валяк имат много точно подаване на количеството храна, а хранилките с разпръсквач са подходящи за по-големи площи, защото не изсипват храната на едно място.

Фигура 2.28 а) Вибрационна хранилка Pentair б) Хранилка с ротационен валяк Arvo-Tec T Drum 2000 в) хранилка с шнек и разпръсквач Fiap.

2.2.2 Сензори

За наблюдение на работата на въздушната помпа и на водната циркулационна помпа се използват дебитомери (Фигура 2.29) [50]. В общия случай те са оборудвани с един брой нормално отворен или превключващ контакт, който сработва при преминаване съответно на въздух или вода през тях. Има и такива при които дебита на сработване може да се регулира, като така може да се установи не само дали помпата е спряла или работи, а дали има запушване на дифузера например. При сработване те подават сигнал за аларма към управляващия контролер [50,51].




Фигура 2.29 а) Дебитомер за въздух Pentair б) Дебитомер за въздух Pentair с регулиране на потока на сработване в) Дебитомер за вода Nelson and Pade.

Предлагат се също и сензори за следене на pH (Фигура 2.30а) ) [53] които имат възможност за подаване на аларма когато стойността превиши или падне под определена стойност. Алармата може да активира сигнална лампа, сирена или да бъде подадена към системата за мониторинг на аквапоничната система [50,53]. Други сензори използвани в аквапониката измерват pH чрез сонди монтирани на определено разстояние една от друга или в тръбата по която циркулира водата (Фигура 2.30 б) ) [54].

Фигура 2.30 Сензори а) сензор за pH Milwaukee MC 122 б) Сензор за pH, температура и електро проводимост EC, Agrowtek SXHM.

2.2.3 Компютри за управление на аквапонични системи

Таймерите за управление на хранилките (Фигура 2.31) [50] които се използват са разновидни, като могат да бъдат обикновени таймери с възможност за настройка на времето и продължителността на включване, до специализирани таймери които могат да управляват една или няколко хранилки [50]. Също един таймер може да управлява няколко хранилки едновременно.

Фигура 2.31 а) Таймер за вибрационни хранилки Pentair DFT3 б) Контролер за управление на до 4 хранилки Fiap Proficontrol.

Като система за мониторинг и отдалечен достъп голяма част от доставчиците на оборудване за аквапониката използват контролер Sensaphone 800 (Фигура 2.32) [50,51] който има възможност за следене на няколко температури и входове за различни аларми. При превишаване на настроения лимит или получаване на аларма от конкретен сензор, дебитомер или друго, контролера може да се обади по телефон на предварително настроени номера, като изпрати различни записани гласови съобщения, в зависимост от алармата която го е задействала. Контролера позволява и дистанционна промяна на настроената температура.

Фигура 2.32 Контролер за дистанционен мониторинг Sensaphone 800.

2.2.4 Примери за съществуващи научни разработки на системи за мониторинг и контрол в аквапониката

С развитието на интернет на вещите (IoT – Internet of Things) и появата на достъпни електронни сензори се появиха доста разработки за непрекъснат мониторинг и отдалечен достъп до информацията, които включват и частичен контрол върху аквапоничните системи.

Разработена е система за мониторинг на аквапонична система [55] в която е установено, че метаболизма на рибите е пряко свързан с количеството кислород което консумират. От друга страна при активно движение на рибите, консумирания кислород нараства, което води до намаляване на разтворения кислорода DO във водата [55]. Активното движение на рибите е пиково за периода от преди, по време и след храненето, за около 15 до 30 минути [55]. Като се вземе това в предвид е необходимо новото на DO да се следи по време на активното движение, а не само когато рибите са в покой.

При друга система за контрол и мониторинг [56] се измерват pH, ниво, температура и електропроводимост EC на водата, общо количество разтворени соли TDS, амониеви $NH_4+$, нитритни $NO_2-$ и нитратни $NO_3-$ йони. Системата също измерва и температура, относителна влажност RH и въглероден диоксид $CO_2$ на въздуха, както и осветеност. Тя използва NodeMCU контролер за отчитане и управление. Но самото управление на аквапоничната система се изчерпва само с контролиране на циркулационната помпа и контролиране на електропроводимостта на водата, както и концентрацията на амоняка, като не е обяснено как е реализирано самото управление. Споменато е, че тази система може да контролира също температурата, относителната влажност RH, въглеродния диоксид $CO_2$ , както и осветеността в помещението.

При някои системи реализирани със същия контролер NodeMCU [57] се наблюдава единствено мониторинг на параметри като pH, температура на водата, разтворен кислород DO и концентрацията на амоняк $NH_3$. Докато първите три параметъра се отчитат директно чрез сензори, амоняка се отчита посредством тестова лента потопена във водата като се наблюдава от сензор за определяне на цвета. Това разбира се налага смяна на тестовата лента при превишаване на зададената концентрация на амоняка, защото при последващо намаляване лентата не възстановява цвета си. Системата е уеб базирана, като параметрите

могат да се наблюдават през приложение на устройство с Android, като при излизане на някой от измерените параметри извън зададените граници системата изпраща съобщение за аларма.

Друга система за контрол и мониторинг [58], освен че управлява водната помпа и осветеността има възможност и за автономно хранене на рибите. Тя отчита температурата, pH и нивото на водата, като данните могат да се преглеждат от уеб страница подържана от Raspberry Pi.

### 2.3 Обобщение

При обстойния преглед на използваните в животновъдните ферми различни типове крайни управляващи устройства и изпълнителни механизми за управление на микроклимата, се установи, че на пазара се предлага голямо разнообразие от тях. Освен, че има много производители на такова оборудване, всеки един от тях предлага широка гама от номенклатури за изпълнение на различни проекти. Това включва различни видове стенни, таванни и коминни вентилационни клапи както и устройства за управлението им, вентилатори, системи за отопление и охлаждане, за дезинфекция и др. Има също и голямо разнообразие от сензори, като специализираните за използване в животновъдни ферми се предлагат на сравнително високи цени. От другата страна са компютърните системи за управление на микроклимата. Различните производители предлагат широка гама от такива, но при избора на повечето от тях е необходимо предварително да се предвидят всички канали за сензори и крайни устройства които ще са необходими. Системите нямат възможност за допълнително разширяване в бъдеще, а цената на многоканалните системи е твърде висока и е пречка за внедряването им в малки и средноголеми стопанства.

При прегледа на съществуващите системите за управление на средата в аквапонична система се установи, че на пазара не се предлагат такива които да предлагат пълен контрол, а се използват системи за следене на част от необходимите параметри. Останалите се следят не автоматизирано, чрез измерване най-често с лакмус ленти. Въпреки че има някой разработки за системи за частичен контрол на средата в аквапонични системи, те са далеч от желания резултат за постигане на баланс и управление без да са необходими специализирани познания за аквапониката.

В тази насока би било добре да се разработят повече системи за управление на средата, които са модулни, могат лесно да се надграждат както с разширение броя и вида на управляваните параметри, така и с възможност за променяща се логика на управление. Това ще ги направи леснодостъпни и за по-широк кръг потребители. За тази цел е необходимо първо де се създаде концепция с необходимите изисквания за реализирането на такава система.

# ГЛАВА 3. Разработване на концепция с изисквания за създаване на КФС за интелигентно управление на комплекси за отглеждане на животни

## 3.1 Дефиниции на Кибер физична система

Общата архитектура на Кибер-физичната система (КФС) включва модели на физически процеси, модели на софтуер, изчислителни платформи и мрежи. Веригата за обратна връзка между физическите процеси и изчисленията обхваща сензори, задвижващи механизми, физическа динамика, изчисления, софтуерно планиране и мрежи с конкуренция и забавяне на комуникацията [59]. Кибер-физичните системи са интеграции на изчислителни и физически процеси. Вградените компютри и мрежи наблюдават и контролират физическите процеси, обикновено с обратна връзка, където физическите процеси влияят на изчисленията и обратно [60]. Има много определяния за това какво представлява една КФС. Тя включва множество компоненти и слоеве. В нея се преплитат физически и виртуални компоненти, като се започне със сензори, хардуерни компоненти, изпълнителни механизми, съответно и подходящ софтуер. Използват се различни видове телекомуникационни мрежи чрез които се осъществява връзка между компонентите. Включват се различни подходи от кибернетиката, мехатрониката и вградените системи. Но за разлика от тях една КФС обикновено представлява мрежа от взаимосвързани взаимодействащи елементи с физически вход и изход.

## 3.2 Изисквания към КФС

За реализирането на КФС пригодна за управление на комплекси за отглеждане на животни е необходимо да се разгледат необходимите компоненти с конкретните изисквания към тях. Компонентите могат да бъдат физически или виртуални, като за целта трябва да бъдат внимателно анализирани всички фактори на външно и вътрешно влияние върху тях. За тази цел може да се подходи като се определи ред при който можем да реализираме една КФС за нуждите на съответното животновъдно стопанство. По долу са описани необходимите стъпки, като в случая те са валидни за КФС за поддържане на средата ( микроклимата) в едно стопанство.

### 3.2.1 Определяне на параметрите които могат да се контролират

За едно животновъдно стопанство това най-често са температура и скорост на движение на въздуха в помещенията, относителна влажност, осветеност и наличие на вредни газове като амоняк $NH_3$, сероводород $H_2S$, въглероден оксид CO, въглероден диоксид $CO_2$ и метан $CH_4$. Може също да се контролира и температурата на водата в поилките например.

При отглеждането на риби или други водни животни в аквапонична система могат да се контролират параметрите на средата, като тук средата се разделя на два вида. Водна среда и заобикалящата ги въздушна среда която влияе както директно и индиректно на водната среда, така и на отглежданите риби и растения. От друга гледна точка, въздушната среда може да се разгледа като външна за системата, ако аквапоничната система е позиционирана на открито, или като част от системата, когато се намира на закрито. В първия случай,

параметри които могат да бъдат контролирани и оказват влияние на системата са параметрите на водната среда. Това са температура на водата, pH, разтворен кислород DO, твърдост на водата, (временна или т.н. карбонатна твърдост KH и постоянна твърдост GH), въглероден диоксид $CO_2$, концентрация на нитрити $NO_2-$, нитрати $NO_3-$, амоняк в двете му форми (амоняк $NH_3$ и амоний $NH_4+$), електропроводимост EC и общо количество разтворени соли TDS. Когато системата е на закрито могат да се контролират и параметрите на въздушната среда които оказват влияние на системата. Това са температура и относителна влажност на въздуха RH в помещението, наличие на въглероден диоксид $CO_2$, и ултравиолетово лъчение, което оказва влияние както на растенията и рибите, така и на бактериалното развитие във водата и на биообрастването (развитието на микро и макро водорасли)

3.2.2 Определяне на параметрите които е необходимо да се контролират автоматизирано

Това са част от изброените по-горе параметри, чието автоматизирано управление би довело до желания ефект за подобряване на производителността на животновъдната ферма или аквапоничната система. За една кравеферма например може да е необходимо да се контролират всичките изброени параметри по-горе. В птицеферма, отделяния метан например е незначителен и не е необходимо да се следи и управлява. В една аквапонична система, за да се подържа баланса също не е необходимо да се следят и управляват всички възможни параметри на средата. Трябва да се определи златната среда, в която достатъчен брой параметри се следят и управляват, което гарантира постигане на определени резултати, а от другата страна е сложността и цената на системата.

3.2.3 Определяне на параметрите на управляваната среда чиято стойност е необходимо да се знае

Те могат да бъдат различни от параметрите, чиято стойност е необходимо или може да се измерва. Някои параметри на средата не могат да бъдат измерени директно със съществуващите към днешно време електронни сензори. За да се определи концентрацията на токсичната за рибите форма на амоняка $NH_3$ например е нужно да се измери концентрацията на амоний $NH_4+$ или общото количество амоняк TAN във водата, освен това е нужно да се знае pH и температурата на водата и чак тогава може да се изчисли концентрацията на амоняка $NH_3$.

3.2.4 Определяне на параметрите които ще бъдат измервани директно чрез сензори

Те могат да бъдат както споменатите по-горе параметри, така и външни за системата параметри, които биха могли да окажат влияние на системата. Това може да е температура на въздуха извън животновъдната ферма, с която трябва да се съобрази вентилацията, външната относителна влажност RH с която да се съобразява работата на изпарителното охлаждане, посоката и скоростта на вятъра и т.н.

3.2.5 Определяне на вида на сензорите

Сензорите трябва да отговарят на определени критерии които да позволят нормалната им експлоатация.

- да имат стандартен интерфейс за комуникация които позволява надеждна връзка.

- да имат ниско ниво на отказ в условията в които ще се използват

- да имат обхват и точност която да позволява на КФС да работи коректно

- да имат кратко време за измерване съобразено с нуждите на системата

3.2.6 Определяне броя на сензорите за измерване на един и същ параметър на средата

Дублирането на сензори от един и същ вид носи няколко предимства. При големи помещения, е необходимо да се монтират сензори на няколко места, тъй като параметрите на средата могат да се различават до някаква степен в различните части на помещението. Това може да се използва и за по-добро управление на системите за контрол на средата, като целта е да се постигне равномерни условия в цялото помещение. От друга страна наличието на повече от един сензор от вид гарантира непрекъсната работа на системата дори ако някой от тях се повреди, или започне да отчита некоректни стойности.

3.2.7 Определяне на местоположението на сензорите

3.2.7.1 В животновъдни стопанства

- да се разполагат на нивото на животните (не важи за сензори които отчитат външни за средата параметри или такива които изпълняват спомагателни за системата функции)

- да бъдат защитени от пряк контакт с животните, за да не ги повредят

- да са защитени от пряка слънчева светлина

- да не се монтират непосредствено близо до входящи вентилационни отвори

-да не се монтират в ъгли и на места където няма движение на въздуха

3.2.7.2 В аквапонична система

- да се разполагат на места където има движение на водата

- да не се монтират непосредствено над аераторите или под тръбата за входящата вода в дадения резервоар.

- да не са близо до нагревателите.

- да не са изложени на пряка слънчева светлина.

- да не се монтират на дъното на резервоарите, където може да има утайки които да повлияят на отчетените данни.

- да има лесен достъп до тях, ако се наложи почистване, калибриране или подмяна.

- да бъдат защитени от повреди от рибите.

### 3.2.8 Избор на вида на свързване на сензорите към системата

Свързването на сензорите може да бъде жично или безжично. В зависимост от конкретното разположение и броя на сензори в различни точки на стопанството, ако не може или е неизгодно да се осигури добро покритие на даден вид безжична мрежа, е по-добре да се реализира жична връзка на сензорите към системата, например по Modbus или друг протокол. Ако стопанството е с големи размери, но е обособено от едно помещение е по-удобно да се използват безжични сензори или те да се свържат към контролер който да осъществи безжична връзка като Wi-fi, ZigBee, Bluetooth или друга, като така се улеснява окабеляването и се намалява времето за инсталиране на системата.

### 3.2.9 Избор на релета за управление на управляващи механизми и крайни устройства

При избора на релета трябва да се вземе пред вид не само вида на релетата, но и техните параметри. Релетата могат да бъдат конвенционални, полупроводникови (Solid-state relay – SSR) или IoT релета с вградена безжична мрежа. Вида на избраното реле се определя както от желаните параметри, удобството при окабеляването и не на последно място от цената. Ако е необходимо да се управляват няколко крайни устройства на едно място, като управлението се състои от включване и изключване на активни товари, е най добре да се изберат конвенционални релета, като те могат да бъдат управлявани през междинен модул с вградена безжична мрежа като Node-MCU например. Ако е необходимо да се извършва широчинна импулсна модулация (ШИМ) трябва да се избере SSR реле. В случай, че трябва да се управлява само едно крайно или няколко крайни устройства на дадено място, може да се използва едноканални или многоканално безжично реле като “Sonoff” например.

Релетата трябва да бъдат съгласувани спрямо техните параметри.

- Управляващо (захранващо) напрежение – освен стойността, трябва да се съгласува и дали е за постоянно или променливо напрежение, както и честотата му.

- Консумация – консумацията на релето трябва да се съобрази с максималния допустим ток на управляващия го модул. При конвенционални релета и контактори е необходимо да се вземе под внимание и пусковия ток от момента на сработване до затваряне на котвата на релето.

- Управлявано напрежение – постоянно или променливо, като управляваното напрежение трябва да бъде по-ниско или равно на допустимото за релето

- Управляван ток, или мощност. Не трябва да се превишава максимално допустимата стойност.

- Вид на товара – активен, индуктивен или капацитивен. При активен товар може да се използват всички видове релета, но ако товара е силно индуктивен, дори и при малка мощност е необходимо да се използват контактори с дъгогасящи камери, които от своя страна имат по-голяма консумация на управляващата бобина спрямо релетата. При необходимост от управление на големи мощности може да се наложи самия контактор да се управлява чрез междинно реле.

### 3.2.10 Избор на управляващи механизми

Управляващите механизми могат да са част от крайните устройства, но в някои случай могат да управляват множество крайни устройства, като за тази цел те трябва да се изберат спрямо необходимите параметри за правилното функциониране на системата. Управляващите устройства в една КФС могат да бъдат различни видове постояннотокови или променливо токови електродвигатели, стъпкови двигатели или такива които преобразуват въртеливото движение в линейно, като към тях се свързват системи от кардани, ремъчни предавки или въжета и макари които ги свързват с крайните устройства. Съответно трябва да се съобразят следните параметри:

- номинална мощност

- ъглова скорост

- въртящ момент

- диапазон на линейно преместване

- линейна скорост

- максимална сила на опън/натиск

- точност за позициониране

### 3.2.11 Избор на крайни устройства

Крайните устройства в системите за управление на животновъдни стопанства са много разнообразни. Те могат да бъдат различни видове вентилационни клапи, жалузи, щори, завеси, вентилатори за свеж въздух, циркулационни вентилатори, комини вентилатори. Други такива устройства са системи за отопление и охлаждане, различни видове автоматични хранилки, поилки, водни помпи, помпи за въздух, аератори за обогатяване на водата с кислород. Различни видове електромагнитни вентили, пръскачки на ниско и високо налягане, охладителни изпарителни пити и други, като за всички тях трябва да се подберат оптимален брой, размер, мощност, спрямо конкретните нужди на стопанството и отглежданите животни.

### 3.2.12 Избор на управляващ компютър

Управляващия компютър трябва да се подбере така, че да отговаря на определени критерии.

- да бъде достатъчно мощен, за да осигурява работа на КФС в реално време, което трябва да се провери чрез тестове

-да има достатъчно място за съхранение, необходимо за събиране на данни за продължителен период от време, които да могат да се анализират по-късно

-да има различни възможности за връзка като Enternet, Wi-Fi, Bluetooth, USB, Modbus, което позволява използване на различна периферия, сензори, силови устройства и др.

-да има часовник с реално време

-да има възможност за инсталиране на операционна система и специализиран софтуер които да позволяват управлението на КФС

- да има възможност за осигуряване на сигурна и защитена връзка, като се изключи възможността за неоторизиран достъп

### 3.2.13 Избор на операционна система

Операционната система играе ключова роля за реализирането на една КФС. Тя трябва да отговаря на следните условия.

- да подържа работа в реално време като това ще и позволи своевременна реакция при критични ситуации.

- трябва да е напълно съвместима с избрания хардуер, като подържа широк набор от входно изходни интерфейси.

- трябва да поддържа различни типове комуникационни протоколи.

- трябва да подържа специализирани софтуерни програми необходими за управлението и наблюдението на Кибер-физичната система, както и за анализ на събраните данни

- трябва да работи стабилно без прекъсване, да не се наблюдават грешки и да има много ниско ниво на откази, които могат да са критични за здравето на животните.

- да изисква минимални ресурси от хардуерната конфигурация (процесорна мощ, оперативна памет, потребителска памет и др.).

- да бъде защитена от неоторизиран достъп, като има възможност за задаване на различни нива на достъпа. За наблюдение или за управление на системата например.

- да позволява както локален, така и отдалечен достъп през интернет.

### 3.2.14 Избор на специализиран софтуер

Изискванията към специализирания софтуер са подобни на тези на операционната система. На първо място е времето за обработка на входните данни и времето за реакция.

- трябва да е съвместим с избраната операционна система и хардуера

- трябва да има богат набор от библиотеки и драйвери, които му позволяват да работи с различни крайни устройства като сензори, изпълнителни механизми и други.

- трябва да работи стабилно без прекъсване и без да се наблюдават грешки които могат да са критични за здравето на животните.

- различните софтуерни програми трябва да имат удобен и интуитивен интерфейс.

- трябва да позволяват приоритизиране на процесите, с цел да се реагира първо на животозастрашаващите фактори.

- да имат минимална консумация на ресурси като процесорна мощ, оперативна и RAM памет и т.н.

- софтуерът трябва да бъде тестван преди внедряването му в системи, които отговарят за живота и благосъстоянието на животните.

- софтуерът трябва да е лицензирани или такъв с отворен код, като противното може да доведе до внезапно спиране на работа и компрометиране на системата.

- да бъде защитен от неоторизиран достъп.

### 3.3 Обобщение

Създаването на концепция за реализирането на КФС за управление на комплексите за отглеждане на животни ни дава по-ясни насоки какви стъпки трябва да се предприемат за реализирането на системата. След като вече са определени изискванията за всички елементи от системата остава само те да се подберат по зададените критерии и да се тестват за съвместимост.

След очертаване на основните изисквания и насоки за реализирането на КФС е необходимо да се подбере и тества както операционна система, така и съвместим с нея софтуер необходим за работата и. Освен това трябва да се избере и софтуер за първоначална инсталация и настройка който да има възможност дистанционен достъп до системата.

# ГЛАВА 4. Изследване и анализ на софтуер и системи за управление на КФС. Разработка на концепция за софтуерна система за управление на КФС в комплекс за отглеждане на животни

## 4.1 Изисквания към операционната система и софтуера

Тук ще разгледаме по-подробно изискванията към софтуера, преди неговия избор. Операционната система, заедно с допълнителния софтуер, както и библиотеките и драйверите към него трябва да работят в симбиоза, като това трябва да се обследва обстойно преди внедряването на системата в реална среда.

На първо място, операционната система трябва да подържа работа в реално време (Real Time Operating System - RTOS), като за това е нужно да подържа протоколи за синхронизация на времето като NTP (Network Time Protocol) за основна синхронизация на времето или PTP (Precision Time Protocol, IEEE 1588) за висока точност на времевата синхронизация. Това е необходимо за да може системата да извършва предварително зададени действия в конкретен момент, както и да сигнализира за събития като посочва и точния момент в който са се случили. Освен това тя трябва да е напълно съвместима с избрания хардуер, като подържа широк набор от входно изходни интерфейси.

Поддържането на голям набор от комуникационни протоколи прави системата гъвкава и разширява възможностите и за управление. Това е един от важните критерии за избор на операционна система, софтуер и хардуер за управлението на такъв тип КФС. Комуникационните протоколи могат да се разделят на няколко основни групи, необходими за изграждането на системата, като не е задължително да се подържат всички изброени по-долу протоколи, но поддържането на по-голям брой протоколи дава по-голяма свобода при реализирането на системата.

Мрежови протоколи като: TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) съдържа в себе си множество протоколи за комуникация между компютрите, HTTP/HTTPS (Hypertext Transfer Protocol/Hypertext Transfer Protocol Secure) – основен протокол за пренос на информация в компютърни мрежи и интернет, FTP/SFTP - представлява мрежов протокол от тип клиент – сървър, предоставящ възможност за обмен на файлове между машини, свързани в локална мрежа или в интернет, SSH (Secure SHell) - мрежов протокол, позволяващ криптирано предаване на данни. EtherNet/IP ( Industrial Protocol) – индустриален мрежов протокол който адаптира CIP (Common Industrial Protocol) към стандартен EnterNet протокол. WebSocket - мрежов протокол, осигуряващ едновременна непрекъсната комуникация между клиент и сървър по един канал през TCP). MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) е мрежов протокол, който задължително трябва да се подържа от операционната система и софтуера, за реализиране на целите поставени в това изследване. Поддръжката на индустриални протоколи също е от голямо значение. На първо място разглеждаме Modbus - протокол за комуникация на данни от типа клиент/сървър в приложния слой. Той е широко разпространен при различни видове сензори и IoT устройства, като дава редица предимства. Като основни и задължителни протоколи за реализирането на предложената КФС, MQTT и Modbus са разгледани по-долу. OPC UA - е

комуникационен протокол машина/машина, използван за индустриална автоматизация. Profinet е друг индустриален протокол за комуникация на данни през индустриалния EtherNet, предназначен за събиране на данни и контролиране на оборудване в индустриални системи, при строги ограничения във времето. EtherCAT (EtherNet for Control Automation Technology) е EtherNet - базиран протокол, подходящ за изчисления в реално време в технологиите за автоматизация.

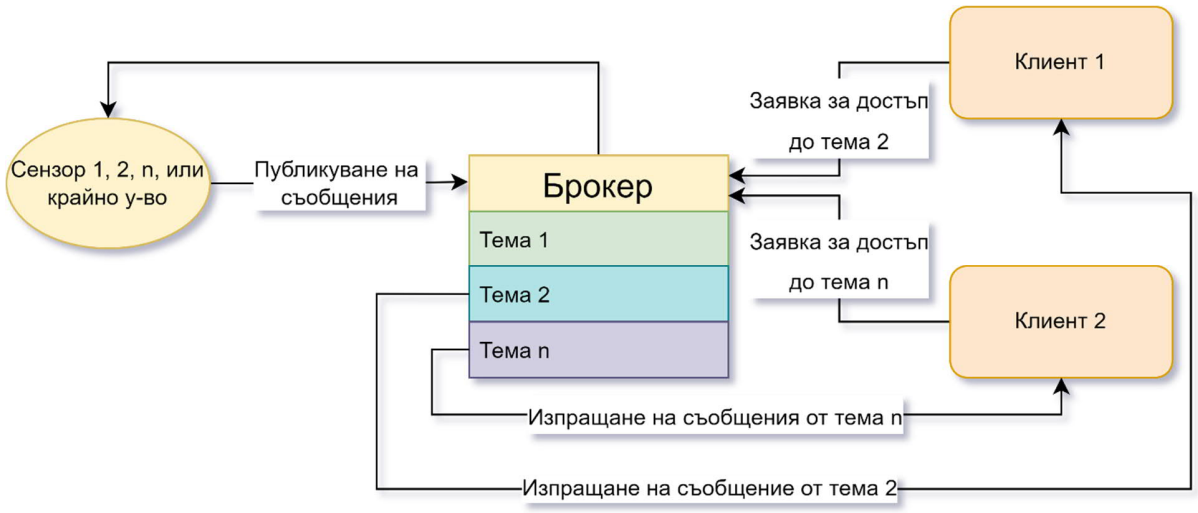
Протоколи за реализирането на безжични мрежи, намиращи широко приложение при реализирането на КФС и IoT устройства, също трябва да бъдат подържани. Това са IEEE 802.11 (Wi-Fi) в различните им версии са част от техническия стандарт IEEE 802 за локалната мрежа (LAN) и определят набора от протоколи за прилагане на компютърна комуникация в безжична локална мрежа (WLAN). Друг такъв протокол е Zigbee - протокол базиран на IEEE 802.15.4. Използва се за създаване на малки мрежи с ниска мощност, като например за автоматизация на дома или събиране на данни от сензори с ниска мощност. Zigbee е безжична ad hoc мрежа която е нискоенергийна, с ниска скорост на предаване на данни и е за малки разстояния. BT/BLE (Bluetooth/Bluetooth Low Energy) е стандарт за безжична PAN (Personal Area Network) мрежа. Технологията осигурява безжичен начин за свързване и пренос на информация на къси разстояния между различни устройства. BLE е предназначен да осигури значително намалено потребление на енергия, като същевременно поддържа подобен комуникационен диапазон като BT. Z-Wave е безжичен комуникационен протокол, използван предимно за сградна автоматизация. Той използва нискоенергийни радиовълни, за комуникация между устройствата, като позволява безжично управление на интелигентни устройства като интелигентни термостати, сензори, светлини, системи за сигурност, брави и др. 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) е протокол за безжична мрежа предназначена за маломощни устройства с ограничени изчислителни възможности предимно за IoT устройства. LPWAN (Low-Power Wide Area Networks) е мрежови протокол който наподобява клетъчните мрежи при по добра поддръжка на КФС и IoT комуникацията. Двата най-известни патентовани стандарта от този клас са LoRa и SigFox. Целта на двете системи е да поддържат огромен брой безжични сензори и устройства с ултра ниска скорост и ултра ниска мощност.

### 4.1.1 MQTT протокол

MQTT е транспортен протокол които представлява клиентски сървър публикуване/абониране на съобщения. Той е лек, отворен, опростен протокол и е проектиран да бъде лесен за изпълняване [61]. Тези характеристики го правят идеален за използване в много ситуации, включително ограничени среди, като например за комуникация в машинна към машина (M2M) и Интернет на нещата (IoT). Протоколът преминава през TCP/IP или през други мрежови протоколи, които предоставят подредени, без загуби, двупосочни връзки. Неговите характеристиките включват: Използване на модела на съобщението за публикуване/абониране, който предоставя едно съобщение към много абонати. Транспорт на съобщения, който не зависи от съдържанието им. Три вида на услугата за доставка на съобщения: (1) „Най-много веднъж“, където съобщенията се доставят според най-добрите усилия на работната среда. Може да възникне загуба на съобщение. Това ниво може да се използва, например, с данни от сензори за околната среда,

където няма значение дали индивидуалното четене е загубено, тъй като следващото ще бъде публикувано скоро след това. (2) „Поне веднъж“, където е сигурно, че съобщенията ще пристигнат, но могат да възникнат дубликати. (3) „Точно веднъж“, където е сигурно, че съобщенията ще пристигнат точно веднъж. Това ниво може да се използва, например, със системи за таксуване, където дублиращи се или загубени съобщения могат да доведат до прилагане на неправилни такси [61]. Той изисква тясна честотна лента и малък обмен, за да се намали мрежовият трафик. Има механизъм за уведомяване на заинтересованите страни при възникване на необичайно прекъсване на връзката.

MQTT протокола използва междинен брокер който разпределя и управлява комуникацията (Фигура 4.1). Можем да опишем работата му по следния начин. Сензорите и крайните устройства публикуват съобщения които се управляват и организират от брокера в дадени теми. Клиентите се абонират за дадена тема и получават само съобщенията които се съдържат в нея.




Фигура 4.1 MQTT протокол – начин на работа.

### 4.1.2 Modbus протокол

Modbus е комуникационен протокол за данни клиент/сървър в приложния слой. Първоначално е проектиран за използване с програмируеми логически контролери (PLC), но вече се използва като стандартен комуникационен протокол за комуникация между индустриални електронни устройства в широк диапазон от шини и мрежи. Той е разработен за промишлени приложения, сравнително лесен е за внедряване и поддръжка в сравнение с други стандарти и поставя малко ограничения върху формата на данните, които трябва да се предават. Той използва серийни комуникационни линии, Ethernet или набор от интернет протоколи като транспортен слой. Modbus поддържа комуникация към и от множество устройства, свързани към един и същ кабел или Ethernet мрежа. Освен Enternet, като транспортни протоколи могат да бъдат използвани RS232 или RS485

За съжаление, на Modbus му липсват основни механизми за сигурност и това води до множество уязвимости, дължащи се както на дизайна, така и на изпълнението. За да осигури

механизми за сигурност на протокола, организацията Modbus е пуснала спецификации за сигурност, които осигуряват стабилна защита чрез смесването на защитен транспортен слой (TLS) с традиционния протокол Modbus. TLS капсулира Modbus пакетите, за да осигури както удостоверяване, така и защита на целостта на съобщенията [62].

## 4.2 Избор на операционна система

За целта на изследването е избрана Linux базираната система OpenHABian, която включва в себе си независимата платформа, базирана на java - OpenHAB.

### 4.2.1 OpenHAB

OpenHAB (Open Home Automation Bus) е платформа за интелигентна автоматизация на дома с отворен код. Тя позволява управление и интеграция на различни IoT устройства, като сензори, термостати, камери, умни крушки, алармени системи, контролери и други подобни устройства. Тя може да бъде инсталирана на различни операционни системи базирани на Linux, Windows, Raspberry Pi OS или macOS, което означава, че работи както на ARM така и на x86 процесорни хардуерни платформи. OpenHAB обединява устройства от различни производители и с различни комуникационни протоколи в една система. Предоставя уеб интерфейс, мобилни приложения за Android и iOS, както и поддръжка на гласовите асистенти Amazon Alexa и Google Assistant [63]. Позволява гъвкавост и мащабируемост на системата като може да разширява функционалността си чрез плъгини (Bindings). Освен това позволява локален контрол и за разлика от много други облачни платформи, OpenHAB може да работи изцяло локално без нужда от интернет. Позволява създаване на сложни сценарии за автоматизация чрез създаване на правила и скриптове. Данните се съхраняват локално, без нужда от облачни услуги [63].

OpenHAB подържа следните комуникационни протоколи: Z-Wave, Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Modbus, RS232, RS485, HTTP/HTTPS, MQTT, WebSocket Thread (Мрежов протокол за интелигентни устройства, използван за IoT), KNX (протокол за домашна и сградна автоматизация, използващ жични връзки), DMX (протокол за управление на осветление който се използва най-често в сценични или архитектурни среди), REST (Софтуерна архитектура за реализация на уеб услуги), IFTTT (Осигурява интеграция за автоматизирани действия между различни услуги), HomeKit (Протокол за комуникация за устройства в екосистемата на Apple), Hue (Протокол за умни крушки и аксесоари Philips), LIFX (протокол за Wi-Fi базирани смарт крушки), Nest (Протокол за смарт термостати и устройства от Google), Sonos (Протокол за управление на аудио системи), EnOcean (Енергийно ефективен стандарт за сензори и изпълнителни механизми), Xiaomi Mi Home (За сензори и устройства от Xiaomi), Open Weather Map и други метеорологични услуги (Показват данни за времето), SolarEdge, SMA, Fronius (Платформи за подобряване и оптимизация на работата на соларни панели и инвертори), Kodi (Услуга за управление на медийни центрове), MySensors (Платформа за IoT устройства и домашна автоматизация), DLNA/UPnP (Протоколи за свързани медийни устройства) и други [63].

### 4.2.2 OpenHABian

OpenHABian е Linux система базирана на операционната система Raspberry Pi OS Lite, която всъщност е олекотена версия на Debian, оптимизирана за различните версии на едноплатковия компютър Raspberry Pi. OpenHABian е специално адаптирана, за да осигури лесна настройка и оптимизация за работа с OpenHAB. Тя автоматизира инсталацията и конфигурацията на всички необходими компоненти, за да улесни потребителите в настройването на OpenHAB. Въпреки, че е предназначена за работа с устройства като Raspberry Pi, OpenHABian може да се използва и на други Linux-базирани системи, като и на компютри с x86 архитектура.

## 4.3 Избор на допълнителен софтуер

За реализиране на предложената КФС са използвани изброените по-долу софтуерни продукти. Въпреки, че някои от тях имат и лицензирани версии, всички притежават безплатни версии с отворен код.

### 4.3.1 Eclipse Mosquitto MQTT Broker

Eclipse Mosquitto е брокер на съобщения с отворен код, който изпълнява MQTT протокол версии 5.0, 3.1.1 и 3.1. Той е лек и е подходящ за използване на всички видове устройства, както на едноплаткови компютри с ниска производителност, така и на стандартни сървъри [64]. Eclipse Mosquitto може да работи с обикновена версия на MQTT протокол, с MQTT през TLS, с MQTT през TLS с клиентски сертификат, с MQTT през WebSocket, както и с MQTT през WebSocket с TLS. Eclipse Mosquitto има различни версии като може да се инсталира на различни операционни системи като Windows (x86 или x64), MacOS, както и различни версии на Linux като Debian, Ubuntu Raspberry Pi OS и OpenHABian. Eclipse Mosquitto има три части. Това са основният Mosquitto сървър, помощните програми mosquitto_pub и mosquitto_sub, които са един от методите за комуникация с MQTT сървъра и MQTT клиентска библиотека, написана на C, с C++ обвивка [65].

За целите на изследването Eclipse Mosquitto MQTT Broker се инсталира на сървъра на КФС и се използва за жична или безжична комуникация между сензори, контролери и управляващи устройства от една страна и сървъра от друга.

### 4.3.2 InfluxDB

InfluxDB е база данни за времеви серии (TSDB - Time Series Database) с отворен код. Тя се използва за съхранение и извличане на данни от времеви редове в области като мониторинг на операциите, данни от сензори, данни от смарт устройства, от IoT устройства, анализи в реално време и други. InfluxDB осигурява език за структурирани запитвания (SQL - Structured Query Language) който език има вградени времеви функции за търсене на структура от данни, съставена от измервания, серии и точки. Всяка точка се състои от няколко двойки стойности, наречени полета и времеви печат. Когато се групират набор от двойки стойности, наречени тагове, те определят серия. И накрая, сериите са групирани заедно чрез поредица от идентификатори, за да образуват измерване. Стойностите могат да

бъдат 64-битови числа, 64-битови числа с плаваща запетая, поредици и булеви стойности. Точките се индексират по своето време и таг. Правилата за съхранение се определят от измерването и контролират как данните се свалят и изтриват. Непрекъснатите заявки се изпълняват периодично, съхранявайки резултатите в целево измерване [63,66].

За целите на изследването InfluxDB се инсталира на сървъра на КФС и се използва за съхранение на измерените от сензорите стойности, за записване на текущото състояние на управляващи устройства и механизми, като информацията може да се използва освен от системата за извършване на автоматизираното управление, така и от потребителя при поискване. Данните могат да се извличат по различен начин като най-често се използват за показване на графики, но е възможно да се извлекат и като числови редици. Базата данни също се използва за анализи които спомагат за настройване на системата и по-добро управление.

### 4.3.3 Grafana

Grafana е мултиплатформено уеб приложение с отворен код. Предназначено е за интерактивна визуализация и анализи. То може да създава диаграми, графики и предупреждения за мрежата, когато е свързан към поддържани източници на данни. Grafana може да се използва на различни операционни системи базирани на Windows, Linux или MacOS. Може да извлича данни в реално време от различни за бази данни. Освен използваната в това проучване InfluxDB, Grafana поддържа още 158 платформи за събиране на данни като ClickHouse, Alertmanager, Azure Monitor, CloudWatch, Elasticsearch, Google Cloud Monitoring, Grafana Pyroscope, Graphite, Jaeger, Loki, Microsoft SQL Server, MySQL, OpenTSDB, PostgreSQL, Prometheus, Tempo, TestData, Zipkin, Google Analytics, Adobe Analytics, Aggregations.io, Akvorado, Altinity plugin for ClickHouse, Amazon Athena, Amazon Aurora, Amazon Managed Service for Prometheus, Amazon Redshift, Amazon Timestream, Anodot Datasource, Apache Cassandra, Apache IoTDB, AppDynamics, AstraDB, Atlassian Statuspage, AWS IoT SiteWise, AWS X-Ray, Axiom, Azure Cosmos DB, Azure Data Explorer Datasource, Azure DevOps, Business Input, Business News, Business Satellite, Catchpoint, Chaos Mesh, Checkmk data source for Checkmk Cloud & MSP, Cloudflare, CloudWatch Alarm, CnosDB, CockroachDB, Cognite Data Fusion, CompareQueries, Cribl Search, CSV, Databricks, Datadog, Destiny Datasource, Drone, Druid, DynamoDB, Dynatrace, Factry Historian Datasource, Falcon LogScale, Finnhub, Firestore, Flowhook Webhooks Datasource, FROST SensorThings API Plugin, GCP Status, GitHub, GitLab, Google BigQuery, Google Cloud Logging, Google Cloud Trace, Google Sheets, Groonga, hackerone-datasource, Haystack, Hetzner Cloud, Honeycomb, IBM Security QRadar, Infinity, Instana, ITRS Group Obcerv, Jira, JSON, JSON API, JSON Fetcher, Kafka, kdb+, Looker, Materialize, MaxCompute, Mock, MonetDB, MongoDB, MQTT, MUX-Datasource, Neo4j Datasource, Netdata, Netlify, New Relic, Node Graph API, OData, openGemini, openHistorian, OpenSearch, Optimiz-SevOne Plugin, Oracle Cloud Infrastructure Logs, Oracle Cloud Infrastructure Metrics, Oracle Database, OSIsoft-PI, PagerDuty, Parseable, Pixie Grafana Datasource Plugin, PNP, Prometheus AlertManager Datasource, QuestDB, Quickwit, Rabbitmq, Redis, Riemann streams, RunReveal, Salesforce, SAP HANA®, Scanner, Sentry, ServiceNow, ServiceNow Cloud Observability, Shoreline, simple grpc datasource, SkyWalking, Snowflake, SPARQL, Splunk, Splunk Infrastructure Monitoring, SQLite, Sqlyze

Datasource, Strava, Streamr, Sumo Logic, Sun and Moon, SurrealDB, SurrealDB, TDengine Datasource, Thruk, Tokio Console, Trino, Vercel, Vertica, VictoriaLogs, VictoriaMetrics, Wavefront, WebSocket API, Wild GraphQL Data Source, YDB, Yugabyte, Zendesk, Zendesk Datasource Plugin [67].

За целите на изследването Grafana се инсталира на сървъра на КФС и служи за графична визуализация на параметрите на системата, като може да се избира определен период от време който искаме да наблюдаваме.

### 4.3.4 Samba

Samba е безплатен софтуер, който внедрява изпълнението на мрежовия протокол SMB (Server Message Block). Той предоставя файлови и печатни услуги за различни клиенти на Microsoft Windows. Samba работи на повечето Unix базирани системи, като Linux, Solaris, AIX и BSD вариантите, включително MacOS и MacOS Server, както и на редица други операционни системи като OpenVMS и IBM i.

Samba позволява достъпа до файловата система на Linux базирания сървър на предложената КФС, както от компютър с Windows, така и от устройство с Android, като смартфон или таблет. Така лесно може да се достъпи системата, и да се променят конфигурационните файлове при настройка или работа на системата.

### 4.3.5 Frontail

Frontail е Log viewer който е необходим както при пускането и настройката на сървъра, така и по време на работата на КФС. Той ни дава информация за текущите логове на системата, наличие на грешки, прекъснати връзки със сензори или други компоненти, като това улеснява отстраняването на проблеми по системата.

### 4.3.6 Amanda Backup

Amanda (Advanced Maryland Automatic Network Disk Archiver) Backup е софтуер с отворен код за архивиране на компютри, който е в състояние да архивира данни, намиращи се на множество компютри в мрежа. Той използва модела клиент-сървър, при който сървърът се свързва с всеки клиент, за да извърши резервно копие в планирано време. Amanda работи на почти всички Unix или Unix-подобни системи, като поддържа и Windows системи, използващи Samba [68].

Задължително е след реализирането на определена КФС да се направи резервно копие на данните, независимо от това дали се използва Amanda Backup или друг подобен софтуер, който да позволява коректно и лесно възстановяване на системата.

### 4.3.7 Visual Studio Code

Visual Studio Code е редактор на програмен код който може да работи под Windows, Linux и MacOS и е напълно безплатен. Поддържа богат набор от инструменти и библиотеки (над 11000) които улесняват работата при въвеждане на код при различни програмни езици. Има разработени инструменти за дебъгване, позволява работа едновременно върху 2 файла

отворени един до друг и др. Той също така дава възможност за персонализиране, потребителите могат да променят темата на редактора, клавишните комбинации, настройките и др. Visual Studio Code е базиран на Electron, който е базиран на Chromium [69].

Visual Studio Code заема основна роля в програмирането на предложената КФС. Той се инсталира на външен за КФС компютър, като чрез него най-лесно и четимо могат да се създават и редактират файловете управляващи системата. За реализирането и са използвани разширения като OpenHAB и OpenHAB Alignment Tool.

### 4.3.8 Solar-PuTTY

Solar-PuTTY е самостоятелен безплатен мрежов терминален, който позволява и прехвърляне на файлове. Той е базиран на добре познатия PuTTY за Windows и поддържа широк набор от мрежови протоколи, включително SSH, Telnet, SCP или SFTP. Има много настройки и възможности за конфигурация, което прави работата през него по-удобна. Той позволява отваряне на няколко активни сесии от една конзола с интерфейс за табулиране и може да запазва идентификационни данни или частни ключове за всяка сесия за по-бързо влизане.

Solar-PuTTY се инсталира на външен за КФС компютър. Той се използва за достъп до системата за инсталиране, update и upgrade както на инсталирания софтуер така и на операционната система. За настройки и редакции на конфигурационни файлове на сървъра. Чрез него могат да се създават и редактират файлове и директории и да се конфигурира самата система.

### 4.3.9 Tasmotizer

Tasmotizer се използва на външен за системата компютър. Това е софтуер с помощта на който може да се замени оригиналния фърмуер на контролери от типа на ESP32 и ESP8266, с фърмуер Tasmota. Tasmotizer може да бъде инсталиран на операционни системи като Windows, различни дистрибуции на Linux, както и на MacOS. Той има удобен и лесен за използване графичен интерфейс. Качването на Tasmota се осъществява чрез USB-to-serial адаптери като FTDI (Future Technology Devices International Limited) или CP2102 които осъществяват връзката между стандартно USB  и серийни комуникационни стандарти (серийни портове) като RS-232, RS-485, RS-422, UART (universal asynchronous receiver-transmitter) или дори RS-423. След флашване на контролерите с Tasmota, Tasmotizer позволява OTA (over the air) ъпдейти на фърмуера, което означава, че не е необходимо контролера да бъде свързан с кабел а процеса може да бъде осъществен безжично чрез Wi-Fi. Освен това има възможност за предварително конфигуриране на настройките за Wi-Fi мрежата и MQTT брокера, което улеснява предварителната подготовка когато са необходими голям брой контролери за една КФС.

Tasmota е фърмуер с отворен код, който позволява локален контрол на смарт устройства без нужда от облачни услуги. Съвместим е с различни смарт устройства като Shelly, Sonoff, BlitzWolf, Tuya, както и с контролери от типа ESP32 и ESP8266. Подържат се

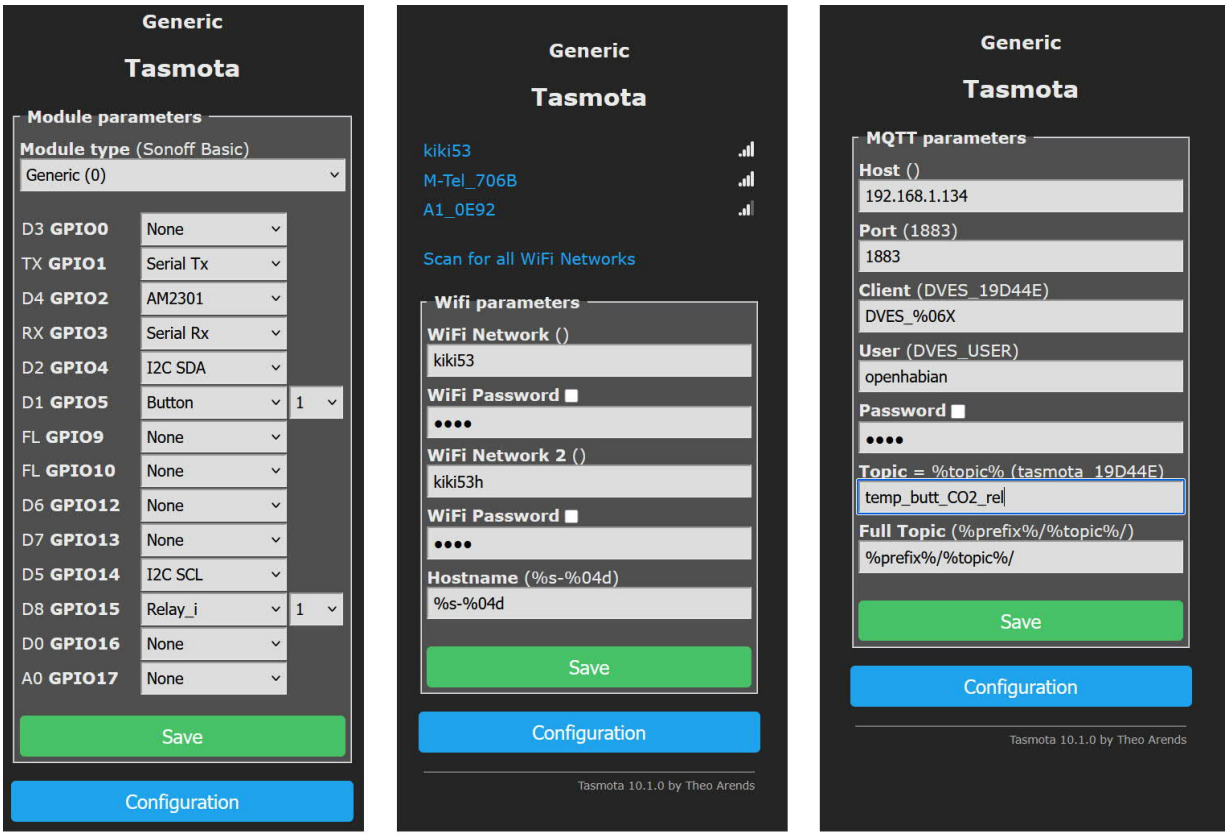
протоколи като MQTT, HTTP, което позволява интеграция с платформи като OpenHAB, Home Assistant, и Domoticz и други [70]. Tasmota има уеб базиран интерфейс, чрез който контролерите могат да се конфигурират чрез входно изходни GPIO (general-purpose input/output) пинове за връзка с различни крайни устройства като сензори, релета, дисплеи или други компоненти. Има също и вградена конзола където могат да се въвеждат директно команди и да се управляват крайните устройства.

За целите на предложената КФС Tasmotizer се използва при флашване и предварителна подготовка на контролери NodeMCU базирани на ESP8266, а Tasmota като фърмуер осъществява връзката между различни контролери чрез Wi-Fi мрежата към сървъра на КФС. От другата страна контролерите се използват и за връзка на различни сензори, бутони за управление, сигнални лампи, релета за управление на крайни устройства и други. На фигура 4.2 са показани настройки на фърмуера Tasmota инсталиран на NodeMCU, съответно:

а) - конфигурация на GPIO пиновете за връзка със сензор за въглероден диоксид $CO_2$ (MH-Z19B) с помощта на серийна комуникация UART (пинове GPIO1 – Serial Tx и GPIO3 – Serial Rx), сензор за температура и влажност AM2302 с подаване на сигнала по 1 проводник (пин GPIO3 – AM2301) където драйвера AM2301 подържа сензори AM2301 (DHT21), AM2302 (DHT22), AM2320 и AM2321, сензор за осветеност BH1750 чрез протокол $I_2C$ ( GPIO4 – I2C SDA и GPIO14 – I2C SCL), бутон без задържане с кратко натискане (GPIO5 – Button / 1) и реле за управление на крайно устройство (GPIO15 – Relay_i / 1).

б) конфигурация на главна и резервна безжична мрежа и Hostname

в) конфигурация за връзка с MQTT брокера в която се задават IP адрес, порт, потребител и парола за достъп до брокера, както и “Topic” за който да се абонираме.



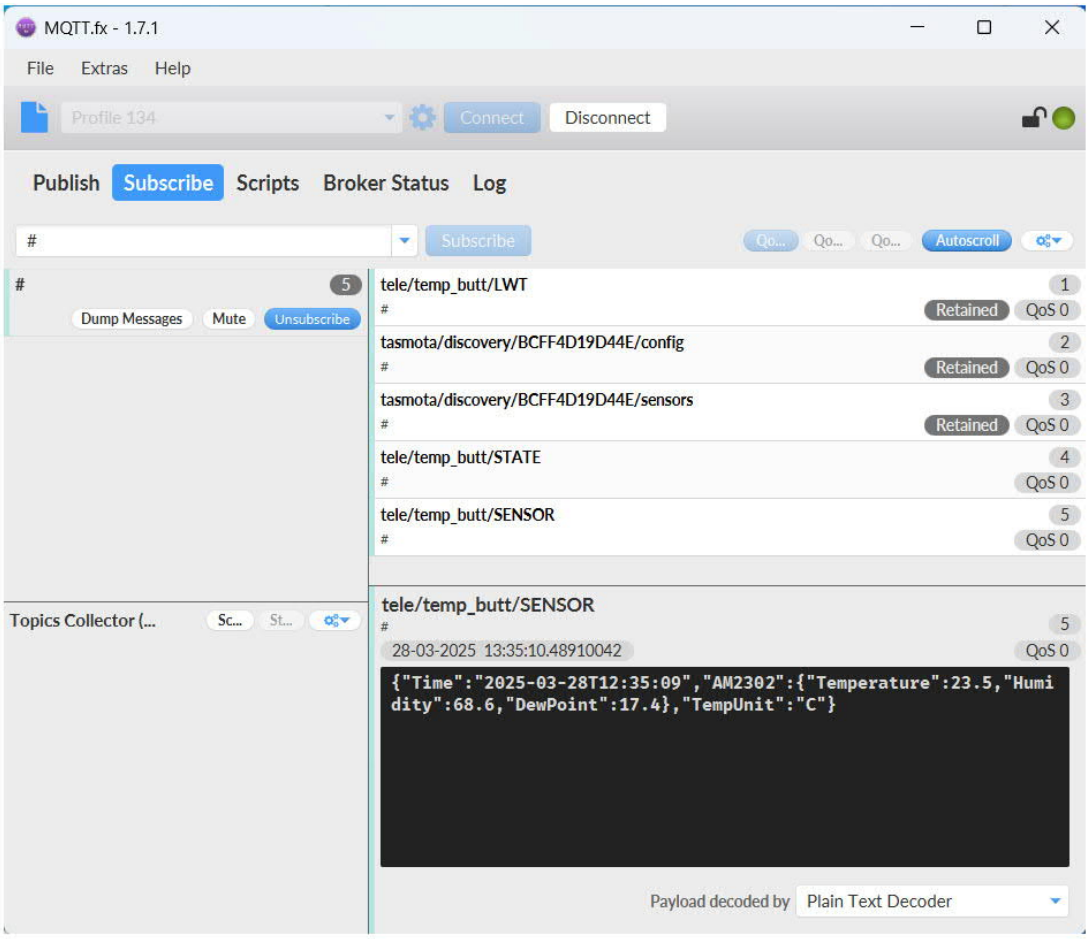

а) б) в)

Фигура 4.2 Уеб базиран интерфейс на Tasmota.

### 4.3.10 MQTT.fx

MQTT.fx е инструмент за тестване на IoT маршрути в разработването и производството. Той също се използва на външен за КФС компютър. Той позволява връзка с развойния и / или производствения брокер, както и тестването на разработвания проект, преди да се започне писането на код в него. Тъй като могат да се стартират тези тестови случаи без програмиране, това не само означава значително намаляване на ръчната работа, но и изключително повишаване на качеството на написания софтуер [71]. Чрез Pluggable Payload Decoder получените MQTT съобщения се показват декодирани въз основа на избрания декодер. MQTT.fx идва с набор от декодери по подразбиране като Plain Text, JSON Pretty Format, Base64, Hex, Hex Pretty Format, Binary Msgpack, Sparkplug, Sparkplug Pretty Format. MQTT.fx поддържа интерфейс за Payload Decoder, който също позволява добавяне на персонализиран декодер за нуждите на потребителя [71]. MQTT.fx Topic Explorer може да сканира за активни теми (топик), като откритите теми се съхраняват в списък, подреден по азбучен ред. Може да се извърши незабавно абониране за събрана тема с двойно щракване, като списъкът с теми може да бъде копиран за по-нататъшна обработка според нуждите на потребителите.

MQTT.fx (Фигура 4.4) се използва за създаването на предложената КФС, като позволява да се видят изпращаните от сензорите и крайните устройства данни и формата им като отделна тема през MQTT протокола, което улеснява програмирането на сървъра и настройките на Eclipse Mosquitto MQTT Broker. Освен това чрез MQTT.fx могат да се подават данни през определена тема за която е абониран Mosquitto MQTT брокера и по този начин се тества работата на КФС, без да имаме реални сензори които са свързани към нея. Така може да подадем стойности на различни параметри, които дори и в реална среда би отнело много време за да се получат и да се провери реакцията на системата. При създаване на теми всяка отговаряща на данните при които желаем да тестваме системата, и отговаряща на всеки един сензор необходим за работата на системата можем да проверим комплексно нейната реакция.



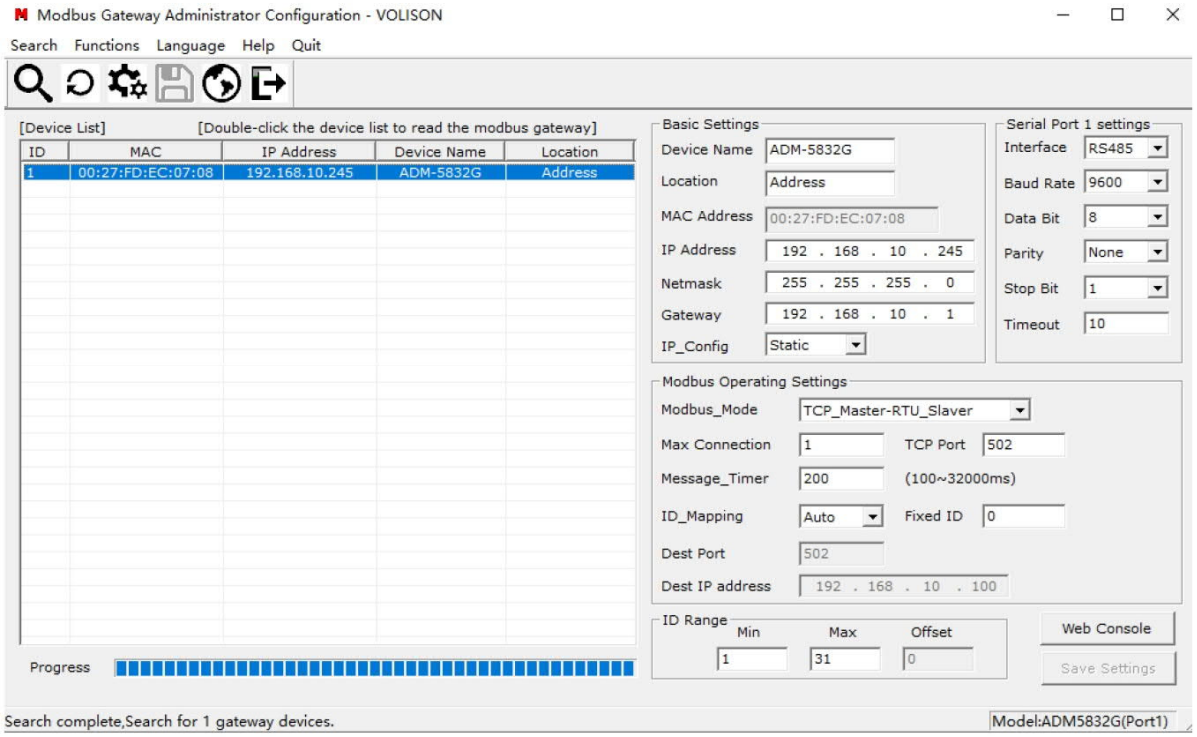

Фигура 4.3 Абониране за дадена тема чрез MQTT.fx

### 4.3.11 MG Configuration

MG Configuration (Modbus Gateway Administrator Configuration – VOLISON) е софтуер за конфигуриране на контролери като ADM-5850G , ADM-5832G и IDM-7842MG. Може да се инсталира на компютри с различни версии на Windows. Той има функция за автоматично откриване на Modbus Gateway устройства и позволява промяна на различни

параметри като избор на режим на работа, ограничаване броя на връзките, промяна на TCP порта, както и конфигуриране параметрите на серийния порт чрез избор на интерфейса (RS485, RS422 или RS 232), промяна на Baud Rate, Data Bit, Parity, Stop Bit и други [72].

За целите на изследването MG Configuration (Фигура 4.4) се използва за конфигуриране на контролера ADM-5832G използван за връзка на различни сензори (с интерфейс Modbus RS485) със сървъра на КФС.




Фигура 4.4 Основен изглед на MG Configuration.

### 4.4 Обобщение

Избора на софтуер е една от стъпките за реализирането на КФС. Избрания софтуер отговаря на изискванията заложени в концепцията за изграждане на системата. В същото време първоначално е частично тестван, като са проверени възможностите му за конфигуриране на системата. Но към реалното му тестване за съвместимост може да се пристъпи едва след като са подбрани всички хардуерни компоненти на системата и са реализирани предвидените в това изследване алгоритми за работа при отглеждане на различните видове животни. Затова следващата стъпка е избора на сензори и допълнителни контролери.

# ГЛАВА 5. Изследване и избор на IoT изпълнителни устройства и сензори с необходимите параметри за използване в Кибер-физичната система за управление на комплекс за отглеждане на животни

На пазара има голям избор от производители на сензори, контролери, релета и други устройства, които са специализирани в изграждането на системи за контрол на животновъдни ферми. Основния проблем е във високата цена на тези материали. Така например цената един специализиран сензор за температура и относителна влажност на фирма DOL като модела DOL114 например е около 200€, на сензор за амоняк $NH_3$ модел DOL53 е около 1000€, а на сензор за въглероден диоксид $CO_2$ модел DOL119 – над 2000€. Като за реализирането на една подобна система може да са необходими по няколко сензора от вид, цената само за сензори може да надхвърли 10000€. От друга страна е наличието на огромно разнообразие от сензори с ниска цена и съответно по-ниско качество. От значение е и средата в която се използват сензорите. Сензорите предназначени за измерване на параметрите на въздуха са по-просто устроени и съответно с по-ниска цена от сензорите предназначени за измерване на параметрите на водата. Сензори за измерване на параметри на водата като амоний $NH_4+$, нитрити $NO_2-$ или нитрати $NO_3-$ например работят на принципа оптичен спектрофотометър при което дори и незначими замърсявания на лещата могат да доведат до отклонения в измерването. За тази цел в КФС е по-добре да се използват висококачествени сензори със системи за самопочистване, които имат възможност за извършване на автоматизирано отчитане на коректни стойности в продължителен период от време, без да се налага ежедневно ръчно почистване на сензорите. В тези насоки ще бъдат разгледани различни сензори и други устройства които са подходящи за използване в КФС за управление на комплекси за отглеждане на животни.

## 5.1 Сензори

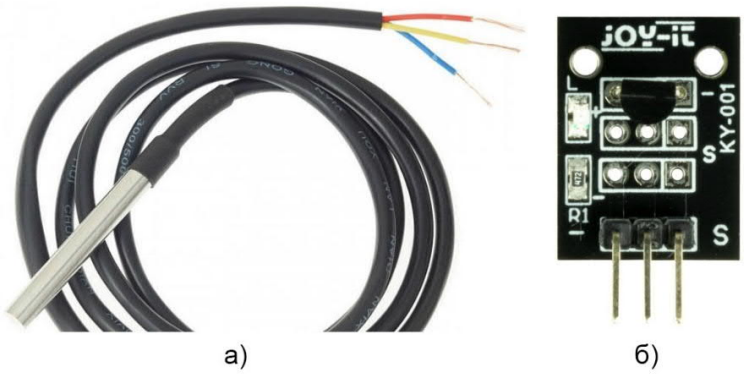
За целите на това изследване са разгледани характеристиките на различни сензори (основно ценово ориентирани) за измерване на температура, относителна влажност RH, амоняк $NH_3$, амоний $NH_4+$ , въглероден диоксид $CO_2$, метан $CH_4$, въглероден оксид CO, сероводород $H_2S$, фини прахови частици 2,5µm и 10µm, скорост на движение на въздуха SAF, осветеност, диференциално налягане Δp, разтворен кислород, DO, нитрити, $NO_2-$, нитрати, $NO_3-$, водороден показател, pH, и за ниво на водата, като някои от сензорите са комбинирани за измерване на повече от една величина. Повечето от изброените по-долу сензори са тествани за продължителен период от време, за да се изследва както стабилността на връзката с тях, така и надеждността им.

### 5.1.1 Сензори за температура и относителна влажност.

За целите на изследването са тествани един вид сензор за температура (DS18B20) и три вида сензори за температура и относителна влажност (AM2302, SHT31 и SHT35) които отговарят на условията за използване в предложената КФС.

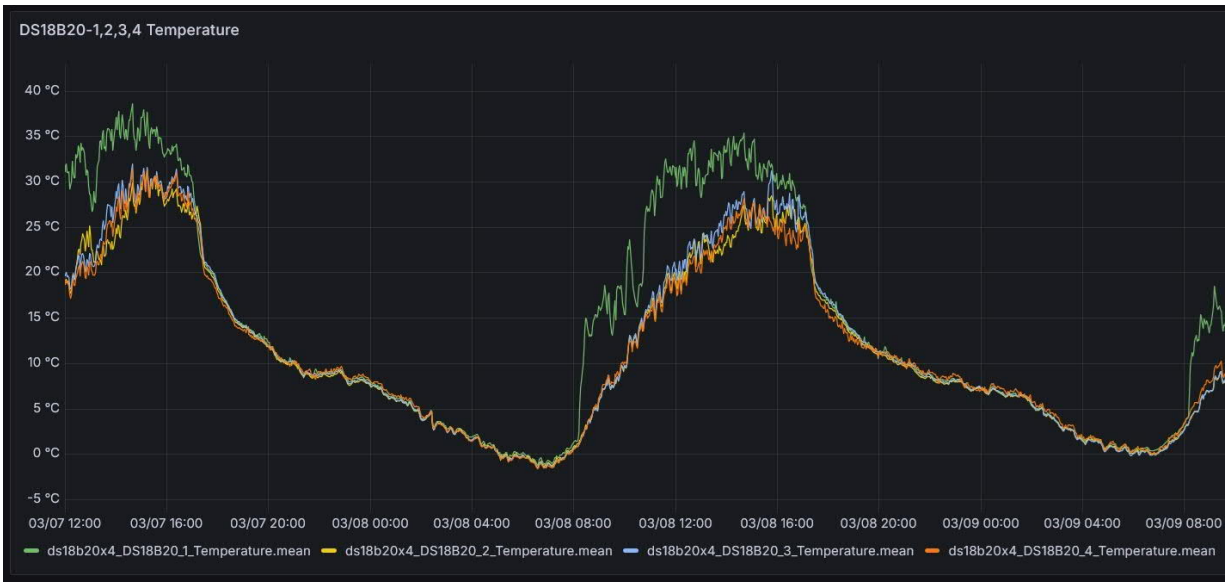
5.1.1.1 Сензор за температура DS18B20, Maxim Integrated – Analog Device

DS18B20 (Фигура 5.1) [73] осигурява от 9 до 12-битови измервания на температура по Целзий и има алармена функция с енергонезависими програмируеми от потребителя горни и долни точки на задействане. Има работен температурен диапазон от -55°C до +125°C и е с точност до ±0,5°C в диапазона от -10°C до +85°C. Той използва комуникация по 1-проводникова шина, която по дефиниция изисква само една линия за данни (плюс заземяване) за комуникация с централен микропроцесор. Той е подходящ както за измерване на температура на въздуха, така и за измерване на температурата на водата [73].




Фигура 5.1 Сензор за температура DS18B20, Maxim Integrated - Analog Device а) влагозащитен в метален корпус и кабел б) модул.

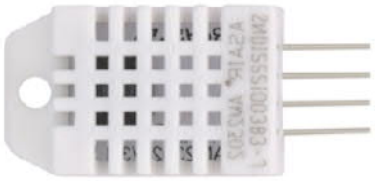
Класа на точност и диапазона на измерване са подходящи за целите на изследването. Връзката със системата за реализирането на КФС се осъществява най-често посредством допълнителен контролер NodeMCU чийто GPIO пинове се конфигурират за връзка към сензора. Връзката е стабилна, като не са наблюдавани прекъсвания на получаваните данни от сървъра. Този сензор е подходящ за измерване на места на които има нужда да се измерва само температура, без необходимост от измерване на относителна влажност RH, както и за измерване на температурата на водата в поилки в кравеферми. На фигура 5.2 е показана графика с помощта на Grafana за период от 2 дни на 4 броя сензори DS18B20 използвани за измерване на външна температура, като сензор 1 е разположен от южната страна на къща, 2 от изток, 3 от запад и 4 от север. Всичките са защитени от пряка слънчева светлина.




Фигура 5.1 Графика на измерената температура от 4 броя сензори DS18B20.

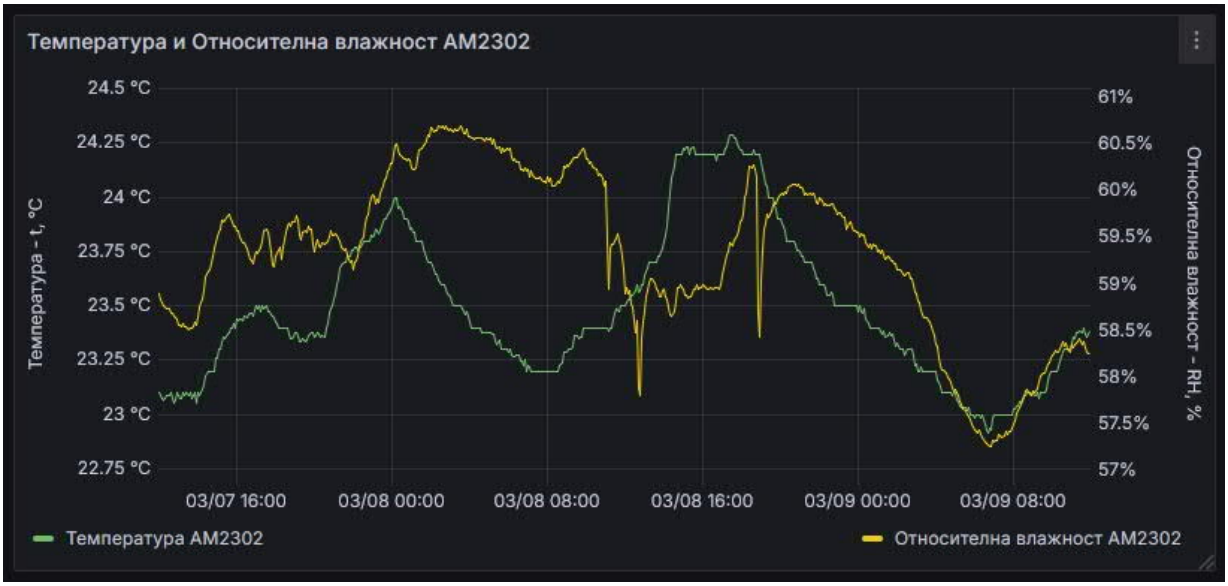
5.1.1.2 Сензор за температура и относителна влажност AM2302, Aosong Electronics

AM2302 (Фигура 5.3) [74] е цифров модул за измерване на температура и относителна влажност, съдържащ калибриран комбиниран сензор за температура и влажност. Той използва специална технология за да гарантира, че продуктите са с висока надеждност и отлична дългосрочна стабилност. Сензорът включва капацитивен чувствителен елемент за влажност и високопрецизни устройства за измерване на температурата свързани с високопроизводителен 8-битов микроконтролер. Всеки сензор се калибрира в прецизна камера за калибриране на влажността, а коефициентите на калибриране се съхраняват под формата на програма на микроконтролера. Както DS18B20, той използва комуникация по 1-проводникова шина. Има ниска консумация на енергия, и възможност за предаване на сигнала на разстояние до 20 метра. Захранващото му напрежение е от 3.3 до 5.5V DC, диапазон на измерване на температура от -40°C до +80°C с точност в обхвата от 0°C до +60°C ±0,3°C. Измерва относителна влажност от 0 до 99.9%, с точност ±3% в диапазона от 10 до 90% и до 5% в останалите диапазони. При правилна експлоатация сензора има дрифт за 1 година < 1% за относителната влажност RH и < ±0.3°C [74].



Фигура 5.3 Сензор за температура и влажност AM2302, Aosong Electronics.

За реализирането на предложената КФС сензора AM2302 се използва основно чрез контролер NodeMCU за измерване на температура и относителна влажност RH както вътре в помещенията, така и отвън. Но има особености при употребата на сензора за които трябва да се внимава. Сензора може да се повреди при продължително излагане на високи концентрации на вредни газове като амоняк $NH_3$ и сероводород $H_2S$ например. Също е препоръчително сензора да бъде защитен от прах и насекоми които също могат да повлияят на точността му. Трябва да се избягва излагането на пряка слънчева светлина или възможността за конденз върху него. За по-агресивна среда е необходимо използването на друг тип сензори. На фигура 5.4 е показана графика с помощта на Grafana от сензор AM2302 поставен вътре в стая.

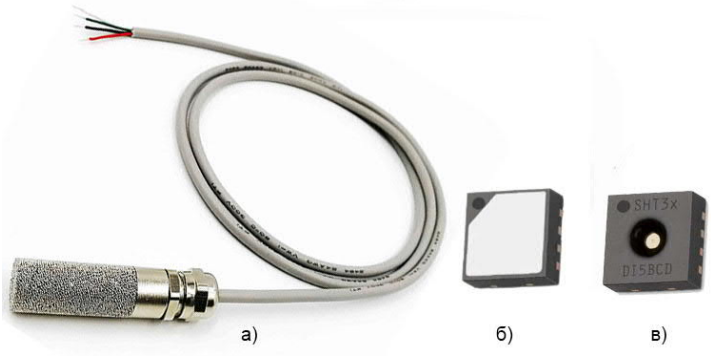



Фигура 5.4 Графика от измерени температура и относителна влажност със сензор AM2302.

5.1.1.3 Сензори за температура и относителна влажност SHT31 и SHT35, Sensirion

Сензорите SHT3x (Фигура 5.5) [75] са следващото поколение сензори за температура и влажност на Sensirion. То се основава на нов сензорен чип CMOSens, който е в основата на новата платформа за влажност и температура на Sensirion. SHT3x имат повишена интелигентност, надеждност и подобрени спецификации за точност в сравнение с предшествениците си. Тяхната функционалност включва подобрена обработка на сигнала, два отличителни и избираеми от потребителя $I_2C$ адреса и комуникационни скорости до 1 MHz. Размера на сензора е 2.5x2.5.0.9мм, което позволява интегрирането им в голямо разнообразие от приложения. Той разполага и с филтърна мембрана, която го предпазва от прах и други замърсители. Захранващото напрежение на SHT3x е от 2.15 до 5.5V DC, диапазона на измерване на температура от −40°C до +125°C, а на влажност от 0 до 100%. Точността на SHT31 в обхвата от 0°C до +90°C ±0,2°C, −20°C до +100°C ±0,3°C. За относителна влажност типично е ±2% в целия диапазон. Точността на SHT35 в обхвата от 20°C до +60°C ±0,1°C, −40°C до +80°C ±0,2°C. За относителна влажност от 0 до 80% е ±1.5% и ±2% в останалия диапазон [75].

За целите на изследването горните два сензора са приложими както за вътрешна, така и за външна употреба, като е необходимо те да са монтирани в защитен корпус за индустриални приложения които включва микропореста метална мрежа както показаната на фигура 5.5. Той предпазва от прах, насекоми и осигурява защита от водни пръски и дори обливане с вода, което е голямо предимство при наличие на различни видове пръскачки в животновъдните ферми.




Фигура 5.5 Сензор за температура и влажност SHT3x, Sensirion, а) за индустриално приложение със защитна паропропусклива микропореста метална мрежа, б) чип със защитна мембрана, б) чип без защитна мембрана.

И двата сензора са по-устойчиви на вредни газове в сравнение с AM2302, имат по-голяма точност и по-дълъг живот, но и по-висока цена.

### 5.1.2 Сензори за въглероден диоксид $CO_2$

Тествани са три модела сензори за въглероден диоксид които (MH-Z19B, Senseair S88 и SCD30) които отговарят на условията за използване в предложената КФС и работят без проблеми при продължителни тестове.

#### 5.1.2.1 Сензор за въглероден диоксид MH-Z19B (MH-Z19C), Winson

Сензорът MH-Z19B (Фигура 5.6) [76] е инфрачервен газов модул с малък размер, използващ недисперсивен инфрачервен принцип за откриване на наличието на въглероден диоксид $CO_2$ във въздуха, с добра селективност и независимост от кислорода. Има дълъг експлоатационен живот, вградена температурна компенсация, UART изход и PWM изход. Той използва технология за откриване на газ чрез поглъщане на инфрачервени лъчи. MH-Z19B NDIR се използва за мониторинг на качеството на въздуха в помещенията, умни домакински уреди, пречистватели на въздуха и др. Захранващо напрежение от 4.5 до 5.5V, работна температура за MH-Z19B от 0°C до +50°C. Обхвата му е от 400 до 5000ppm, а точността е ±50ppm ±3% [76].

За целите на изследването MH-Z19B се използва за откриване на въглероден диоксид $CO_2$ вътре в животновъдните ферми. Монтажа трябва да бъде на нивото на животните, като не трябва да има директен контакт с постъпващия в помещението свеж въздух. Той се свързва към системата с помощта на NodeMCU, като се използва UART протокол.

В зависимост от подържаните условия в кравеферма може да е необходимо използване на сензор MH-Z19C който има работен температурен диапазон от −10°C до +50°C.

Фигура 5.6 Сензор за въглероден диоксид MH-Z19B, Winson.

5.1.2.2 Сензор за въглероден диоксид Senseair S88 LP**,** Senseair

Сензорът Senseair S88 LP (Фигура 5.7) [77] е най-енергийно ефективната версия на S88. Това е сензор за въглероден диоксид $CO_2$ предназначен както за домашна автоматизация, така и за промишлени среди, селско стопанство и складове. Работи чрез недисперсивен инфрачервен принцип. Той също отговаря на най-новите стандарти, включително ASHRAE 62.1-2022 допълнение ab. Лесната му интеграция го прави подходящ за употреба в различни сфери. Диапазонът му на измерване е от 400 до 10 000ppm, а точността ±30 ppm ±3%. Има работен диапазон от 0°C до +50°C при относителна влажност RH до 85%. Времето му за реакция е <30 s, захранващо напрежение 4.5 - 5.25 V. Поддържа комуникационен протокол Modbus и UART и има продължителност на живот >15 години [77].

За целите на изследването Senseair S88 LP е тестван в конфигурация с NodeMCU, като се използва UART протокол. Сензора има необходимата точност и работи стабилно без прекъсвания.

Фигура 5.7 Сензор за въглероден диоксид Senseair S88 LP, Senseair.

5.1.2.3 Сензор за въглероден диоксид SCD30, Sensirion

Сензорът CSD30 (Фигура 5.8) [75] е високопрецизен сензор за отчитане на концентрацията на $CO_2$ базиран на патентована CMOSens технология на Sensirion, като измерва и температура и влажност. Модула позволява отлична дългосрочна стабилност, а неговият ултра-тънък размер позволява лесна интеграция дори в най-взискателните приложения. Захранващото напрежение е от 3.3 – 5.5V DC, времето за реакция е под 10s за

температура и влажност и под 20s за $CO_2$. Сензора разполага с различни интерфейси като UART (Modbus Point to Point; TTL Logic), PWM и $I_2C$. Диапазона на измерване за $CO_2$ е от 400 до10000ppm, а точността ±30 ppm ±3%, при температури от 0°C до +50°C. Измерва температура от −40°C до +70°C с точност ±0.4°C + 0.023 × (T [°C] – 25°C). Относителна влажност от 0 до 100% с точност ±3% [75].

За целите на изследването, сензора е SCD30 е тестван с контролер NodeMCU, като се използва UART протокол. Сензора работи стабилно без прекъсвания.

Фигура 5.8 Сензор за въглероден диоксид SCD30, Sensirion.

5.1.3 Сензор за амоняк KM21, KLHA

Сензорът KM21 (Фигура 5.9) [78] е високо прецизен сензор за откриване на амоняк $NH_3$ при различни приложения, като промишлена безопасност, селско стопанство или мониторинг на околната среда. Той има обхват на измерване от 0 до 200ppm, резолюция 1ppm, клас на точност 3%, захранване от 9 до 24V DC, 1A. Има два варианта на изходния сигнал – напреженов изход от 0V до 10V DC или Modbus през RS485. Работния му диапазон е при температури от −10°C до +65°C и относителна влажност от 0% до 90%, IP65 [78].

Сензора отговаря на изискванията техническите изисквания, като за целите на изследването е избрана версията с Modbus, която се свързва със системата посредством Modbus gateway ADM-5832G. Сензора не е тестван в реална среда с наличие на метан, но при тестовете изпраща данни с показания 0ppm, както се очаква.

Фигура 5.9 Сензор за амоняк KM21, KLHA.

### 5.1.4 Сензор за метан MH-Z1341B, Winson

MH-Z1341B (Фигура 5.10) [76] е сензор за метан $CH_4$, който използва недисперсионен инфрачервен принципа (NDIR) за откриване на горими газове във въздуха. Има добра селективност, липса на кислородна зависимост, дълъг живот, вградена температурна компенсация, цифров изход и е удобен за използване. Сензора измерва стойности от 0 до 100LEL или от 0 до 5%VOL, което означава от 0 до 50000ppm със стъпка от 100ppm. Има клас на точност 0.15% в диапазона от 10°C до +40°C и 0.25% при температура от −10°C до +10°C и от +40°C до +60°C. Захранване от 3.3V до 5V DC, като се препоръчва за по стабилна работа да е 5V. Има сериен UART интерфейс, време на реакция <30s и експлоатационен живот >10 години. Работи при относителна влажност от 0% до 95% [76].

MH-Z1341B отговаря на изискванията за използване в предложената КФС, като за връзка с нея е необходим контролер NodeMCU.

Фигура 5.10 Сензор за метан MH-Z1341B, Winson.

### 5.1.5 Сензор за въглероден оксид, температура и относителна влажност - JXBS-3001-CO/TH-RS, Jingxun

JXBS-3001-CO (Фигура 5.11) [79] е високопрецизен електрохимичен сензор за въглероден оксид. Той има няколко варианта, които имат различни възможности за връзка и допълнителни сонди. Има варианти с Modbus RS485, аналогови изходи, и такива с NB-IoT, LoRa, Enternet или мобилна 4G мрежа. JXBS-3001-CO се използва широко в хотели, изложбени зали, търговски центрове, гари, зали за забавления, театри и други обществени места; фабрики, работилници, чисти стаи и други индустриални приложения. Варианта на сензора JXBS-3001-CO/TH-RS който е с Modbus RS485 има следните характеристики. Измерва концентрация на въглероден оксид CO от 0 до 1000ppm и резолюция 1ppm, и клас на точност при 25°C – 3%. Захранване от 12V до 24V DC, работен диапазон при температури от −20°C до +40°C (краткотрайно от −30°C до +50°C), налягане от 0.9atm до 1.1atm [79].

За целите на изследването е тестван сензора JXBS-3001-CO/TH-RS, който освен въглероден оксид CO може да измерва, температура и относителна влажност. Диапазона на измерване на температурата е от −20°C до +40°C при точност ±0.5°C при 25°C и влажност от 0% до 100% и точност ±3% в диапазон от 5% до 95% при 25°C. Той отговаря на изискванията на системата, като е избран варианта с Modbus, а връзката към системата се

осъществява посредством Modbus gateway ADM-5832G при скорост на предаване 9600 Baud.

Фигура 5.11 Сензор за въглероден оксид JXBS-3001-CO/TH-RS, Jingxun.

5.1.6 Сензор за сероводород JXBS-3001-H2S, Jingxun

JXBS-3001-$H_2S$ (Фигура 5.12) [79] е високопрецизен електрохимичен сензор за сероводород $H_2S$. Той има няколко варианта, които имат различни възможности за връзка и допълнителни сонди. Има варианти с Modbus RS485, с аналогови изходи, и такива с NB-IoT, LoRa, Enternet или мобилна 4G мрежа. Има диапазон на измерване на сероводород $H_2S$ от 0 до 100ppm с резолюция 0.1ppm, и клас на точност при 25°C – 2%. Захранване от 12V до 24V DC, работен диапазон при температури от −20°C до +40°C (краткотрайно от −30°C до +50°C), налягане от 0.9atm до 1.1atm [79].

За целите на изследването е избран варианта с Modbus като връзката към системата отново се осъществява посредством Modbus gateway ADM-5832G при скорост на предаване 9600 Baud.

Фигура 5.12 Сензор за сероводород JXBS-3001-H2S, Jingxun.

5.1.7 Сензор за фини прахови частици (PM2.5 и PM10) RS-PM-2-EX, Renke

RS-PM-2-EX (Фигура 5.13) [80] е промишлен сензор за качество на въздуха с висока точност на измерване и широка гама от употреба. Сензорът RS-PM-2-EX измерва

концентрацията на прахови частици PM2.5 и PM10, като работи на принципа на лазерно разсейване и използва уникален алгоритъм за изчисляване на концентрацията на масата на частиците на еквивалентния размер на частиците на единица обем. Той осигурява бърза, точна и стабилна производителност. Захранване от 10V до 30V DC. Има варианти с интерфейс Modbus RS485 или аналогови изходи 4-20mA, 0-5V, 0-10V. Диапазона на измерване е за PM2.5 – от 0 до 1000μg/$m^3$, PM10 – от 0 до 1000μg/$m^3$ с резолюция 1μg/$m^3$. Точността е 3%(при 100μg/m3, 25℃ и 50% относителна влажност), а времето за реакция <90s. Сензора може да се използва за наблюдение на външни метеорологични среди или на закрито в библиотеки, складове, супермаркети, офис сгради, оранжерии и в животновъдни ферми [80].

За целите на изследването е избран варианта с Modbus RS485 като за връзка със системата отново се използва Modbus gateway ADM-5832G. Като функция в КФС, сензора за прахови частици се използва единствено с информативна цел, като при превишаване на зададените норми системата изпраща уведомителни съобщения за това.

Фигура 5.13 Сензор за фини прахови частици RS-PM-2-EX, Renke.

5.1.8 Сензор за скорост и посока на движение на въздуха (анемометър) RS-CFSFX-N01-3-EX, Renke

Ултразвуковият анемометър RS-CFSFX-N01-3-EX (Фигура 5.14) [80] е измервателен уред, който използва ултразвукови вълни разпространявани във въздуха за измерване на скоростта и посоката на вятъра. Благодарение на новата технология, структурата е по-компактна. Изработена от ABS материал с висока якост, който е удобен за използване от потребителите в различни среди, като не се влияе от запрашеността. Захранване от 10V до 30V DC. Има Modbus RS485 и аналогови изходи 4-20mA, 0-5V, 0-10V. Диапазона на измерване е за скоростта на вятъра е от 0 до 40m/s при 360°. Стъпката на измерване на скоростта е 0.01m/s, а на посоката 1°. Точността на скоростта е ±0.5+2% (при 25℃ и 60%RH), а на посоката е ±3° (при 25℃ и 60%RH). Диапазона на работа за температура е от −40°C до +80°C и относителна влажност от 0% до 95% и е устойчив на вятър до 75m/s [80].

RS-CFSFX-N01-3-EX отговаря на изискванията на КФС, като за връзка със системата отново е необходим Modbus gateway ADM-5832G.

Фигура 5.14 Анемометър RS-CFSFX-N01-3-EX, Renke.

5.1.9 Сензор за диференциално налягане A2G-50, WIKA

Сензорът A2G-50 (Фигура 5.15) [81] е предназначен за измерване на диференциално налягане и статично налягане, за мониторинг на филтри, за мониторинг на свръхналягане в чисти помещения и лаборатории. Основава се на пиезорезистивен принцип на измерване. Има два варианта за изходен сигнал. Първия е с аналогови изходни сигнали за двете измервани величини (0-10 V или 4-20 mA), а втория е цифровите версии Modbus, който позволява директна връзка към системи за управление или система за сградна автоматизация. Диапазонът на налягането и времето за реакция могат да бъдат индивидуално адаптирани в инструмента чрез джъмпери. Измереното диференциално налягане също се показва на LC дисплея и се предава чрез аналогови или цифрови изходни сигнали [81].

За целите на изследването е избран сензор Вариант 1 с обхват за измерване на диференциално налагане от -100 Pa до 2500 Pa с Modbus изходен сигнал, захранващо напрежение 24V DC. В избрания диапазон на измерване на диференциално налягане до 250 Pa (настроен в сензора диапазон от -100 Pa до 100 Pa) сензора има клас на точност от 1 % ±2 Pa. Сензора намира приложение в системата за управление на микроклимата в птицеферма при режими на минимална и преходна вентилация. Връзката със системата се осъществява посредством Modbus gateway ADM-5832G.

Фигура 5.15 Сензор за диференциално налягане A2G-50, WIKA.

### 5.1.10 Сензор за осветеност BH1750, ROHM Semiconductor

BH1750 (Фигура 5.16) [82] е дигитален сензор за осветеност които използва комуникационен протокол $I_2C$. Има широк диапазон при висока разделителна способност от 1 до 65535 lx и ниска консумация на енергия с функция за изключване. Има много малка зависимост от източника на светлина (лампа с нажежаема жичка, флуоресцентна лампа, халогенна лампа. бял светодиод или слънчева светлина) Точността му е ±20% [82].

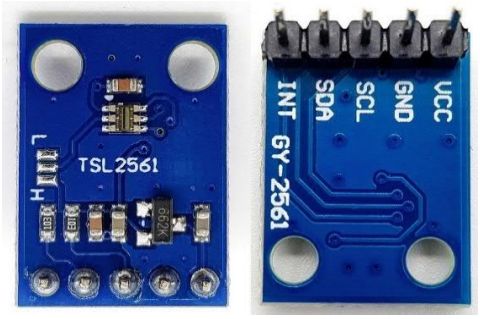
За целите на изследването сензора се използва посредством контролер NodeMCU за включване, изключване или димиране на осветлението по предварително зададена схема.

Фигура 5.16 Модули със сензор за осветеност BH1750.

### 5.1.11 Сензор за осветеност TSL2561, ams-OSRAM AG

Сензорът за осветеност TSL2561 (Фигура 5.17) [83] е усъвършенстван цифров сензор за светлина, идеален за използване в широк диапазон от светлинни ситуации. Има диапазон на измерване от 0,1 до 40 000 lx. Той съдържа както инфрачервени, така и диоди с пълен спектър, което позволява отделно да се измерва инфрачервената и видимата светлина. Интерфейсът за връзка е $I_2C$, захранващото напрежение обикновено е 3.3V, но има платки при които е 5V [83].

Сензора TSL2561 се използва посредством контролер NodeMCU за включване, изключване или димиране на осветлението по предварително зададена схема, като за целите на изследването може е използван по същия начин както и сензора BH1750.




Фигура 5.17 Модул със сензор за осветеност TSL2561.

### 5.1.12 Сензор за разтворен кислород и температура TriOxmatic 700 IQ, YSI Incorporated

TriOxmatic 700 IQ (Фигура 5.18) [84] е универсален сензор за измерване на разтворен кислород DO при процеси на биологично третиране на отпадъчни води. Има много издръжлива хидрофобна мембрана с дебелина 50 микрона и време за реакция при 25°C - 180 секунди. Сензора предотвратява смущенията в сигнала от издигащи се въздушни мехурчета в аерационни резервоари. Сензора може да работи при налягане до 10bar, има интегрирана защита от външна светлина, работна температура 0°C до +60°C и обхват на измерване з разтворен кислород DO от 0.0 до 60.0 mg/L. Освен това измерва и кислородна сатурация от 0 до 600% [84].

Сензора TriOxmatic 700 IQ отговаря на всички изисквания за реализиране на предложената КФС за управление на аквапонична система, като от голямо значение освен точността е и надеждността и възможността за продължителна работа без да е необходима честа профилактика и почистване. За връзка със сензора е необходимо използването на допълнителен контролер IQ SensorNet 282 или 284.

Фигура 5.18 Сензор за разтворен кислород и температура TriOxmatic 700 IQ, YSI Incorporated.

### 5.1.13 Сензор за амоний и калий AmmoLyt Plus 700 IQ, YSI Incorporated

AmmoLyt Plus 700 IQ (Фигура 5.19) [84] е сензор от типа йон селективен електрод (Ion Selective Electrode- ISE) и е част от системата за мониторинг IQ SensorNet. Той осигурява непрекъснат мониторинг на амоний $NH_4$+ и калий K без реактиви, като използва най-прецизните и надеждни електроди на пазара, а индивидуално сменяемите електроди имат типичен живот до 24 месеца. Има диапазон на измерване до 2000 mg/l - $NH_4$-N, 2580 mg/l - $NH_4$+ и до 1000 mg/l - K. Има функция за лесно калибриране на място, и интегриран NTC температурен сензор за температурна компенсация. При измерване на амоний $NH_4$+ може да се настрой диапазон на измерване от 0.1 ... 129.0 mg/l със стъпка на измерване 0.1 mg/l. Работния диапазон е за температура от 0°C до +40°C и за водороден показател pH от 4 до 8.5. Времето му за реакция е по-малко от 20 секунди. Водоустойчив е до 0,2 bar [84].

За целите на изследването AmmoLyt Plus 700 IQ отговаря на изискванията и може да се използва за измерване на амония в аквапонична система, като за връзка със системата е необходим допълнителен контролер IQ SensorNet 282 или 284.

Фигура 5.19 Сензор за амоний и калии AmmoLyt Plus 700 IQ ,YSI Incorporated.

5.1.14 Сензор за нитрити и нитрати NiCaVis 701 IQ NI, YSI Incorporated

NiCaVis 701 IQ NI (Фигура 5.20) [84] е спектрофотометър без реагент, базиран на оптика, вграден в здрава, устойчива на корозия полева сонда за системата IQ SensorNet. Той може да отчете до 5 параметъра, включително: нитрати $NO_2^-$, нитрити $NO_3^-$, COD (химическа потребност от кислород), BOD (биохимична потребност от кислород), UVT-254 (UV пропускливост при 254 nm дължина на вълната), TOC (общ органичен въглерод), DOC (разтворен органичен въглерод) и SAC (Спектрален коефициент на абсорбция). Сондата NiCaVis сканира 256 дължини на вълната на измерване, за да предостави най-точните данни с прецизна компенсация за смущения като мътност на UV-VIS сондата. NiCaVis предоставя непрекъснати данни, за да помогне при решения за оперативни подобрения. Вградената в сондата технология за ултразвуково почистване Ultra Clean намалява изискванията за рутинна поддръжка. Диапазон на измерване за нитрити е $NO_2^-$ е от 0,0 до 120,0 mg/l със стъпка 0,1 mg/l, а за нитрати е $NO_3^-$ е от 0,0 до 300,0 mg/l със стъпка 0,1 mg/l. Работния диапазон е за температура от 0°C до +45°C и за водороден показател pH от 4 до 12 [84].

За целите на изследването сензора се използва за измерване само на нитрити $NO_2^-$ и нитрати $NO_3^-$ в аквапонична система, като отново е необходим допълнителен контролер IQ SensorNet 282 или 284 за осъществяване на връзката.

Фигура 5.20 Сензор за нитрити и нитрати NiCaVis 701 IQ NI, YSI Incorporated.

5.1.15 Сензор за pH (водороден показател) SensoLyt 700 IQ, YSI Incorporated

SensoLyt 700 IQ (Фигура 5.21) [84] е сонда за измерване на водороден показател pH с висока точност и надеждност за системата IQ SensorNet. Има диапазон на измерване на pH от 0 до 14 с резолюция 0.01 и работен диапазон при температура от 0°C до +60°C. Водоустойчив е до 6 bar [84].

За целите на изследването сензора отговаря на изискванията за реализиране на предложената КФС като е необходим измерване на pH в аквапоничната система. За връзка с КФС отново е отново е необходим допълнителен контролер IQ SensorNet 282 или 284.

Фигура 5.21 Сензор за pH SensoLyt® 700 IQ, YSI Incorporated

5.1.16 Сензор за ниво на течности SL-M5, НН ЕЛЕКТРОНИК

За реализирането на предложената КФС е тестван магнитен сензор за ниво на течности SL-M5 (Фигура 5.22) [85], които има 1 брой нормално отворен контакт и е със степен на защита IP68, работна температура −20°C до +60°C, максимален работен ток на контактния елемент 300mA, максимално допустимо напрежение 100V [85]. За връзка със системата сензора се свързва през контролер NodeMCU при работно напрежение 3.3V, като функцията му е да отчита дали новото на водата в измервания резервоар е по-ниско от зададеното. Сензора не се регулира, а само се поставя на определеното ниво при което искаме да сработва.

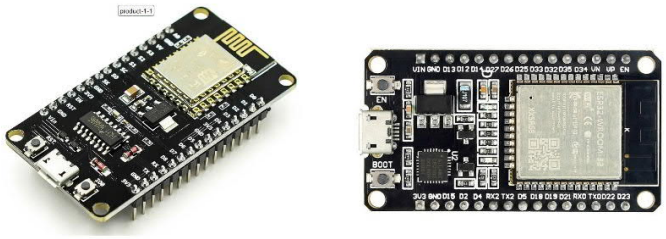
Фигура 5.22 Сензор за ниво на течности SL-M5.

**5.2 Контролери**

5.2.1 Контролер NodeMCU

Контролерът NodeMCU (Фигура 5.21) първоначално разработен от NodeMCU Team е продукт с отворен код. Произвежда се от различни производители като Amica, Lolin, DOIT, Devkit и много други, като има няколко версии на NodeMCU като V0.9, V1, V2 и V3. V0.9 е базирана на по-стара версия на чипа ESP8266 (ESP-12) и не е тествана. За целите на изследването са тествани различни версии и варианти NodeMCU като V1, V2 и V3 които са базирани на версии на ESP8266 като ESP-12E и ESP-12F. Втората разлика във вариантите на NodeMCU е в чипа който осъществява връзката USB-to-serial, което е тип конвертор на протоколи, който се използва за конвертиране на USB сигнали за данни към и от серийни комуникационни стандарти (серийни портове). Има два варианта с чип CP2102 или с CH340. Въпреки, че CP2102 има по-висока цена от CH340 и съответно контролерите NodeMCU оборудвани с него също са на по-висока цена, при тестовете на различните варианти не се установи разлика в производителността или функционалността им. Другата разлика е в размерите на контролера като повечето са с размери близки до 48mm x 25mm, но някои платки с чип CH340 са по-широки с размери близки до 56mm x 31mm. NodeMCU се захранва през micro USB – 5V, има различни пинове за връзка с него като $I_2C$, PWM, UART, SPI, 3.3V, както и GPIO които могат да бъдат конфигурирани като I2C, I2S, UART, PWM например. Разполага с Wi-Fi 802.11 b/g/n. Има и версия с ESP32S която разполага и с Bluetooth BLE 4.2. Работния диапазон е при температури от −40°C до +125°C.

За целите на изследването NodeMCU се използва за осъществяване на връзка между сензори, бутони за управление, релета за управление на крайни устройства, сигнални лампи и др. от една страна и сървъра на КФС от друга.



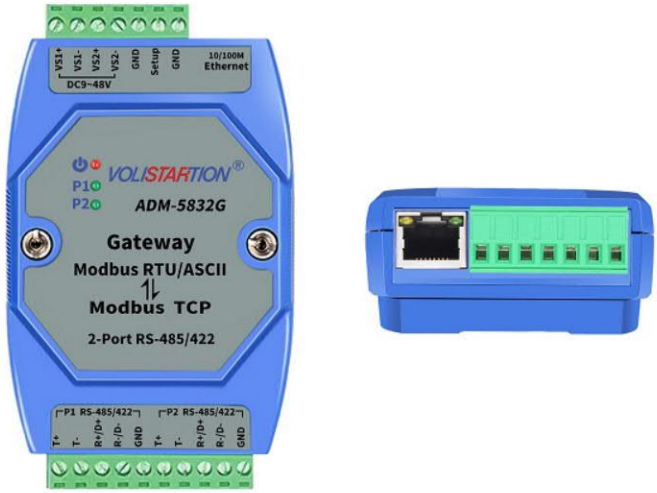
а) б)

Фигура 5.22 Контролер NodeMCU а) с USB-to-serial чип CH340 б) USB-to-serial чип CP2102.

5.2.2 Контролер Modbus gateway ADM-5832G

ADM-5832G (Фигура 5.22) [72] е индустриален Modbus gateway който може лесно да бъде използван за безпроблемно интегриране на устройства със сериен Modbus (MODBUS-RTU/ASCII) и устройства с Modbus Ethernet (MODBUS-TCP). Монтира се на DIN шина, а захранването му е от 9V до 48V DC. ADM-5832G има 1 порт 10/100MEthernet и 2 порта RS-485/422 които могат да бъдат конфигурирани независимо един от друг със съответния софтуер. Могат също да се избират и Baud rate, Data bit, Stop bit и Parity bit. Поддържат се следните протоколи: ARP, IP, ICMP, IGMP, UDP, TCP, DHCP, DNS, MODBUS TCP, MODBUS RTU, MODBUS ASCII. Има 4 режима на работа – „RTU Master - TCP Slaver“, „TCP Master - RTU Slaver“, „ASCII Master - TCP Slaver“ и „TCP Master - ASCII Slaver“. Поддържа до 32 Modbus TCP master устройства и до 4 Modbus TCP slave устройства или до 2 Modbus RTU/ASCII master устройства и 1 Modbus slave връзка. Работния диапазон е при температури от −20°C до +70°C и при RH от 5% до 95% [72].

За целите на изследването NodeMCU се използва за осъществяване на връзка между използваните сензори с интерфейс Modbus RS485 и системата. Двата порта RS-485/422 позволяват връзката на сензори с различен Baud rate като в общия случай един такъв контролер е достатъчен за да се свържат всички необходими сензори с които работят по Modbus протокол (общо до 32 броя на двата порта RS-485/422).




Фигура 5.22 Modbus gateway ADM-5832G.

5.2.3 IQ SensorNet 282 и 284, YSI Incorporated

Контролерите IQ SensorNet 282 и 284 (Фигура 5.23) [84] осъществяват връзката между сензорите YSI, (като връзката е plug and play), и сървъра на КФС. Тази връзка от своя страна може да бъде осъществена с почти всеки комуникационен протокол, включително Modbus TCP, Modbus RTU, PROFIBUS и PROFINET. Те имат лесен за четене цифров дисплей и USB интерфейс и възможности за регистриране на данни за по-нататъшен анализ и отстраняване на неизправности. YSI IQ SensorNet 282 има възможност за връзка с до 2 сензора, а 284 с до 4 сензора [84]. Те отговарят на всички изисквания на КФС и са подходящи са използване в предложената аквапонична система.

Фигура 5.23 Контролер YSI IQ SensorNet 282.

## 5.3 Обобщение

В тази глава са разгледани редица сензори които по характеристики отговарят както на изискванията за съвместимост на свързващия ги интерфейс, така и по обхват и резолюция спрямо функциите които се изисква да изпълняват в алгоритмите за управление на микроклимата в различните животновъдни стопанства. Избраните сензори са част от предлаганите на пазара ценово ориентирани сензори. Освен тях, на пазара се предлага голям

избор на сензори на други производители, с подобни параметри и достъпна цена, които също могат да бъдат използвани за реализиране на системата.

Избраните допълнителни контролери за връзка на сензорите и крайните устройства със сървъра на системата предлагат различни възможности за връзка. Броя им за изграждане на една или друга КФС зависи от броя и вида на сензорите и крайните устройства, а те от своя страна зависят и от алгоритъма за управление. При необходимост могат да бъдат използвани и други подобни контролери.

Като следваща стъпка в разработването и тестването на разглежданата КФС за управление на микроклимата в комплексите за отглеждане на животни е разработването на отделни алгоритми изразяващи спецификата и нуждите на различните видове животни.

# ГЛАВА 6. Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на животни на базата на OpenHAB

Предложената КФС може да се използва за управление на микроклимата в животновъдни стопанства предназначени за отглеждане на различни по вид и предназначение домашни животни. За да бъде енергоефективна, да повишава продуктивността и подобрява здравословното им състояние, системата трябва да отговаря на строги критерии съобразени с нуждите на животните и целите на отглеждането. Много важно е да се проучи обстойно влиянието върху животните на всички параметри на средата, като е от значение дали се отглеждат за месо, мляко, яйца и т.н. Затова в това изследване са проучени условията за отглеждане и са разработени алгоритми за управление на най-масово отглежданите домашни животни. Това включва КФС за управление на микроклимата в животновъдни стопанства за отглеждане на дойни крави, за прасета отглеждани за месо, и за бройлери отглеждани за месо. Разработена е и КФС за управление на средата в аквапонична система за отглеждане на риба и растения. По-долу са разгледани подробно изброените системи.

В главата е разгледан и начина на инсталиране, конфигурация и настройка на системата като са показани основните възли и осъществяването на връзката между отделните компоненти.

## 6.1 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на дойни крави

### 6.1.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на дойни крави

Един от важните аспекти на функционирането на съвременните животновъдни ферми е осигуряването на оптимална и здравословна среда, както и повишаването на продуктивността на животните чрез прецизен контрол на микроклимата, постигане на по-ниска енергийна консумация на сградите и оптимални количества храна, приемана от животните. Основно изискване към всяка животновъдна сграда е тя да осигурява необходимите условия, съобразени с физиологичните нужди на настанените в нея животни чрез технологично моделиране на естествените микроклиматични фактори и постигане на желаната техногенна среда [86]. За да осигури оптимална и здравословна среда за дойните крави и да увеличи продуктивността, предложената КФС трябва да осигурява контрол на условията на околната среда което включва не само измерване и управление на параметри като температура, относителна влажност, светлина, вентилация, скорост на движение на въздуха. Трябва и да се наблюдава и контролира качеството на въздуха и нивата на вредни газове като амоняк $NH_3$, въглероден диоксид $CO_2$, въглероден оксид CO, сероводород $H_2S$, метан $CH_4$. Максималните концентрации на тези газове са установени, като има и редица нормативни документи които също ги определят. Амоняк $NH_3$, не трябва да превишава стойности от 20mg/$m^3$ (28ppm) [87] за млечни крави и 5mg/$m^3$ (7,2ppm) [88] за телета до 6 месеца. Концентрацията на въглеродния диоксид $CO_2$ относно отглежданите млечни крави трябва да бъде под 3000ppi [87], но при условие, че там влизат хора се допуска концентрацията да бъде до 2500ppm [89], а при отглеждане на телета до 6 месеца нормата е до 3600 mg/$m^3$ (2000ppm) [88]. Метан $CH_4$ до 500mg/$m^3$ (762ppm) [89]. Въглероден оксид CO

до 0,005 mg/l (4,4ppm) [87]. Сероводород $H_2S$ до 10mg/$m^3$ (7,2ppm) [87]. Животозастрашаващи са и високите стойности на THI над 100 [90], които могат да доведат до смърт на млечните крави, както и изключително ниските температури, при които могат да възникнат заболявания или измръзване през зимните месеци при стойности под −15°C. Минималната температура за отглеждане на крави на закрито е 5°C, а за телета е 10°C [87 61]. Освен това е необходимо да се следи и регулира скоростта на движение на въздуха SAF (Speed of air flow). Оптималните температури, относителна влажност и скоростта на движение на въздуха могат да се видят в таблица 6.1 [87]. При високи температури е по-важно средата да се управлява спрямо THI, а не спрямо температурата. Затова при използване на пръскачки в кравеферма е по-добре те да бъдат за ниско налягане с едри капки, като охлаждането на кравите се осъществява чрез директното им намокряне. Пръскачките за изпарително охлаждане повишават прекалено много относителната влажност RH и са подходящи единствено при изключително сух климат. Установено е, че пръскачките за охлаждане в кравеферма са най-ефективни когато работят в цикъл, при който се включват за няколко минути, а след това се изключват. Според някои автори [91] при порода Холщайн млеконадоя може да се повиши значително при промяна съотношението на времето включено/изключено на пръскачките. При цикъл 3/3 (3 минути работа/3 минути изключени) добива на мляко е с до 2кг/ден по-висок спрямо цикъл 3/9 (3 минути работа/3 минути изключени).

| **Категория** | **Температура, °C** | | | **Относителна влажност RH, %** | | | **Оптимална скорост на движение на въздуха SAF, m/s** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | мин. | опт. | макс. | мин. | опт. | макс. | Топли периоди 15-28°C | Студени периоди 5-12°C |
| Дойни крави | 5 | 10-15 | 28 | 50 | 70-75 | 85 | 0,5 - 1 | 0,3 |
| Биволици | 8 | 15-18 | 28 | 50 | 70-75 | 85 | 0,5 - 1 | 0,2 |
| Родилно | 10 | 12-15 | 28 | - | - | - | 0,3 - 05 | 0,2 |
| Телета профилактериум | 10 | 15-20 | 28 | 50 | 60-75 | 80 | 0,3 | 0 - 0,2 |
| Телета до 3 месеца | 10 | 15-18 | 28 | 50 | 60-75 | 80 | 0,3 - 0,5 | 0 - 0,2 |
| Малачета профилактериум | 12 | 18-20 | 28 | 50 | 67-70 | 75 | 0,3 | 0,1 |
| Малачета до 3 месеца | 12 | 15-18 | 28 | 50 | 70-75 | 80 | 0,3 | 0,1 |
| Малачета до 6 месеца | 12 | 15-18 | 28 | 50 | 70-75 | 80 | 0,3 | 0,2 |

Таблица 6.1 Изисквания към параметрите на жизнената среда за говеда и биволи.

Фини прахови частици не трябва да надвишават 3 mg/$m^3$ [87]. Но те не могат да бъдат директно контролирани в определени граници, тъй като системите за въздушен филтър не са икономически оправдани. Високата им концентрация може да се предотврати чрез по-добро почистване на помещенията. Осветеността в помещенията също трябва да се подържа на необходимото ниво за определен период от време. Въпреки, че има редица изследвания за влиянието на продължителността на светлия период върху добива на мляко, няма единни

резултати за най-добър добив. Също така удължаването на светлия период, което води при някои породи крави до повишаване на добива, може да влоши качеството на млякото като се увеличат нивата на ненаситени мастни киселини, главно олеинова киселина [92]. Като цяло се смята, че светлия период за дойните крави трябва да е от 16 до 18 часа. Осветеността според някои наредби трябва да бъде над 30lx или 50lx на мястото на доене в зависимост от това дали кравата е вързана или не, до над 100lx за манипулационна зала [87], но в общия случай се смята, че осветеността независимо от мястото трябва да е поне 200lx. При отглеждане на крави също не се допустимото ниво на шум над 75 dB [87], като измерването може да се направи при тестване на системата и максимална степен на вентилацията, като останалите системи като системи за почистване, доене и други подобни трябва да са съобразени с тези норми.

### 6.1.2 Сензори и системи за управление

В зависимост от наличното оборудване в кравефермата, по време на първоначалната инсталация на системата е възможно да се изберат параметрите, които да се наблюдават и записват. Това става с помощта на конфигурационни файлове, като има определени параметри на средата, които задължително трябва да се наблюдават за да може КФС да работи (Таблица 6.2).

| **Сензори** | **Необходимост** | **Протокол** |
|---|---|---|
| Вътрешна температура | Да | Modbus/MQTT |
| Относителна влажност в помещението | Да | Modbus/MQTT |
| Външна температура | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Амоняк $NH_3$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Въглероден диоксид $CO_2$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Метан $CH_4$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Въглероден оксид CO | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Сероводород $H_2S$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Фини прахови частици | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Скорост на движение на въздуха SAF | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Осветеност в помещението | Да/Не | Modbus/MQTT |

Таблица 6.2 Необходими сензори за реализиране на КФС за управление на микроклимата в кравеферма.

В таблица 6.3 са показани какви системи за контрол на средата може да управлява предложената КФС. Въпреки, че системата може да работи като измерва само температура и относителна влажност, и няма пълен набор от системите за контрол, за да бъде енерго ефективна, и да осигурява необходимите параметри на микроклимата в сградата, както и безопасността и здравето на животните, е необходимо да има пълен набор от изброените сензори и системи за контрол.

| **Системи за контрол на средата** | **Необходимост** | **Метод за контрол** |
|---|---|---|
| Щори / Жалузи | Да/Не | Отворено/Затворено/Позиция |
| Циркулационни вентилатори | Да/Не | Вкл./Изкл.; ШИМ; |

| | | |
|---|---|---|
| Вентилация | Да/Не | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Отопление | Да/Не | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Подгряване на водата за поилките | Да/Не | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Пръскачки | Да/Не | Вкл./Изкл. |
| Осветление | Да/Не | Вкл./Изкл. |

Таблица 6.3 Необходими системи за контрол на средата за реализиране на КФС за управление на микроклимата в кравеферма.

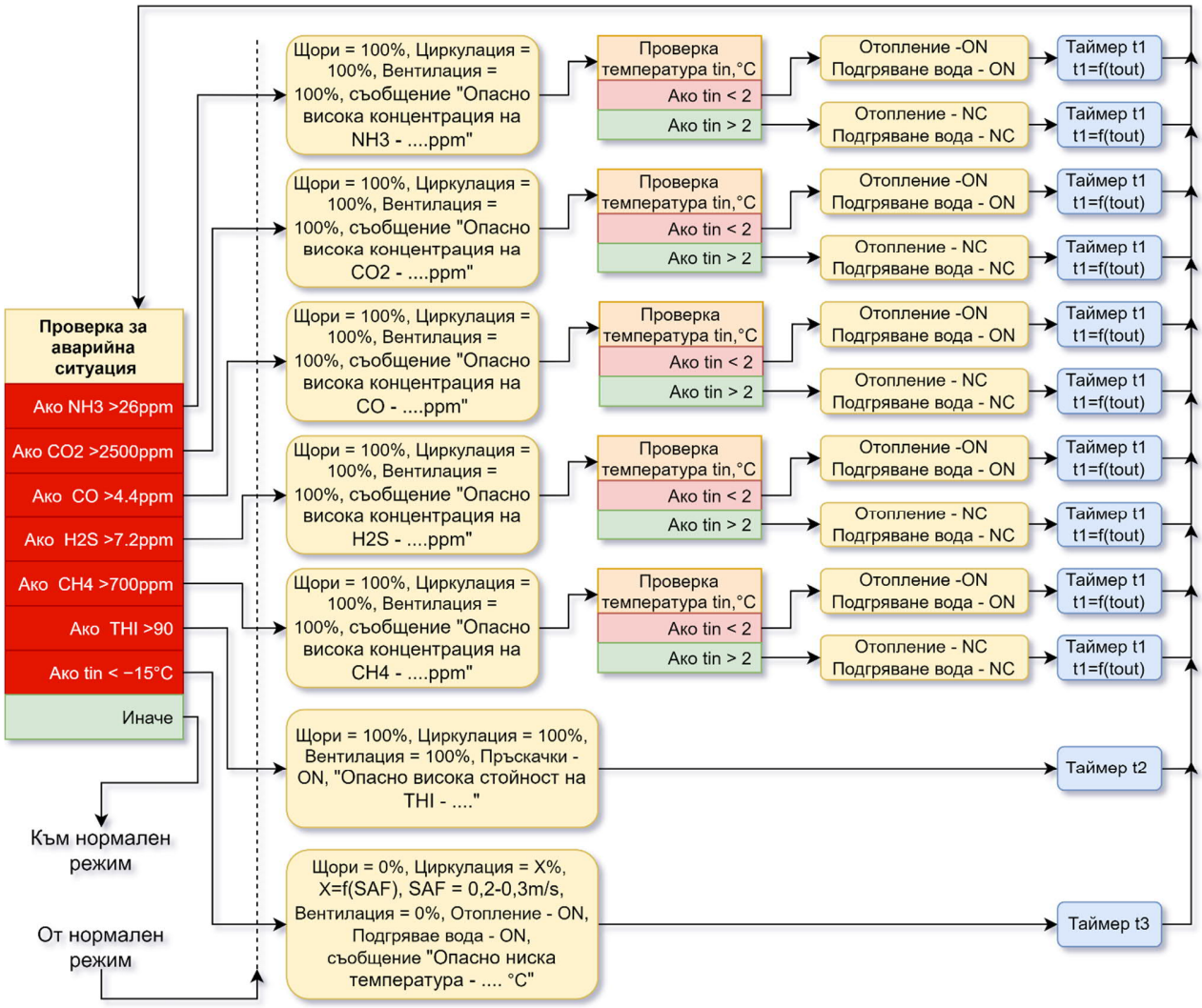
В зависимост от типа на системата за контрол на средата, КФС има възможност да я управлява директно, или в случай, че системата има собствен контролер, КФС може да зададе целеви контролни стойности (чрез комуникация чрез различни протоколи) или само да я включва и изключва за определено време, когато е необходимо. Въз основа на настоящите изследвания и проучвания в КФС са зададени стойности по подразбиране за параметрите, които трябва да се поддържат. Според конкретните нужди, параметрите могат да се променят, както при първоначалната инсталация на КФС, така и впоследствие за надграждане и оптимизиране на системата. Настройките включват допустими отклонения, в рамките на които тези параметри могат да се променят.

Управлението на КФС взима предвид приоритизирането на конкретни действия, които трябва да бъдат предприети, за да се осигури безопасен и оптимален микроклимат в кравефермата. На първо място се дава приоритет на аварийните режими, при които животът на кравите и обслужващият персонал са изложени на риск. Това са високите концентрации на вредните и токсични газове изброени по-горе.

### 6.1.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при авариен режим

Последователността на алгоритъма в аварийни режими (Фигураиг.6.1) може да се опише по следния начин. Стойностите на съответните параметри се проверяват по предварително зададен ред според степента на опасност. При отчетена стойност извън предварително зададени диапазони се предприема последователност от действия, които целят промяна на параметъра. В случай, че има висока концентрация на някой от газовете, първо се проверява състоянието на щорите. Ако те не са отворени или са частично отворени се отварят напълно. Същото се прави и с вентилационните системи (вентилаторите за свеж въздух наричани за краткост „вентилация“ и циркулационните вентилатори наричани „циркулация“), като те се включват да работят на максимална скорост. Въпреки, че при студен сезон скоростта на движение на въздуха не трябва да превишава определените по горе стойности, понижаването на високата концентрация на вредните газове е от първостепенно значение, като времето за работа на системата в тези режими е няколко минути. След това системата изпраща известие по предварително зададен канал, като SMS или имейл, с измерената стойност която е извън нормите. Системата проверява и температурата в помещението $t_{in}$, и в случай, че е по-ниска от зададената стойност включва отоплението и подгряването на водата в поилките. Ако е по висока ги оставя в текущото им състояние. След това, системата продължава да работи така за определено предварително зададено време за изчакване $t_1$, като по този начин се избягва непрекъснатото включване и

изключване на отделните компоненти. Времето не трябва да е твърде дълго, като се съобразява с параметрите на сградата, вентилацията и щорите, както в същото време може да се променя (намалява) при отчитане на ниска външната температура. Това гарантира, че системата няма да остане в този режим повече от необходимото, като се избягва прекомерно охлаждане на помещението, а и своевременно се проверява дали не е необходимо да се предприемат други мерки. След изтичане на зададеното време, системата проверява отново параметрите в аварийния режим един по един и ако отново превиши стойностите на същия параметър, остава в същия режим без да изпраща ново съобщение. Ново съобщение със същото известие ще бъде изпратено след определен брой цикли, ако стойностите не влязат в зададените граници. Ако се отчете прекалено висока стойност на THI отново щорите се отварят напълно, вентилацията и циркулационните вентилатори се задействат на максимална стойност. Въпреки, че интервалът за работа на този цикъл е по-дълъг, и той може да се повтаря многократно в горещи летни дни, е допустимо SAF да превишава препоръчаните като максимални стойности за дойни крави 3m/s [93]. Включват се и пръскачките за охлаждане на кравите (само в помещения за дойни крави, не при телета и в родилно) при предварително настроен цикъл включено/изключено. Изпраща се съобщение и след като изтече настроеното време $t_2$ проверката започва от начало.




Фигура 6.1 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в помещение за дойни крави при авариен режим.

Последния случай е при отчитане на прекалено ниска температура. В този случай щорите се затварят напълно, вентилацията е изключена, а циркулационните вентилатори работят при минимална стойност, или ако има сензор за измерване скоростта на въздуха (SAF) циркулационните вентилатори се управляват до постигане на скорост от 0,2-0,3m/s вътре в помещението. Отново се изпраща съобщение с температурата и след изтичане на времето $t_3$ проверката започва от начало. Ако никой от параметрите не е в критична стойност, системата преминава в работен цикъл.

### 6.1.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при нормален режим

В нормален режим на работа КФС осигурява оптимални параметри на средата, като поддържа THI в определени граници. От една страна е важно да се контролира средата в

съответствие с производителността, физическото и здравословно състояние на животните, а от друга страна с енергийната ефективност и най-икономичните условия за работа на съществуващите системи за контрол на микроклимата в сградата. При така проектираната КФС има шаблонни с предварително въведени данни според изисквания за поддържане на микроклимата в помещенията. Тези шаблони са за различни видове помещения - за млечни крави, за телета или за родилни зали. Оптимизирането и опростяването на цялостния алгоритъм на КФС води до по-надеждна работа и изисква по-малко ресурси (Фигураиг.6.2).

В случая не е необходимо да се наблюдават всички параметри на средата едновременно, поради инертността на средата и управляващите системи. Вместо това параметрите се проверяват един по един за период от време (различен за всеки режим), който е необходим за изпълнение на режима. Този интервал може да се регулира според конкретната ситуация в сградата, като например времето за обмен на въздух в сградата при прекомерна концентрация на един от наблюдаваните вредни газове според техническите характеристики на вентилацията за свеж въздух. При това предприето действие, до изтичане на времето, за което се извършва, не е необходимо да се следи за наличието на други вредни газове, тъй като за отстраняването им ще е необходимо да се предприемат същите действия.

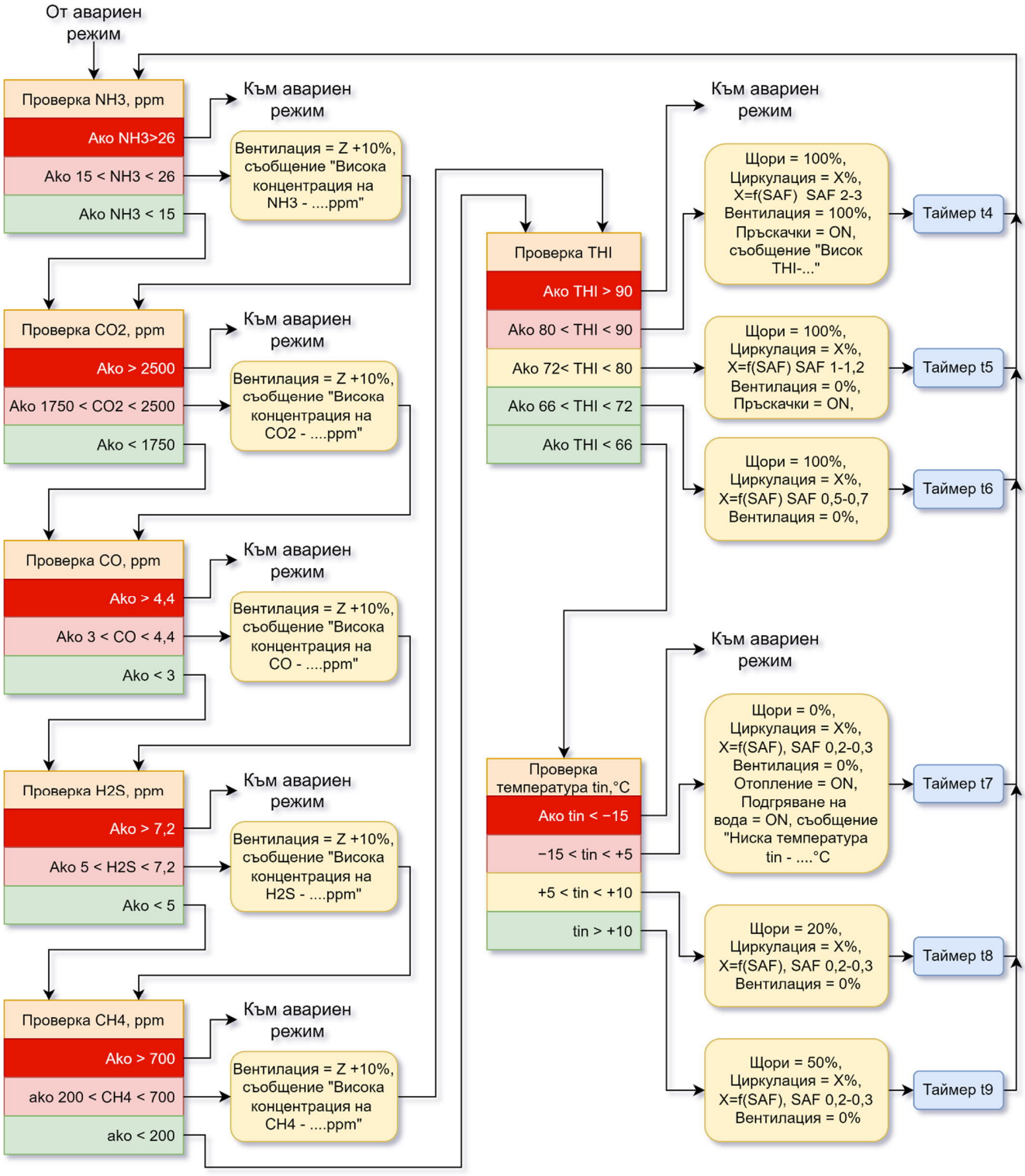
При изпълнението на алгоритъма имаме следната последователност от действия: Системата проверява концентрацията на амоняка на $NH_3$. Ако тя е над допустимите норми, системата влиза в авариен режим и се предприемат действия описани по-горе при висока концентрация на $NH_3$. След нормализиране на показателите системата отново влиза в работен режим, като проверката започва от начало. Ако концентрацията на $NH_3$ е над 15ppm, но без да превишава допустимите стойности, системата увеличава вентилацията с 10%, а ако не е включена я включва, като тази корекция на вентилацията се запазва до началото на следващия цикъл за проверка или до началото на влизане в авариен режим. Системата отново изпраща еднократно съобщение с измерените стойности и преминава към проверка на следващия параметър. Ако концентрацията е под 15ppm, системата преминава директно към проверка на следващия параметър. Това се повтаря за другите наблюдавани газове.

При проверка на температурно влажностния индекс THI, стойностите могат да попаднат в 5 диапазона. Първият е при стойности по-високи от 90. Този режим е авариен и системата директно преминава в съответния клон на аварийните режими. При стойности на THI от 80 до 90 щорите или жалузите се отварят на 100%. Вентилаторите за свеж въздух се задействат на 100%, а циркулационните вентилатори се регулират до постигане на в диапазона от 2 до 3m/s. Пръскачките се включват при предварително зададен цикъл включено/изключено. Изпраща се еднократно съобщение със съответната стойност на THI, като системата остава в този режим за времето $t_4$. След като текущия цикъл приключи, системата се връща в началото и започва отново проверка на параметрите с по-висок приоритет, докато отново достигнете проверката на THI. Ако стойността на THI е намаляла и е в диапазона от 72 до 80 (в зоната на лек топлинен стрес), се стартират следните последователни действия: Първо се проверява позицията на щорите, и ако е различна от напълно отворена се отварят докрай. Вентилация за свеж въздух се изключва с цел икономия на енергия. Проверява се скоростта на въздуха (SAF трябва да е в границите между 1 и 1,2 m/s) и ако е необходимо се регулира скоростта на циркулационните вентилатори.

Пръскачките се задействат, при определен цикъл включено/изключено, който може да е различен от този в горните режими. При стойности на THI в зоната на комфорт щорите остават напълно отворени, пръскачките се изключват, а циркулационните вентилатори се регулират до постигане на SAF в границите от 0,5 до 0,7m/s. В случай, че естествената циркулация на въздуха при напълно отворени щори е по-голяма, циркулационните вентилатори се изключват.

За последния пети диапазон, при THI < 66, системата преминава в режим на управление спрямо температурата в сградата $t_{in}$, като не се взима под внимание относителната влажност RH. При стойности на $t_{in}$ < −15°C системата директно влиза в авариен режим. При $t_{in}$ между −15 и +5°C се изпълняват следните действия: Щорите се затварят напълно и вентилацията се спира. Отоплението и подгряването на водата в поилките се включват. Циркулационните вентилатори се регулират до достигането на SAF от порядъка 0,2 до 0,3m/s и се изпраща съобщение за ниска температура. При tin между +5 и +10°C вентилацията отново остава изключена, щорите се отварят на 20%, а отоплението се изключва ако е включено. Топлината която се отделя от животните в общия случай е достатъчна за поддържане на температурата. Циркулационните вентилатори се задействат ако SAF е по-ниско от 0,2m/s и го подържат от 0,2 до 0,3m/s. При температура над +10°C щорите се отварят на 50%, а останалите системи остават както в горния режим.

При тези предприети действия на системата се цели да се достигнат температурни стойности по-високи от минималните +5°C или, ако е възможно, в рамките на оптималния диапазон от 10-15°C. Това се постига не само чрез включване на отоплението, но и чрез регулиране на позицията на щората. Пълното затваряне на щората при температури близки до оптималните би било предпоставка за чести ситуации, при които имаме високи стойности на вредни газове, затова трябва да се намери баланс между това колко отворена е щората в различните режими при ниски температури и концентрацията на вредни газове, съобразено и със спецификата и размерите на краварника, размерите на щорите или жалузите и броя на животните. Затова стъпките на отваряне на щорите могат лесно да се регулират.



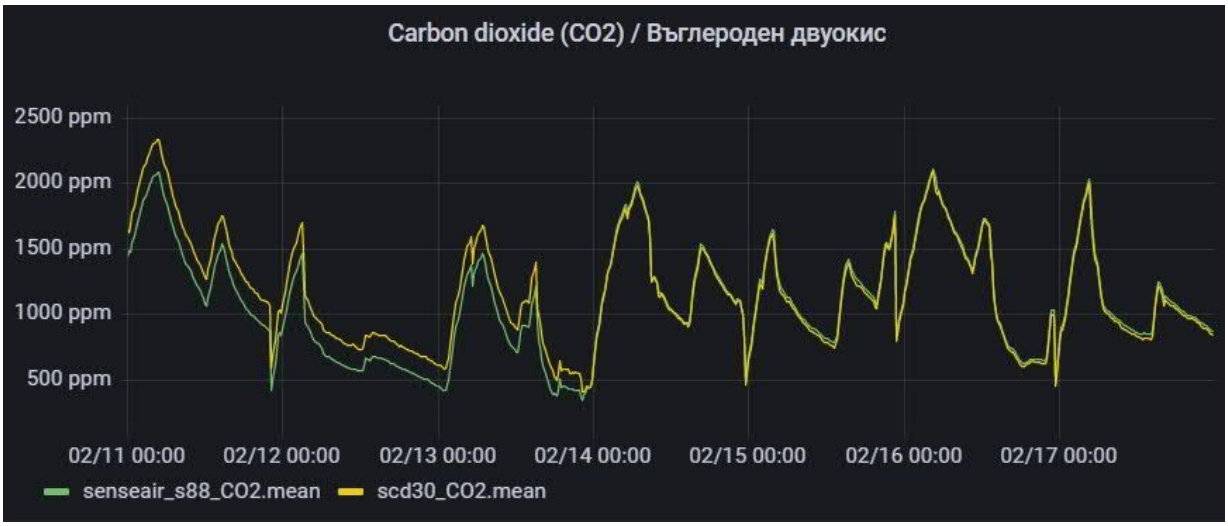

Фигура 6.2 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в помещение за дойни крави при нормален режим.

### 6.1.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в кравеферма

Въз основа на предложените алгоритми беше разработен прототип на КФС. За сървър беше използван едноплатков компютър Raspberry PI 4, използвайки OpenHAB сървър с отворен код. Чрез конфигурация на текстови файлове се описват връзките към сензорите, управляващите устройства, правилата за автоматизация и др. Сензори от всички описани по-горе типове бяха свързани към системата с помощта на протоколи Modbus и MQTT, за да се тества съвместимостта и възможни проблеми в комуникациите. Показанията от сензорите бяха използвани за събиране на данни и наблюдение на графики. Бяха използвани, имитиращи устройства, подобни на истинските които трябва да се управляват в реална среда във ферма за млечни крави. Към системата бяха свързани електрически нагревател, вентилатор с ШИМ управление, вентилатор с възможност за включване и изключване, обикновени и димируеми (с ШИМ) LED лампи и малка щора, задвижвана от постояннотоков двигател. Когато се изискваше от тестовете, беше използван симулиран сензорен вход през MQTT Brocker, например за симулиране на висока концентрация на вредни химически газове в системата.

Тествания сървър доказа, че може да се справи с натоварването от автоматизиране на малки до средно големи животновъдни ферми. За големите ферми с голям брой сензори, изпълнителни механизми и друго оборудване за автоматизация трябва да се използва по-мощен персонален компютър за сървър. Бяха симулирани и тествани различни сценарии за автоматизация които могат да възникнат в реална животновъдна ферма, приложими както към големи ферми за интензивно животновъдство, така и за малки семейни ферми. Бяха тествани комуникацията и управлението на различните сензори, задвижващи механизми и подсистеми за автоматизация чрез широко използвани индустриални комуникационни протоколи.

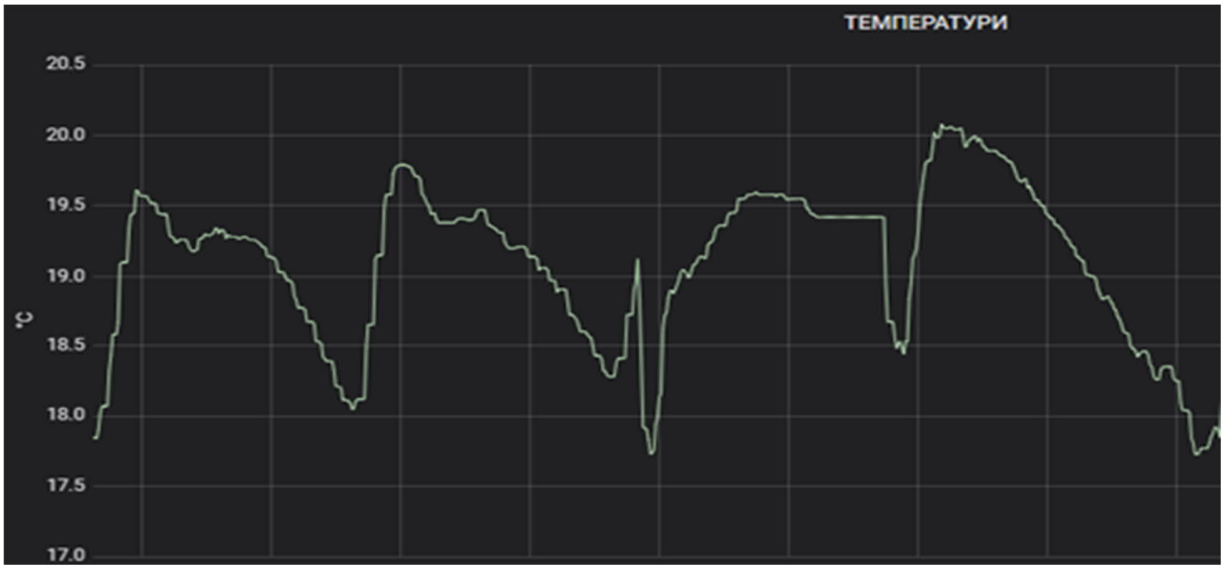
Поради невъзможността работата на системата да се провери в реална обстановка бяха извършени следните тестове. За пробата беше използвана спалня в апартамент, който има рекуперационен модул, вкарващ чист въздух в стаята. Рекуператора беше свързан към системата чрез реле, така че тя да може да го включва и изключва. Системата беше настроена да поддържа нивото на $CO_2$ под 2000ppm. На фигура 6.3 можете да се види резултатът от експеримента.




Фигура 6.3 Поддържане нивото на $CO_2$ в продължение на 8 дни.

Системата успя да поддържа нивото на $CO_2$ в спалнята под предварително зададената стойност, в продължение на няколко дни докато траеха тестовете, докато намиращите се в стаята хора издишваха $CO_2$ и концентрацията му в стаята се повишаваше.

Контролът на температурата беше тестван в празна, не добре изолирана стая с прозорци с южно изложение, чрез управление на електрически нагревател и вентилатор който изсмуква въздуха от стаята, като по този начин в нея навлиза свеж въздух от вън. В този тест (Фигура 6.4), системата успя да поддържа успешно стайната температура в предварително зададения диапазон (между 18°C и 20°C), въпреки допринасящите фактори като променливи външни температура и допълнително отопление от слънцето през прозорците с южно изложение в някои части на деня.




Фигура 6.4 Поддържане нивото на температурата в продължение на 5 дни.

За да тестваме реакцията на алгоритъма в аварийна ситуация (висока концентрация на вредни химически газове в обора), симулирахме входни стойности на сензора извън предварително зададените безопасни граници за различните сензори - $NH_3$, $CO_2$, CH4, $H_2S$, CO с помощта на MQTT Broker. Системата всеки път реагираше съответно, чрез настройване на вентилацията и на циркулационните вентилатори (в случая на 2 броя тестови вентилатора) на максимална мощност, отваряше напълно завесите ( 1 брой електрическа щора) и незабавно информираше оператора за аварийна ситуация, като изпращаше имейл съобщение със концентрацията на съответния газ. Подобен тест беше извършен за нивото на фини прахови частици с размери до 2.5μm и до 10 μm ($ФПЧ_{2.5}$ и $ФПЧ_{10}$). За да се изпробва системата нивото за предупреждение беше намалено като при отчитане на ниво над зададеното системата изпрати съобщение със стойността. В случай на високи нива на ФПЧ, системата за автоматизация не може да контролира концентрацията им, а единствено изпраща съобщение за да се предприемат мерки за по добро почистване. Увеличаването на вентилацията също не е решение на проблема, защото може да предизвика нежелана промяна в температурата, а ефекта за намаляването на концентрацията на ФПЧ е временен и минимален.

В друг експеримент димируема LED лампа в стая беше успешно контролирана от алгоритъма, осигурявайки нивото на осветеност на повърхността на маса да бъде около зададените 200lx в продължение на 16 часа на ден при променящо се естествено осветление, а при превишаване на осветеността над 210lx, LED лампата се изключваше.

## 6.2 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на свине

### 6.2.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на свине

При отглеждане на свине е необходимо строгото съблюдаване на параметрите на околната среда. Важно е да се контролират не само факторите оказващи влияние на производителността, но и тези които благоприятстват доброто здравословно състояние на животните. Това са фактори като температура, относителна влажност RH, скорост на движение на въздуха. Необходимо е да се следи и за висока концентрация на няколко токсични газа като амоняк $NH_3$, сероводород $H_2S$ и въглероден диоксид $CO_2$. Тя е опасна както за здравето на животните, така и за обслужващия персонал. Сероводорода може да причини самостоятелно респираторни заболявания, а дори и при много ниска концентрация спомага за отслабване на имунната система на прасетата при което по-лесно се разболяват от вирусни заболявания тип A (IAV - *Influenza A virus*) например [94]. При концентрация под 5ppm се усеща неприятна миризма, а при по-висока миризмата изчезва, но се причиняват тежки респираторни заболявания на свинете и персонала и дори може да се стигне до смърт [95]. Установено е, че излагането на висока концентрация на амоняк от 50ppm за целия период на отглеждане на прасета (от отбиване до пазарна възраст) причинява тежки респираторни и системни патологични лезии, включително хроничен трахеит, епителна метапластия на трахеята, тежка интерстициална пневмония, миокардит и интерстициален нефрит, сравнено с друга група изложена на концентрация до 8ppm [96]. Прасетата се отглеждат при различни условия в зависимост от възрастта им и

предназначението им. Те се разделят на 14 категории описани в таблица 6.4 [87], като показаните параметри могат да бъдат различни за различните видове породи. Затова е необходимо да се извърши проверка като за всеки хибрид или порода, параметрите се съобразяват с препоръчаните от селекционера.

| **Категория** | **№** | **Температура, °C** | | | **Относителна влажност RH, %** | | | **Оптимална скорост на движение на въздуха SAF, m/s** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мин. | опт. | макс. | мин. | опт. | макс. | Топли периоди | Студени периоди |
| 1 - 3 дни | 1 | 30 | 32 | 34 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| 4 - 7 дни | 2 | 28 | 30 | 32 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| 8 - 14 дни | 3 | 25 | 28 | 30 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| 14 - 21 дни | 4 | 22 | 25 | 26 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| 21 - 28 дни | 5 | 20 | 23 | 25 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| 28 - 35 дни | 6 | 18 | 20 | 25 | 50 | 60 | 70 | 0,4 | 0,2 |
| Подрастващи | 7 | 17 | 19 | 25 | 50 | 60 | 70 | 0,6 | 0,2 |
| Прасета за угояване: | | | | | | | | | |
| От 50 до 80 кг | 8 | 15 | 18 | 22 | 60 | 70 | 85 | 0,8 | 0,3 |
| От 80 до 110 кг | 9 | 15 | 17 | 22 | 60 | 70 | 85 | 0,8 | 0,3 |
| Над 110 кг | 10 | 12 | 16 | 20 | 60 | 70 | 85 | 0,8 | 0,3 |
| Нерези | 11 | 8 | 15 | 25 | 60 | 70 | 85 | 1,0 | 0,3 |
| Свине майки: | | | | | | | | | |
| Незаплодени и условно бременни | 12 | 12 | 15 | 25 | 60 | 70 | 85 | 0,4 | 0,2 |
| Бременни | 13 | 30 | 32 | 34 | 60 | 70 | 85 | 0,4 | 0,2 |
| Опрасени | 14 | 28 | 30 | 32 | 60 | 70 | 85 | 0,4 | 0,2 |

Таблица 6.4 Изисквания към параметрите на жизнената среда при отглеждане на свине.

Не трябва да се допуска концентрация на токсични газове над определени стойности определени в съответните стандарти, като в случая са както следва; За амоняк $NH_3$ до 5ppm, въглероден диоксид $CO_2$ до 2500ppm [87]. За сероводород $H_2S$ според някои източници е допустима концентрация до 5ppm или дори до 10ppm [97], а според други не трябва да се допуска въобще [87]. Счита, че концентрацията на $H_2S$ трябва да се подържа значително по ниска от максимално допустимата, като наличието му се допуска за кратки периоди.

Относителната влажност както се вижда в таблица 6.3 е относително висока, затова в топлите дни за охлаждане може да се използват системи за охлаждане с пръскачки за ниско или високо налягане. Пръскачките се използват и за контрол на относителната влажност в сградата.

Скоростта на движение на въздушните потоци в жизнената зона на свинете също трябва да се следи и управлява, като при по-ниски температури е от първостепенно значение да не се превишават нормите за продължителен период. Фини прахови частици не трябва да надвишават 3 $mg/m^3$ [87]. Нивото на шума в помещенията за свине е интегрална величина от шумовия фон в района на фермата, шума от механизацията в помещението и шума от животните. Проектирането, изграждането и експлоатацията на сградите трябва да осигурява ниво на шума в жизнената зона на животните не повече от 85 dB [87]. В интензивната част от денонощието за оптимално се приема осветление с интензивност минимум 75 lux [87]. Въпреки, че някои източници дават различни данни за необходимия интензитет на осветлението, има доказателства че прасетата са приспособими доста приспособими към осветеността и при извършени продължителни изследвания при които различни групи са подложени на осветеност от 45lux, 198lux и 968lux е установено, че различните интензитети на светлината не са имали ясно въздействие върху поведението на свинете, здравето и растежа [98].

### 6.2.2 Сензори и системи за управление

Предложената КФС има възможност за първоначален и последващ избор относно наличните системи за управление, както и на наличните сензори за измерване на необходимите параметри, като е възможно последващо разширение с нови системи и сензори. Всички опции са описани в таблица 6.5.

| **Сензори** | **Необходимост** | **Протокол** |
|---|---|---|
| Вътрешна температура | Да | Modbus/MQTT |
| Относителна влажност в помещението | Да | Modbus/MQTT |
| Външна температура | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Амоняк $NH_3$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Въглероден диоксид $CO_2$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Сероводород $H_2S$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Фини прахови частици | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Скорост на движение на въздуха SAF | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Осветеност | Да/Не | Modbus/MQTT |

Таблица 6.5 Необходими сензори за реализиране на КФС за управление на микроклимата в свинеферма.

В таблица 6.6 са показани какви системи за контрол на средата може да управлява предложената КФС и кои са задължителни. Въпреки, че системата може да работи като измерва само температура и относителна влажност, и е задължително да има поне първите три от изброените по-долу системи за контрол на средата, за да бъде енерго ефективна, и да осигурява подходящ за животните микроклимат в сградата, е необходимо да има пълен набор от изброените сензори и системи за контрол.

| Системи за контрол на средата | Необходимост | Метод за контрол |
|---|---|---|
| Жалузи | Да | Отворено/Затворено/Позиция |
| Вентилация за свеж въздух | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Отопление | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Охлаждане (климатична система) | Да/Не | Вкл./Изкл. |
| Пръскачки за охлаждане и контрол на влажността | Да/Не | Вкл./Изкл. |
| Пръскачки за умокряне/разкисване и дезинфекция | Да/Не | Вкл./Изкл. |
| Дезинфектант | Да/Не | Вкл./Изкл. |
| Осветление | Да/Не | Вкл./Изкл. |

Таблица 6.6 Необходими системи за контрол на средата за реализиране на КФС за управление на микроклимата в свинеферма.

В зависимост от типа на системата за контрол на средата, КФС има възможност да я управлява директно, или в случай, че системата има собствен контролер, КФС може да зададе целеви контролни стойности (чрез комуникация чрез различни протоколи) или само да я включва и изключва за определено време, когато е необходимо. Зададените стойности по подразбиране за параметрите в КФС за различните категории прасета са взети от споменатите по-горе наредби. Всички стойности за температура, влажност, скорост на движение на въздуха, максимално допустими концентрации на вредни газове могат да се променят по усмотрение на технолога в зависимост от породата и селекцията на свинете. Освен това могат да се създават допълнителни категории извън посочените 14 броя, в които да се настроят параметри подходящи за отглеждане на прасета от различни категории в едно помещение. Така могат да се ползват готови настройки без да е необходимо да се променя всеки параметър по отделно.

### 6.2.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в свинеферма

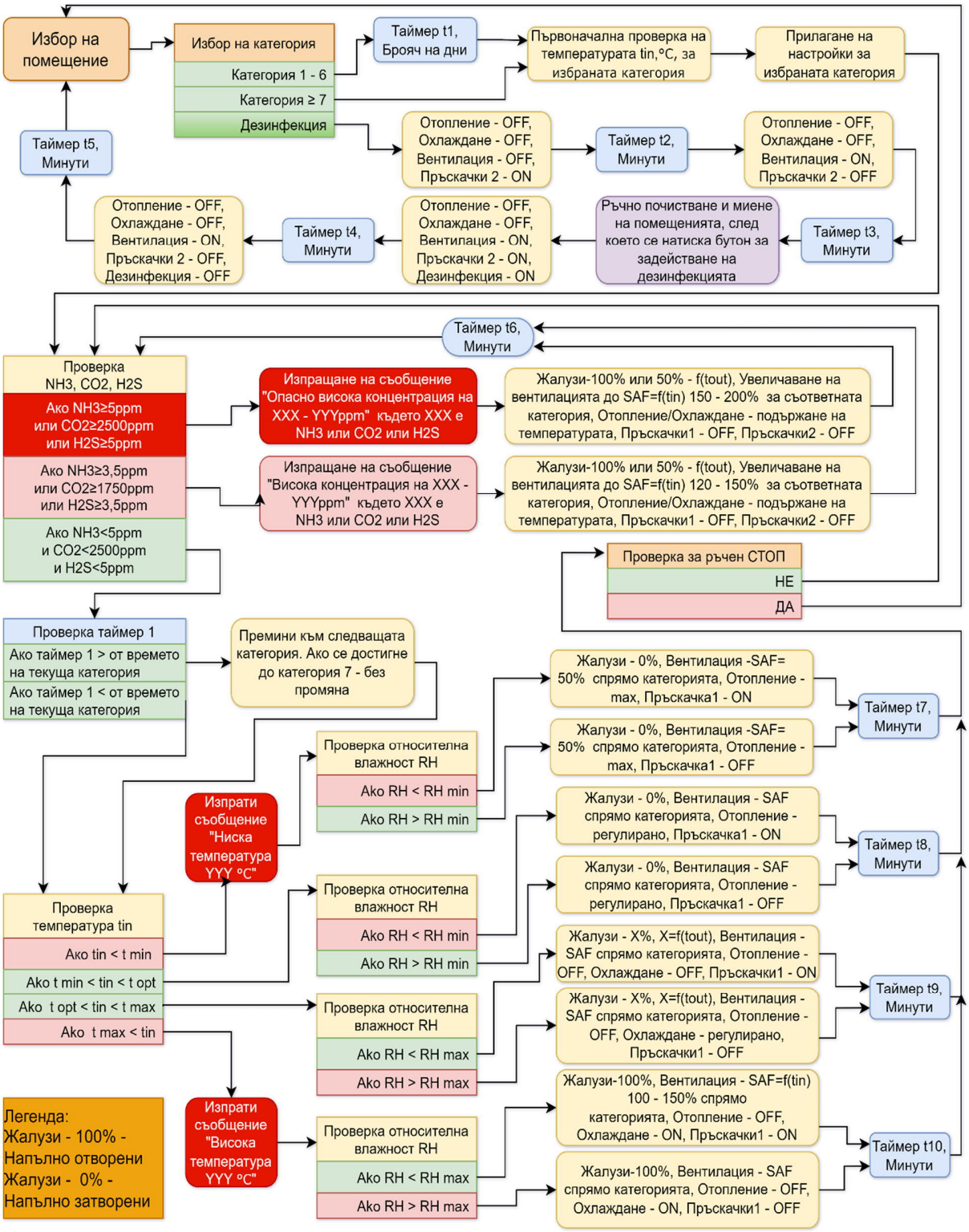
Поради спецификата при отглеждане на прасета трябва да се направи уточнение, че системата не може да бъде напълно автономна, и е необходима намесата на човек. Прасетата се отглеждат в различни помещения, спрямо категорията в която попадат. Преди всяко въвеждане на животни в дадено помещение, задължително се извършва ръчно почистване и дезинфекция.

Алгоритъма за управление на КФС е показан на фигура 6.5. Условно алгоритъма може да бъде разделен на две части. В първата част се извършват началните настройки и се изпълнява цикъла за почистване и дезинфекция когато е избран. Във втората час се извършва автономното поддържане на средата докато не се промени категорията на прасетата или цикъла не бъде спрян ръчно. Алгоритъма стартира с избора на помещение, за което ще бъдат приложени съответните настройки. Системата може да управлява множество на брой помещения които могат да разполагат с еднакви или различни конфигурации на сензори и управляващи системи, с цел поевтиняване или оптимизация на производството. След това се избира категорията в която попадат прасетата в помещението или се избира режима дезинфекция. При новородени, категорията зависи от възрастта в дни, затова при избор на категория от 1 до 6 се задейства таймер $t_1$, с помощта на който системата

автоматично сменя категорията към по-горна до достигането на категория 7. След избора на категория се прави начална проверка на температурата в помещението и се задават настройките за съответната категория. След това се пристъпва към изпълняването на съответните цикли от втората част на алгоритъма.

При избор на режим за почистване и дезинфекция, системата изпълнява автоматично следните действия. Изпълнява се цикъл на намокряне с помощта на пръскачки за ниско налягане (Пръскачки2) за предварително настроеното време $t_2$, след което следва период на разкисване с включена вентилация на максимална скорост за периода $t_3$. Така се избягва задържането на вредните газове в помещението отделени през този процес. След завършване на този цикъл помещението е готово за ръчно почистване и измиване на пода и стените. След като почистването приключи, отново е необходимо ръчно да се продължи цикъла за дезинфекция, като системата автоматично дозира дезинфектанта който се подава директно в намокрящата система (Пръскачки2) за необходимото време $t_4$. Отново следва период за проветряване на помещението $t_5$ след който то е готово за използване.

Във втората част на алгоритъма започват цикли с които периодично се извършват проверки на следените параметри и се предприемат действия за устойчиво състояние на микроклимата. Първо се изпълняват проверките за наличието на висока концентрация на вредни газове, като амоняк $NH_3$, въглероден диоксин $CO_2$ и сероводород $H_2S$. Ако който и да е от тях превишава зададените норми се стига до авариен режим, в който се уведомява оператора за високата концентрацията на съответния газ и стойността и, и се предприемат мерки за увеличаване притока на свеж въздух. Жалузите се отварят напълно, или ако външната температура е прекалено ниска се отварят наполовина. Вентилацията се увеличава като скоростта на движение на въздуха SAF не трябва да превишава два пъти зададената за съответната категория, заради чувствителността на прасетата към този показател. Независимо от това дали работи отоплението, или охлаждането (с климатична система), системата се стреми да поддържа зададената температура, и в случаите на вкарване на голямо количество студен или горещ въздух от вентилацията. Ако има включени пръскачки за охлаждане или овлажняване (Пръскачки1), те се изключват, за да се намали влажността на въздуха, а от това и отделянето на вредни газове намалява. Ако през зимата се стигне до силно понижаване на температурата при този режим например в помещение с новородени прасета, това може да доведе разболяване на животните и до големи загуби. Поради тази причина при спад на температурата в помещението под $t_{min}$, системата автоматично намалява вентилацията от 200% до 150% от зададената за съответната категория. Така времето за проветряване нараства, но за сметка на това се ограничават други щети. Този цикъл продължава докато изтече предварително зададеното според параметрите на сградата и вентилацията време $t_6$.




Фигура 6.5 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в свинеферма.

В случая когато концентрацията на който и да е от вредните газове достигне до 70% от зададените максимално допустими стойности, системата предприема действия подобни на горните, но в тук вентилацията се контролира така, че скоростта на движение на въздуха да е в границите от 120% до 150% в зависимост от температурата в помещението, като продължителността отново е $t_6$.

Ако всички измервани газове са в норма, системата проверява Таймер $t_1$ и ако той е достигнал лимита за дадена категория, системата автоматично преминава към настройки за следващата категория и така до достигане до категория 7. Ако Таймер $t_1$ не е задействан не се предприемат действия за смяна на категорията, след което системата проверява температурата. Температура под минималната се счита за аварийна ситуация и системата изпраща уведомление до оператора. Проверява се състоянието на жалузите за естествена вентилация, и ако са отворени се затварят. Вентилацията се намалява до нива при които скоростта на движение на въздуха SAF е по-ниска от препоръчителните за дадената категория и отоплението се включва на максимална стойност. По същото време се проверява и относителната влажност RH в помещението и ако е по-ниска от минималната, кратковременно се задействат пръскачките за охлаждане и овлажняване (Пръскачки1). Изчаква се да изтичане времето $t_7$ и системата се връща в режима за проверка на вредните газове. Времето t7 е значително по-кратко от времената за работа на циклите при температури над минималната, защото при по продължителен период със слаба вентилация може да се стигне до повишаване на концентрацията на вредни газове.

При температура между минималната и оптималната отново жалузите остават затворени, вентилацията се подържа според категорията при определените норми за SAF, а отоплението се регулира така, че температурата да клони към оптималната, но да не я превишава. Отново при относителната влажност RH под минималната кратковременно се задействат пръскачки1. След изтичане на времето $t_8$, системата отново се връща в режима за проверка на вредните газове.

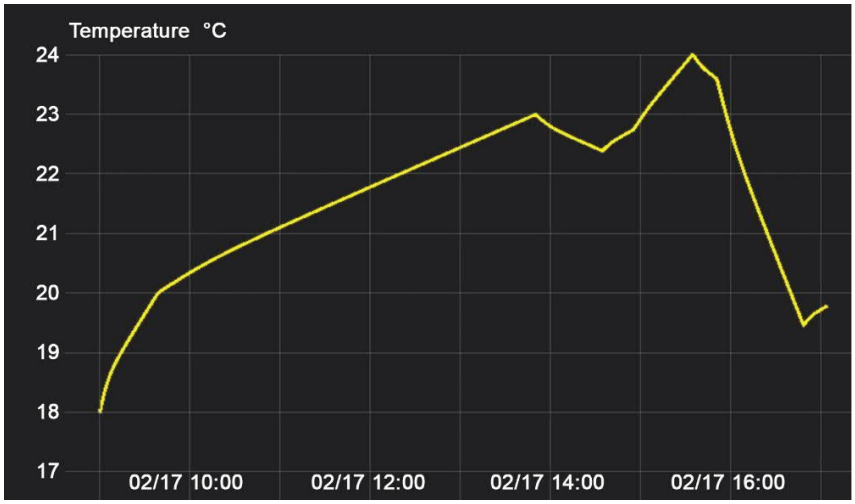
При температура между оптималната и максималната започва отваряне на жалузите за естествена вентилация, като процента на отваряне зависи от външната температура. При по-висока външна температура жалузите се отварят повече. Вентилацията се регулира така, че скоростта на движение на въздуха SAF която зависи от естествената вентилация през жалузите и принудителната вентилация да отговаря на зададената категория. За намаляване на температурата се задействат пръскачки1, на определени интервали. Ако температурата не може да се намали достатъчно се задейства и охлаждане чрез климатичната система. При достигане на влажност над максималната, пръскачки1 се изключват и остава да работи само климатичната система докато влажността не спадне в определените норми. Цикъла продължава за времето $t_9$.

Температура по-висока от максималната също се счита за аварийна и системата отново уведомява оператора. Жалузите се отварят докрай, поддържа се скоростта на движение на въздуха SAF да достига от 100% до 150% спрямо категорията в зависимост от това с колко температурата в помещението $t_{in}$ е по-висока от максимално допустимата настроена температура $t_{max}$ за съответната категория. Охлаждането е включено, както и

пръскачките за охлаждане и овлажняване (Пръскачки1) до превишаване на максималната влажност в помещението. След изтичане на времето $t_{10}$, системата отново се връща за проверка за висока концентрация на вредните газове. Това продължава докато системата не получи сигнал за ръчен стоп, за съответното помещение, който се подава от оператора след извеждането на животните от даденото помещение.

### 6.2.4 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в свинеферма

Бяха проведени тестове с изградена опитна постановка в лаборатория, като за целта беше изградена КФС включваща част от всички възможни компоненти изброени по горе, а именно Raspbery Pi4 като сървър, сензори за температура и влажност AM2302 в помещението и отвън, сензор за $CO_2$ – SCD30. Системата имаше на разположение за управление електрически нагревател, рекуператор за свеж въздух които изпълнява ролята на вентилация, и ролетна щора (вместо жалузи) която може да се позиционира в различно положение. Тестовете бяха направени при външна температура по-ниска с около 15 градуса от зададените стойности които трябва да се подържат а именно за категория 5 – 20/23/25°C, като таймера за категорията беше намален от 7 дни на 7 часа за целите на изследването. При задаване на категорията и стартиране на системата, температурата в лабораторията беше 18°C (Фигура 6.6). Системата изпрати съобщение по имейл за ниска температура, позиционира щората в затворено състояние, стартира отоплението и включи рекуператора, като при достигане на минималната температура от 20°C намали мощността на нагревателя на 50% чрез използване на ШИМ. При достигната оптимална температура от 23°C системата изключи нагревателя.




Фигура 6.6 Регулиране нивото на температурата в продължение на 8 часа.

Температурата спадна до 22,4°C при което нагревателя пак се включи на 50%. След 15 минути в помещението беше включен втори нагревател, който не е свързан със системата, за да симулира затопляне. След като температурата премина оптималната със зададена стъпка от 0,2°C а именно 23,2°C, щората се отвори на 30%.Когато температурата достигна 24°C, вторият нагревател беше изключен и температурата започна да спада. За по бързо охлаждане беше отворен прозорец, като температурата започна да спада по бързо.

Междувременно системата беше преминала от категория 5 на категория 6. При достигане на 19.8°C системата затвори ролетната щора. Тогава беше затворен и прозореца за да се спре интензивното охлаждане. При достигане на 19.4°C, системата отново включи нагревателя.

Беше извършен и тест за аварийна ситуация с висока концентрация на $CO_2$. За целта максималната стойност беше намалена от 2500ppm на 1000ppm. Рекуператора беше заменен от вентилатор на който можем да управляваме оборотите. Беше зададена категория 5, като нагревателя поддържаше зададената температура, щората беше затворена, а вентилатора се въртеше с 1200prm. При достигане на $CO_2$ над 1000ppm, оборотите на вентилатора се повишиха до 2500rpm, щората се отвори на 100% и системата изпрати имейл за висока концентрация на $CO_2$. За да постигнем понижаване на концентрацията $CO_2$, както и на температурата беше отворен прозорец. Докато течеше цикъла на проветряване, температурата се понижи, под минималната, при което щората се затвори на 50%, а нагревателя се включи на максимална стойност.

## 6.3 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на бройлери

### 6.3.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на бройлери

Отглеждането на бройлери изисква повече контрол върху околната среда, отколкото отглеждането на други месодайни животни като крави или овце, например. Всяко отклонение от оптималните параметри увеличава смъртността, особено в първите дни на брудинга, а в последствие намалява продуктивността [99]. От друга страна, отглеждането на бройлери се основава на редица под науки, най-важните от които са животновъдство, хранене и репродукция [100].

При отглеждане на бройлери системата за контрол трябва да следи параметри като температура, относителна влажност RH, скорост на движение на въздуха SAF, диференциално налягане Δp и концентрации на вредни газове като амоняк $NH_3$ [101], въглероден диоксид $CO_2$, въглероден оксид CO и сероводород $H_2S$ [87,99]. Прахът и микробното замърсяване също трябва да се наблюдават [99]. Важни фактори са интензитетът и продължителността на осветлението в помещенията и нивото на шум [102,103], като нивото на шум вътре в сградата и около нея не трябва да превишава 70dB [87]. Нормативни актове изискват осветеността в първите 3 дни от излюпването да бъде поне 100lx в продължение на 24 часа, а за по големи пилета продължителността на осветеност намалява до 14-20 часа, с осветеност от 5lx. [87]. В някои доклади се препоръчва осветеността да е поне 20lx [104]. През първите седмици от отглеждането на пилетата осветеността не се отразява на здравословното състояние на пилетата, а се отразява главно на времето на активност и хранене [102,103 ]. За по-големите пилета по-дългите периоди на осветяване и по-високият интензитет на светлината могат да имат обратния ефект. Това може да доведе до канибализъм, умора на пилетата, различни заболявания и дори смърт [105,106,107]. Някои автори препоръчват 16 часа светлина и 8 часа тъмнина [108,109], докато други съобщават за по-висока продуктивност с редуване на по-кратки светли и тъмни периоди [110,111,112].

Също така е важно да се отбележи, че най-важният параметър, който определя зоната на комфорт на пилетата, е усещаната температура [99,113,114,115]. Често е различна от температурата на въздуха в помещенията и зависи от много фактори: температура на въздуха, температура на пода в помещението, относителна влажност RH, скорост на въздушния поток SAF, възраст и оперение на пилетата. Когато температурата на въздуха, влажността и скоростта на вятъра са в допустими граници, усетената температура съответства на температурата в помещенията. При по-високи температури, за да не се излиза от зоната на комфорт, трябва да се увеличи скоростта на движение на въздуха в помещението [99]. С предложените методи усещаната температура може да бъде изчислена и използвана за работа на системата.

Охлаждането в птицефермите се осъществява чрез изпарително охлаждане. Изпарителните охладителни пити са се наложили пред системите с пръскачки, защото са по-лесни за менажиране, по-ефективни и не се намокря постелята което е предпоставка за образуване на вредни изпарения. Голяма част от съществуващите птицеферми в България разполагат с това оборудване, но повечето от тях нямат системи за автономно управление на цялото си оборудване. Автоматизацията е частична, а висококвалифициран персонал постоянно следи условията, за да предприеме действия и да поддържа благоприятна среда за пилета. Предложената КФС е подходяща както за съществуващи такива, така и за новопостроени птицеферми.

За да се поддържа благоприятен микроклимат, параметрите на околната среда трябва да са в определени граници. Концентрациите на вредни газове съгласно нормативната уредба [87] не трябва да превишават дадените норми, а именно: за амоняк $NH_3$ < 15 ppm, за въглероден диоксид $CO_2$ < 3000 ppm, за въглероден оксид CO < 4,4 ppm, като в същото време не се допуска присъствието на сероводород $H_2S$. Наличието на фини прахови частици при отглеждане върху постеля трябва да бъде < 5 $mg/m^3$, а без постеля < 3,5 $mg/m^3$. В помещението трябва да се поддържа оптимална температура и относителна влажност PH в съответствие с възрастта на пилетата, както и да се осигури приток на чист въздух. Почти 4000 килотона амоняк се отделят годишно от земеделския сектор в Европейския съюз. Това е около 94% от общите емисии на амоняк $NH_3$ [116]. Често се поставят дървените стърготини като постеля, които абсорбират влагата и по този начин намаляват отделянето на амоняк $NH_3$ [117,118]. Друг метод за намаляване на изпаряването на амоняка $NH_3$ е добавянето на алуминиев сулфат $Al_2(SO_4)_3$ в постелята, което допринася и за намаляването на смъртността на пилетата през първите 3-4 седмици [119]. Вътрешната телесна температура на птиците е между 39 и 42,2°C [120,121,122]. За да се постигне максимална продуктивност, трябва да се поддържа температурна зона, по-тясна от зоната на комфорт на пилетата. Когато температурната зона се поддържа правилно, енергийният излишък от храненето се използва за растеж и наддаване на тегло, а не за осигуряване на температурен комфорт на бройлера. Тази зона се определя от усещаната температура. Затова трябва да се осигурят оптимални условия на бройлерите при които температурата на въздуха, относителната влажност и скоростта на движение на въздуха са в определени граници. Поддържането на тези условия гарантира не само добра производителност на бройлерите, но също така гарантира, че здравето и благосъстоянието на птиците не са компрометирани.

Ако температурата на въздуха се повиши над фиксираните граници, трябва да се приложи охлаждащ въздушен поток, така че усещаната температура да остане непроменена. Някои автори [123] препоръчват температура от 30–32°C през първата седмица и намаляване с 3–4°C на седмица, докато пилетата достигнат 4-седмична възраст. Но оптималната температура и относителна влажност, които трябва да се поддържат, могат да се видят в таблица 6.7 [87].

При висока температура на околната среда, бройлерите поддържат термо-неутрална температура чрез загуба на топлина главно чрез топлопроводимост, конвекция, лъчение и изпарително охлаждане [124,125]. Птиците не се потят и не могат да се охладят ефективно при високи температури. Относителната влажност RH засяга главно дишането. При по-ниска влажност с издишания въздух се изпарява повече вода, което подпомага охлаждането. При повишаване на температурата, когато излязат от зоната си на комфорт, пилетата започват да дишат учестено, за да увеличат охлаждането си. При висока относителна влажност изпарението е по-малко и охлаждането също е намалено. Влажността трябва да се контролира добре, защото когато е твърде висока, тя подпомага развитието на микроорганизми, като по този начин излага птиците на риск от различни заболявания [126]. Друг признак който показва, че на бройлерите им е горещо, е прибирането на перата към тялото и непрекъснатото повдигане или спускане на крилата, за да се разкрие тялото от плътното оперение и да се охлади по-добре. Те също се преместват към места с по-висока скорост на движение на въздуха SAF. Когато им е студено, те се събират на групи, прикляквят и се притискат към пода, като в същото време настръхват, за да увеличат изолацията на перата си. Когато температурата е в зоната на комфорт, SAF трябва да бъде между 0,2 до 0,3 m/s [99]. Когато температурата на въздуха се повиши над зоната на комфорт, скоростта на въздушния поток SAF трябва да се увеличи пропорционално на температурата до 0,8–1 m/s [87] при по-младите бройлери и до 2,5 m/s или 3 m/s [99] при възрастни.

| № | Възраст на бройлера, дни | Температура, °C | | Относителна влажност RH, % | | Оптимална скорост на движение на въздуха SAF, m/s | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мин. | макс. | мин. | макс. | В термо неутралната зона | Горещи периоди |
| 1 | 1-2 | 33 | 36 | 72 | 75 | 0,2-0,3 | До 0,3 |
| 2 | 3 - 4 | 31 | 33 | 72 | 75 | 0,2-0,3 | До 0,3 |
| 3 | 5 - 6 | 30 | 31 | 72 | 75 | 0,2-0,3 | До 0,3 |
| 4 | 7 - 10 | 27 | 30 | 70 | 75 | 0,2-0,3 | До 0,5 |
| 5 | 11 - 15 | 24 | 27 | 70 | 75 | 0,2-0,3 | До 0,8 |
| 6 | 16 - 20 | 22 | 24 | 65 | 70 | 0,2-0,3 | До 1 |
| 7 | 21 - 25 | 21 | 22 | 65 | 70 | 0,2-0,3 | До 1,5 |
| 8 | 26 – 30 | 20 | 21 | 60 | 65 | 0,2-0,3 | До 2 |
| 9 | 31 - 35 | 19 | 20 | 60 | 65 | 0,2-0,3 | До 2,5 |
| 10 | Над 35 | 18 | 18 | 60 | 65 | 0,2-0,3 | До 3 |

Таблица 6.7 Изисквания към параметрите на жизнената среда при отглеждане на бройлери.

За да работи системата правилно, сензорите за вътрешна температура $t_i$, вътрешна относителна влажност RH, скоростта на движение на въздуха SAF, амоняк $NH_3$, въглероден диоксид $CO_2$, въглероден оксид CO, сероводород $H_2S$ и фини прахови частици трябва да са монтирани в жизнената зона на пилетата, което значи до 20 сантиметра от пода. Изключение правят датчиците за измерване на температура под покрива на сградата $t_{ih}$, както и тези за външна температура $t_o$, външна относителна влажност $R_{Hout}$ и диференциално налягане Δp.

За да се опрости алгоритъмът, сензорите за фини прахови частици и микробно замърсяване не са включени в разглежданата КФС, тъй като автоматизираните действия за намаляването им не може да бъде осъществено. Използването на тези сензори може да е само за информационни цели. При наличието на такива сензори системата ще изпрати съобщение, когато измерените стойности превишат максимално зададените.

Птиците генерират топлина и водни пари, които оказват силно влияние върху микроклимата в сградата. Те са право пропорционални на теглото им. Отделената топлина е средно 11,6 kJ/h/kg [99]. И така, в средно голяма сграда с капацитет 20 000 бройлера със средно тегло 2 кг на бройлер, отделената топлина е 130 kW/h. Същото стадо може да изпари до 4000 литра вода на ден. В допълнение, птиците издишват и въглероден диоксид $CO_2$, който трябва да бъде отстранен с помощта на вентилация. Мократа постеля причинява активност на кокцидиоза и холестридии и води до загуба на тегло при птиците, което намалява продуктивността [127,128].

Преди да се настанят пилетата в помещението трябва да се осигури постоянна температура за поне 24 до 48 часа в зависимост от вида на отоплението, така че постелята да може да се затопли до 30 °C. Ако температурата е твърде ниска или висока, смъртността за първите 7 дни може да се увеличи от 0,7% до 14% [99].

### 6.3.2 Видове вентилация в птицеферма

За да се постигне добър микроклимат в помещенията, вентилационната система трябва да е добре проектирана. Тя трябва да съдържа определен брой вентилатори които изсмукват въздуха от вътрешността на сградата, при което свежия въздъх постъпва през множество разпределени клапи с регулируемо отваряне или чрез големи тунелни отвори в единия край на сградата. Могат да се обособят три типа вентилация: минимална вентилация, преходна вентилация и тунелна вентилация.

#### 6.3.2.1 Минимална вентилация

При студено време се прилага минимална вентилация, когато топлината, генерирана от бройлерите, не е достатъчна за постигане на желаната температура в сградата. Тя трябва да осигурява достатъчно свеж въздух за поддържане на желаните параметри и качество на въздуха, като в същото време не се допуска превишаване на нормите на вредни газове като $NH_3$, $CO_2$, CO и $H_2S$ [87,99,115]. Трябва да се обърне внимание на възможността от измръзване при малките пилета, което може значително да увеличи смъртността [99]. Но от друга страна трябва да се постигне баланс между входящия свеж въздух и енергийната ефективност при използване на отопление. Минималната вентилация се характеризира с

това, че вентилаторите работят за определен период от време, през който вкарват свеж въздух през множество вентилационни клапи, последван от период на изчакване със спряна вентилация и затворени клапи. С времето е установено, че най-подходящите интервали са около 5 минути, като за всеки трябва да има около 30 секунди вентилация. [99]. Също така трябва да се приложи циркулационна вентилация, която размесва топлия въздух от горната част на сградата с по-студения който се намира ниско долу, през времето в което вентилацията е изключена. Така се постигат икономии на отопление, които могат да достигнат до 20% в нови и добре проектирани сгради и до 40% в сгради с конвенционално отопление и високи покриви [99]. В допълнение, циркулационната вентилация спомага за изсушаването на постелята, при което се отделят много по-малко вредни газове и се осигурява необходимото движение на въздуха от 0,2 до 0,3 m/s. За да се предотврати навлизащия студен въздух да пада директно към пода и пилетата, трябва той да навлиза в сградата с определена скорост. Това води до смесване на студения и топлия въздух и по-равномерна температура. Освен това предпазва постелката от намокряне, когато влезе в контакт със студени въздушни маси. Поддържането на тази скорост се осъществява чрез измерване на диференциалното налягане, което е разликата между налягането в сградата и външното атмосферно налягане. Смукателните вентилатори понижават налягането в сградата, а клапите са отворени като отвора не трябва да е твърде малък, при което свежия въздух навлиза равномерно в цялата сграда. Минималната вентилация трябва да работи при диференциално налягане $\Delta p$ между 17,5 Pa и 30 Pa за добра ефективност. Това се постига чрез регулиране на отвора на клапите и мощността на вентилаторите, при условие че вентилацията трябва да осигурява необходимото количество свеж въздух за бройлерите.

#### 6.3.2.2 Преходна вентилация

Преходната вентилация се използва, когато топлината, отделена от пилетата, трябва да бъде отведена от сградата, за да се постигне температурен баланс. Тя е подобна на минималната вентилация, но при нея вентилаторите работят без прекъсване и клапите се позиционират в различни позиции, за да осигурят съответно по-голямо количество студен въздух вътре в сградата. Тук отново трябва да се поддържа диференциалното налягане $\Delta p$ в определените граници. При минимална вентилация и преходна вентилация скоростта на въздушния поток SAF трябва да се поддържа в границите от 0,2 до 0,3 m/s, което не влияе на усещаната температура [99].

#### 6.3.2.3 Тунелна вентилация

Тунелна вентилация се прилага, когато преходната вентилация не е достатъчна за постигане на необходимото охлаждане на бройлерите. При този тип вентилация вентилаторите са разположени от късата страна на сградата, а в другия и край се отварят големи отвори, наречени тунелни отвори, тунелни клапи или тунелни жалузи. Когато вентилаторите са включени, въздухът влиза през тях, създавайки равномерен въздушен поток по цялата дължина на сградата. По този начин, дори при по-високи температури на въздуха, въздушният поток охлажда бройлерите и температурата, която усещат, е по-ниска от реалната температура в сградата. На тунелните клапи трябва да се монтират изпарителни охладителни пити, които спомагат за охлаждане при високи температури. Охлаждането с

пръскачки за ниско или високо налягане вътре в сградата не е препоръчително при климат, подобен на този в България, защото много често се получава намокряне на постелята и съответно отделяне на вредни газове и проблеми със здравето на пилетата. Този тип охлаждане е подходящ само за много сух климат. Този проблем не съществува при използване на изпарителни охладителни пити. При тях е важно правилно да се избере площта им, за да може през тунелните отвори да влиза достатъчно въздух. Скоростта на въздуха, който преминава през питите при необходимата максимална стойност на скоростта на въздушния поток в сградата, не трябва да надвишава определени стойности в зависимост от спецификациите им. В противен случай тяхната ефективност намалява. В тези сгради, за всички видове вентилация, трябва да се осигури добро уплътняване на всички врати, вентилационни клапи и тунелни отвори, когато са затворени, както и да се осигури редовно почистване. Така се гарантира, че въздуха ще преминава точно от където трябва за максимална ефективност.

### 6.3.3 Сензори и системи за управление

За да може предложената КФС да осигури напълно автономен контрол на микроклимата, всички основни параметри на околната среда трябва да се следят със сензори, както и поне един от отделяните вредни газове (Таблица 6.8).

| **Сензори** | **Необходимост** | **Протокол** |
|---|---|---|
| Вътрешна температура на нивото на пилетата | Да | Modbus/MQTT |
| Вътрешна температура до тавана | Да | Modbus/MQTT |
| Относителна влажност в помещението | Да | Modbus/MQTT |
| Относителна влажност от вън | Да | Modbus/MQTT |
| Външна температура | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Амоняк $NH_3$ | Да | Modbus/MQTT |
| Въглероден диоксид $CO_2$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Въглероден оксид CO | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Сероводород $H_2S$ | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Фини прахови частици | Да/Не | Modbus/MQTT |
| Скорост на движение на въздуха SAF | Да | Modbus/MQTT |
| Диференциално налягане вън/вътре | Да | Modbus/MQTT |
| Осветеност в помещението | Да/Не | Modbus/MQTT |

Таблица 6.8 Необходими сензори за реализиране на КФС за управление на микроклимата в птицеферма.

Сградата трябва да разполага и с необходимите системи за контрол на микроклимата. За географските ширини на България това са отопление, вентилатори за свеж въздух (наричани за краткост „Вентилация“), циркулационни вентилатори (наричани по долу „Циркулация“), тунелни вентилатори (наричани „Тунелна вентилация“) клапи за свеж въздух, тунелни вентилационни отвори (тунелни клапи) , изпарителни охладителни пити и осветление (Таблица 6.9).

| Системи за контрол на средата | Необходимост | Метод за контрол |
|---|---|---|
| Клапи | Да | Отворено/Затворено/Позиция |
| Тунелни отвори (Тунелни клапи) | Да | Отворено/Затворено/Позиция |
| Вентилация | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Тунелна вентилация | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Циркулация | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Отопление | Да | Вкл./Изкл.; ШИМ; |
| Изпарителни пити | Да | Вкл./Изкл. |
| Осветление | Да/Не | Вкл./Изкл.; ШИМ; |

Таблица 6.9 Необходими системи за контрол на средата за реализиране на КФС за управление на микроклимата птицеферма.

6.3.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в птицеферма

В така предложения алгоритъм за автономно управление в режим на тунелна вентилация се контролира не измерената температура $t_i$, а усещаната температура $t_f$. Системата изчислява усещаната температура според предварително зададените зависимости. Тя зависи от температурата в помещението $t_i$, от скоростта на движение на въздуха SAF, от възрастта на бройлерите $t_{s1}$ и от относителната влажност RH. Таблица 6.10 се отнася за 7 седмични бройлери и показва с колко градуса усещаната температура $t_f$ е по-ниска от температурата на въздуха $t_i$ за стойности от 18 °C до 38 °C и стойности на вятъра от 0,75 m/s до 2,5 m/s.

| **SAF, m/s** | **0,5** | **0,75** | **1** | **1,25** | **1,5** | **1,75** | **2** | **2,25** | **2,5** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **t, °C** | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ | $t_{cw}$ |
| **38** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **37** | 0 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| **36** | 0 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,4 |
| **35** | 0 | 0,15 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 3 | 3,6 |
| **34** | 0 | 0,2 | 0,7 | 1,2 | 1,4 | 2 | 3 | 3,6 | 4,3 |
| **33** | 0 | 0,35 | 0,9 | 1,4 | 1,6 | 2,5 | 3,4 | 4 | 4,8 |
| **32** | 0 | 0,4 | 1 | 1,5 | 1,8 | 3 | 3,8 | 4,7 | 5,3 |
| **31** | 0 | 0,45 | 1,1 | 1,65 | 1,95 | 3,15 | 3,95 | 4,9 | 5,7 |
| **30** | 0 | 0,5 | 1,1 | 1,8 | 2,15 | 3,3 | 4,1 | 5,1 | 5,8 |
| **29** | 0 | 0,54 | 1,2 | 1,95 | 2,3 | 3,5 | 4,3 | 5,3 | 6 |
| **28** | 0 | 0,57 | 1,2 | 2,1 | 2,45 | 3,7 | 4,5 | 5,5 | 6,2 |
| **27** | 0 | 0,61 | 1,3 | 2,2 | 2,55 | 3,8 | 4,6 | 5,6 | 6,3 |
| **26** | 0 | 0,64 | 1,3 | 2,3 | 2,65 | 3,9 | 4,7 | 5,7 | 6,4 |
| **25** | 0 | 0,67 | 1,4 | 2,4 | 2,75 | 4 | 4,8 | 5,8 | 6,5 |
| **24** | 0 | 0,71 | 1,5 | 2,5 | 2,85 | 4,1 | 4,9 | 5,9 | 6,6 |
| **23** | 0 | 0,74 | 1,6 | 2,6 | 2,95 | 4,2 | 5 | 6 | x |
| **22** | 0 | 0,76 | 1,7 | 2,7 | 3,05 | 4,3 | 5,1 | x | x |
| **21** | 0 | 0,78 | 1,8 | 2,75 | 3,1 | 4,4 | x | x | x |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **20** | 0 | 0,8 | 1,9 | 2,8 | 3,15 | x | x | x | x |
| **19** | 0 | 0,83 | 2 | 2,85 | x | x | x | x | x |
| **18** | 0 | 0,85 | 2 | x | x | x | x | x | x |

Таблица 6.10 Охлаждащ ефект на вятъра за 7 седмични бройлери в зависимост от температурата на околната среда t (°C) и скоростта на вятъра SAF (m/s).

В алгоритъма е използвано предположение, че скоростта на вятъра SAF ≤ 0,5 m/s не влияе върху усещаната температура. Подобни таблици са разработени за работа на системата за различни възрасти на бройлерите. Някои от данните за тези таблици са взети от различни източници [113,114,115,129], като таблиците са допълнени чрез интерполация и екстраполация. При стойности на относителна влажност RH, по-високи от $RH_{max}$ за съответната възраст на бройлерите, усещаната температура $t_f$ нараства със стойностите, посочени в таблица 6.11. Тя се основава на данни, получени от зависимостта на температурата и относителната влажност RH при определяне на температурно влажностния индекс THI. Извършени тестове с кокошки [28] показват, че при поддържане на една и съща стойност на THI, с промяна на температурата и относителната влажност, няма промяна във физическото им състояние и начина на хранене.

| **ΔRH, %** ΔRH=RH-$RH_{opt}$, $RH_{opt}=f(t_{s1})$ | **1<ΔRH≤5** | **5<ΔRH≤10** | **10<ΔRH≤15** | **15<ΔRH≤20** | **20<ΔRH≤25** | **25<ΔRH** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **t, °C** | **$t_{cRH}$** | **$t_{cRH}$** | **$t_{cRH}$** | **$t_{cRH}$** | **$t_{cRH}$** | **$t_{cRH}$** |
| **35** | 0.65 | 1.25 | 1.80 | 2.30 | 2.80 | 3.20 |
| **34** | 0.60 | 1.20 | 1.70 | 2.25 | 2.70 | 3.10 |
| **33** | 0.60 | 1.15 | 1.65 | 2.20 | 2.60 | 3.00 |
| **32** | 0.55 | 1.10 | 1.55 | 2.10 | 2.50 | 2.90 |
| **31** | 0.55 | 1.05 | 1.45 | 1.95 | 2.40 | 2.70 |
| **30** | 0.50 | 1.00 | 1.35 | 1.85 | 2.30 | 2.50 |
| **29** | 0.50 | 0.95 | 1.30 | 1.75 | 2.15 | 2.30 |
| **28** | 0.45 | 0.85 | 1.25 | 1.65 | 1.95 | 2.20 |
| **27** | 0.40 | 0.75 | 1.15 | 1.50 | 1.80 | 2.00 |
| **26** | 0.35 | 0.70 | 1.05 | 1.35 | 1.65 | 1.90 |
| **25** | 0.30 | 0.65 | 0.95 | 1.20 | 1.50 | 1.70 |
| **24** | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.15 | 1.40 | 1.60 |
| **23** | 0.30 | 0.55 | 0.80 | 1.05 | 1.25 | 1.45 |
| **22** | 0.30 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.15 | 1.35 |
| **21** | 0.25 | 0.45 | 0.70 | 0.90 | 1.05 | 1.25 |
| **20** | 0.25 | 0.40 | 0.60 | 0.80 | 0.95 | 1.10 |
| **19** | 0.20 | 0.35 | 0.50 | 0.65 | 0.80 | 0.90 |
| **18** | 0.15 | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 0.55 | 0.65 |

Таблица 6.11 Ефект на относителната влажност RH върху усещаната температура $t_f$ върху бройлерите.

Можем да получим стойността на усещаната температура $t_f$ по следната формула:

Формула 6.1 $$t_f = t_i - t_{cw} + t_{cRH}$$

като данните за $t_{cRH}$ се вземат от таблица 6.11, а от таблица 6.10 могат да се вземат данни за $t_{cw}$ 7 седмични бройлери. За различните възрасти се използват различни таблици.

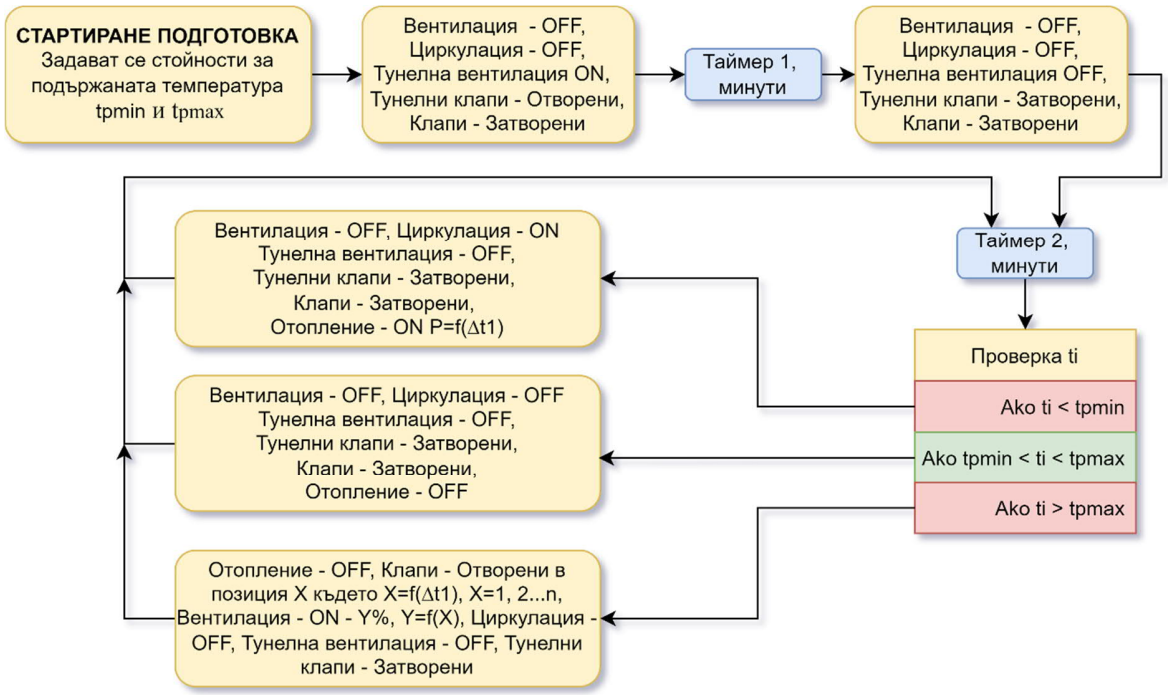
За по-голяма яснота в таблица 6.12 са показани означенията на параметрите използвани в алгоритъма.

| **Означение** | **Описание** |
|---|---|
| $t_i$, °C | Вътрешна температура на нивото на бройлерите |
| $t_o$, °C | Външна температура |
| $t_{ih}$, °C | Вътрешна температура близо до тавана |
| $t_f$, °C | Усещана температура |
| $t_{min}$, °C | Минимална температура на зоната на комфорт на бройлерите |
| $t_{max}$, °C | Максимална температура на зоната на комфорт на бройлерите |
| $t_{opt}$, °C | Оптимална температура за отглеждане |
| $t_{pmin}$, °C | Минимална температура за подготвяне на помещението |
| $t_{pmax}$, °C | Максимална температура за подготвяне на помещението |
| $t_{cw}$, °C | Температурна корекция зависеща от скоростта на въздуха SAF |
| $t_{cRH}$, °C | Температурна корекция зависеща от относителната влажност RH |
| $\Delta t_1$, °C | Разлика от температурите $\Delta t_1 = t_i - t_o$ |
| $\Delta t_2$, °C | Разлика от температурите $\Delta t_2 = t_{op} - t_i$ |
| $\Delta t_3$, °C | Разлика от температурите $\Delta t_3 = t_{ih} - t_i$ |
| $\Delta t_{3max}$, °C | Стойност при която се включват циркулационните вентилатори |
| RH, % | Относителна влажност |
| $RH_{out}$, % | Относителна влажност отвън |
| SAF, m/s | Скорост на движение на въздуха |
| $\Delta p$, Pa | Диференциално налягане вън/вътре |
| $t_{s1}$, day | Възраст на бройлерите в дни |
| $t_{s2}$, min | Време на един вентилационен цикъл |
| $t_{s3}$, sec | Време за работа на вентилацията в един вентилационен цикъл |
| $t_{s4}$, sec | Време необходимо за стартиране на вентилаторите, отваряне на клапите и тунелните отвори |
| $t_{s\ drying}$ | Време за изсушаване на изпарителните охладителни пити |
| $M_1$ | Режим на минимална вентилация 1 |
| $M_2$ | Режим на минимална вентилация 2 |
| $T_r$ | Режим на преходна вентилация |
| $T_u$ | Режим на тунелна вентилация |

Таблица 6.12 Означения на параметрите в алгоритъма за управление на микроклимата в птицеферма.

6.3.4.1 Алгоритъм за подготовка на помещенията преди настаняване на пилета

Фигура 6.7 показва алгоритъм за подготовка на сградата преди въвеждане на пилетата. Този режим трябва да се стартира най-малко 24 или 48 часа, в зависимост от параметрите на сградата и отоплението, преди пилетата да бъдат настанени. Минималната и максималната поддържаща температура ($t_{pmin}$ и $t_{pmax}$) трябва да бъдат зададени при стартиране. Системата започва с проветряване на помещението, за да осигури свеж въздух и да премахне миризмите от подготвителната дезинфекция.




Фигура 6.7 Алгоритъм за подготовка на помещенията преди настаняване на пилета.

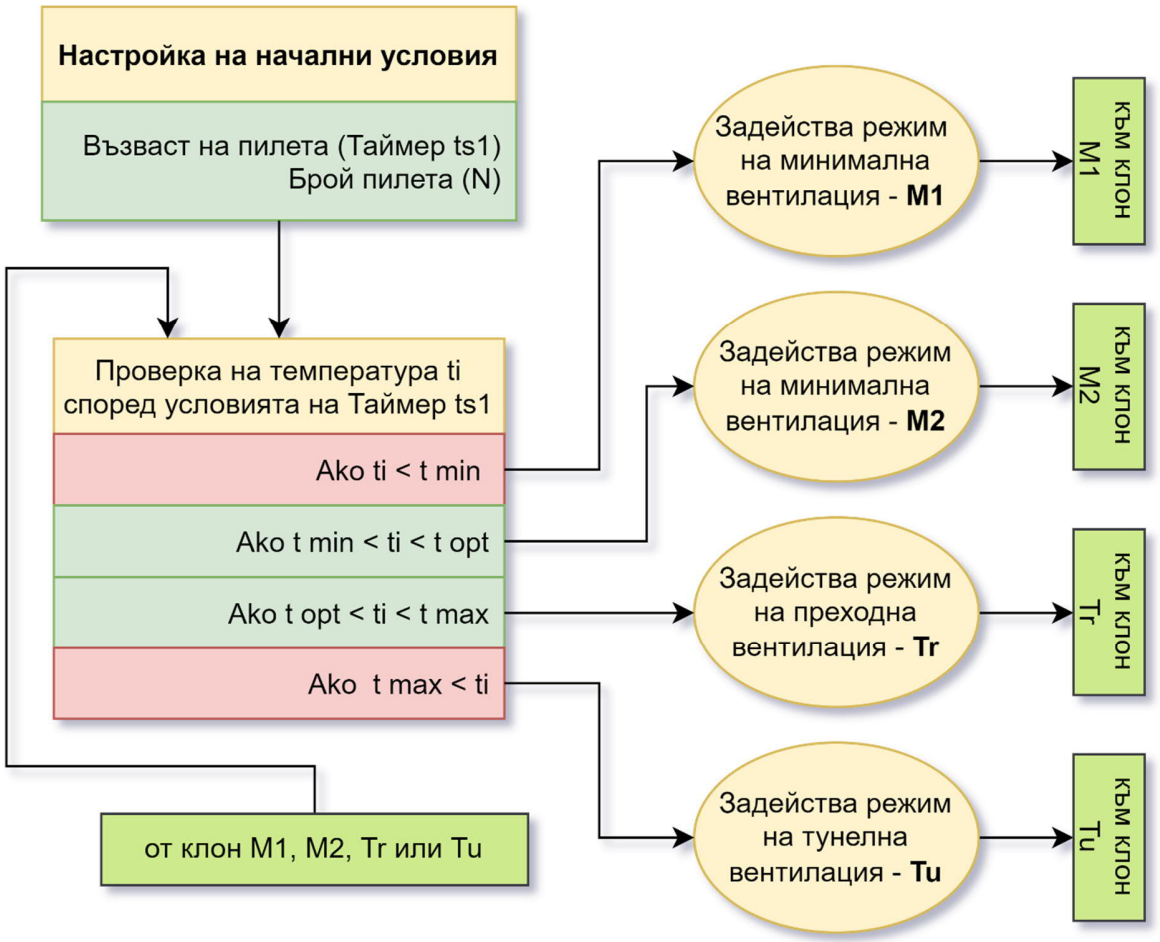
След което се проверява и контролира единствено температурата. Когато тя е по ниска от минималната зададена температура $t_{pmin}$ се включва отоплението и циркулационната вентилация за по бързо и равномерно затопляне на помещението. При температура по-висока от зададената се отварят клапите и се задейства вентилацията, за да може да се постигне желаното охлаждане.

6.3.4.2 Работен алгоритъм

6.3.4.2.1 Основна част на работния алгоритъм

Основният работен алгоритъм на предложената КФС може да бъде разделен на пет части за по-лесно представяне. В първата част (Фигура 6.8) се измерва температурата в сградата на нивото на бройлерите $t_i$ и се сравнява с температурата, зададена от системата. Тази температура се променя според възрастта на пилетата от таймера $t_{s1}$. От тази проверка зависи какъв вид на вентилация ще се предприеме. Системата преминава през един цикъл

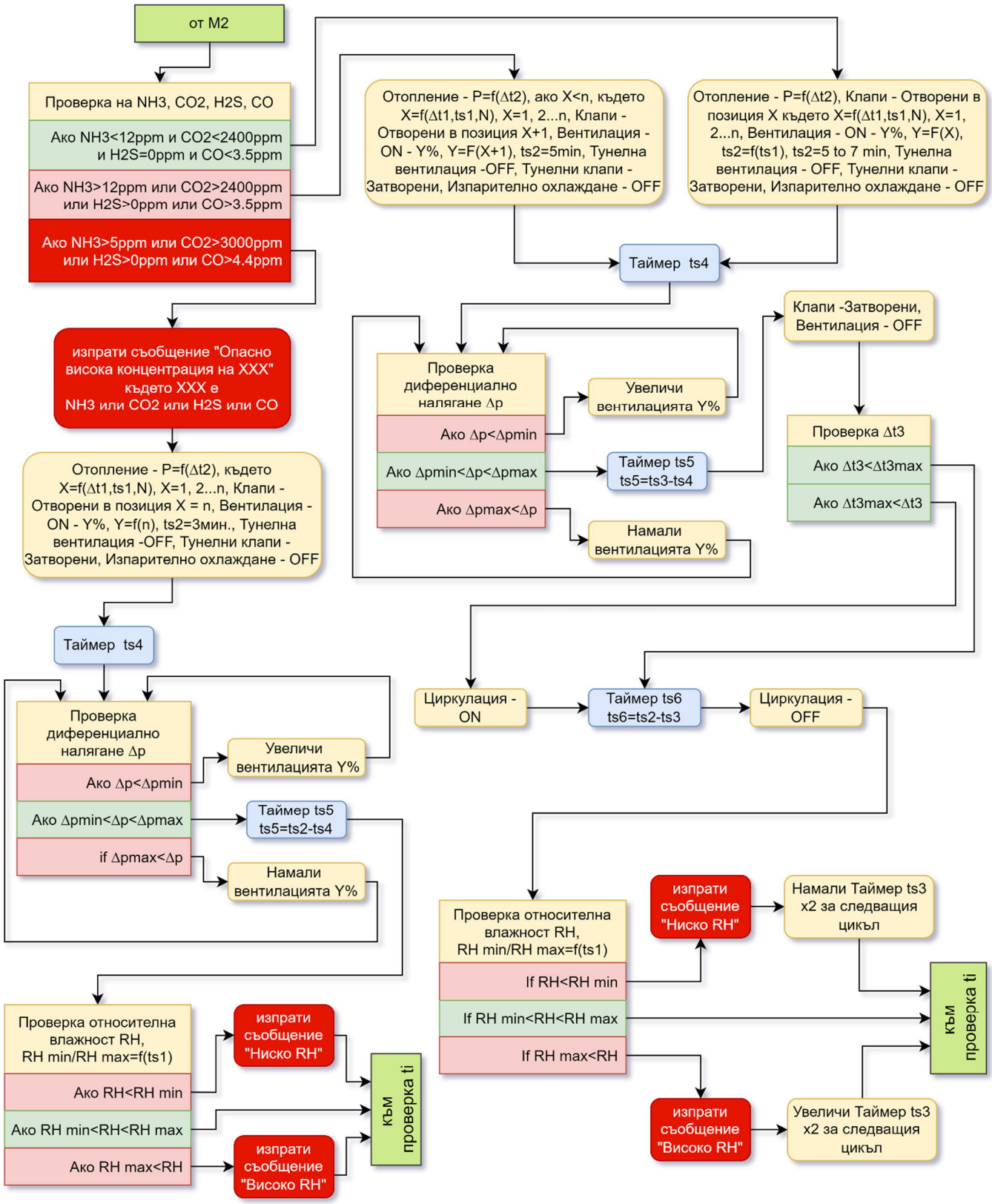
на работа, след което отново преминава през проверка на $t_i$. Това се повтаря постоянно с едно изключение при тунелната вентилация $T_u$.




Фигура 6.8 Първа част на алгоритъма за управление на птицеферма.

6.3.4.2.2 Клонове при работа на минимална вентилация $M_1$ и $M_2$

Клоновете за минимална вентилация $M_1$ и $M_2$ са почти идентични, затова ще разгледаме само клона $M_2$ (Фигура 6.9) и ще отбележим различията.




Фигура 6.9 Алгоритъм за управление - клон за минимална вентилация $M_2$.

В режим на минимална вентилация М2 системата първо проверява за наличие на вредни газове. Ако не се открие висока концентрация, се преминава към следните действия. Тунелните клапи са затворени и тунелната вентилация и циркулацията са изключени. Изпарителното охлаждане също се изключва. Отоплението е включено, а мощността или броя на включените нагревателни устройства зависи от разликата между оптималната температура $t_{iopt}$ за текущата възраст на бройлерите $t_{s1}$ и измерената температура в помещението $t_i$. Клапите се отварят в позиция X, която се определя както от разликата между вътрешната и външната температура $\Delta t_1$, така и от възрастта $t_{s1}$ и броя N на бройлерите. От възрастта и броят на пилетата се определя живото им тегло, което от своя страна обуславя необходимия обем чист въздух който трябва да се осигури. Позиция X означава, че определен брой или всички клапи могат да бъдат отворени, както и колко са отворени. Това се определя от спецификата на сградата. Задействат се вентилаторите за минимална и преходна вентилация (Вентилацията). Броят на работещите вентилатори и тяхната мощност се съгласуват с положението на щорите X, за да се постигне определеното диференциално налягане Δp. Въз основа на възрастта на пилетата, системата настройва времето за цикъл на вентилация $t_{s2}$ на стойност между 5 и 7 минути. Удължаването до 7 минути е за спестяване на енергия в периода на брудинга, когато трябва да се поддържат по-висока температура и по-висока относителна влажност. Системата изчаква да изтече времето $t_{s4}$ (като то е от порядъка на няколко секунди). Това време е необходимо за отваряне на щорите (или преместване от една позиция в друга) и развъртане на вентилаторите на определената скорост, докато се постигне постоянно диференциално налягане Δp. Поради замърсяване на клапите или вентилационните отвори на вентилаторите, влошени уплътнения на врати и прозорци и т.н. Δp може да не е в рамките на допустимите стойности, от което може да възникне нежелано движение на въздуха. Поради това се прилага допълнителна настройка на мощността на вентилацията, докато Δp достигне необходимите стойности. След това вентилацията продължава до изтичане на таймера $t_{s5}$. Общото време на работа на вентилацията е времето $t_{s3}$, което е 30 секунди. След като вентилацията спре, се прави сравнение между вътрешната температура на ниво бройлери $t_i$ и вътрешната температура под покрива $t_{ih}$. Ако разликата $\Delta t_3$ е по-голяма от максимално допустимата $\Delta t_{max}$, се включват циркулационни вентилатори. След изтичане на таймер $t_{s6}$, чието време е времето на един цикъл (от 5 до 7 мин.) минус времето за работа на вентилацията, циркулационните вентилатори се изключват, ако са били включени. След това се проверява относителната влажност RH вътре в сградата. Ако тя е по-ниска от минималната $RH_{min}$, системата изпраща еднократно съобщение с измерената стойност. За да регулира влажността, системата намалява таймера $t_{s3}$ за следващия вентилационен цикъл. Ако RH е по-висока от максималната стойност $RH_{max}$, системата също изпраща съобщение, но времето $t_{s3}$ се увеличава за следващия цикъл. Когато относителната влажност RH е в норма, не се прави промяна и се връща директно към първата част на алгоритъма и измерването на $t_i$.

Ако при проверка на вредните газове се отчете, че някой от показателите е достигнал 80% от максимално допустимите стойности, системата изпълнява същите действия както когато са в норма, но клапите се отварят с една степен повече на позиция X+1. Съответно и вентилацията променя мощността си.

Ако въпреки предприетите мерки за намаляване на вредните газове в следващия цикъл се окаже, че те надвишават допустимите норми, системата изпраща еднократно съобщение. Това е авариен режим и таймер $t_{s2}$ приема стойност от 3 минути. Отоплението отново е включено, но клапите са отворени на максимална стойност. Вентилацията също работи със съответната мощност през целия период на цикъла $t_{s2}$. Ако е необходимо, мощността на вентилацията се регулира. След изтичане на таймера $t_{s5}$ се прави проверка на относителната влажност RH и ако тя не е в нормите се изпраща съобщение. Не се предприемат мерки за регулиране, тъй като приоритетът на действията за отстраняване на вредните газове е по-висок. След това системата отново се връща в режим на измерване $t_i$.

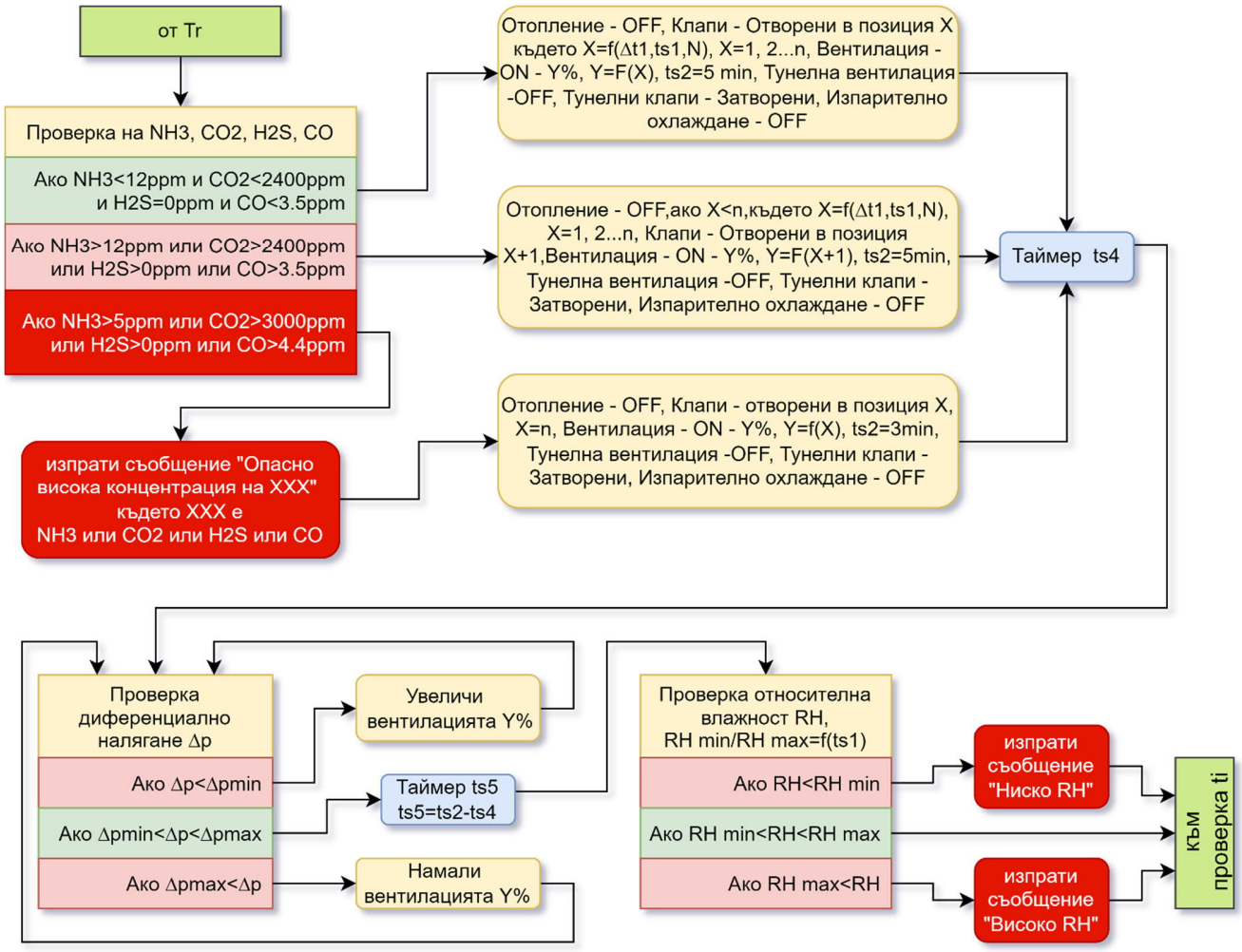
Разликите между двата клона за минимална вентилация $M_1$ и $M_2$ са както следва. При влизане в режим на $M_1$ системата изпраща еднократно съобщение с измерената температура. Отоплението се включва на максимална мощност. Ако концентрацията на вредни газове е над нормата, щорите не се отварят на максимална позиция. Те се отварят на позиция X + 2, за да предотвратят изстиването на бройлерите. Всичко останало е напълно идентично.

6.3.4.2.3 Клон при работа на преходна вентилация $T_r$

При преходна вентилация $T_r$ (Фигура 6.10) системата отново първо проверява за наличие на вредни газове. Ако те са в норма, се прилагат следните действия. Отоплението, тунелната вентилация и изпарителното охлаждане са изключени, а входовете за тунелна вентилация са затворени. Клапите се отварят в позиция X, в зависимост от стойността на $\Delta t_1$, възрастта на бройлерите $t_{s1}$, и броя им N. Вентилацията се включва на съответната мощност Y, като при минимална вентилация. Продължителността на цикъла $t_{s5}$ е 5 минути. Вентилацията продължава през целия цикъл. След изтичане на времето за позициониране на щорите се проверява диференциалното налягане $\Delta p$ и в края на цикъла се проверява относителната влажност RH. Ако RH не е в нормите, системата изпраща еднократни съобщения с измерената стойност, но не предприема действия за нейното регулиране. В този случай поддържането на температурата е с по-висок приоритет. Хладният въздух, постъпващ от преходната вентилация, осигурява постоянно движение на въздуха в сградата. Поради това не е необходимо да включвате циркулационните вентилатори. След проверката на RH, алгоритъмът се връща отново в началото, за да измери температурата $t_i$.

Ако при проверката за нивото на вредните газове нивото на някой от тях е достигнало 80% от максимално допустимата стойност, системата извършва същите действия, както когато са нормални, но щорите се отварят с една позиция повече на позиция X + 1. Съответно вентилацията променя мощността си.

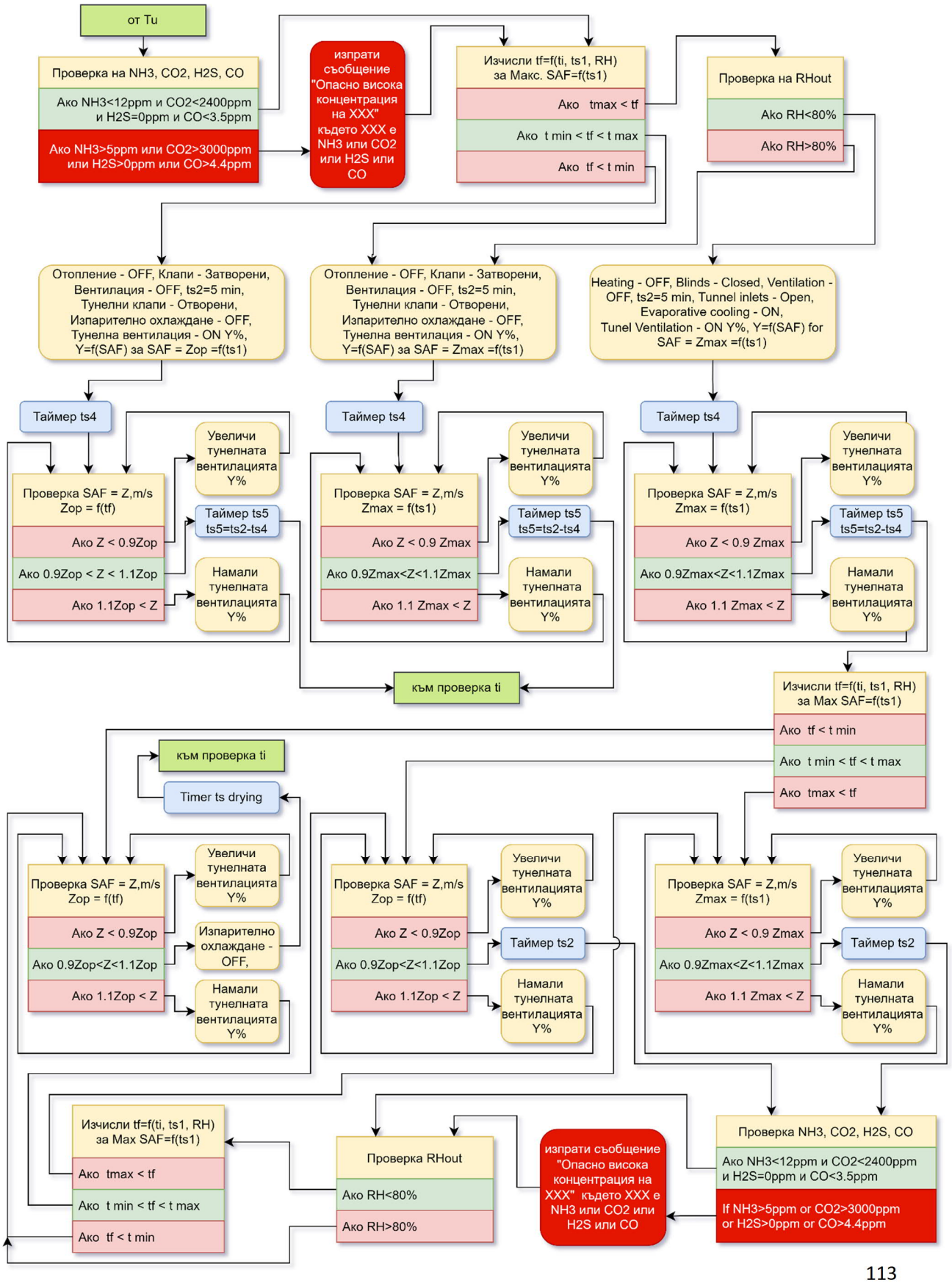
При стойности над допустимите се влиза в авариен режим и системата изпраща еднократно съобщение. Времето на цикъла се съкращава до 3 минути, за да се избегне преохлаждането на бройлерите и щорите се отварят до максимално положение.




Фигура 6.10 Алгоритъм за управление - клон за преходна вентилация $T_r$.

6.3.4.2.4 Клон при работа на тунелна вентилация $T_u$

При тунелна вентилация (Фигура 6.11) системата отново първо проверява за наличие на вредни газове над нормата, като това може да се случи само ако има проблем с вентилацията или входовете, тъй като обемът свеж въздух, който влиза в сградата, е многократно по-голям от този на преходната вентилация. След това системата изчислява усещаната температура $t_f$ съгласно формула 6.1 при максимална стойност на скоростта на вятъра SAF за съответната възраст на бройлери $t_{s1}$.


от Tu
Проверка на NH3, CO2, H2S, CO
Ако NH3<12ppm и CO2<2400ppm и H2S=0ppm и CO<3.5ppm
Ако NH3>5ppm или CO2>3000ppm или H2S>0ppm или CO>4.4ppm
изпрати съобщение "Опасно висока концентрация на XXX" където XXX е NH3 или CO2 или H2S или CO
Изчисли tf=f(ti, ts1, RH) за Макс. SAF=f(ts1)
Ако tmax < tf
Ако t min < tf < t max
Ако tf < t min
Проверка на RHout
Ако RH<80%
Ако RH>80%
Отопление - OFF, Клапи - Затворени, Вентилация - OFF, ts2=5 min, Тунелни клапи - Отворени, Изпарително охлаждане - OFF, Тунелна вентилация - ON Y%, Y=f(SAF) за SAF = Zop =f(ts1)
Отопление - OFF, Клапи - Затворени, Вентилация - OFF, ts2=5 min, Тунелни клапи - Отворени, Изпарително охлаждане - OFF, Тунелна вентилация - ON Y%, Y=f(SAF) за SAF = Zmax =f(ts1)
Heating - OFF, Blinds - Closed, Ventilation - OFF, ts2=5 min, Tunnel inlets - Open, Evaporative cooling - ON, Tunel Ventilation - ON Y%, Y=f(SAF) for SAF = Zmax =f(ts1)
Таймер ts4
Проверка SAF = Z,m/s Zop = f(tf)
Ако Z < 0.9Zop
Ако 0.9Zop < Z < 1.1Zop
Ако 1.1Zop < Z
Увеличи тунелната вентилацията Y%
Таймер ts5 ts5=ts2-ts4
Намали тунелната вентилацията Y%
Проверка SAF = Z,m/s Zmax = f(ts1)
Ако Z < 0.9 Zmax
Ако 0.9Zmax<Z<1.1Zmax
Ако 1.1 Zmax < Z
към проверка ti
Изчисли tf=f(ti, ts1, RH) за Max SAF=f(ts1)
Ако tf < t min
Ако t min < tf < t max
Ако tmax < tf
Timer ts drying
Проверка SAF = Z,m/s Zop = f(tf)
Ако Z < 0.9Zop
Ако 0.9Zop<Z<1.1Zop
Ако 1.1Zop < Z
Изпарително охлаждане - OFF,
Таймер ts2
Намали тунелната вентилацията Y%
Проверка SAF = Z,m/s Zmax = f(ts1)
Ако Z < 0.9 Zmax
Ако 0.9Zmax<Z<1.1Zmax
Ако 1.1 Zmax < Z
Изчисли tf=f(ti, ts1, RH) за Max SAF=f(ts1)
Ако tmax < tf
Ако t min < tf < t max
Ако tf < t min
Проверка RHout
Ако RH<80%
Ако RH>80%
изпрати съобщение "Опасно висока концентрация на XXX" където XXX е NH3 или CO2 или H2S или CO
Проверка NH3, CO2, H2S, CO
Ако NH3<12ppm и CO2<2400ppm и H2S=0ppm и CO<3.5ppm
If NH3>5ppm or CO2>3000ppm or H2S>0ppm or CO>4.4ppm

Фигура 6.11 Алгоритъм за управление - клон за тунелна вентилация $T_u$.

Ако изчислената температура $t_f$ е по-ниска от минималната температура $t_{min}$ за възрастта на бройлерите $t_{s1}$, системата извършва следните действия. Изчислява се оптималната скорост на вятъра $Z_{opt}$. При тази скорост на вятъра усещаната температура $t_f$ е равна на оптималната температура $t_{opt}$ за съответната възраст на бройлери $t_{s1}$. Продължителността на цикъла $t_{s2}$ е настроена на 5 минути. Отоплението, вентилацията, циркулационните вентилатори и изпарителното охлаждане са изключени. Клапите са затворени. Тунелните клапи се отварят и тунелната вентилация се включва при мощност Y, която съответства на изчислената скорост на въздуха $Z_{opt}$. Системата изчаква таймер $t_{s4}$, който е необходим за отваряне на тунелните клапи и развъртане на тунелните вентилатори, докато се установи постоянна скорост на вятъра SAF. Измерва се действителната скорост на вятъра SAF и ако тя се различава с повече от 10% от зададената скорост на вятъра, системата променя мощността на тунелните вентилатори, за да регулира скоростта на вятъра. Това може да се случи, ако тунелните входове или изпарителните охладителни пити, през които преминава въздухът, са замърсени, дори когато изпарителното охлаждане не е включено. След изтичане на таймера $t_{s5}$ системата отново се връща в режим на измерване на вътрешната температура $t_i$.

Ако изчислената температура $t_f$ е между минималната температура $t_{min}$ и максималната температура $t_{max}$ за възрастта на бройлерите $t_{s1}$, системата извършва същите действия, както в предишния клон, но тук мощността на вентилаторите е настроена така, че да се постигне максималната стойност на вятъра SAF, съответстваща на възрастта на бройлера $t_{s1}$. След края на цикъла, системата отново се връща в режим за проверка на $t_i$.

Ако изчислената температура $t_f$ е по-висока от максималната температура $t_{max}$ за възрастта на бройлерите $t_{s1}$, системата проверява относителната влажност извън $RH_{out}$. Ако измерената относителна влажност RH е по-голяма от 80%, системата не включва изпарително охлаждане. Връща се към предишния клон, където скоростта на вятъра SAF се задава да е максимална според $t_{s1}$.

Ако относителната влажност навън $RH_{out}$ е по-малка от 80% се включва изпарителното охлаждане. Тунелните клапи се отварят и се включва тунелната вентилация на мощност Y, която съответства на изчислената скорост на въздуха $Z_{max}$. $Z_{max}$ съответства на максималната скорост на вятъра за съответната възраст на бройлери $t_{s1}$. Системата задава времето на цикъла $t_{s2}$ настроено на 5 минути (или по-дълго в зависимост от спецификата на изпарителните охладителни пити). При необходимост след таймера $t_{s4}$ се регулира мощността на тунелните вентилатори. До края на $t_{s2}$ изпарителните охладителни пити се навлажняват и започват да понижават температурата на влизащия в помещението въздух. Така и температурата в помещението $t_i$ започва да намалява.

След това системата преизчислява усещаната температура $t_f$. Ако $t_f$ е по-ниско от $t_{min}$, системата влиза в цикъл за спиране на изпарителното охлаждане. Първо, системата задава нова стойност на мощността на тунелните вентилатори Y, за да установи SAF = $Z_{opt}$. $Z_{opt}$ съответства на скорост на вятъра, при която усещаната температура $t_f$ е оптимална. SAF се измерва и при необходимост се правят корекции. Изпарителното охлаждане се изключва и

цикълът продължава, докато изтече времето за изсушаване на изпарителните охладителни пити $t_s$, след което системата се връща отново към проверка $t_i$ в основната част на алгоритъма.

Ако усещаната температура $t_f$ е между $t_{min}$ и $t_{max}$ или по-висока от $t_{max}$, тогава системата влиза в нов затворен цикъл, който не се връща в началото на алгоритъма за проверка на $t_i$, докато не бъдат изпълнени други условия. В този цикъл се проверява само усетената температура $t_f$, а не $t_i$. И в двата случая системата първо проверява скоростта на движение на въздуха SAF и я коригира, ако е необходимо, след това проверява за вредни газове и за висока относителна влажност извън $RH_{out}$. Когато $t_f$ е между $t_{min}$ и $t_{max}$, скоростта на вятъра се поддържа такава, че $t_f$ да е оптимална. Във втория случай, когато $t_f$ е по-висока от $t_{max}$, скоростта на вятъра се поддържа на максимална стойност според възрастта на бройлерите $t_{s1}$, но усещаната температура $t_f$ все още остава по-висока от максималната. Този режим обаче не се счита за авариен, защото няма начин да се намали допълнително температурата. Ако относителната влажност навън $RH_{out}$ надвиши 80%, системата излиза от затворения цикъл и започва да изпълнява процедурата за изключване на изпарителното охлаждане. След това се връща отново в началото, за проверка на $t_i$. Ако RHout не надвишава 80%, системата проверява усещаната температура $t_f$, докато бъде установено, че тя е по-малко от $t_{min}$. При тези условия системата започва процедурата за изключване на изпарителното охлаждане и отново се връща в началото, за проверка на $t_i$.

### 6.3.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в птицеферма

Поради невъзможността да се създаде експериментална постановка включваща всички видове сензори и управляващи системи, както и това, че не е внедрена в работеща птицеферма, тестването на системата се проведе на два етапа. В първия етап всички сензори бяха свързани към системата и тествани за четене и запис на данни. Използвани са следните сензори: AM2302 сензори за температура и влажност, SCD30 сензор за $CO_2$, Modbus версията на A2G-50 сензор за диференциално налягане и RS-CFSFX-3-EX за скорост на вятъра. Сензори за фини прахови частици и осветеност са тествани в предишни експериментални постановки на системите за управление на микроклимата в свинеферма.

Във втория етап, вместо реални данни от сензорите, бяха изпращани синтезирани данни за температура, влажност, диференциално налягане и наличие на вредни газове чрез MQTT Broker. Това позволи да се симулират различни условия за проверка на работата на системата.

По време на изпитването бяха зададени следните начални условия: $t_{s1}$ -14 дни, и максимален брой на бройлерите - N. След това системата зададе $t_{min}$ - 24 °C, $t_{max}$ - 27 °C, $t_{opt}$ - 25,5 °C. При стартиране на системата данните се изпращат към нея на всеки 30 секунди. Таблица 6.13 показва само част от редовете, където някои от данните са променени. Фигура 6.12 показва реакцията на системите за управление въз основа на получените входни данни.

| **Минута** | **$t_i$, °C** | **$t_o$, °C** | **$t_{ih}$, °C** | **$\Delta p$, Pa** | **$CO_2$** |
|---|---|---|---|---|---|
| 0' | 22 | 5 | 26 | 25 | 500 |
| 4' | 22 | 15 | 22 | 25 | 500 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8' | 26 | 15 | 30 | 25 | 500 |
| 14' | 25 | 15 | 30 | 25 | 500 |
| 19' | 25 | 15 | 25 | 25 | 2500 |
| 24' | 24.5 | 15 | 25 | 25 | 3500 |
| 27‘ | 25 | 15 | 25 | 25 | 500 |

Таблица 6.13 Симулирани данни подавани чрез MQTT Brocker.

Системата стартира по следния начин. Първо отвори свързаната щора, изпълняваща ролята на клапа, до обозначената позиция 2 от общо седем позиции. Стартира първия вентилатор, изпълняващ ролята на вентилатор за свеж въздух, на зададената скорост, съответстваща на позиция 2 на щората и включи нагревателя на 100%. След 30 секунди системата изключи вентилатора, затвори щората и включи втория вентилатор изпълняващ ролята на циркулационен вентилатор.

На 5-та минута цикълът приключи и алгоритъмът стартира нов, а системата провери температурата $t_i$ и предприе следните действия: изключи циркулационния вентилатор, включи вентилатора за свеж въздух и отвори щората до позиция 3. Отоплението остана на пълна мощност. След 30 секунди щората беше затворена и вентилаторът спря.

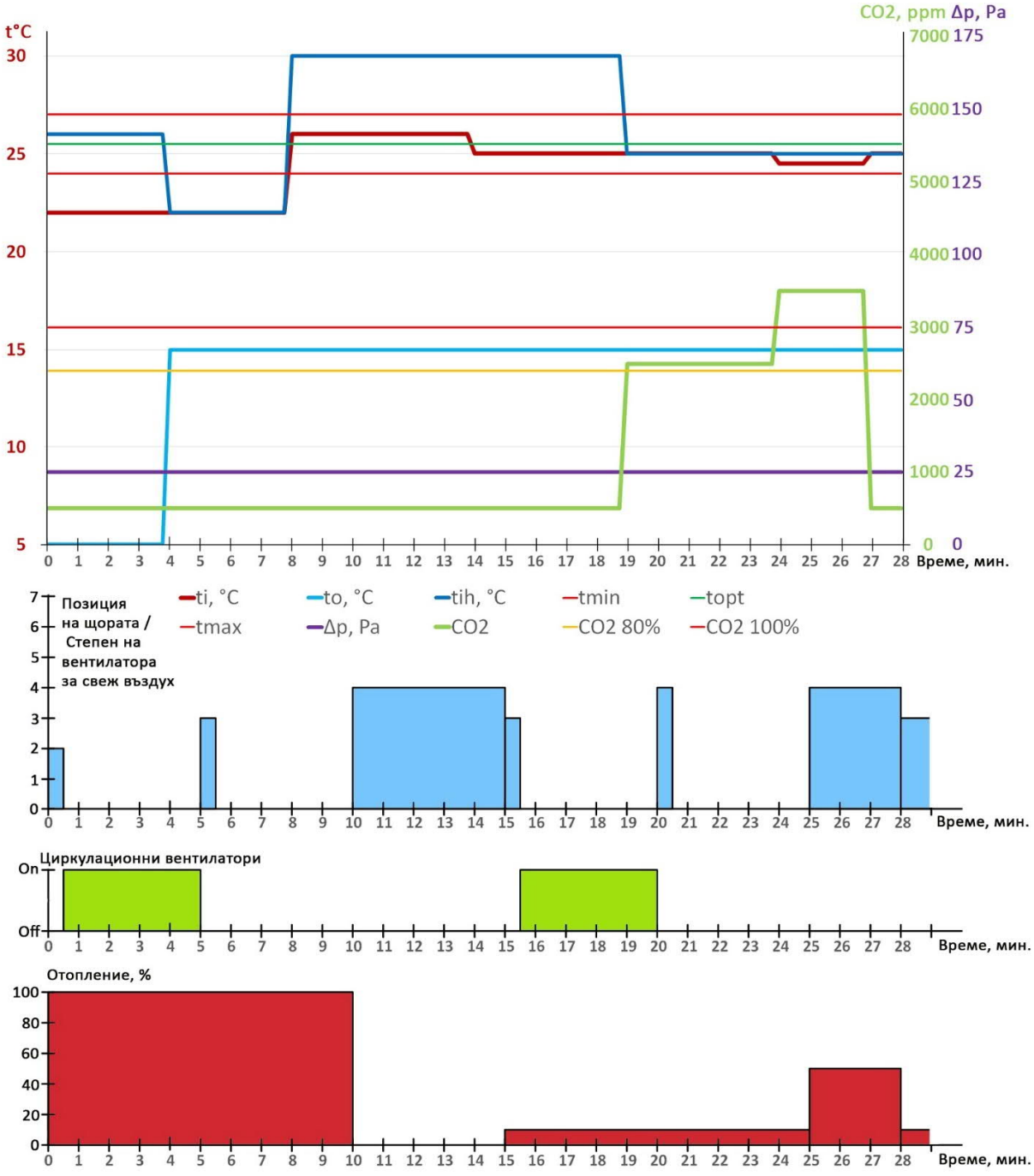
На 10-та минута системата отново провери температура $t_i$ и превключи от режим на минимална вентилация към режим на преходна вентилация, тъй като температурата $t_i$ е по-висока от $t_{opt}$. Нагревателят беше изключен, щората беше отворена до позиция 4 и вентилаторът а свеж въздух беше включен на съответната мощност.

На 15-та минута системата измери температурата $t_i$ и превключи от режим на преходна вентилация към режим на минимална вентилация. Нагревателят се включи с ШИМ на 10%, щората се премести от позиция 4 на позиция 3, а вентилаторът за свеж въздух превключи на съответната мощност за дадената позиция на щората. След 30 секунди вентилаторът спря, щората се затваря и циркулационният вентилатор се включва отново.

На 20-та минута системата измери температура $t_i$ и установи ниво на въглероден диоксид $CO_2$ над 80% от допустимата стойност. Последваха следните действия: щората се отвори до позиция 4 вместо 3, вентилаторът за свеж въздух беше включен на съответната мощност, нагревателя остана да работи на 10%, а циркулационният вентилатор беше изключен. След 30 секунди вентилаторът за свеж въздух беше изключен и щората затворена.

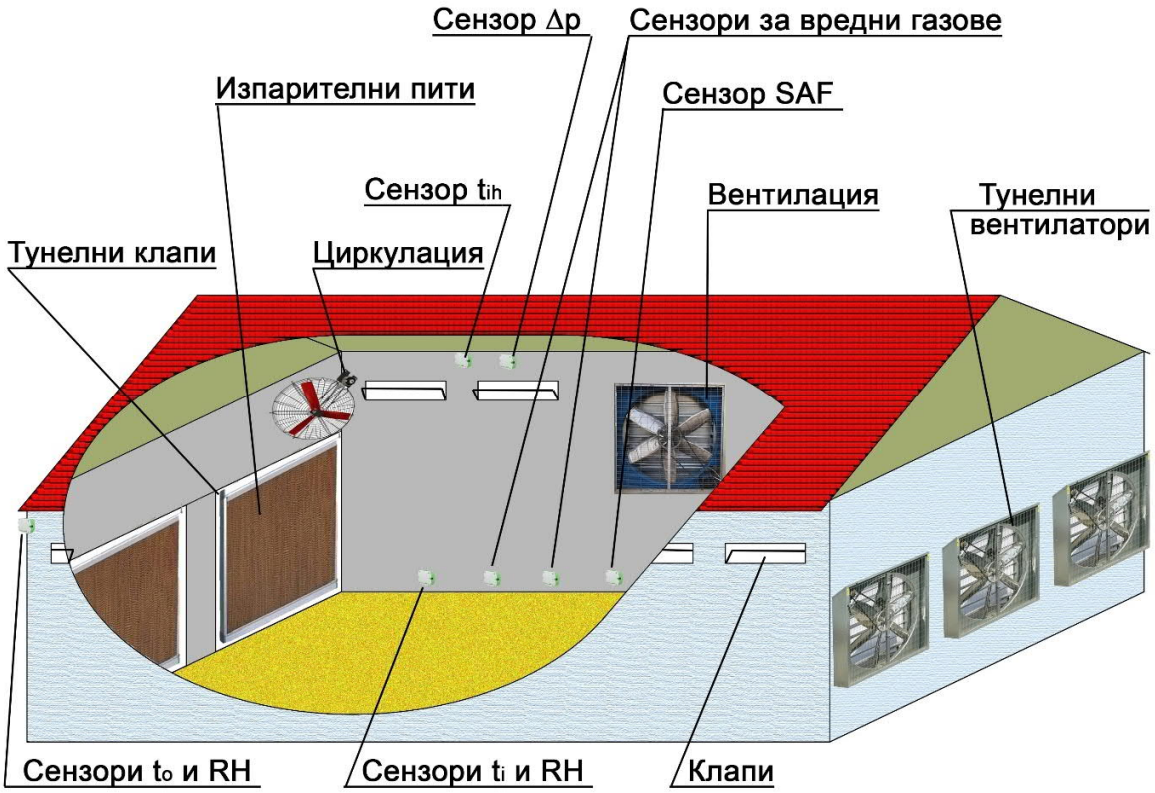
На 25-та минута системата измери температура $t_i$ и ниво на въглероден диоксид $CO_2$ над допустимата норма и влезе в авариен режим за 3 минути. След което изпрати съобщение „Предупреждение: високо ниво на $CO_2$ - 3000ppm“. Щората се отвори до позиция 4, вентилаторът за свеж въздух се включи на съответната мощност и нагревателят увеличи мощността си до 50%.

На 28-та минута системата измери температура $t_i$ и ниво на въглероден диоксид $CO_2$ под допустимата норма. Щората се отвори на позиция 3, вентилаторът за свеж въздух превключи на съответната мощност и нагревателят се включи на 10%.




Фигура 6.12 Реакция на системите за управление въз основа на получените входни данни.

Тестът по-горе показа, че системата (алгоритъмът) може успешно да превключва към различни режими на вентилация, както и да влиза и излиза от авариен режим. На фигура 6.13 е показано как трябва да бъдат разположени сензорите в реална птицеферма.




Фигура 6.12 Разположение на сензорите в птицеферма.

В реална ситуация отварянето на щорите във всяко положение при различни температури трябва да бъде съобразено с количеството свеж въздух, което е необходимо за доброто здраве на бройлерите. За експерименталния етап са зададени примерни стойности, за да може системата да бъде тествана.

## 6.4 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на риба и растения в аквапонична система по метода на дълбоководните култури

### 6.4.1 Специфики и изисквания към среда при отглеждането на аквакултури в аквапонична система

Има едно основно изискване за нормална работа на една аквапонична система, и това е постигане на баланс на средата. За да се постигне това е необходимо да се познават и управляват протичащите в нея процеси. Един от най-важните показатели е качеството на водата, което се изразява в нейната годност за определени приложения. В зависимост от предназначението на водата, има определени параметри, които трябва да бъдат достигнати, за да се определи качеството на водата. Тези параметри имат различни стойности за рибите, за растенията и за правилното развитие на бактериите. Следователно е необходимо да се намери златната среда, при което всички организми съжителстват в симбиоза [32,130]. В една аквапонична система за постигане на баланс е необходимо да се следи температурата

на водата, разтвореният кислород (DO), разтвореният въглероден диоксид ($CO_2$), наличието на амоняк ($NH_3$), нитрити ($NO_2^-$), нитрати ($NO_3^-$), водородния показател pH, алкалността, твърдостта, както и развитието на различни бактериални групи [32]. За да се добие представа за влиянието на различните параметри и възможности за контрол на средата, те ще бъдат разгледани накратко.

6.4.1.1 Температура на водата

Температурата на водата е особено важна в аквакултурите, тъй като тя трябва да се съобразява с конкретния вид риби които се отглеждат в аквапоничната система. Рибите се делят основно на топловидни и студеноводни [6,131]. Топловодните риби обитават водоеми с температури между 22 °C и 32 °C, докато студеноводните риби живеят при температури между 10 °C и 18 °C [32]. За да бъде една аквапонична система по-ефективна, изборът на рибата за отглеждане трябва да се прави, като се има предвид местният климат. В случаите на драстични температурни колебания зима/лято, за предпочитане е да се сменя вида риба два пъти годишно, дори ако аквапоничната система е разположена на закрито. Това ще доведе до по-ниски разходи за поддръжка на системата. Въпреки това, температурата на водата също трябва да се разглежда като свързана с бактериалната екосистема. За успешното и бързо развитие на нитрифициращите бактерии е необходимо поддържане на температура над 17 °C [32,132]. Добавянето на риба към аквапоничната система не се препоръчва, преди да се създаде стабилна колония от нитрифициращи бактерии, след което нитрифициращите бактерии могат да бъдат подложени на по-ниски температури до 10 °C. В такъв случай производителността им ще намалее два пъти. За растенията препоръчителната температура на водата е между 16 °C и 30 °C. Когато избирате вида риба, трябва да изберете подходящите растения [133]. При отглеждане на студеноводни риби, респективно поддържане на по-ниска температура на водата е необходимо да се осигури по-голям биофилтър, за да може да се подържа баланса в системата.

6.4.1.2 Водороден показател (pH)

Водородния показател pH има изключително силно въздействие върху процесите, протичащи в аквапоничната система. Той засяга рибите, растенията и бактериите пряко и косвено, като оказва и сериозно влияние върху други параметри на водата [134]. Рибите имат относително широк диапазон на толерантност към pH, от 6,5 до 8,5 [135]. Но бързата промяна на pH може да доведе до стрес, болест и смърт. Следователно pH не трябва да се променя с повече от 0,3 в рамките на 24 часа [32,132]. Нитрифициращите бактерии са много по-чувствителни към pH – при стойности на pH под 6, те трудно трансформират амоняка в нитрити и нитрати, което намалява ефективността на биофилтъра. Стойността на pH е отговорна и за усвояването на макро- и микроелементите от растенията. Най-благоприятният диапазон за растенията е между 6 и 6,5, а стойности над 7,5 [32] или дори над 7 [136] могат да спрат усвояването на някои елементи, като фосфор и желязо, което може да доведе до хранителен дефицит.

6.4.1.3 Твърдост на водата

Водата се характеризира с два типа твърдост: обща твърдост или постоянна твърдост (GH) и карбонатна твърдост или временна твърдост (KH), като втората е по-важна за целите на аквапониката. Карбонатната твърдост KH, наричана още алкалност, представлява общото количество карбонати ($CO_3^{2-}$) и бикарбонати ($HCO_3^-$), които са разтворени във вода и се измерва като количество калциев карбонат $CaCO_3$ в mg/L. Алкалността играе ролята на буфер, предотвратявайки прекаленото понижаване на pH, поради процесите на нитрификация. Карбонатът и бикарбонатът, които са разтворени във водата, се свързват с H+ йоните, освободени по време на нитрификацията, като по този начин ги отстраняват от водата. След това pH остава постоянно дори когато се добавят нови H+ йони. Балансирането на аквапоничната система не налага непрекъснат мониторинг на KH, ако е в препоръчителните граници от 60–140 mg/L [32]. Достатъчно е водата, добавена към системата, да има необходимата твърдост [32]. Ето защо не се препоръчва директното използване на дъждовна вода или вода с много ниска карбонатна твърдост без предварителна обработка. Ако добавената вода не може да осигури необходимата карбонатна твърдост KH, необходима за поддържане на pH баланса, е необходимо предприемането на допълнителни мерки. Могат да се добавят основи, като калиев хидроксид (KOH) и калциев хидроксид ($Ca(OH)_2$). Но по-безопасно е да се добави калциев карбонат ($CaCO_3$) или калиев карбонат ($K_2CO_3$), което също ще повиши KH и pH. Това може да стане чрез добавяне на натрошени яйчени черупки, ситно натрошени миди, груби варовикови песъчинки или натрошен тебешир [32].

6.4.1.4 Разтворен кислород

Разтвореният кислород (DO) представлява количеството молекулярен кислород във водата, измерено в mg/L. DO има големи ефекти върху трите вида организми: риби, растения и бактерии. Въпреки че определено количество кислородът винаги се разтваря във водата поради контакта с въздуха, това количество не е достатъчно, което налага допълнително обогатяване на водата с помощта на въздушни помпи. Способността на водата да задържа кислород зависи от нейната температура, така че при по-високи температури е необходима по-интензивна аерация на водата. Най-благоприятна за нитрифициращите бактерии е среда, в която DO е от 4 до 8 mg/L, докато за растенията е достатъчно да е над 3 mg/L. В зависимост от вида риба която се отглежда, трябва да се поддържа концентрация от 4 до 6 mg/L за повечето топловодни риби, докато за студеноводните тази стойност е 6 до 8 mg/L [137]. Ако концентрацията на DO стане по-ниска от необходимата за вида риба, тя не може ефективно да преобразува енергията в използваема форма, което намалява растежа на рибата, ефективността на хранене и способността за плуване [137]. Въпреки че водата непрекъснато циркулира, в средни и големи аквапонични системи е важно да се следи нивото на DO не само в аквариума, но и в биофилтъра в коритата за отглеждане на растенията. Ниската концентрация на DO във водата намалява концентрацията на кислород в кръвта на рибите, а от своя страна нитритите пречат на преноса на кислород в кръвта. Следователно дефицитът на DO повишава токсичността на нитритите [138,139,140,141].

### 6.4.1.5 Въглероден диоксид $CO_2$

Дишането кара рибите да отделят въглероден диоксид ($CO_2$), което понижава нивото на pH. Този ефект се засилва при по-високи температури на водата и гъстота на отглеждане [32]. Високите нива на въглероден диоксид $CO_2$ влошат здравето на рибите [142]. Като общо правило, аквапоничните системи, които не са снабдени със системи за аерация, изискват да се предприемат мерки под някаква форма за отстраняване на $CO_2$, докато аквапоничните системи, снабдени със системи за аерация за добавяне на кислород, не изискват допълнителни действия за отстраняването на $CO_2$ [142]. При една добре проектирана система за аерация, разтвореният CO2 се пренася нагоре към водната повърхност от издигащите се балончетата въздух [32,132].

### 6.4.1.6 UV радиация

Нитрифициращите бактерии са особено чувствителни към ултравиолетовите лъчи, преди тяхната колония да се развие напълно, след което ефектът им е незначителен. Поради това е необходимо биофилтърът и аквариумът да се засенчат, докато се установи стабилна колония от бактерии. За предпочитане е те да останат защитени от пряка слънчева светлина през цялото време, за да се предотврати развитието на микро- и макроводорасли. Микроводораслите (фитопланктон) оцветяват водата в зелено и оказват силно влияние върху разтворения кислород DO и pH. Благодарение на фотосинтезата през деня те повишават нивото на DO и pH, но през нощта консумират кислород и отделят $CO_2$, от което се намалява pH [32]. Тези бързи промени са силно нежелателни в аквапониката. Макроводораслите могат да блокират циркулационната помпа, тръбите или други елементи на системата [32]. Като цяло и двата вида водорасли могат значително да намалят хранителните вещества, достъпни за растенията, като по този начин забавят растежа им.

### 6.4.1.7 Общ азот

Общото количество азот се състои от амоняк, нитрити ($NO_2^-$) и нитрати ($NO_3^-$). Във водата амонякът съществува в две форми: амоняк ($NH_3$) и амониеви йони или амоний ($NH_4^+$). Докато амонякът $NH_3$ е силно токсичен за рибите, амоният не е [32,142,143]. Общото количество амоняк и амоний се нарича общ амонячен азот (TAN). Формата на амоняка се определя главно от pH на водата и е по-малко зависима от температурата [144]. В кисела среда, когато нивото на pH е под 7, почти целият амоняк е под формата на амоний ($NH_4^+$). Когато нивото на pH се повиши над 7,5, нивото на $NH_3$ започва да се повишава, а това на $NH_4^+$ започва да намалява. При стойности на pH около 9–9,5 и двете форми присъстват в равни количества. При нива на pH над 11 почти целият амоняк е в токсичната му форма $NH_3$. [144].

За целите на аквапониката е необходимо да се знае концентрацията на токсичната форма на амоняка, $NH_3$. Въпреки това, измерването му директно във вода е невъзможно със съществуващите тестови комплекти или електронни сензори, които измерват общото количество амоняк TAN. Някои електрически сензори могат да измерват отделно

концентрацията на амония $NH_4+$. Най-лесният начин да се определи нивото на $NH_3$ е чрез използване на таблици, които са получени по емпиричен път [144,145,146,147] или да се изчисли директно от стойността на TAN или NH4+ съгласно формули, които също са получени емпирично [145,146,147,148]. Образуването на амоняк ($NH_3$) се извършва, когато рибите обработват храната си, която се състои главно от протеини. В този процес около 25% [149,150,151] до 30% [32] от храната се усвоява от рибите за техния растеж; около 35% се отделят от тях под формата на урина или през хрилете като амоняк; и около 40% се отделят като твърди отпадъци, които отново се превръщат в амоняк от присъстващите във водата бактерии [152]. Амонякът и в двете форми се абсорбира от нитрифициращите бактерии, които го превръщат в нитрит ($NO_2-$) и след това в нитрат ($NO_3-$). Тези вещества са токсични за рибите и не трябва да надвишават определени концентрации. Като цяло, нивата на амоняк ($NH_3$) и нитрити ($NO_2-$) не трябва да бъдат по-високи от 1 mg/L, докато нивата на нитрати ($N0_3-$) не трябва да надвишават 300 mg/L [153]. За всеки конкретен вид риба има допустими стойности, които трябва да се спазват [154], като целта е концентрацията на $NH_3$ и $NO_2-$ да се поддържа под 0,1 mg/L. Продължителното излагане на по-високи концентрации на тези вещества, дори под допустимите норми, може да доведе до стрес и заболявания на рибите [32,132]. От друга гледна точка, тези вещества са основните хранителни вещества за растенията. Растенията могат да абсорбират и амоняк и нитрити, но нитратите се абсорбират най-лесно [155]. Следователно е необходимо да има стабилна колония от нитрифициращи бактерии, за да се намали количеството на амоняк и нитрити до почти нулеви стойности.

6.4.1.8 Електропроводимост (EC) и общо разтворени твърди вещества (TDS)

Солеността е показател за концентрацията на соли във водата. Той представя количеството на натриев хлорид NaCl и някои растителни хранителни вещества, които всъщност са соли. Високата соленост може да повлияе негативно на производството на зеленчуци, особено ако е с произход от натриев хлорид, тъй като натрият е токсичен за растенията [32]. Солеността на водата може да се измери с оптичен рефрактометър, като мерната единица е ppm или mg/L. Информация за солеността на водата, с която се допълва аквапоничната система, може да бъде получена и от докладите на местните власти за качеството на водата. Електропроводимостта може да се измери уред за измерване на електропроводимост, като мерната единица е µS/cm. Препоръчително е да се използват източници на вода с ниска соленост, където EC е по-малко от 1500 µS/cm или концентрацията на TDS е по-ниска от 800 ppm [32]. Въпреки че уредите за измерване на EC и TDS обикновено се използват за измерване на общото количество хранителни соли във водата, те не осигуряват достатъчно точно отчитане на нивата на нитрати, които могат да бъдат по-добре наблюдавани по друг начин [32]. Измерването на електропроводимостта не гарантира наличието на отделни хранителни вещества, но е прост, често използван метод за осигуряване на общи разтворими соли в хранителния разтвор [156].

6.4.1.9 Механична филтрация

Механичната филтрация е особено важна за аквапоничните системи по метода на дълбоководните култури. Той разделя и отстранява твърди и суспендирани рибни отпадъци от аквариумите, което е много важно за здравето на рибите [32]. Освен това отпадъците

могат да запушат системите и да нарушат водния поток. Има много видове механични филтри, включително резервоари за утаяване, филтри с пясък или перли, утаители с радиален поток и преградни филтри. Механичните сепаратори (утаители) са най-често използваните филтри. Те използват свойствата на водата за разделяне на частици [32].

6.4.1.10 Бактериално развитие и биофилтрация

Нитрификацията е може би най-важният процес в една аквапонична система. Нитрифициращите бактерии могат основно да бъдат разделени на две групи. Първата включва амоняк-окисляващи бактерии (AOB), а вторият - нитрит-окисляващи бактерии (NOB). AOB окисляват амоняка до $NO_2^-$, а като вторичен продукт се отделят положителни водородни йони H+, които могат да намалят pH. NOB окисляват нитритите $NO_2^-$ до нитрати $NO_3^-$ [32,157]. Необходима е достатъчно голяма площ, където нитрифициращите бактерии могат да създадат стабилна колония за да могат да трансформират амоняка отделен от рибите в нитрати и да установят баланс в системата, при което амонякът и нитритите са в минимални количества. Балансът се нарушава, ако те започнат да се покачват. Една от причините може да е, че биофилтърът е твърде малък за броя на рибите в аквапоничната система. За преодоляване на дисбаланса трябва да се увеличи размерът на биофилтъра, да се намали броят на рибите или временно да се намали храната за рибите. Друга причина може да е проблем с нитрифициращи бактерии, причинен от качеството на водата. Трябва да се проверят и всички параметри на качеството на водата и да се коригират до необходимите граници, благоприятни за бактериите.

В допълнение към нитрифициращите бактерии, хетеротрофните бактерии също играят важна роля в аквапоничните системи. Те използват органичен въглерод като източник на храна и участват в разграждането на твърди рибни и растителни отпадъци. Както бе споменато по-горе, част от преработената рибна храна се освобождава като органична смес, съдържаща протеини, въглехидрати, мазнини, витамини и минерали. Растенията не могат да абсорбират тези микроелементи, когато са в твърда форма. Хетеротрофните бактерии метаболизират тези отпадъци чрез процес, наречен минерализация, в резултат на който основните микроелементи, необходими за растежа на растенията, стават достъпни [32,158]. Хетеротрофните бактерии изискват същите условия като нитрифициращите бактерии. Те могат да бъдат намерени навсякъде в аквапоничната система, но са концентрирани най-вече в райони с натрупване на твърди отпадъци.

В допълнение към полезните бактерии, лошото качество на водата може да допринесе за развитието на бактерии, които са вредни за системата. Първите принадлежат към групата на сулфат-редуциращите бактерии, които се възпроизвеждат при ниски нива на разтворен кислород DO (анаеробни условия) и в случаите на прекомерно натрупване на твърди отпадъци, които не могат да бъдат асимилирани от хетеротрофните бактерии [32]. В присъствието на сулфат-редуциращи бактерии протича процес, при който сярата S се окислява и се получава сероводород $H_2S$. При по-високи концентрации се усеща миризма на развалени яйца. Това обаче може да бъде предотвратено чрез поддържане на необходимите нива на DO и правилно и редовно почистване на механичния филтър [32].

Други нежелани бактерии образуват групата на денитрифициращите бактерии. Този тип микроорганизми, като сулфат-редуциращите бактерии, се развиват в анаеробни условия. Денитрифициращите бактерии преобразуват нитратите в атмосферен азот, което води до липса на хранителни вещества, необходими за растенията. В определени случаи общата загуба на азот може да достигне над 50% [159]. Въпреки отрицателния им ефект, в много големи системи, когато нивото на нитратите е твърде високо, развитието на тези бактерии може да стане необходимо за балансиране на системата.

Третата нежелана група бактерии са болестотворните бактерии. Някои от тези бактерии могат да засегнат рибите, други могат да засегнат растенията, а има и такива, които могат да причинят заболявания при хората. Затова е необходимо да се поддържа добра хигиена, за да се защити системата. Бактериите могат да се предават чрез храната или по други пътища [160]. Дивите животни, гризачите и птиците не трябва да имат достъп до резервоарите. Дъждовната вода, събрана от покривите на сгради, където може да има птичи екскременти, не трябва да се използва, без предварително да се обработи с подходящи препарати. Също така аквапоничната вода не трябва да влиза в контакт с листата на растенията [32].

6.4.1.11 Биообрастване

Разработени са множество подходи за избягване на ефектите на замърсяване; повечето от тях обаче разчитат на използване на химически обработки и създаване на специфични покрития. Алтернативен метод е физическата модификация на материала чрез прилагане на лазерно лъчение за въвеждане на микроструктури и контрол на тяхната грапавост, което е от решаващо значение за бактериалната адхезия [161]. Доказано е, че прилагането на лазерно лъчение за създаване на повърхности с микро- и нано шарки от различни материали притежава антибактериални и/или противообрастващи свойства [162]. Многобройни проучвания са установили, че повърхностната текстура влияе върху микробните видове чрез регулиране на бактериалните повърхностни взаимодействия. Управляващият механизъм на противообрастващите и антимикробните повърхности на микроструктурата разчита на взаимодействията на бактериалната клетъчна повърхност. Основната стратегия за създаване на биомиметични повърхности показва редица примери от природата (ефект на листа от лотос, крило на цикада) [163]. Аквакултурата се влияе прогресивно от замърсяването, изразяващо се в непрекъснато натрупване на биофилм (микроорганизми) и накрая, образуването на макроорганизми върху стените на аквариумите за развъждане на риба, което води до нежелан бактериален растеж и води до различни смущения на болести по рибите в екосистемите. Ето защо контролът върху процеса на замърсяване е от съществено значение [164]. Развитието на биофилм (микрообрастване) е основен резултат от колонизацията на бактерии върху повърхността. Този ефект може да се развие върху всеки тип повърхност в присъствието на микроби. Биофилмите са трудни за елиминиране поради самовъзпроизвеждащата се матрица, където бактериите са склонни да се размножават. Повечето от установените решения, използвани за предотвратяване на образуването на биофилм, разчитат на използването на повърхности за излугване с биоциди. Този тип повърхност води до намаляване на образуването на биофилм, но общият ефект обаче е химическо замърсяване. По този начин нетоксичните повърхности за контрол на

замърсяването представляват обещаващо решение, което ефективно намалява както употребата на антибиотици [165] в сладководните аквакултури, така и образуването на биофилм върху повърхностите на аквариума. Очакваните дългосрочни предимства са намаляване на инфекциите на рибите в аквакултурите, намаляване на честотата на почистване на резервоарите и намаляване на необходимостта от антибиотици за риби, всички от които водят до по-отговорен модел на отглеждане на риба.

6.4.1.12 Повърхностна обработка на резервоара за отглеждане на риба

За да се сведе до минимум замърсяването на повърхността, дължащо се на микрообрастване, един от възможните неразрушителни подходи е създаването на йерархични микро или наноструктури чрез използване на фемтосекундна лазерна обработка, която променя базираната на полимер повърхност и предизвиква структура, подобна на бразда. Този ефект променя характеристиките на грапавостта на повърхността и засяга адхезията на бактериите към субстрата [166]. Може да се приложи обработка на повърхността с помощта на ултракъс импулсен лазер за модулиране на полимерната (полипропиленова) грапавост на повърхността чрез микромодели. Фемтосекундните лазерни импулси могат да генерират нелинейна абсорбция на фотони в целевата повърхност, като по този начин позволяват обработката на материали, които иначе биха били прозрачни за дължината на вълната на лазера. Свръхкъсите импулси са свързани с високи пикови мощности, които повишават скоростите на отстраняване на материала и повишават качеството на обработената зона [166]. В случай на свръхбързи лазери, нетермичната обработка е основният механизъм за модификация на материала, който след това се характеризира с липсата на зони, засегнати от топлина, и странични ефекти, дължащи се на топене. Благодарение на директното разрушаване на молекулярните и атомните връзки, процесът се развива без нагряване, така че се извършва чиста аблация без преработен материал [166].

6.4.1.13 Обобщени параметри за постигане на баланс и повишаване на качеството на водата в аквапоничните системи

След подробен анализ на разгледаните по-горе параметри и зависимости между тях, можем да заключим, че за да се осигури баланса и качеството на водата в аквапоничната система, управляващата КФС трябва да контролира средата както е посочено в таблица 6.14

| **Параметър на водата** | **Място на измерване** | **Допустим толеранс** | **Поддържане от КФС** |
|---|---|---|---|
| Температура, t °C | Резервоар за риба (работен цикъл) | В зависимост от вида на рибата над 10 | Не по-малко от настроеното в системата |
| | Биофилтър (цикъл за стартиране) | 17 | Не по-малко от 17 |
| Водороден показател, pH | Резервоар за риба | 6-7 | 6-7 |
| Разтворен кислород, DO, mg/L | Резервоар за риба | 4-6*, 6-8** | 5-6*, 6-8** |
| | Биофилтър | 4-8 | 5-8 |
| | Плаващи лехи | > 3 | 4-8 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Амоняк, $NH_3$, mg/L | Резервоар за риба*** | <3*. <1* | Не по-високо от настроеното според вида риба**** |
| Нитрити, $NO_2-$, mg/L | Резервоар за риба | <1 | Не по-високо от настроеното според вида риба**** |
| Нитрати, $NO_3-$, mg/L | Резервоар за риба | <300 | < 200**** |
| *Топловодни риби<br>**Студеноводни риби<br>***Концентрацията на амоняка $NH_3$ е калкулирана от измерената стойност на амония $NH_4+$<br>****Контролирането на този параметър може да изисква намесата на персонала | | | |

Таблица 6.14 Параметри на средата поддържани от КФС.

### 6.4.2 Компоненти на аквапоничната система

Аквапоничната система, базирана на метода на дълбоководните култури DWC, трябва да съдържа следните компоненти: резервоар за риба, механичен филтър, биофилтър, корита за отглеждане на растения (плаващи лехи), помпа за циркулация на водата, въздушни помпи с въздушни камъни (аератори) и тръбна мрежа. Освен това са необходими сензори и задвижващи механизми за внедряване на предложената Кибер-физична система за измерване и регулиране на параметрите на водата. Изискванията за разработка на КФС са обобщени в таблица 6.15.

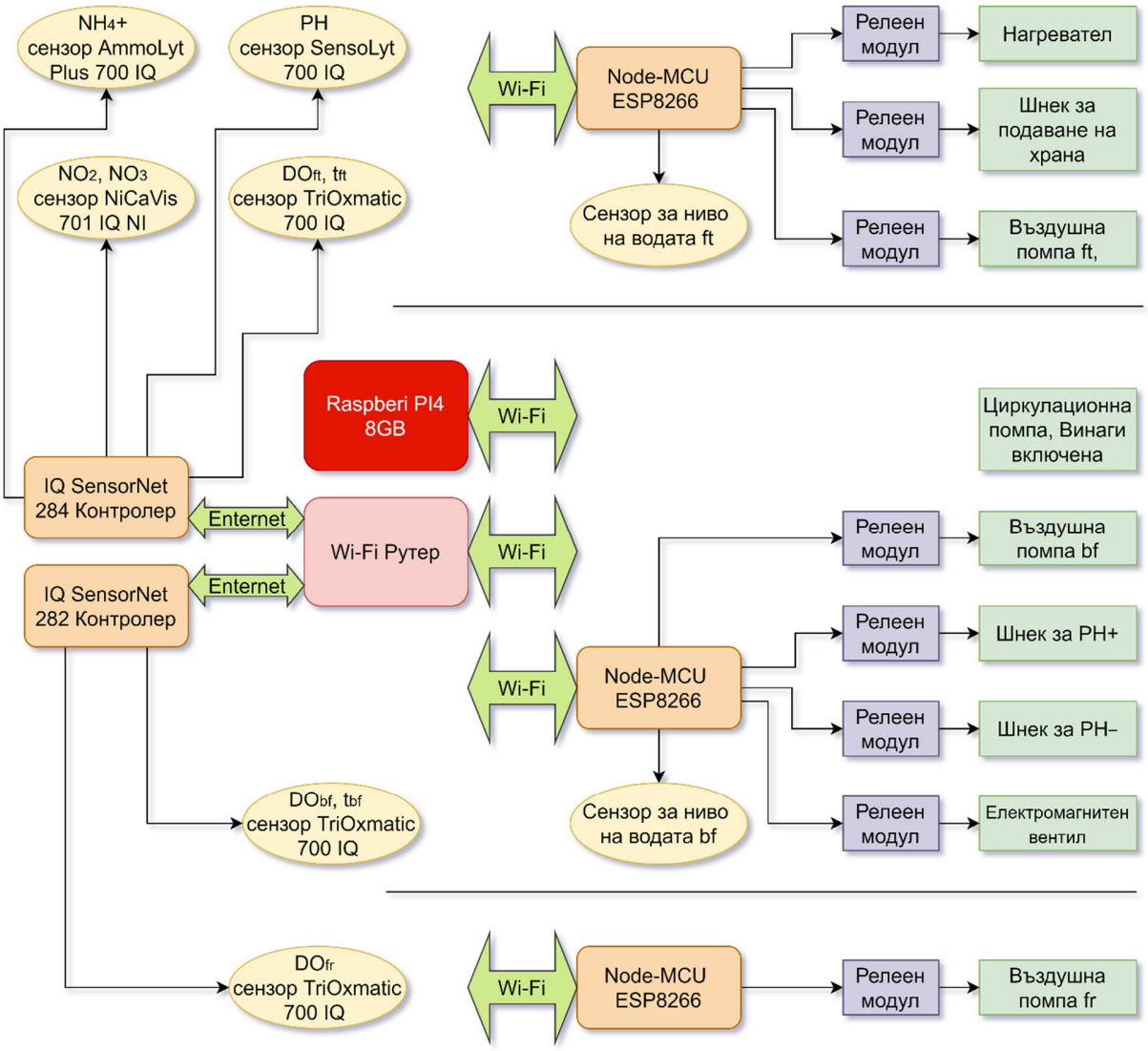
| Действие | Описание |
|---|---|
| Мониторинг на амоняка | КФС трябва да следи амоняка $NH_3$ в резервоара за риба за да се гарантират безопасни за рибата нива. |
| Мониторинг на нитритите | КФС трябва да следи нитритите $NO_2-$ в резервоара за риба за да се гарантират безопасни за рибата нива. |
| Мониторинг на нитратите | КФС трябва да следи нитратите $NO_3-$ в резервоара за риба за да се гарантират безопасни за рибата нива. |
| Мониторинг на pH | КФС трябва да следи нивото на pH във водата и да предупреждава, когато pH се отклони от зададения диапазон. |
| Мониторинг на температурата | КФС трябва да следи температурата на водата както в аквариума, така и в биофилтъра, като гарантира, че тя остава в рамките на зададените диапазони. |
| Мониторинг разтворения кислород | КФС трябва да следи нивата на разтворен кислород DO в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите лехи, за да поддържа оптимални условия за рибата и бактериите. |
| Мониторинг на нивото на водата | КФС трябва да следи нивата на водата в аквариума и биофилтъра и да управлява електромагнитния клапан за поддържане на водните нива. |
| Автономно хранене на рибата | КФС трябва да контролира механизма за подаване храна на рибата чрез шнек, като регулира количеството и честотата на подаване въз основа на условията на системата. |
| Контрол на въздушните помпи | КФС трябва да контролира въздушните помпи в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите леги, поддържайки нивата на кислород в зададените параметри. |
| Регулиране на pH | КФС трябва да регулира нивата на pH чрез контролиране на шнекове, които дозират субстанциите, променящи pH, когато е необходимо. |

| | |
|---|---|
| Непрекъснатост на работата | КФС трябва да работи непрекъснато с минимална ръчна намеса, като гарантира стабилна и автономна функционалност на системата. |
| Система за аларми и изпращане на съобщения | КФС трябва да подържа аларми и система за съобщения за уведомяване на операторите в случай на отклонения на параметрите, като температура, нива на кислород, промяна на pH и други, извън зададените граници. |
| Регистриране на данни | КФС трябва да регистрира данни в реално време от всички наблюдавани параметри за анализ и отстраняване на проблеми. |
| Мащабируемост на системата | КФС трябва да позволява мащабируемост, което позволява добавянето на нови сензори и контролни механизми с разширяването на аквапоничното звено. |
| Потребителски интерфейс | КФС трябва да има интуитивен потребителски интерфейс за операторите, за да наблюдават състоянието на системата и ръчно да коригират параметрите, когато е необходимо. |
| Управление качеството на водата | КФС трябва да поддържа качеството на водата чрез автоматично регулиране на параметри като кислород, амоняк и pH, нитрити и нитрати, за да осигури здравословни условия както за рибите, така и за растенията. |
| Управление на хранителните вещества | КФС трябва да наблюдава и управлява нивата на хранителни вещества, като гарантира, че растенията получават адекватни хранителни вещества за оптимален растеж. |
| Адаптивно управление на храненето на рибата | За да се предотврати прехранването, КФС трябва да коригира количеството на хранене на рибите въз основа на параметри за качество на водата, като амоняк и нитрити. |

Таблица 6.15 Изисквания за разработка на КФС за контрол на средата в аквапонична система

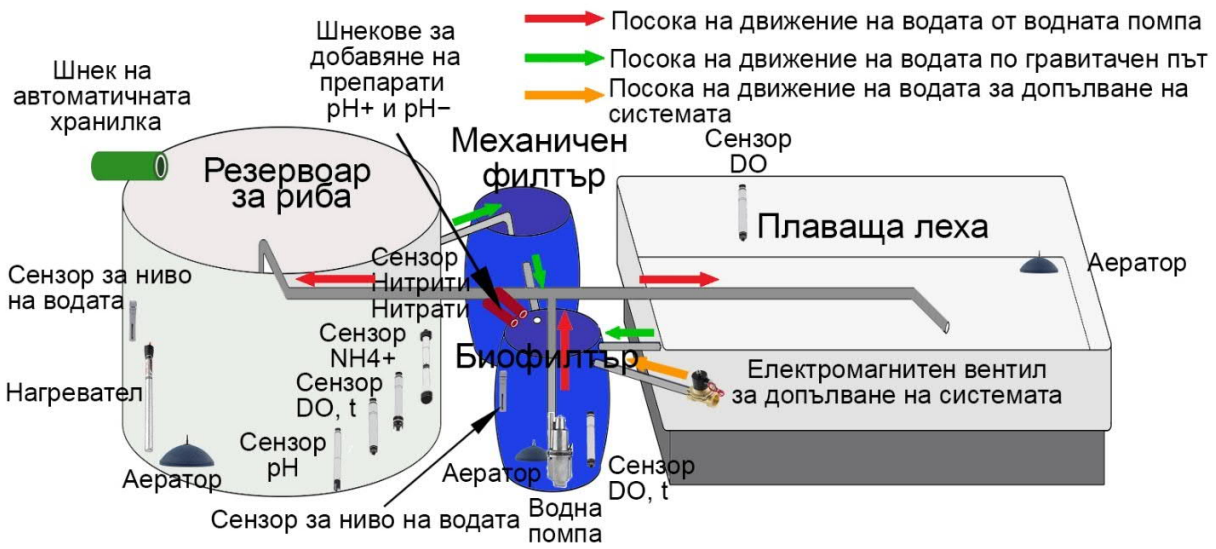
Системата трябва да има сензори за измерване на температурата на водата, разтворения кислород DO, нитрити $NO_2^-$, нитрати $NO_3^-$, pH и амоний $NH_4+$. За да се определи концентрацията на общия амонячен азот TAN и амоняка $NH_3$, в този случай е използван метод за изчисление, базиран на концентрацията на $NH_4+$, в зависимост от pH и температурата на водата. Измерването и контролирането на тези параметри в определени граници определя баланса, който трябва да се поддържа в аквапоничната система. Поддържането на този баланс чрез контролиране на горните параметри на свой ред определя изискванията към КФС.

Фигура 6.13 представя блокова схема на компонентите на КФС и връзките между тях. Wi-fi рутерът създава обща мрежа за цялата система, към която са свързани контролери Node-MCU и Raspberry PI 4. В този случай контролерът IQ SensorNet 28X е свързан към мрежата чрез Enternet. Всички сензори, с изключение на сензорите за ниво на водата, са свързани към тези контролери с връзка plug-and-play. Контролерите Node-MCU получават и предават данни към мрежата с помощта на MQTT брокер. Управляващите механизми са свързани към контролерите Node-MCU чрез релейни модули.




Фигура 6.13 Блокова схема на КФС за контрол на аквапонична система.

На фигура 6.14 могат да се видят компонентите на аквапоничната система, тръбната мрежа за връзка между тях, както и местоположението на сензорите и задвижващите механизми.




Фигура 6.14 Компоненти и посока на движение на водата в аквапонична система.

Таблица 6.16 показва кои параметри на средата ще се измерват, необходимите изпълнителни механизми за контрол, както и техните местоположения в предложената КФС за управление на аквапонична система.

| **Сензори** | **Местоположение** |
|---|---|
| Температура на водата, t °C | Резервоар за риба, биофилтър |
| Разтворен кислород, DO | Резервоар за риба, биофилтър, плаващи лехи |
| Нитрити, $NO_2$− | Резервоар за риба |
| Нитрати, $NO_3$− | Резервоар за риба |
| Водороден показател, pH | Резервоар за риба |
| Амоний, $NH_4$+ | Резервоар за риба |
| Амоняк, $NH_3$ (Изчислен) | - |
| Общ амонячен азот TAN | - |
| Сензор за ниво на водата | Резервоар за риба, биофилтър |
| **Системи за контрол на средата** | **Местоположение** |
| Водна помпа | Биофилтър |
| Въздушна помпа | Резервоар за риба, биофилтър, плаващи лехи |
| Нагревател | Резервоар за риба |
| Шнек за добавяне на pH− | Биофилтър |
| Шнек за добавяне на pH+ | Биофилтър |
| Шнек за подаване на храна за рибите | Резервоар за риба |
| Електромагнитен вентил за допълване с вода | Биофилтър |

Таблица 6.16 Разположение на сензорите и системите за контрол в предложената аквапонична система.

Размерът на филтъра за твърди частици (механичен филтър) и на биофилтъра също се определя от количеството на рибата. Размерът на биофилтъра зависи и от материала, използван в него - био топки [32,167], вулканична скала или капачки за бутилки, както и от

размера на повърхността, върху която нитрифициращите бактерии могат да растат. Коритата за плаващите салове трябва да са достатъчно дълбоки за корените на растенията [32] и удобни за обслужване от персонала.

Циркулационната водна помпа трябва да може да изпомпва цялото количество вода в системата за 1 до 2 часа. Обикновено 80% от изпомпваната вода се връща в резервоара за риба, а 20% отиват към плаващите лехи. По-добре е да се изберат циркулационни тръби с по-голям диаметър, за да се намалите съпротивлението им, като се вземе предвид възможността за наслояване на мръсотия от вътрешната страна. Описание на изграждането на аквапонична система може да се намери в [32]. Сензорите трябва да бъдат подбрани по няколко критерия, като първия е да имат необходимата разделителна способност, за да се гарантира коректната работа на КФС. От значение е и високата надеждност и възможността за продължителна работа без да е необходимо периодично почистване. Следните сензори (Таблица 6.17) са подходящи за предложената КФС.

| Модел | Измервана величина | Обхват | Резолюция |
|---|---|---|---|
| TriOxmatic 700 IQ | Разтворен кислород DO | от 0 до 60 mg/L | 0.1 mg/L |
| | Температура | от −5 до 60 °C | 0.1 °C |
| AmmoLyt Plus 700 IQ | Амоний, $NH_4$+ | от 0.1 до 129 mg/L | 0.1 mg/L |
| NiCaVis 701 IQ NI | Нитрити $NO_2$− | от 0.1 до 120 mg/L | 0.1 mg/L |
| | Нитрати $NO_3$− | от 0.1 до 300 mg/L | 0.1 mg/L |
| SensoLyt® 700 IQ | pH | от 0.00 до 14.00 | 0.01 |
| SL-M5 | Ниво на водата | - | - |

Таблица 6.17 Сензори подходящи за предложената КФС

Освен посочените по горе сензори, могат да бъдат използвани и други сензори с подобни характеристики, стига да имат подобен обхват и резолюция и да имат някакъв стандартен интерфейс за комуникация. За нивото на водата са подходящи всички сензори, стига да имат нормално отворен контакт, предложения SL-M5.

### 6.4.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на средата в аквапонична система

В таблица 6.18 са показани съкращенията, използвани в блоковите диаграми на алгоритъма на предложения КФС.

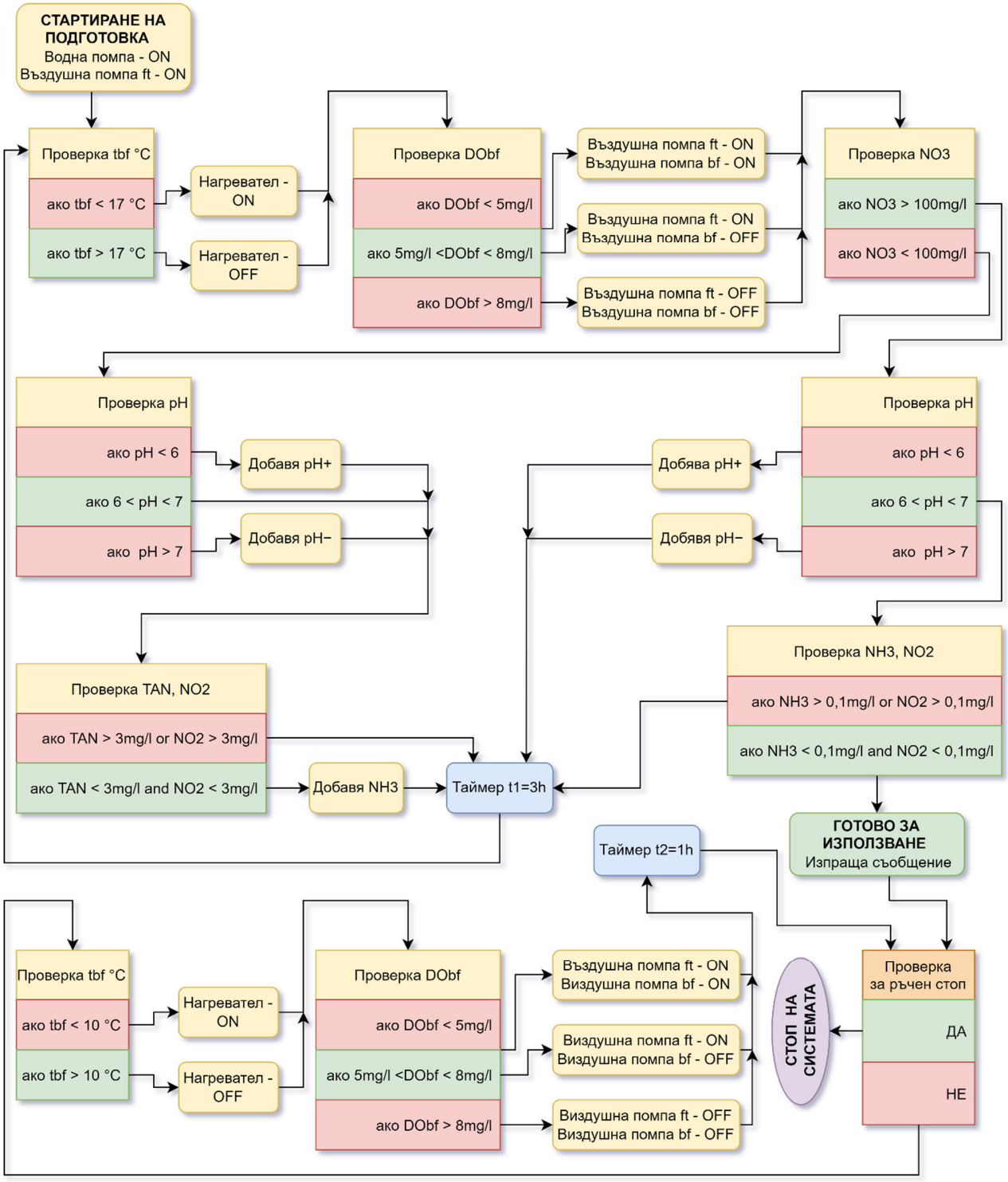
| Означение | Описание |
|---|---|
| $t_{ft}$, °C | Температура на водата в резервоара за риба |
| $t_{bf}$, °C | Температура на водата в биофилтъра |
| $t_{ftmin}$, °C | Настроена минимална температура на водата в резервоара за риба |
| $t_{ftmax}$, °C | Настроена максимална температура на водата в резервоара за риба |
| $t_{bfmin}$, °C | Настроена минимална температура на водата в биофилтъра |
| $DO_{ft}$, mg/L | Концентрация на разтворения кислород в резервоара за риба |
| $DO_{bf}$, mg/L | Концентрация на разтворения кислород в биофилтъра |
| $DO_{fr}$, mg/L | Концентрация на разтворения кислород в плаващите лехи |
| $DO_{ftmin}$, mg/L | Настроена минимална концентрация на разтворения кислород в резервоара за риба |
| pH | Водороден показател в резервоара за риба |

| | |
|---|---|
| $NO_2$, mg/L | Концентрация на нитрити в резервоара за риба |
| $NO_{2max}$, mg/L | Настроена максимална концентрация на нитрити в резервоара за риба |
| $NO_3$, mg/L | Концентрация на нитрати в резервоара за риба |
| $NH_3$, mg/L | Концентрация на амоняк $NH_3$ в резервоара за риба |
| $NH_{3max}$, mg/L | Настроена максимална концентрация на амоняк $NH_3$ в резервоара за риба |
| $NH_4$, mg/L | Концентрация на амоний $NH_4-$ в резервоара за риба |
| TAN, mg/L | Общ амонячен азот в резервоара за риба |
| Хранене, секунди | Време за работа на шнека за подаване на храна за рибата |
| Въздушна помпа $_{ft}$ | Въздушна помпа в резервоара за риба |
| Въздушна помпа $_{bf}$ | Въздушна помпа в биофилтъра |
| Въздушна помпа $_{fr}$ | Въздушна помпа в плаващите лехи |

Таблица 6.18 Използвани съкращения в блоковата диаграма на алгоритъма за работа на КФС.

6.4.3.1 Цикъл за стартиране и бактериално развитие в аквапоничната система

Подготовката на аквапоничната система отнема около 3 до 5 седмици или дори повече при неблагоприятни условия за нитрифициращите бактерии [32]. Това време може да се приближи до долната граница, ако стриктно се спазват определени условия. Ето защо е важно да се поддържат специфични параметри на водата. Алгоритъмът на цикъла за стартиране е показан на Фигура 6.15. Водната циркулационна помпа трябва да бъде включена постоянно. Системата първо проверява температурата в биофилтъра и при необходимост включва нагревателя, който трябва да осигури минималната благоприятна температура от 17 °C за развитието на нитрифициращите бактерии. Мощността му трябва да бъде избрана така, че да може да поддържа необходимата температура на водата без бързо покачване на стойностите й, което може да предизвика негативен ефект върху рибите при нормална работа на системата. След това се проверява разтвореният кислород в биофилтъра ($DO_{bf}$). При допустими стойности на $DO_{bf}$ от 4 до 8 mg/L, системата поддържа минимална стойност от 5 mg/L. При $DO_{bf} < 5$ mg/L, системата включва въздушните помпи в резервоара за риба и биофилтъра. При 5 mg/L $< DO_{bf} <$ 8 mg/L въздушната помпа в резервоара за риба продължава да работи като основна помпа на системата а помпата в биофилтъра се изключва. При $DO_{bf} > 8$ mg/L и двете въздушни помпи се изключват. След това се проверява нивото на нитратите $NO_3$, което е един от показателите за развитието на колонията от нитрифициращи бактерии.




Фигура 6.15 Алгоритъм за стартиране и бактериално развитие на аквапонична система.

Ако концентрацията на нитрати $NO_3^-$ е под 100 mg/L, системата първо проверява pH и, ако е необходимо, добавя субстанция за регулирането му чрез двата шнекови механизма.

Времето за работа на шнека се регулира така, че промяната на pH в системата да е достатъчно бавна, както е споменато по-горе. След това се проверява концентрацията на нитрити $NO_2^-$ и изчислената стойност на общия амонячен азот TAN въз основа на концентрацията на амония $NH_4^+$. При условие, че и двата параметъра отговарят на следните условия, TAN < 3 mg/L и NO2− < 3 mg/L, се добавя амоняк в някаква предварително определена форма с помощта на шнека за подаване на храна. Това може да бъде фино смляна храна за риби или чист амоняк. Така се създават условия за развитие на амоняк-окисляващи бактерии AOB, и след това на нитрит-окисляващи бактерии (NOB). Ако дори един от тези параметри надвишава горната норма, тогава концентрацията на амоняк е достатъчна за развитието на двата вида нитрифициращи бактерии и не е необходимо добавянето на допълнително количество амоняк. След това системата изчаква зададеното в таймер $t_1$ време от 3 часа и започва цикъла отначало.

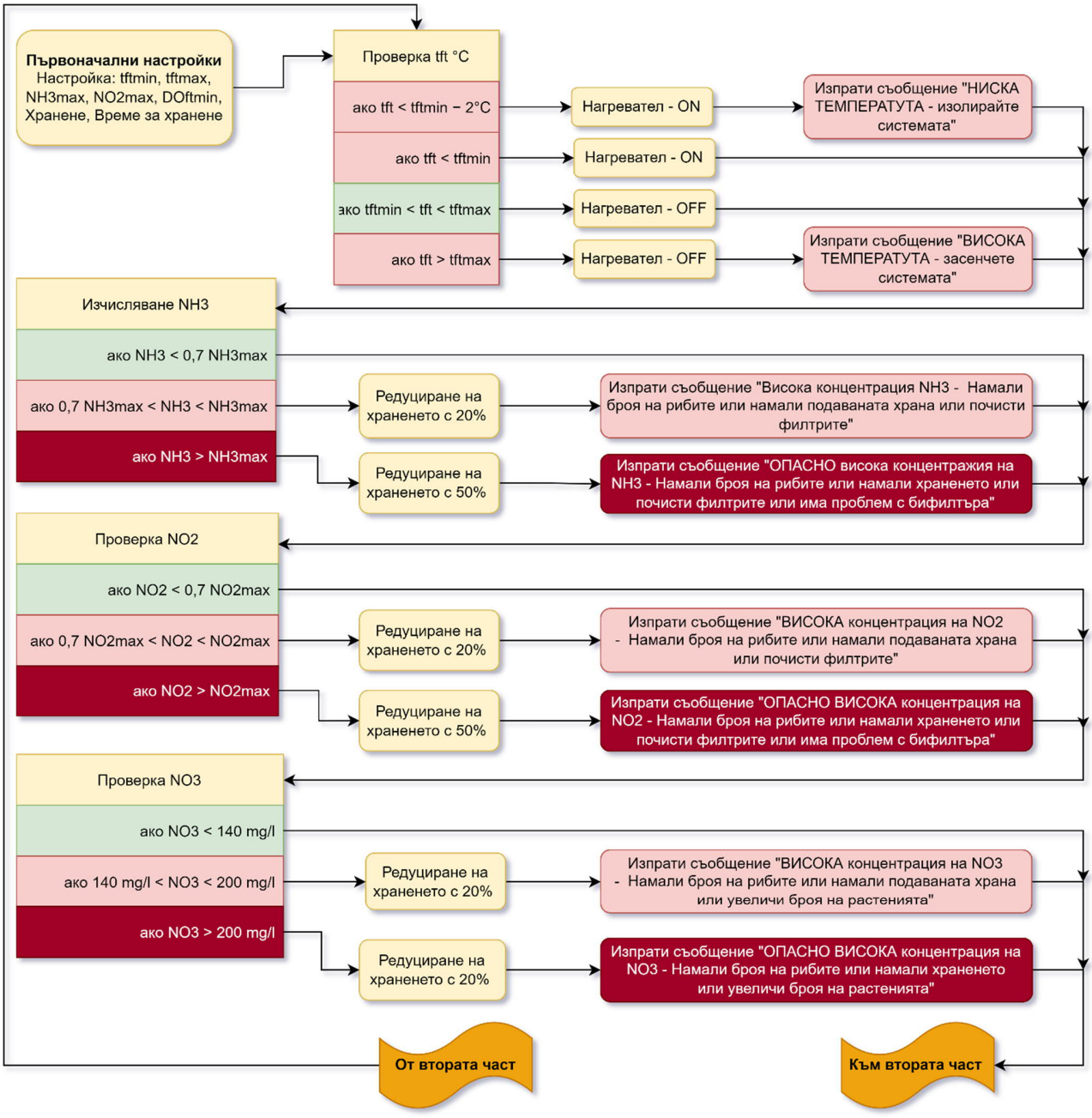
Ако концентрацията на нитрати $NO_3^-$ е над 100 mg/L, това е индикатор за наличие на развита колония от NOB. След това системата проверява pH, и ако е необходимо, го коригира. Стартира Таймер $t_1$ и след което цикъла започва отначало. Ако pH е в приемливи граници, тогава системата проверява концентрацията на нитрити $NO_2^-$, както и изчислената концентрация на амоняка $NH_3$. Ако някой параметър има стойност, по-голяма от 0,1 mg/L, системата стартира Таймер $t_1$ и след това цикъла започва отначало. Ако и двата параметъра имат стойност по-ниска от 0,1 mg/L, това означава, че колонията от нитрифициращи бактерии е достатъчно развита и може да се започне зарибяването и засаждане на растенията. КФС изпраща съобщение, че системата е готова и очаква да бъде спряна ръчно.

Ако системата не бъде спряна ръчно, тя влиза в нов цикъл, при който първо се проверява температурата на водата в биофилтъра $t_{bf}$, и ако е необходимо, се управлява нагревателя, поддържайки температурата над 10 °C, която е достатъчна за поддържане на развита колония от нитрифициращи бактерии. След това се проверява количеството на разтворения кислород в биофилтъра $DO_{bf}$ и въздушните помпи в аквариума и биофилтъра се включват, ако е необходимо. Накрая се активира таймер $t_2$. Ако до изтичане на времето $t_2$ системата не е спряна ръчно, алгоритъма се връща към началото на новия цикъл на проверка на температурата $t_{bf}$.

6.4.3.2 Работен алгоритъм на аквапоничната система

Работния алгоритъм на аквапоничната система е разделен на две части. Първата му част е показана на фигура 6.16. След установяване на зададените параметри на водата може да се пристъпи към зарибяване и засаждане на растенията. Преди стартиране на КФС е необходимо да се въведат първоначалните параметри, които тя трябва да поддържа. Те са специфични за различните видове риба и растения. Параметрите включват минимална и максимална температура на водата в резервоара за риба ($t_{ftmin}$ и $t_{ftmax}$), максимално допустима концентрация на амоняк ($NH_{3max}$) и нитрити ($NO_{2max}$), минимална концентрация на разтворен кислород в резервоара за риба ($DO_{ftmin}$), количество храна за едно хранене (Храна) и брой и време за хранения на ден (Време за хранене). След стартиране КФС първо проверява температурата на водата резервоара за риба $t_{ft}$ и ако тя е опасно ниска, с повече от 2 °C под $t_{ftmin}$, системата, освен че включва нагревателя, изпраща и съобщение с текст

„Опасно ниска температура … °C” до оператора с препоръки за предприемане на действие от негова страна. Ако температурата е над минималната зададена температура $t_{ftmin}$, нагревателят се изключва по подразбиране. Ако е над максималната $t_{ftmax}$, се изпраща и съобщение с препоръки за действие от страна на оператора.




Фигура 6.16 Първа част на работния алгоритъм.

След това системата изчислява концентрацията на амоняка $NH_3$ от стойностите на амония $NH_4+$, температурата $t_{ft}$ и pH. При концентрация на амоняка над 70% от зададената максимално допустима стойност $NH_{3max}$, системата записва в паметта си редукция на

количеството храна с 20% за следващото хранене и изпраща съобщение до оператора със стойността на амоняка и максимално допустимата му стойност, както и препоръки за извършване на едно или повече от следните действия, а именно намаляване на броя на рибата в резервоара за риба, намаляване на количеството храна за едно хранене за постоянно или проверка и почистване на механичния филтър и биофилтър, ако е необходимо.

Когато концентрацията на амоняка $NH_3$ превиши допустимата стойност, системата записва в паметта си редукция на количеството храна с 50% за следващо хранене и отново изпраща съобщение с подобен текст, като в този случай може да има проблем с биофилтъра или той да е твърде малък.

Процесите на промяна на параметрите в една аквапонична система са доста инертни и не е възможна голяма промяна в рамките на няколко часа. Въпреки това, когато се открият проблеми с някои от параметрите, системата може частично да ги компенсира. По този начин се предотвратява създаването на условия, които могат да доведат до трайно влошаване на здравето на рибите. Поради тази причина персоналът трябва да предприеме действия за поддържане на баланса в аквапоничната система.

След това системата извършва проверки на концентрацията на нитритите $NO_2^-$ и ако концентрацията е висока, отново извършва действия за намаляване на храната на рибите с 20% или 50% за следващото хранене, като изпраща препоръки към оператора за предприемане на определени действия. В този случай, причина за повишаване на нитритите, в допълнение на казаното по-горе, може да бъде и липсата на достатъчно растения.

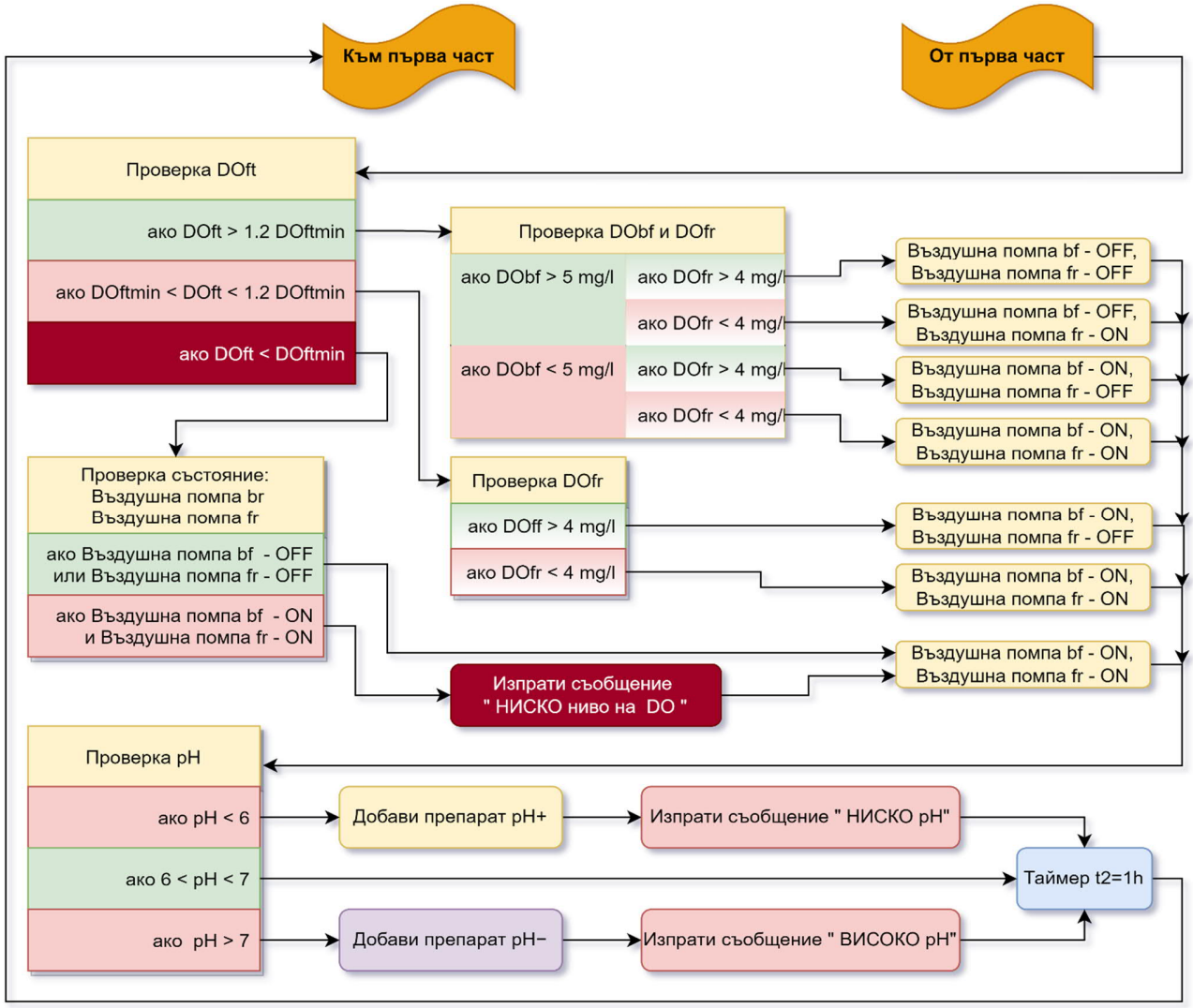
Следващото действие на системата е да провери нивото на нитратите $NO_3^-$. Отново при висока концентрация се намалява подаваното количество храна за следващото хранене, като в този случай причините не могат да произтичат от проблеми с биофилтъра или нитрифициращи бактерии. Причините може да са твърде много риба, недостатъчно растения или прехранване на рибите, когато част от храната остава не изядена.

След проверката за опасно висока концентрация на амоняк $NH_3$, нитрити $NO_2^-$ и нитрати $NO_3^-$, системата първо проверява количеството разтворен кислород DO в резервоара за риба и го сравнява със зададените за конкретния вид риба стойности. Въздушната помпа в аквариума трябва да има такъв капацитет, че DO да не надвишава 8 mg/L, дори когато рибите са малко. Тя работи непрекъснато, за да осигури добра циркулация на водата в аквариума, а когато има нужда от повече кислород, другите въздушни помпи разположени в биофилтъра и плаващите лехи се включват.

Втората част от алгоритъма е показана на фигура 6.17. За да се гарантира, че нивото на разтворения кислород $DO_{ft}$ няма да падне под зададената минимална стойност $DO_{ftmin}$, системата се стреми да го поддържа с 20% над настроената за конкретния вид риба. Ако нивото на кислород в резервоара за риба е по-голямо от 1,2 $DO_{ftmin}$, системата проверява нивото на разтворен кислород в биофилтъра $DO_{bf}$. Нитрифициращите бактерии изискват нивото да е над 4 mg/L, а системата го поддържа да бъде над 5 mg/L. В този случай, ако е над 5 mg/L, се проверява разтвореният кислород в коритото на плаващите лехи $DO_{fr}$. Ако е над зададената стойност от 4 mg/L, системата изключва въздушните помпи в биофилтъра и

плаващите салове. Ако е под 4 mg/L, въздушната помпа в биофилтъра се изключва, а тази в плаващите лехи се включва.

В противен случай, ако $DO_{bf}$ < 5 mg/L, имаме следните случаи: Ако $DO_{fr}$ > 4 mg/L, въздушната помпа в биофилтъра е включена, а в плаващите лехи е изключена. Ако $DO_{fr}$ < 4 mg/L, и двете помпи се включват. Във втория случай, ако $DO_{ftmin}$ < $DO_{ft}$ < 1,2 $DO_{ftmin}$, тогава системата включва въздушната помпа в биофилтъра. С непрекъснатата циркулация на водата от биофилтъра към аквариума с увеличаване на $DO_{bf}$, $DO_{ft}$ също се увеличава. След това системата проверява $DO_{fr}$. Ако е по-ниска от зададената стойност, се включва и въздушната помпа в коритото на плаващите лехи. Ако е над зададената стойност, тя се изключва.




Фигура 6.17 Втора част на работния алгоритъм.

В третия случай, когато по някаква причина нивото на $DO_{ft}$ падне под зададената стойност, системата първо проверява текущото състояние на въздушните помпи в

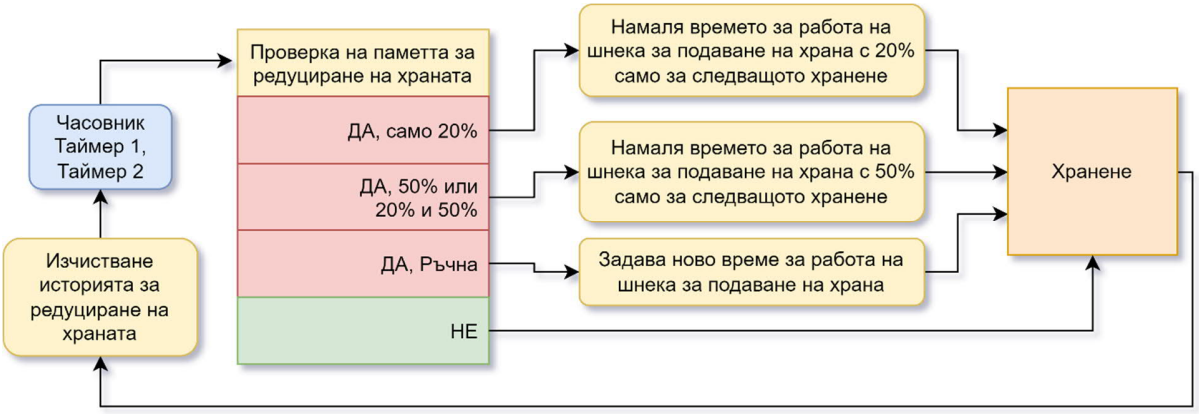
биофилтъра и в плаващите лехи. Ако една от тях или и двете са изключени, системата ги включва и двете, което не се счита за авариен режим, тъй като нивото на DO в системата може да се увеличи автоматично. При ситуация, в която и двете помпи са включени и въпреки това нивото на $DO_{ft}$ е под минимума $DO_{ftmin}$, означава, че има някакъв проблем, при което системата изпраща съобщение до оператора с нивото на разтворения кислород. Причината може да бъде повредена въздушната помпа, скъсан маркуч за въздух или наличие на голямо количество водорасли или фитопланктон, които консумират интензивно кислорода през нощта.

Накрая системата проверява стойността на pH, която трябва да се поддържа между 6 и 7. В процеса на нитрификация нивото на pH намалява, така че в повечето случаи, при нормална експлоатация, то не се повишава над 7. Понякога pH може да се повиши драстично в случаите, когато в аквариума има малък брой риба или от голямото количество изпарена вода през лятото (по-конкретно, когато често се добавя вода с много високо pH и висока твърдост). За нива на pH, по-ниски или по-високи от зададените, системата добавя препарати за увеличаване или намаляване съответно на стойностите на pH, като тази корекция се счита за временно решение. Честото добавяне на препарати за поддържане на pH може да влоши качеството на водата. Следователно в тези случаи системата изпраща съобщение до оператора, за да предприеме действия за дългосрочно решение на проблема. Ако често се открива ниско ниво на pH, се препоръчва да се добавя вода от друг водоизточник с по-висока твърдост и по-високо pH. При тези условия в системата може да се добави и варовик или да се намали броят на рибата. Когато стойността на pH е постоянно висока, в райони с висока твърдост на водата, се препоръчва да се увеличи гъстотата на зареждане на рибите или да се добавя предварително обработена дъждовна вода с много ниска твърдост. След завършване на цикъла системата изчаква таймера $t_2$ и се връща отново в началото, за последваща проверка на параметрите.

### 6.4.3.3 Цикъл на хранене

Цикълът на хранене е показан на Фигура 6.18. Препоръчват се две до три хранения на ден, като общото количество храна за ден е съобразено с количеството на рибата, т.е. общото количество храна на ден трябва да се коригира според количеството на отглежданата риба. Обикновено се използва съотношение 1:100 или за всеки 1 kg риба са необходими 10 g фураж на ден [32]. При достигане на зададеното време за хранене на рибата, системата първо проверява паметта за записани корекции при хранене. Ако в паметта има записани само корекции за редуциране на храната с 20%, това намалява времето за работа на шнека от зададеното време за подаване на храна с 20%. Това важи само за следващото хранене. Ако има записани корекции с 50%, независимо дали има записани такива с 20%, системата намалява времето за работа на шнека до половината от зададеното време за следващото захранване. Количеството подавана храна трябва да се коригира от оператора при всяко изваждане на риба или добавят нова риба, както и периодично, докато рибата расте. След такава корекция системата запазва новото зададено време на работа на шнека, което остава непроменено до следващата ръчна промяна. Ако няма записана корекция, системата задвижва шнека за зададеното време. След като храненето приключи, системата изчиства паметта със запаметените корекции на храненето и изчаква следващото

време на хранене. Междувременно могат да бъдат записани нови корекции на храненето, ако има нужда.




Фигура 6.18 Алгоритъм за хранене в аквапонична система

6.4.3.4 Цикъл за допълване с вода

Системата следи нивото на водата в резервоара за риба и биофилтъра. Водната циркулационна помпа се намира в биофилтъра и изпомпва около 80% от водата към резервоара за риба и 20% към плаващите лехи. Водата от резервоара за риба се стича гравитационно в механичния филтър, който от своя страна прелива в биофилтъра. По същия начин водата от плаващите лехи също прелива в биофилтъра. Системата губи вода чрез изпаряване или от растежа на растенията, така че нивото трябва да се измерва в биофилтъра, откъдето се изпомпва. Когато се открие ниско ниво, системата отваря електромагнитния клапан, за да се допълни с вода, докато се достигне зададеното горно ниво. Сензорът за ниво в аквариума служи за оповестяване на авария, ако има повреда в аквариума, която може да причини смъртта на рибата за много кратко време. Системата изпраща съобщение до оператора, ако бъде открит проблем.

6.4.4 Проведени тестове на КФС за управление на средата в аквапонична система

За тестовете на системата е реализирана опитна постановка със сървър Raspberry Pi 4, 8GB и операционна система OpenHAB 3.0. Разработен е софтуер за управление на аквапоничната система съгласно горните алгоритми. Тестването на КФС в реална аквапонична система би отнело много време, като тестовете трябва да се извършват на места с различна твърдост на водата. Затова бяха направени тестове за работата на системата в лабораторни условия. За тази цел софтуерът и хардуерът бяха тествани чрез предаване на синтезирани данни чрез MQTT Broker, вместо използване на сигнали от съответните сензори. Ефективността на системата беше анализирана с данни, които биха били измерени в реална ситуация, включващи получени синтезирани данни за отклонение на температурата в резервоара за риба и биофилтъра, степента на разтворен кислород в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите лехи, както и нивата на нитрити, нитрати, pH и амоний $NH_4+$ в резервоара за риба. Получените данни за амоний $NH_4+$ се преобразуват в концентрация на амоняка $NH_3$ и общ амонячен азот TAN чрез изчисление. Управляващите механизми бяха

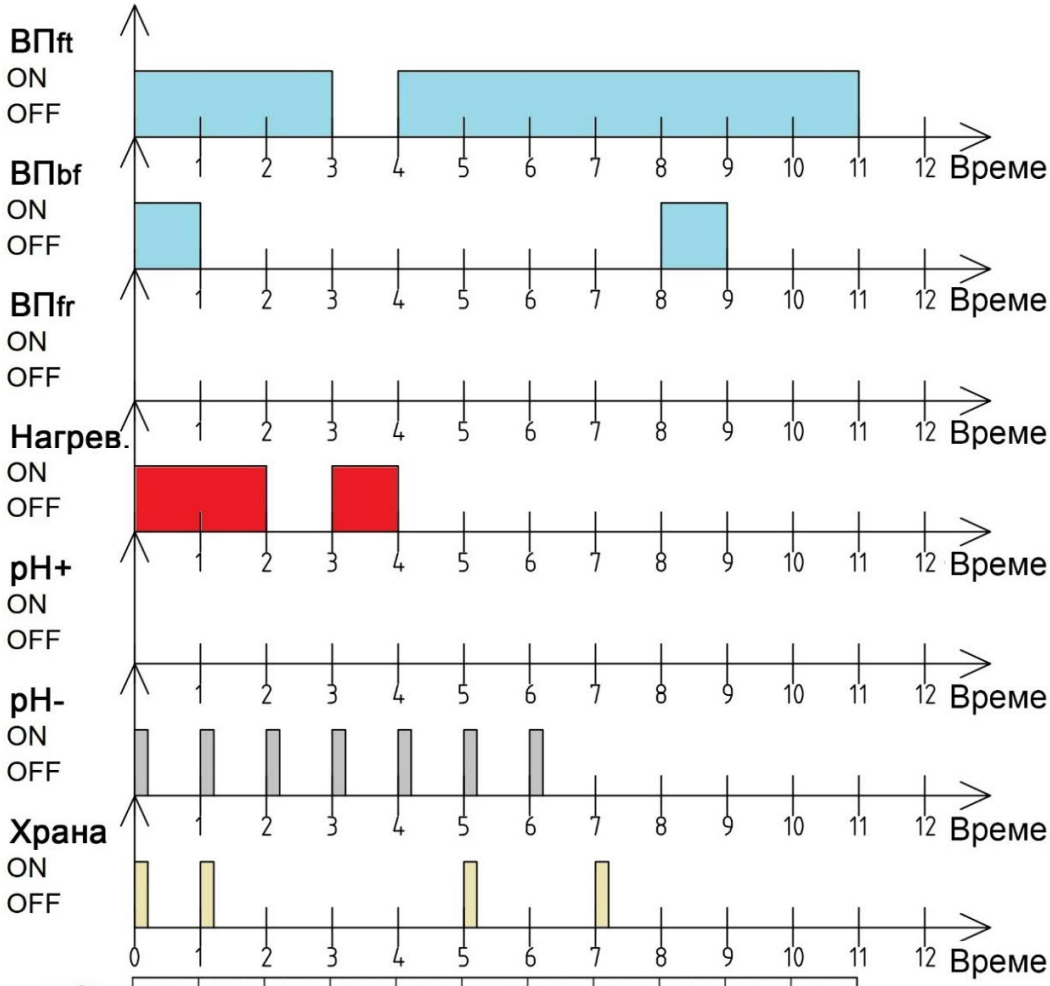
заменени със сигнални лампи, отчитащи времето на работа на всяка от тях. Проверена е и коректността на изпратените съобщения до оператора. Когато данните бяха изпратени чрез MQTT брокера, те бяха записани в паметта и станаха достъпни за четене от системата. При подаване на нови данни чрез MQTT Broker, ако по някаква причина, те не достигнат до сървъра, системата отчита последните записани стойности като актуални. Това беше направено, защото времето за отчитане на точни стойности за някои от наблюдаваните параметри във водата може да достигне няколко минути или дори повече от 10 минути. Но това не представлява проблем, тъй като аквапоничната система е доста инертна.

На фигура 6.19 може да се проследи работата на системата в цикъла на стартиране. През определен интервал от време данните се подават към системата. Системата е настроена на $t_{bfmin}$ = 17 °C, 5 mg/L < $DO_{bf}$ < 8 mg/L, 6 < pH < 7, TAN и $NO_2^-$ по-големи от 3 mg/L, докато $NO_3^-$ достигне стойности, по-големи от 100 mg/L, след което те трябва да бъдат намалени до стойности, по-малки или равни на 0,1 mg/L, при което трябва да се отчете готовността на системата. В цикъла на стартиране системата не взема под внимание данните, показани с по-светъл цвят в таблицата под Фигура 6.19. При четене на записаните данни в първата колона, системата включва нагревателя и въздушните помпи в резервоара за риба и биофилтъра, активира захранващия шнек ( за подаване на амоняк) и шнека за намаляване на pH според зададените параметри. Изчислените стойности за TAN и $NH_3$ също могат да бъдат проверени. Чрез проследяване на следните стойности на параметрите беше установено, че системата работи правилно според зададените данни. След прочитане на стойностите в последната колона до оператора беше изпратено съобщение по имейл, че цикълът на стартиране е завършен.

На фигура 6.20 работният цикъл на системата също може да бъде проследен със следните зададени начални условия за целите на изследването: $t_{ftmin}$ = 12 °C, $t_{ftmax}$ = 18 °C, $NH_{3max}$ = 0,4 mg/L, $NO_{2max}$ = 0,4 mg/L, $DO_{ftmin}$ = 4 mg/L, време на работа на шнека за подаване на препарати за регулиране на pH =12 мин., време на работа на шнека подаване на храна = 18 мин., часове в които се подава храна 12:30 и 19:00 часа. Времето за работа на шнека е настроено да бъде много по-дълго от действителното, така че работата на системата да може да се следи по-лесно по време на тестовете. Тестът е стартиран в 10:00, с време на цикъл от 1 час. Системата контролира коректно въздушните помпи в биофилтъра и плаващите лехи, нагревателя и pH шнековете. В 12:30 шнека за подаване на храна се задейства в зададения час. В 13:00 часа, когато беше открито ниско ниво на pH, в допълнение към задействането на шнека, беше изпратено съобщение със стойността на pH. При следващия цикъл, когато се установи висока температура, системата също изпрати съобщение със стойността и. В 15:00 часа беше изпратено съобщение за високо ниво на $NO_2^-$ над 70 процента от допустимата стойност със съвет за намаляването му.

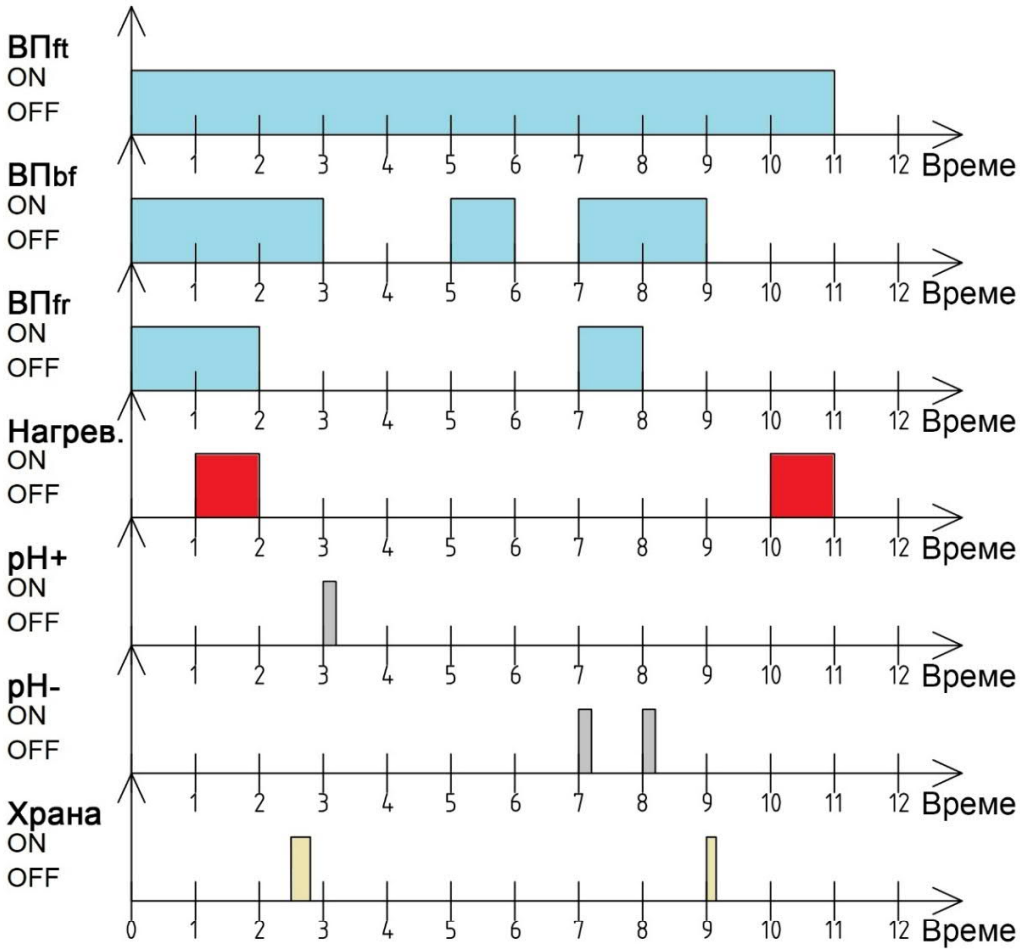
Освен това беше записана корекция за намаляване на времето на работа на шнека за подаване на храна с 20%. В 17:00 часа бяха отчетени нивата на pH и $NH_3$, които са по-високи от допустимите, и беше изпратено съобщение с техните стойности със съвет как да се коригират. Освен това беше записана 50% корекция на времето на работа на шнека за подаване на храна. Както може да се види от графиката, времето за следващото хранене е

намалено наполовина. Системата също така реагира както на високите стойности на $NO_3^-$, така и на ниската температура в последния цикъл на при проведените тестове.




| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{ft}$, °C | 12.0 | 16.0 | 18.0 | 16.0 | 25.0 | 30.0 | 27.0 | 22.0 | 20.0 | 23.0 | 21.0 |
| $t_{bf}$, °C | 12.0 | 16.0 | 18.0 | 16.0 | 25.0 | 30.0 | 27.0 | 22.0 | 20.0 | 23.0 | 21.0 |
| $Do_{ft}$, mg/l | 2.0 | 5.2 | 6.0 | 9.0 | 7.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 6.0 | 6.0 |
| $Do_{bf}$, mg/l | 2.0 | 5.2 | 6.0 | 9.0 | 7.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 6.0 | 6.0 |
| $Do_{fr}$, mg/l | 2.0 | 5.2 | 6.0 | 9.0 | 7.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 6.0 | 6.0 |
| $NO_2$, mg/l | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | 1.0 | 0.3 | 0.0 |
| $NO_3$, mg/l | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 10.0 | 50.0 | 110.0 | 120.0 | 130.0 |
| pH | 9.0 | 8.8 | 8.6 | 8.4 | 8.2 | 8.0 | 7.5 | 7.0 | 6.5 | 6.4 | 6.3 |
| $NH_4$, mg/l | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 12.0 | 6.0 | 2.0 | 5.0 | 1.0 | 0.5 | 0.2 | 0.0 |
| Изчислена стойност за $NH_3$ и TAH | | | | | | | | | | | |
| $NH_3$, mg/l | 0.00 | 0.09 | 0.40 | 0.87 | 0.55 | 0.17 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TAN, mg/l | 0.00 | 0.59 | 3.40 | 12.87 | 6.55 | 2.17 | 5.11 | 1.00 | 0.50 | 0.20 | 0.00 |

Фигура 6.19 Реакция на системата за управление въз основа на получените синтезирани данни при цикъл на стартиране.

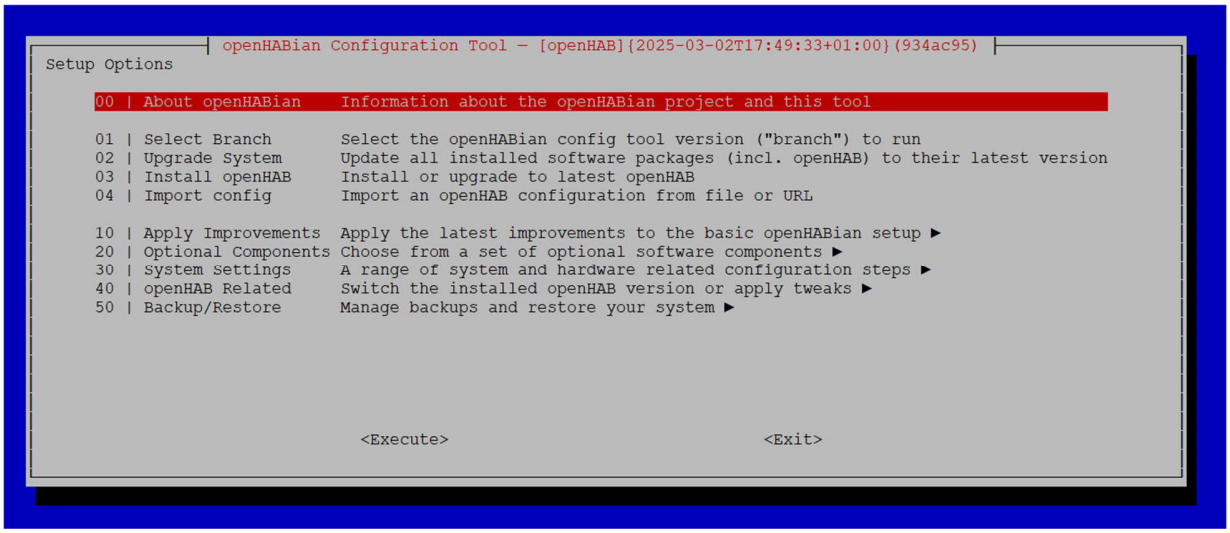



| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{ft}$, °C | 13.0 | 11.0 | 14.0 | 17.0 | 20.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 9.0 |
| $t_{bf}$, °C | 13.0 | 11.0 | 14.0 | 17.0 | 20.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 9.0 |
| $D_{oft}$, mg/l | 3.0 | 4.5 | 4.9 | 5.5 | 5.1 | 4.7 | 5.2 | 4.9 | 4.6 | 5.2 | 5.2 |
| $D_{obf}$, mg/l | 3.0 | 4.5 | 4.9 | 5.5 | 5.1 | 4.7 | 5.2 | 4.9 | 4.6 | 5.2 | 5.2 |
| $D_{ofr}$, mg/l | 3.0 | 4.5 | 4.8 | 5.4 | 5.0 | 4.6 | 5.1 | 3.8 | 4.6 | 5.1 | 5.1 |
| $NO_2$, mg/l | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| $NO_3$, mg/l | 70.0 | 70.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 60.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 150.0 | 70.0 |
| pH | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 5.6 | 6.0 | 6.9 | 7.0 | 8.1 | 8.0 | 7.0 | 7.0 |
| $NH_4$, mg/l | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | 20.0 | 18.0 | 25.0 | 12.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| | Изчислена стойност за $NH_3$ и TAH | | | | | | | | | | |
| $NH_3$, mg/l | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.07 | 0.08 | 0.50 | 0.27 | 0.03 | 0.03 |
| TAN, mg/l | 2.00 | 4.00 | 6.00 | 6.00 | 10.01 | 18.07 | 25.08 | 12.50 | 8.27 | 8.03 | 8.03 |

Фигура 6.20 Реакция на системата за управление въз основа на получените синтезирани данни при работен цикъл.

## 6.5 Инсталиране и конфигуриране на системата

Първичната инсталация включва инсталиране на OpenHABian на сървъра на КФС, след което е необходимо да се инсталира допълнителен софтуер и да се настрой системата за работа. Тези инсталации могат да бъдат направени през команден ред, например през Solar-PuTTY, или друг терминал, като част от допълнителния софтуер може да бъде инсталиран директно през меню (Фигура 6.21). След това се редактират съществуващи текстови файлове и се създават нови такива за да се конфигурира системата. Това ще бъде разгледано по-долу.




Фигура 6.21 Меню за инсталация на допълнителен софтуер.

В директория openHAB-conf и поддиректории в нея са намират и създават файловете които конфигурират системата. Въпреки, че те са достъпни директно в сървъра или през терминал, най-удобния начин за тяхното създаване и редакция е през Visual Studio Code. В openHAB-conf\services се намират файлове като addons.cfg, basicui.cfg, influxdb.cfg и други.

В addons.cfg е необходимо да се извършат редакции които инсталират допълнителен софтуер и указват на системата да използва или не дадени елементи от нея. Така например при дописване на реда binding = както е показано,

```
binding = astro, ntp, network, modbus, mqtt
```

системата прочита реда и инсталира посочените binding (връзки) които играят ролята на плъгин за осъществяване на връзка на системата с различни протоколи.

- astro – осигурява данни за изгрев/залез, фази на луната и други астрономически събития.
- ntp – синхронизира времето чрез Network Time Protocol.
- network – позволява следене на устройства в мрежата.
- modbus – дава възможност за връзка с устройства с Modbus протокол.
- mqtt – дава възможност за връзка с устройства използващи MQTT протокол.

```
persistence = influxdb
```
инсталира база данни Influxdb.

```
transformation = jsonpath, map, regex, scale, xpath, xslt, bin2json, jinja
```
указва на системата кои услуги за трансформиране на данни трябва да инсталира.

- jsonpath - извлича конкретна стойност от JSON структура.
- map - преобразува стойност чрез създаване на файлове с разширение .map (например за определено състояние на превключвател вместо "ON" системата изписва "Включено" или каквото е зададено).
- regex - използва регулярни изрази за извличане или промяна на текст.
- scale - преобразува числова стойност по зададена скала.
- xpath - извлича данни от XML структура.
- xslt - използва XSLT трансформация върху XML данни.
- bin2json - преобразува бинарни данни в JSON
- jinja - позволява използване на Jinja шаблони – за гъвкави трансформации.

```
ui = basic,habpanel
```

указва на системата кой графичен потребителски интерфейс да инсталира за да е достъпен в системата.

Във файла basicui.cfg, ако имаме няколко създадени графични интерфейса трябва да зададем кой да зарежа по подразбиране.

```
defaultSitemap=cow
```
Във файла runtime.cfg можем да конфигурираме плочките (линковете) за отваряне на BasicUI интерфейса, на HABPanel, Grafana, и други, като в същото време можем да добавяме нови ако например имаме създадени няколко GUI на базата на HABPanel или BasicUI което се осъществява с добавянето на следния текст:

```
org.openhab.core.ui.tiles:cowui-link-name=Краве ферма
org.openhab.core.ui.tiles:cowui-link-
url=http://192.168.1.134:8080/basicui/app?sitemap=cow
```
Във папка persistence създаваме файл с разширение .persist например influxdb.persist в който трябва да дефинираме стратегии за запис в базата данни която използваме, в случая Influxdb.

```
Strategies {
every10seconds : "0/10 0 0 ? * * *"
every30seconds : "0/30 0 0 ? * * *"
everyMinute : "0 * * ? * *"
every2Minutes : "0 */2 * ? * *"
every5Minutes : "0 */5 * ? * *"
everyHour : "0 0 * ? * *"
everyDay : "0 0 0 * * ?"
default = everyChange
}
```

```
Items {
    gPersstOnChng* :  strategy = everyChange
    gPersstOnChngRestOnStup* : strategy = everyChange, restoreOnStartup
    gPersstOnChngOn1minRestOnStup* : strategy = everyChange, everyMinute,
restoreOnStartup
    gPersstOnChngOn30sec* : strategy = everyChange, every30seconds
    gPersstOnChngOn1min*: strategy = everyChange, everyMinute
}
```

Първо дефинираме стратегии които дефинират кога да бъде осъществен запис на данни в базата данни, като например на всеки 10 секунди, на всеки 30 секунди, при всяка промяна и т.н. Във втората част присъединяваме стратегии към определени групи които групи да бъдат присъединени към определени items и по този начин променливите от items ще се записват в базата данни на системата, като записа става спрямо присъединените стратегии към групата.

В директория transformation създаваме файлове с разширение .map в които се записват трансформации за показване в системата. Така например можем да присвоим стойност, или състояние на даден елемент, като например показаните състояния на даден превключвател да не са ON и OFF, а вместо това да се извиква зададен текст като „Автоматично” за положение ON и „Изключено“ за положение OFF което се осъществява със следния текст:

```
ON=Автоматично
OFF=Изключено
NULL=Изключено
UNDEF=Изключено
```

Във директория things създаваме файлове с разширение .things в които извършваме конфигурация на всички входно – изходни физически и не физически крайни устройства като сензори, системи които могат да се управляват, астро елементи и др. Най-добре е различните файлове да съдържат в себе си елементи от дадена група за по-лесното им откриване и редактиране. По-долу са показани няколко примера за конфигуриране на такива елементи.

```
Thing ntp:ntp:local   [ hostname="1.bg.pool.ntp.org" ]
Thing astro:sun:home  [ geolocation="42.71073, 23.31451", interval=60 ]
Thing astro:moon:home [ geolocation="42.71073, 23.31451", interval=60 ]
```

Първия елемент се свързва с ntp сървър за точно време. Другите добавят геолокация от която се получава информация за изгрев и залез на слънцето, фази на луната и друга информация за зададеното местоположение която може да ни бъде полезна.

Текста по-долу в things създава мост между системата и контролер NodeMCU към който са свързани сензор за влажност и температура AM2302 и реле за управление на крайно устройство или сигнална лампа.

```
Bridge mqtt:broker:mymqttbroker [ host="192.168.1.134", port=1883, secure=false,
username="********", password="********", clientID="oh3srv" ]
```

```
{
    Thing topic nodemcu1 "NodeMCU1" {
        Channels:
            Type switch : rele1 "Реле1" [ stateTopic="stat/temp_butt/POWER",
commandTopic="cmnd/temp_butt/POWER" ]
            Type number : temperature_AM2302_2 "Температура"
[stateTopic="tele/temp_butt/SENSOR",
transformationPattern="JSONPATH:$.AM2302.Temperature"]
            Type number : vlajnost_AM2302_2 "Влажност"
[stateTopic="tele/temp_butt/SENSOR",
transformationPattern="JSONPATH:$.AM2302.Humidity"]
            Type number : tkondenzacia_AM2302_2 "Температура на кондензация"
[stateTopic="tele/temp_butt/SENSOR",
transformationPattern="JSONPATH:$.AM2302.DewPoint"]
    }
}
```

Първо се конфигурира връзката с MQTT брокера което включва: уникално име на MQTT брокера „mymqttbroker“, IP адрес, порт, дали е включена TLS защита (в случая е изключена – false) потребителско име, парола и име на OpenHAB с което се представя системата пред брокера „oh3srv“. След това дефинираме името на thing-а за системата „nodemcu1“ и видимото от потребителя име „NodeMCU1“ След това е канала за връзка с релето при което първо дефинираме типа на елемента „switch”, после името му за системата „rele1” и името му за потребителя „Реле1“. Чрез “stateTopic” системата следи за състоянието на релето, а чрез „commandTopic“ го управлява. Последните три канала следят изпращаната от сензора информация (за температура, относителна влажност и точка на оросяване) която се трансформира чрез jsonpath трансформация до вид който е разбираем за човека. Дефинираме типа на променливата като „number”, името за системата и показваното име към потребителя и накрая топика, за който е абонирана системата и от който се получава информацията за стойността и накрая извършваната трансформация.

Във items се осъществяват връзката между крайните устройства и виртуалния слой на системата. В него се създават и управляват различните групи които могат да обединяват елементи с подобни характеристики, елементи които се намират на едно място, обединение на различни стратегии, за изчисление на средна стойност в дадена група и т.н. Тук също могат да се дефинират различни променливи които да играят ролята на виртуални елементи за осъществяване на основни или спомагателни за системата дейности. Могат да се създават и дефинират различни виртуални бутони,  превключватели, плъзгачи, които нямат връзка с физически елементи, но се използват за управление на системата в графичния интерфейс.

В текста по-долу е показана конфигурацията на астро item-а  и връзката му чрез “channel” към астро thing-а. Първо се избира типа на item-а „DateTime“, после име за системата „Date“ и име и формат на показване към потребителя. Тук може да се избере икона за показване в потребителския графичен интерфейс GUI базиран на BasicUI (в случая „time“) или да не се избере икона както в долните два реда. Избраната икона се показва по подразбиране в GUI, но ако там се добави друга икона се показва новата икона. Това е

полезно ако имаме създадени няколко GUI и искаме да има различни икони за един и същи елемент, или ако елемента се показва на няколко места в GUI, но например в различни групи. След това можем да присъединим елемента към дадена група (например „gCow_control_1“) и накрая осъществяваме връзката с things.

```
DateTime Date "Дата          [%1$tA    %1$td.%1$tm.%1$tY
г.   %1$tH:%1$tM:%1$tS]"  <time> (gCow_control_1) { channel="ntp:ntp:local:dateTime"
}
DateTime Sunrise_Time        "Изгрев [Слънето ще изгрее в %1$tH:%1$tM часа]" {
channel="astro:sun:home:rise#start" }
DateTime Sunset_Time         "Залез  [Слънето ще залезе в %1$tH:%1$tM часа]" {
channel="astro:sun:home:set#start" }
```

На следващите редове е показано конфигурирането на items които отговарят на разгледаните по-горе физическо реле и сензор AM2302 в things. Първо дефинираме типа „switch“, после името на item-а за системата „rele121“ и името видимо за потребителя „Реле1“. С „switch“ поставяме икона която ще се покаже в GUI освен ако в sitemap не е поставена друга, и след това дефинираме канала за връзка с things където „rele1“ е името за системата на същото реле в things.

За конфигурация на сензора първо задаваме вида променлива в случая „Number“ от тип „Temperature“ (като задаването на тип не е задължително). След това задаваме име за системата „temp_in_AM2302“ То се използва и в двата вида GUI и в Grafana за показване на стойността и за запис в базата данни. След това е името и формата на показване към потребителя „Температура [%.1f °C]“ и избора на икона „temperature“. След това ако е необходими присъединяваме променливата към една или няколко групи в случая „gTemperatures_sredna“ – за отчитане на средна температура от няколко сензора, „gTemperatures“ – например за извикване в група или отваряне в нов прозорец в който да се показват само температури от различни места, „gPersstOnChngOn1min“ – за присъединяване на група която принадлежи на стратегия за запис в базата данни при всяка промяна и на всяка минута.

```
Switch rele121 "Реле1" <switch> {channel="mqtt:topic:mymqttbroker:nodemcu1:rele1" }
Number:Temperature temp_in_AM2302 "Температура [%.1f °C]"  <temperature>
(gTemperatures_sredna, gTemperatures, gPersstOnChngOn1min)
{channel="mqtt:topic:mymqttbroker:nodemcu1: temperature_AM2302_2" }
Number RH_in_AM2302 "Относителна влажност [%.1f %%]"  <humidity> (gTemperatures_RH,
gPersstOnChngOn1min) {channel="mqtt:topic:mymqttbroker:nodemcu1: vlajnost_AM2302_2" }
Number Dewpoint_in_AM2302 "Температура на кондензиране [%.1f °C]"  <temperature>
(gTemperatures_sredna, gPersstOnChngOn1min)
{channel="mqtt:topic:mymqttbroker:nodemcu1: tkondenzacia_AM2302_2" }
```

Дефинирането на група става по следния начин в items:

```
Group gPersstOnChngOn1min
Group gTemperatures
```

За намиране на средна стойност в група първо дефинираме групата като „Number“ след това „AVG“ за намиране на средната стойност, името на групата за системата

„gTemperatures_sredna“ и името и формата на показване за потребителя „Средна температура помещение: [%.1f °C]“.

```
Group:Number:AVG gTemperatures_sredna "Средна температура помещение: [%.1f °C]"
```

В items можем да дефинираме променливи които нямат връзка с физически устройства. Така например можем да дефинираме температурно влажностния индекс THI като променлива която се изчислява по формула от температурата и относителната влажност RH:

```
Number THI "Температурно влажностен индекс [%.1f]" <temperature>
(gPersstOnChngOn1min)
```

Първо дефинираме THI като „Number“, после името му за системата „THI“ и името и формата на показване към потребителя „Температурно влажностен индекс [%.1f]“, иконата „temperature“ и присъединяването му към група „gPersstOnChngOn1min“ за запис в базата данни.

Така например можем да дефинираме променлива, на която да можем да задаваме стойност, както и да я променяме през GUI. В случая е показана променлива на която задаваме оптимална температура за работа на системата, и която управляваме чрез създаване на плъзгач в двата вида GUI. Първо задаваме вид на променливата „Number“ име за системата „SetpointTemperature1“, име и формат на показване за потребителя „Оптимална температура [%.1f °C]“ и икона „temperature“.

```
Number SetpointTemperature1 "Оптимална температура [%.1f °C]" <temperature>
```

В директория rules създаваме файлове с разширение .rules в които създаваме правила как да работи системата. Например можем да създадем правило което включва и изключва отоплението ако температурата се понижи под определена зададена стойност, като в същото време се следи и състоянието на превключвател който може да забрани включването. Това става по следния начин:

```
rule "Temp_control_cow"
when
    Item temp_in_AM2302 received update
then
    logInfo("TEMP_IN_COW", (temp_in_AM2302.state as
QuantityType<Temperature>).floatValue.toString )
    if (Heating_Mode.state == OFF) {
        if (rele110.state != OFF) {
            logInfo("heating relay", "Manual Mode (OFF) - Изключване на релето")
            rele110.sendCommand(OFF)
        }
        return;
    }
    if((temp_in_AM2302.state as QuantityType<Temperature>).floatValue <
(SetpointTemperature3.state as Number))
```

```
    {
        if(rele110.state == OFF || rele110.state == UNDEF || rele110.state == NULL) {
            logInfo("heating relay", "rele110 ON")
            rele110.sendCommand(ON)
        }
    }
     else if ((temp_in_AM2302.state as QuantityType<Temperature>).floatValue  >=
(SetpointTemperature3.state as Number))
    {
         if(rele110.state == ON || rele110.state == UNDEF || rele110.state == NULL) {
                    logInfo("heating relay", " rele110 OFF")
            rele110.sendCommand(OFF)
        }
    }
end
```

Първо дефинираме, че това е правило с „rule“ и му избираме разпознаваемо име „Temp_control_cow“, което няма да се вижда в GUI базиран на BasicUI или HABPanel, но може да бъде намерено на страницата за администрация на OpenHAB, от където може да се изключва и включва при необходимост. С „when“ правилото се изпълнява когато се получи нов запис при промяна или при запис на всяка минута на температурата „temp_in_AM2302“ ако е зададено така. След това с „logInfo“ публикуваме под заглавие „TEMP_IN_COW“ във Frontail извлечената числова стойност като текст. Изпълняваме правилото ако виртуалния превключвател „Heating_Mode“ е в позиция OFF. След това проверява физическото реле „rele110“ дали е в позиция различно от OFF. Изпраща съобщение в logviewer (Frontail), че релето ще бъде изключено и изпраща команда към релето да се изключи и цикъла приключва. В противен случай ако „Heating_Mode“ е в позиция ON (AUTO), проверява дали числовата стойност на температурата от сензора „temp_in_AM2302“ е по-ниска от зададената стойност на температурата за включване на отоплението „SetpointTemperature3“ зададена като число. Ако физическото реле „rele110“ е в положение изключено, в положение нула или недефинирано, в Frontail се изписва съобщение че релето се включва „heating relay", "rele110 ON“ и се подава команда за включване на релето „rele110.sendCommand(ON)“. В противен случай ако температурата от сензора „temp_in_AM2302“ е по-голяма или равна на зададената, и ако физическото реле е включено, в положение нула или недефинирано се изписва във Frontail, че релето се изключва и се подава команда към релето да се изключи. Така могат да се създават всякакви правила, като най-добре е за всяко правило да има отделен файл с подсказващо име за по-лесно наблюдение на системата.

В rules също можем да създаваме формули за преизчисление на стойности като например да се изчисли температурно влажностния индекс THI. Това става по следния начин:

```
rule "Calculate THI"
when
    Item temp_in_AM2302 received update or
```

```
    Item RH_in_AM2302 received update
then
    val t = if (temp_in_AM2302.state instanceof QuantityType) {
        (temp_in_AM2302.state as QuantityType).toBigDecimal
    } else {
        temp_in_AM2302.state as DecimalType
    }
    val rh = RH_in_AM2302.state as DecimalType

    logInfo("THI Rule", "Температура вътре: " + t + ", RH вътре: " + rh)
    if (t !== null && rh !== null) {
        val thi = 0.8 * t.floatValue + 0.01 * rh.floatValue * (t.floatValue - 14.4) +
46.4
        THI.postUpdate(thi)
    }
end
```

Първо дефинираме правилото с „rule“ и името му „Calculate THI“. След това казваме кога да се изпълнява с „when“ (когато има промяна на някой от параметрите от които зависи а именно температурата „temp_in_AM2302“ и RH „RH_in_AM2302“. После създаваме две нови променливи „t“ и „rh“. Първо се проверява дали „temp_in_AM2302“ е стойност от количествен тип (число с мерна единица) с „state instanceof QuantityType“. Ако е го преобразува и превръща в десетичен тип, ако не е, директно го превръща. Така „t“ получава стойности от числовата част на температурата „temp_in_AM2302“ а „rh“ от стойността на относителната влажност „RH_in_AM2302“. След това с „logInfo“ публикува във Frontail следните редове:

```
2025-04-11 17:54:31.863 [INFO ] [g.openhab.core.model.script.THI Rule] - Температура вътре:
22.5, RH вътре: 60.9

2025-04-11 17:54:31.863 [INFO ] [openhab.event.ItemStateChangedEvent ] - Item 'THI' changed
from 69.341 to 69.33290012359619
```

от което може да се види, че правилото работи.

В този случай системата изчислява THI на базата на данните от един сензор, но може да се програмира така, че THI да се изчислява от средната стойност на температурата от няколко сензора, и средната стойност на RH, като по този начин се показва средното THI в помещение, а не на конкретно място.

Веднъж конфигурирана дадена система, за определен вид животновъдна ферма, може лесно да се преконфигурира за определена ферма в зависимост от видовете сензори и крайни устройства с които разполага тя.

### 6.6 Обобщение

Разработените алгоритми за управление на различните животновъдни стопанства имат високо ниво на автономност и позволяват управлението на средата да се извършва без

намесата на персонала, след като се въведат първоначални настройки. КФС може да следи и управлява различни параметри на средата, като това зависи от инсталираните различни видове сензори и крайни устройства за управление, като за най-голяма ефективност е необходимо тя да съдържа пълния набор компоненти изброени по-горе.

Системата има възможност зададените по подразбиране диапазони на подържаните параметри да бъдат променяни през графичния интерфейс, спрямо конкретните нужди. Това може да бъде продиктувано от изисквания към различните породи животни или по усмотрение на технолога. Диапазоните на промяна на параметрите се определят при конфигуриране на системата като винаги могат да се променят при нужда. Това може да бъде извършено и дистанционно през конзолата за достъп с Solar-PuTTY или друг терминал, или през Visual Studio Code който е свързан към системата.

За осъществяване на достъп на потребителя до системата е необходимо разработването на потребителски интерфейс, който да позволява удобно наблюдение на параметрите и управление системата. Това е разгледано в следващата глава.

# ГЛАВА 7. Изследване и разработка на графичен интерфейс за КФС за интелигентно управление на комплексите за отглеждане на животни с възможност за дистанционно управление през Интернет, базиран на OpenHAB

Графичният потребителски интерфейс (GUI - graphical user interface) или накратко графичния интерфейс е вид потребителски интерфейс, чрез който потребителите взаимодействат с електронни устройства, чрез представяне на визуални индикатори. При него потребителят има достъп до всички видими обекти на екрана на монитора с помощта на периферно устройство като клавиатура, мишка сензорен екран и т.н., с които извършва непосредственото им манипулиране. В случая, разработения GUI за КФС за управление на комплексите за животни спомага за лесно наблюдение на параметрите, контролиране и регулиране на средата, като има възможност за извличане в графичен вид на всички параметри за конкретен период от време. Това спомага за извършване на анализи и подобрение в управлението.

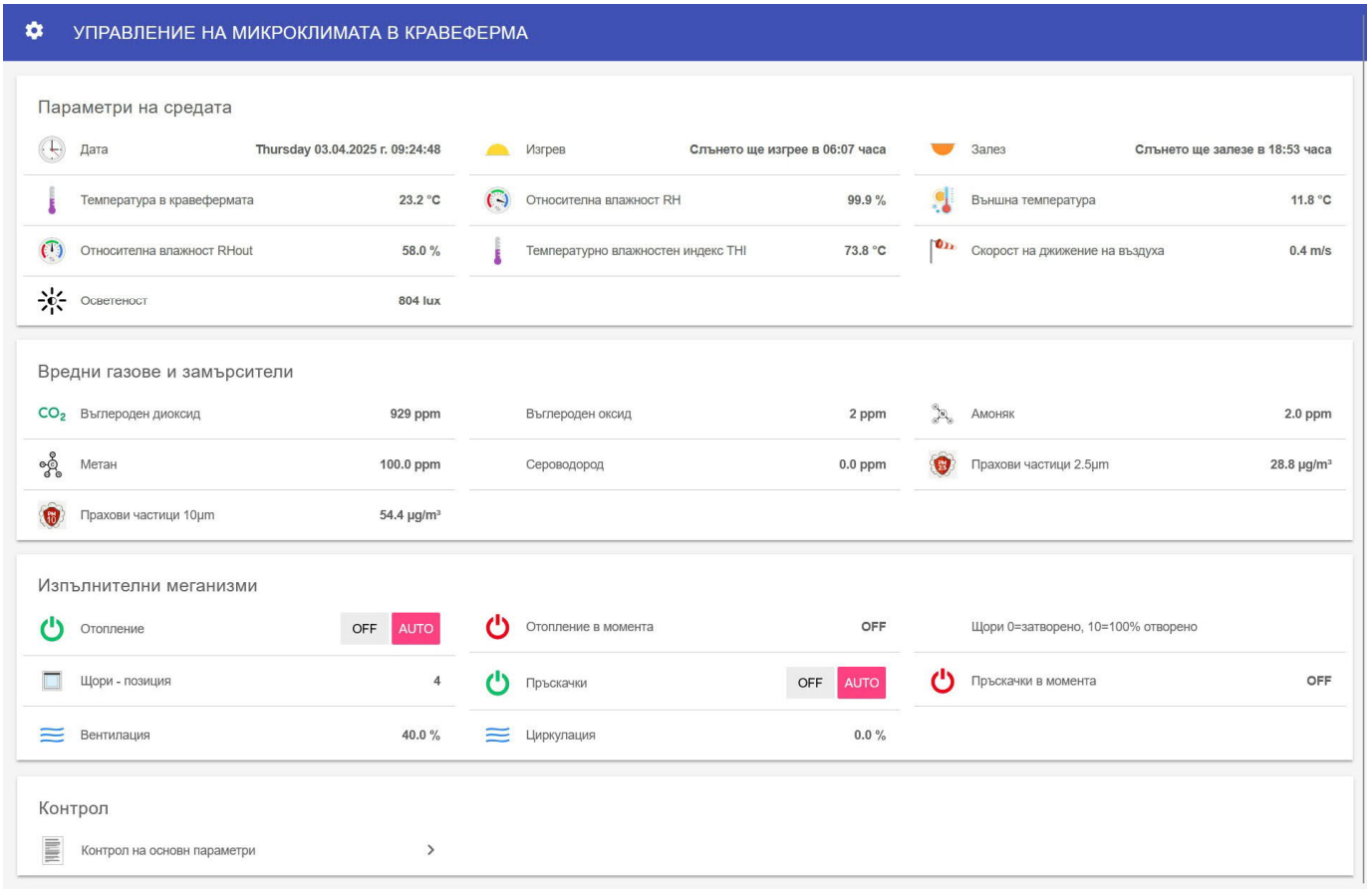
За целите на изследването са разработени и тествани два вида GUI, които могат да работят едновременно на системата, без да си пречат. Те се базират на Basic UI и HABPanel в OpenHAB. Всеки от тях има различни предимства като те са разгледани по-долу. Освен това е разработен и конфигуриран панел за графично показване на параметрите на системата в Grafana. Всичките споменати елементи са базирани на уеб интерфейс.

## 7.1 Разработка на GUI на базата на Bacic UI

За пример разглеждаме основният графичен интерфейс на КФС за управление на микроклимата в кравеферма разработен на базата на Basic UI. На фигура 7.1 е показан примерен изглед на интерфейса свален от монитор на персонален компютър. Интерфейса е изчистен и лесен за ползване. В горния панел могат да се видят наблюдаваните параметри на средата в момента. Във втория панел е показана измерената концентрация на вредни газове. В зависимост от броя на сензорите в помещението, в панелите могат да се добавят и премахват сензори, броя на панелите може да се променя и т.н. При наличие на няколко сензора от един вид в едно помещение, например за температура, системата може да се конфигурира така, че да показва средната стойност и да се управлява спрямо нея. Това е полезно за големи помещения при които не може да се постигне равномерна температура навсякъде. А показанията на температурите на отделните сензори могат да бъдат отделени в друг панел или в друга страница, защото не е необходимо да се следят непрекъснато.

В третия панел са показани изпълнителните механизми, тяхното състояние (включено, изключено, позиция, скорост и т.н.) и бутони за настройки на работата им в системата. Например отоплението което е настроено да се включва по подразбиране при температура под +5°C може да бъде поставено в режим перманентно изключено или да бъде оставено на автоматичен режим при който системата го управлява (с бутоните ON и AUTO). Освен това се вижда състоянието му дали в момента е включено или изключено като освен надписа ON или OFF се вижда и цвета на индикацията на бутона (зелен за включено и червен за изключено). Надписите могат да се променят и настройват според желанието на

потребителите, като например вместо „OFF“ да се показва „Изкл.“ или „Изключено“. Пръскачките за охлаждане могат да се изключат когато в помещението трябва да влезе персонала за извършване на различни дейности. Могат да се поставят всякакви подобни превключватели спрямо наличното оборудване във фермата. Тук може да се види например позицията на щорите. За да е по лесно четимо, могат да се добавят редове с пояснения като показаното за щорите, че при позиция „0“ са затворени, а при „10“ са напълно отворени, като имаме общо 11 положения на настройка. Може да се види и състоянието на вентилацията, и на циркулационните вентилатори. При 0% не работят, а при 100% работят на максимална мощност.



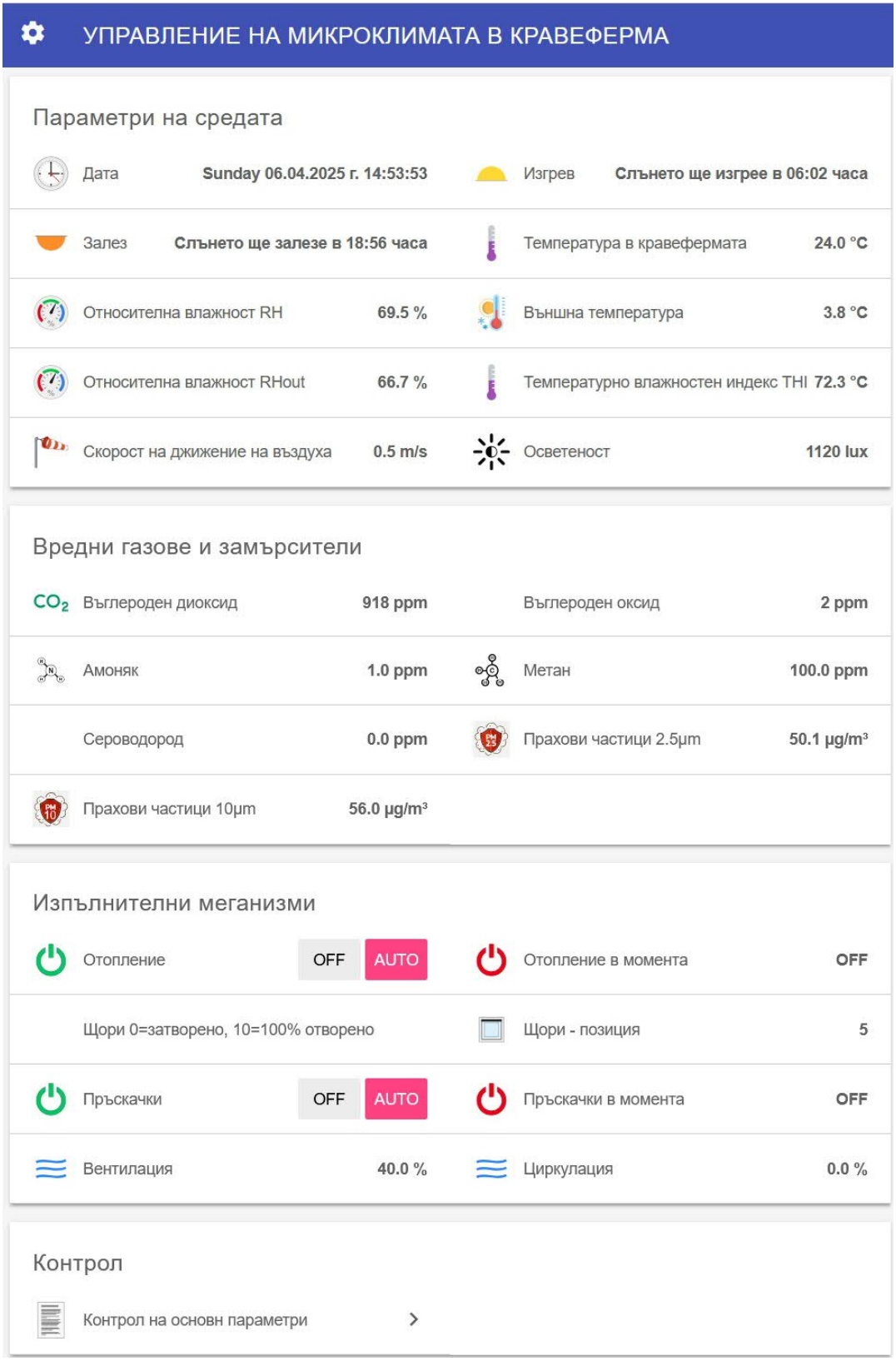

Фигура 7.1 Основен GUI на КФС за управление на микроклимата в кравеферма базиран на Basic UI.

Четвъртия панел е конфигуриран за вход в нова страница която отделя контрола на основни параметри които не е необходимо да се променят често, като оптималната температура или ограничаване на максималната скорост на движение на въздуха (Фигура 7.2). Плъзгачите позволяват промяна на параметрите от персонала в предварително зададени граници. Тези граници могат да се променят но това става в конфигурационните файлове на системата. Например максималната скорост на движение във въздуха $SAF_{max}$ може да бъде ограничена през зимния сезон за дойни крави до 0.5m/s, а през летния сезон да се увеличи до 1.5m/s  или повече. Така в нормален режим системата контролира вентилацията и

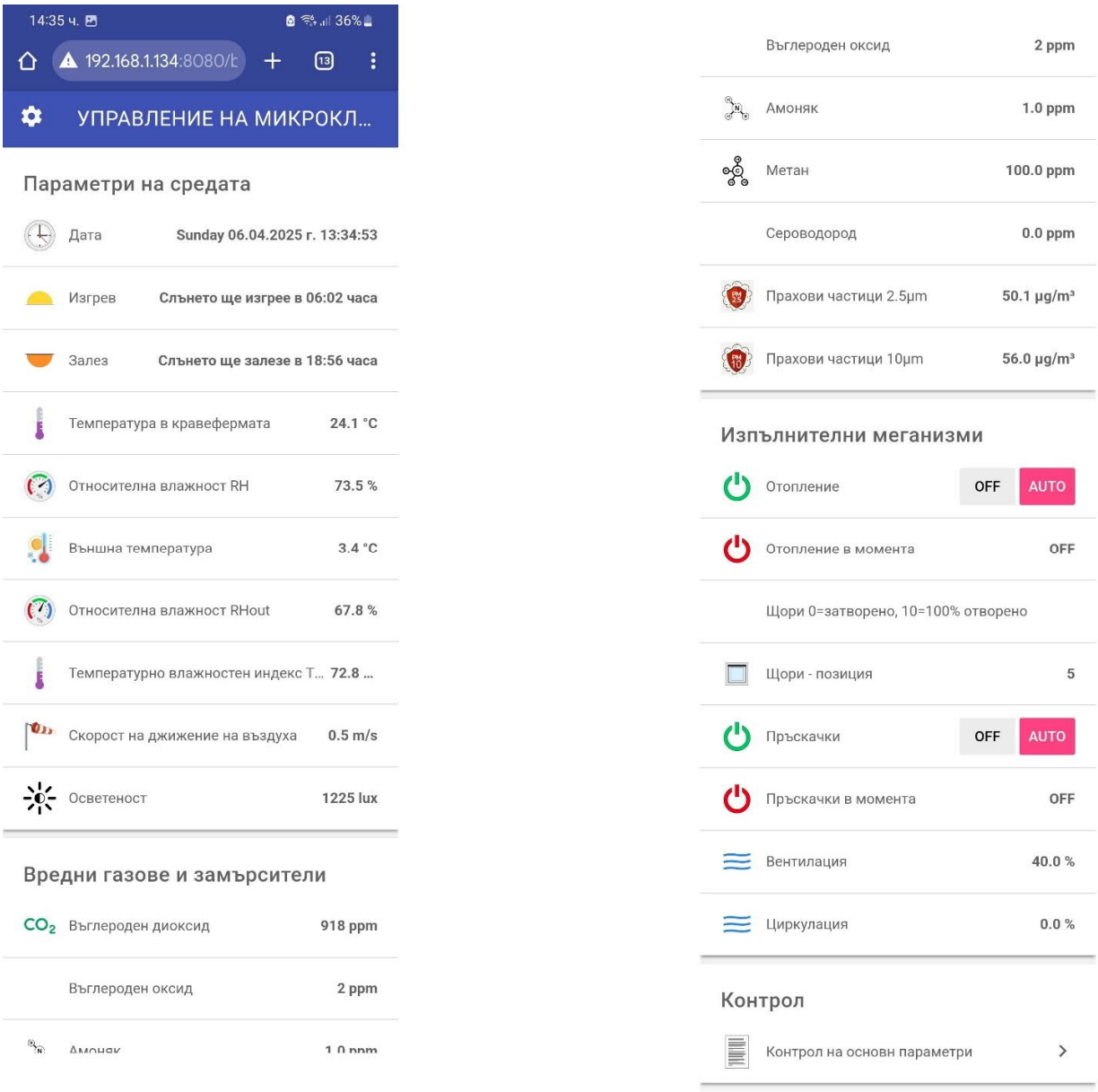
циркулационните вентилатори спрямо температурно влажностния индекс THI или температурата, но в авариен режим при наличието на висока концентрация на вредни газове максималната скорост на движение на въздуха ще бъде ограничена за да се предпазят животните от измръзване.

Фигура 7.2 Контрол на основни параметри

Този GUI е подходящ за всякакви устройства, от големи и малки монитори на персонални компютри, таблети или дори смартфони, като страницата се променя автоматично спрямо големината и резолюцията на екрана. На фигура 7.3 е показан изглед от интерфейса на екрана на таблет, а на фигура 7.4 от смартфон. В случая при тези изгледи за да се види целия интерфейс трябва да се превърти страницата нагоре или надолу.




Фигура 7.3 Основен GUI показан на екран на таблет.




Фигура 7.4 Основен GUI показан на екран на смартфон.

### 7.1.1 Конфигуриране на GUI базиран на Basic UI

Конфигурацията на страницата на основния GUI се извършва чрез създаване на текстови файл с разширение .sitemap в папка sitemap на сървъра на КФС. Той изглежда по следния начин:

```
sitemap default label="УПРАВЛЕНИЕ НА МИКРОКЛИМАТА В КРАВЕФЕРМА" {
    Frame label="Параметри на средата" {
        Text item=Date icon="time"
        Text item=Sunrise_Time icon="sunrise"
        Text item=Sunset_Time icon="sunset"
```

```
        Text item=temp_in_AM2302    label="Температура в кравефермата [%.1f °C]"
        Text item=RH_in_AM2302      label="Относителна влажност RH"
        Text item=temp_out_AM2302   label="Външна температура  [%.1f °C]"
        Text item= RH_in_AM2302      label="Относителна влажност RHout"
        Text item=THI        label="Температурно влажностен индекс THI [%.1f °C]"
        Text item=SAFpr
        Text item= multisensor1_Illuminance  label="Осветеност"
    }
    Frame label="Вредни газове и замърсители" {
         Text item=CO2pr
         Text item=COpr
         Text item=NH3pr    icon="amonia"
         Text item=CH4pr    icon="methane"
         Text item=H2Spr
         Text item=PM25pr   icon="pm25-6"
         Text item=PM100pr
    }
     Frame label="Изпълнителни меганизми" {
         Switch item=Heating_Mode label="Отопление" mappings=[OFF="OFF", ON="AUTO"]
         Text item=rele110         label="Отопление в момента"
         Text label="Щори 0=затворено, 10=100% отворено" icon="none"
         Text item=BLINDSpr       label="Щори - позиция [%d ]"
         Switch item=rele210       label="Пръскачки" mappings=[OFF="OFF", ON="AUTO"]
         Switch item=rele310       label="Пръскачки в момента [MAP(rele310.map):%s]"
         Text item=VentOUTpr
         Text item=VentINpr
    }
     Frame label="Контрол" {

         Group item=gCow_control_2 label="Контрол на основн параметри" icon="text" {
            Slider item=SetpointTemperature1 label="Оптимална температура"
switchSupport minValue=16 maxValue=26 step=0.1
            Slider item=SAFprmax label="Максимална скорост на движение на
въздуха"  minValue=0.5 maxValue=1.5 step=0.1
        }
    }
}
```

В „sitemap default label=“ дефинираме името на страницата. Във “Frame” – името на отделните панели. После дефинираме името на променливата която искаме да се показва. С ”Text“ показваме променлива която извикваме от дефинираните променливи в папка items в текстови файлове с разширение .items. След като извикаме променливата ако в файла с разширение .items са дефинирани икона, мерна единица, формат на показване на величината и име за показване, то те се показват автоматично при отваряне на страницата на графичния

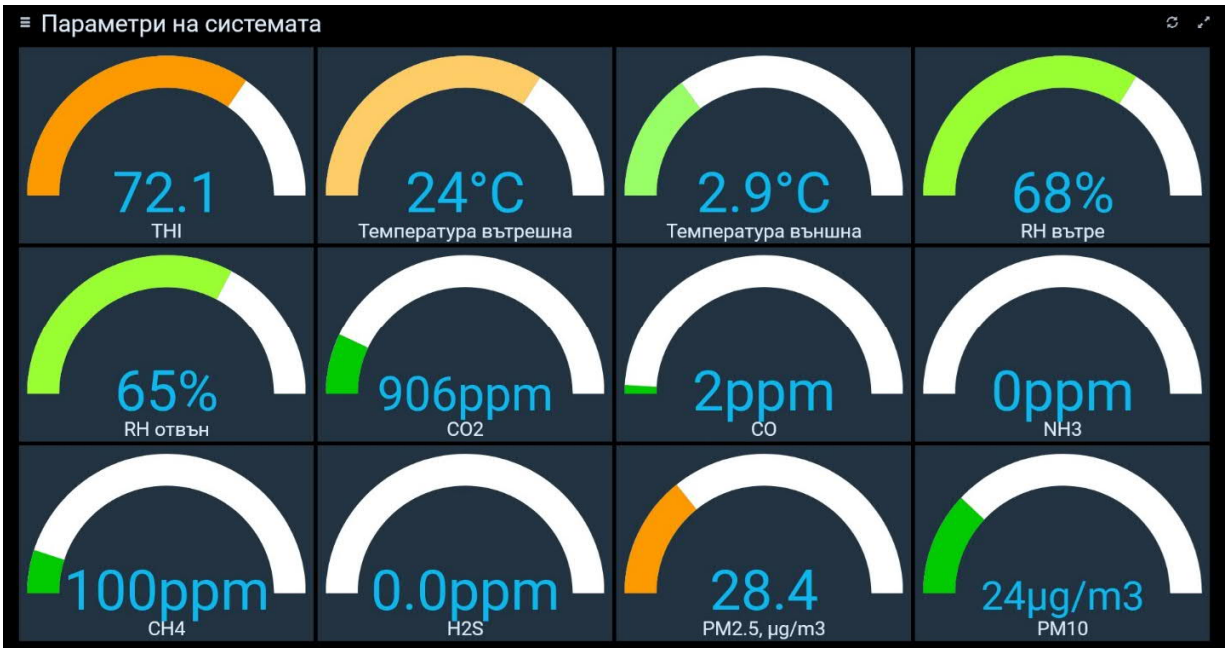
интерфейс. Ако там не са дефинирани тези неща, или ако искаме в дадената страница някоя величина да се изписва по друг начин или да се показва друга икона например, те се дефинират отново в дадения sitemap. Например при въглеродния диоксид $CO_2$ всички изброени по-горе компоненти са дефинирани в items и се показват при зареждане на графичния интерфейс. При амоняка, например е извикана друга икона за показване в дадения интерфейс, но името и формата на показване остават същите както дефинираните в items. Това е полезно ако имаме няколко различни графични интерфейса като различни страници за наблюдение на параметрите на различни помещения. Например за крави и за телета.

Със „Switch“ дефинираме превключвател който освен включено или изключено може да дефинира просто две положения. В случая изключено или автоматично. Това са постига с т.н. mapping. Присвояваме стойности на двете положения на превключвателя. Това става със създаване на текстови файлове с разширения .map в директория transformation.

С „Group“ дефинираме определена група, като към всяка група можем да присъединим конкретни променливи ( параметри). В items, след дефиниране на определена променлива можем да я причислим и кум една или няколко групи. При извикване на дадена група се появяват всички променливи причислени към нея. Можем да дефинираме дадена група и в sitemap (както в случая „gCow_control_2“) като към нея добавим определени променливи. В случая плъзгачите „SetpointTemperature1“ и „SAFprmax“, чрез които променяме различни параметри на системата. Освен това можем да ограничим промяната да дадения параметър с начална и крайна стойност и стъпка на промяната.

### 7.2 Разработка на GUI на базата на HABPanel

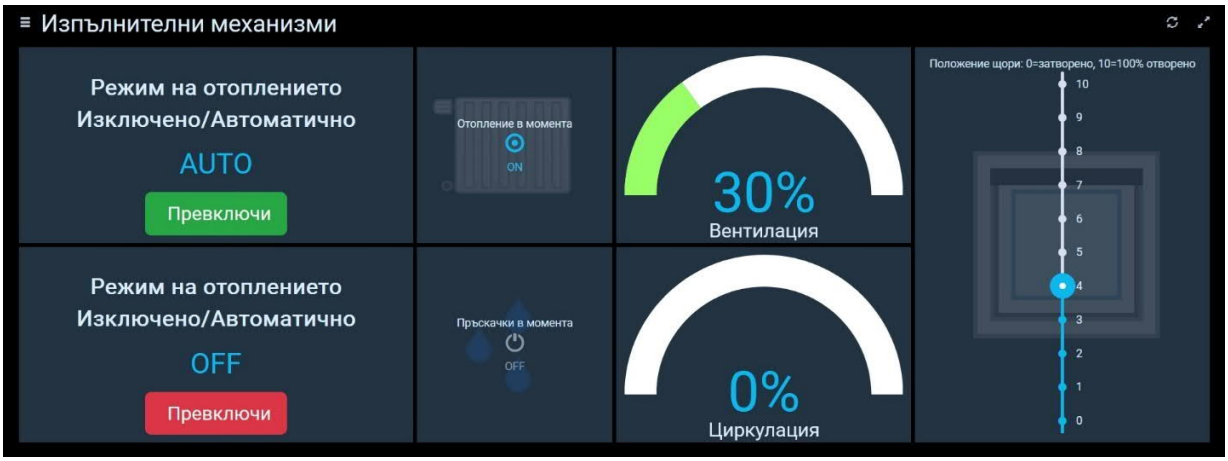
Графичния интерфейс, разработен на базата на HABPanel (Фигура 7.5) има някои предимства, но и недостатъци пред основния интерфейс разгледан по-горе. Но важното е, че двата интерфейса могат да работят заедно, като както и основния, и тук може да се разработят няколко варианта с различен изглед и разположение, така че да е удобно използването за различни цели. GUI на базата на HABPanel е по-подходящ за големи екрани, но може да се конфигурира и за по малки, като въпреки че има автоматично мащабиране, за да се виждат коректно всички стойности, мерни единици и скали трябва да се конфигурира за екран с определена резолюция. При него освен стойностите на параметрите на системата, може да бъде настроен и цветен код, като за стойности в норма цвета например да бъде зелен, при по-високи стойности да става оранжев, а при стойности над нормата да е червен. Този интерфейс може да бъде показан на голям монитор, а цветовете спомагат за по лесно забелязване на стойности извън нормата. За превключване между различните екрани с показания на параметри или настройки е необходимо да се избере менюто в горния ляв ъгъл (Фигура 7.6) при което от ляво се показват възможните за показване прозорци.




Фигура 7.5 GUI на КФС за управление на микроклимата в кравеферма базиран на HABPanel.

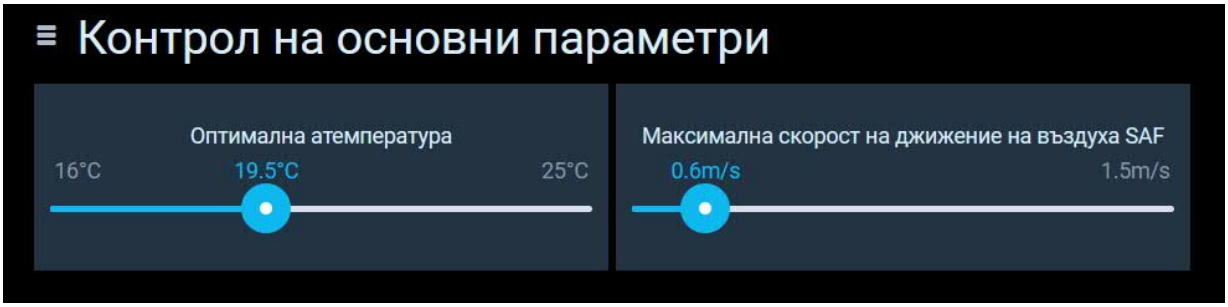
Фигура 7.6 Превключване между прозорци с показания и настройки.

При избор на „ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ“ се показват същите контроли и данни както в Basic UI, но показани по различен начин (Фигура 7.7). Тук също може да се избере режими на отоплението или на пръскачките, да се види текущото им състояние, състоянието на вентилацията и положението на щорите.




Фигура 7.7 Изпълнителни механизми HABPanel.

При избор на „КОНТРОЛ НА ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ“ (Фигура 7.8) се показват плъзгачите за настойки на параметри като в HABPanel освен избраната стойност се вижда и настроения диапазон в който може да се регулират.



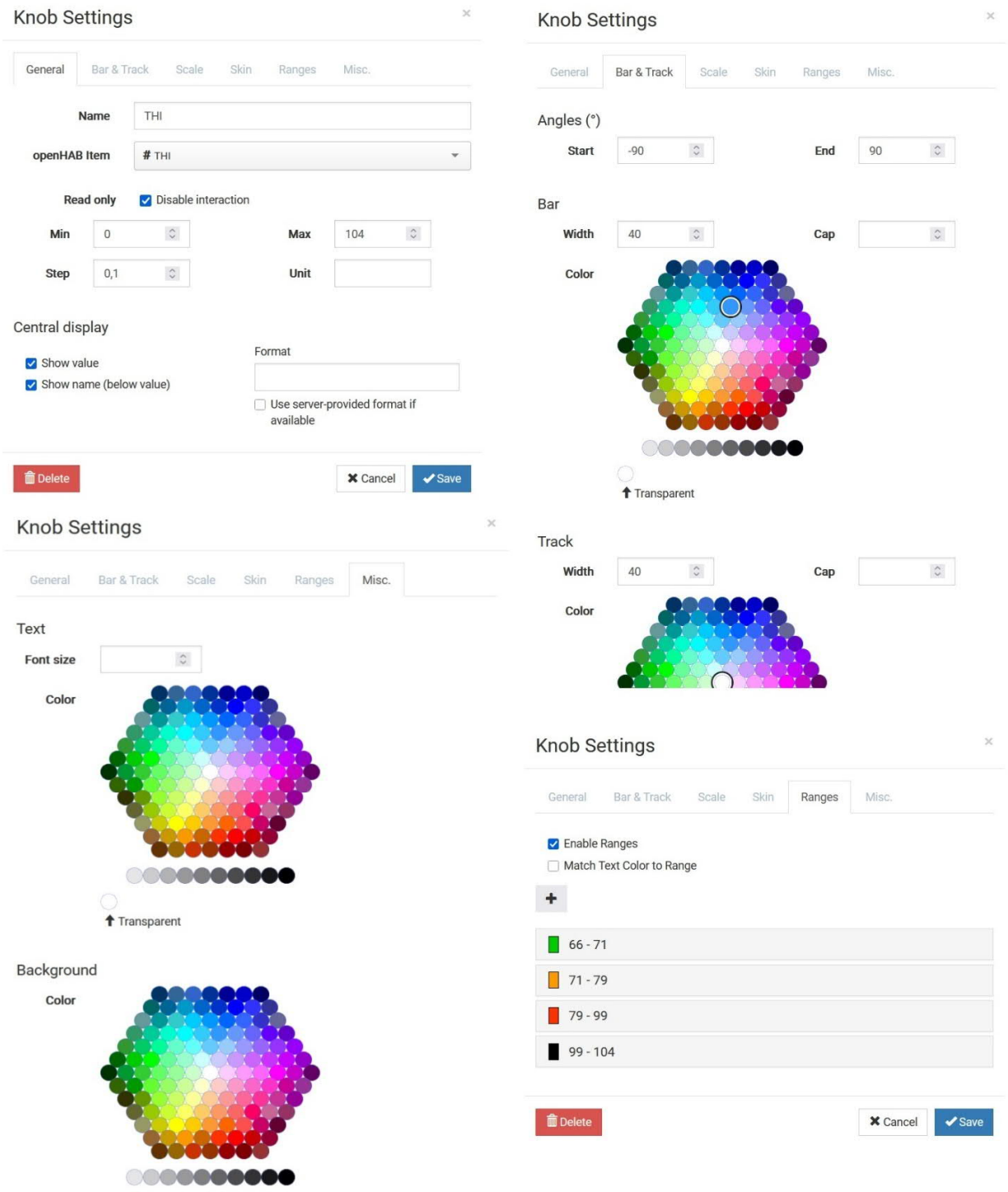

Фигура 7.8 Контрол на основни параметри от HABPanel.

### 7.2.1 Конфигуриране на GUI базиран на HABPanel

При конфигурирането на HABPanel имаме много повече свобода при оформянето панела. Освен стандартните опции които предлага системата за избор на компоненти за показване, може да се избере и разработи шаблон, който се конфигурира чрез написване на код при който имаме пълна свобода на избор за всеки един компонент като шрифт, размер и цвят на текст, размер и цвят и форма на бутон, плъзгач или друг компонент, променящ се цвят на текст, бутон или надпис в зависимост от състоянието му (например включено или изключено) и т.н.

На фигура 7.9 са показани четири от шестте таба за конфигурация на „Knob“. Knob е тип превключвател, който може да се използва като плъзгач или просто да показва стойности на различни параметри не само числово но и върху настроена скала с показания и променящи се цветове. Може да се избира началото и края на скалата, стъпката на показване, както и цвета и широчината, цвят на фона, размер и цвят на текста и др. За целите на изследването той се използва за показване на всички числови стойности като

температура, относителна влажност, температурно влажностен индекс, концентрация на вредни газове и т.н.




Фигура 7.9 Конфигурация на „Knob“.

Използвани са също и елементи като плъзгач (slider), който се настройва по подобен начин. Има възможност за начало и край на скалата, може да бъде вертикален или хоризонтален, може да се маркира всяка стъпка на преместване. В случая плъзгача е използван за настройка на оптималната температура и за ограничаване на максималната скорост движение на въздуха. Вертикален плъзгач е използван и за да показва положението на щорите като визуално са маркирани всички възможни позиции и в коя е щората в момента. За показване на моментното състояние (включено или изключено) е използван елемента превключвател (switch) който изписва ON или OFF.

За превключване на режимите за отоплението и пръскачките е реализиран превключвател с празен шаблон (template), които се конфигурира с показания по долу код. С него се избира режими постоянно изключено или автоматично.

```
<div class="section" style="text-align:center; padding: 20px;">
 <div class="title" style="font-size: 28px; font-weight: bold;">Режим на отоплението Изключено/Автоматично</div>
 <div class="value" style="font-size: 36px; margin: 10px 0;">
  {{ itemValue('YourItemName') === 'ON' ? 'AUTO' : 'OFF' }}
 </div>
 <button
  style="
   font-size: 24px;
   color: white;
   background-color: {{ itemValue('Heating_Mode') === 'ON' ? '#28a745' : '#dc3545' }};
   padding: 10px 20px;
   border: none;
   border-radius: 8px;
   cursor: pointer;
  "
  ng-click="sendCmd('Heating_Mode', itemValue('Heating_Mode') === 'ON' ? 'OFF' : 'ON')"
 >
  Превключи
 </button>
</div>
```

Освен това HABPanel разполага и с редица други компоненти които позволяват добавянето на различни приспособления. Може да се добави и рамка в която да се показва и видео стрийминг от камери за видеонаблюдение на животните например.

### 7.3 Обобщение

Разработени са два вида GUI за управление на КФС, които могат да работят едновременно без да си пречат. И двата вида GUI могат да имат пълна функционалност, или да се ограничат част от настройките, до които има достъп различното ниво на персонала. И двата имат предимства и недостатъци.

GUI базиран на Bacic UI представлява HTML интерфейс който има опростен изглед и е подходящ за всякакъв тип устройства с различна резолюция и големина на екрана като персонален компютър, таблет или смартфон. Това става благодарение на автоматичното мащабиране. Като недостатък пред втория вид интерфейс може да се посочи визуализацията на стойностите от сензорите показана само като числа.

GUI базиран на HABPanel има повече възможности за визуализация, показване на скала освен цифровата стойността на елемента, изобразяване на цветен код на скалата в зависимост това дали стойността е в норма или не. Може да показва минимална и максимална стойност на възможния за регулиране диапазон. Това позволява с един поглед да се установи проблем когато някой параметър е извън норма. Той също има автоматично мащабиране, но при устройства с голяма разлика в големината и резолюцията на екрана, при някои елементи може да се стигне до скриване на част от тях, не показване на мерната единица или друго. По тази причина за всяко различно устройства е необходимо да се създаде отделен GUI базиран на HABPanel.

# Заключение

В дисертационния труд са разработени алгоритми за управление на микроклимата в различни животновъдни ферми, както и за контрол на средата в аквапонична система. Разгледани са подобни системи на световноизвестни производители и други иновативни разработки, като е направен сравнителен анализ с предимства и недостатъци спрямо предложената система.

При проведените тестове бяха подбрани компоненти като сензори, контролери и управляващ компютър които отговарят на техническите изисквания за изграждане на системата. Освен това бяха тествани за продължителен период от време, в който да се установи тяхната пригодност и издръжливост.

Беше избран и тестван различен софтуер, за да се провери дали е подходящ за създаване на предложената КФС, като се установи, че с него тя може да работи в реално време, без видими забавяния. Беше установено, че системата може да бъде използвана за малки или средноголеми животновъдни ферми, като в този и вид не е подходящ за много големи ферми.

Разработени са два вида потребителски графични интерфейса, които могат да работят едновременно без да си пречат и дават възможност за лесна работа със системата от различни устройства като персонален компютър, таблет или смартфон. Графичния интерфейс може да се променя като се добавят или премахват елементи, спрямо наличното оборудване в животновъдната ферма.

# Приноси

## Научни приноси

- ✓ Разработен е нов метод за управление на микроклимата в птицеферма който се основава на изчисление на усещаната от птиците температура, която е различна от температурата в помещението и зависи от температурата, влажността и скоростта на движение на въздуха, както и от възрастта на пилетата. Публикация „Algorithm for Autonomous Management of a Poultry Farm by a Cyber-Physical System“ в списание Animals -IMPACT FACTOR - 2.7; CITISCORE – 4.9; SJR – Q1
- ✓ Разработен е нов метод за автоматичен контрол на нитрати, нитрити и амоняк в аквапонична система, чрез управление на подаваното количество храна на автоматичната хранилка. Публикация „Concept of a Cyber–Physical System for Control of a Self-Cleaning Aquaponic Unit“ в списание AgriEngineering - IMPACT FACTOR - 3.0; CITISCORE – 4.7; SJR – Q1

## Научно-приложни приноси

- ✓ Разработени са КФС за управление на микроклимата в кравеферма, свинеферма и птицеферма, изградени с ценово ориентирани компоненти, като крайната цена е значително по-ниска спрямо съществуващите решения на пазара. Това я прави лесно достъпна за малки и средно големи ферми, за които първоначалната инвестиция за съществуващите системи е непосилна.
- ✓ Разработената КФС за управление на микроклимата в птицеферма позволява напълно автономно управление, при което системата самостоятелно променя параметрите на средата спрямо възрастта на пилетата и превключва между трите режими на вентилация без намесата на персонала. Съществуващите подобни системи предлагат само преминаване от минимална към преходна вентилация и обратно. Предложената система позволява преминаване и в режим на тунелна вентилация, благодарение на въведения метод за отчитане на усещаната от птиците температура.
- ✓ Разработена е КФС за управление на средата в аквапонична система която предлага автономен контрол на много по-широка гама параметри сравнено със съществуващите подобни системи, като същевременно може да изпраща препоръки на персонала за регулиране количеството на рибата и растенията за осъществяване и поддържане на баланса и.

## Приложни приноси

- ✓ Разработената КФС за управление на микроклимата в птицеферма беше внедрена и тествана в птицеферма съвместно с Тракийски университет гр. Стара Загора, като допринесе за намаляване разходите за електроенергия и подобряване на условията за отглежданите на птиците.

## Библиография

[1] Archive: Milk and milk products - 30 years of quotas, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Milk_and_milk_products_-_30_years_of_quotas, (accessed on 29 July 2024).

[2] Vale, W.G. (2007) Effects of environment on buffalo reproduction. Ital. J. Anim. Sci., 6(2): 130-142., 15 Mar 2016, https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.130

[3] Sunil Kumar, B.V., Kumar, A. and Kataria, M. (2011) Effect of heat stress in tropical livestock and different strategies for its amelioration. Journal of Stress Physiology Biochemistry., 7(1): 45-54., January 22, 2010

[4] Leonel Avendaño-Reyes, Heat Stress Management for Milk Production in Arid Zones, Published: 26 September 2012, http://dx.doi.org/10.5772/51299

[5] https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/managing-heat-stress-in-dairy-cows/ (accessed on August 2022)

[6] J.W. West, B.G. Mullinix, J.K. Bernard, Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake, and Milk Yield of Lactating Dairy Cows, Journal of Dairy Science, Volume 86, Issue 1, January 2003, Pages 232-242, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9

[7] Rachid BOURAOUI, Mondher LAHMAR, Abdessalem MAJDOUB, M'nouer DJEMALI, Ronald BELYEAD, The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate, November 2002Animal Research 51(6):479-491, DOI: 10.1051/animres:2002036

[8] Spiers, D.E., Spain, J.N., Sampson, J.D. and Rhoads, R.P. (2004) Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. Journal of Thermal Biology, 29(7-8): 759-764.

[9] Johnson H.D., Physiological responses and productivity of cattle, in: Yousef M.K. (Ed.), Stress physiology in livestock. Basic principles, Vol. 1, 4-19, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1985.

[10] Kadokawa, H., Sakatani, M. and Hansen, P.J. (2012), Perspectives on improvement of reproduction in cattle during heat stress in a future Japan. Anim. Sci. J., 83(6): 439-445. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2012.01011.x

[11] Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., Suagee, J.K. and Sanders, S.R., Nutritional interventions to alleviate the negative con- sequences of heat stress. Advances in Nutrition 4(3):267-276, May 2013, DOI: 10.3945/an.112.003376

[12] Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S. and Bernabucci, U. (2010) Effect of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. Livestock Science., 130(1-3): 57-69., https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011

[13] Sanders, A.H., Shearer, J.K. and De Vries, A., Seasonal incidence of lameness and risk factors associated with thin soles, white line disease, ulcers, and sole punctures in dairy cattle. J. Dairy Science, 92(7): 3165-3174., July 2009, DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2008-1799

[14] Jingar, S.C., Mehla, R.K. and Singh, M. (2014) Climatic effects on occurrence of clinical mastitis in different breeds of cows and buffaloes. Archivos de Zootecnia, 63(243): 473-482., Sep. 2014 https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922014000300008

[15] Mol G., Ogink N.W., 2004 - The effect of two ammonia - emmision-reducing pig housing systems on odour emmisions. Water Sci. Tehnol. 50, p. 334 – 340; (2004), https://doi.org/10.2166/wst.2004.0299

[16] Lopez J., Jesse J.W., Becker B.A., Ellersieck M. R., 1991 - Effects of temperature on the performance of finishing swine: II. J. Anim. Sci., 111, p 1850 – 1855; (May 1991) https://doi.org/10.2527/1991.6951843x

[17] Kemp, B., Verstegen, M.W.A. (1987). The Influence of Climatic Environment on Sows. In: Verstegen, M.W.A., Henken, A.M. (eds) Energy Metabolism in Farm Animals. Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science, vol 44. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3363-7_8

[18] Drăghici C., 1991, Microclimatul adăposturilor de animale şi mijloacele de dirijare. Ed. Ceres;

[19] Šprysl M., Čítek J., Stupka R., Okrouhlá M., Brzobohatý L., Vehovský K, The influence of a controlled microclimate on the production performance in weaned pigs, Czech University of Life Sciences Prague, research in pig breeding, vol. 6, (2), 71-74; (6, 2012)

[20] Novak P., Susana Slegerova, Novak L., 2001- Effect of environment on the performance of swine. XI. Int. Congres in Animal Hygiene. Vol I. P. 545 – 551;

[21] Sergey Kostarev, Oksana Kochetova, Alfia Hamidullina, and Tatyana Sereda, Microclimate control system at poultry enterprises of closed type, E3S Web of Conferences 282, 07024 (2021), https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128207024

[22] A.V. Trifanov, V.V. Kaluga, A.G. Trafimov, Technologies and technical means of mechanized production of horticulture and livestock, 87-92 (2004)

[23] Livingston, M.L.; Pokoo-Aikins, A.; Frost, T.; Laprade, L.; Hoang, V.; Nogal, B.; Phillips, C.; Cowieson, A.J. Effect of heat stress, dietary electrolytes, and vitamins E and C on growth performance and blood biochemistry of the broiler chicken. Front. Anim. Sci. 2022, 3, 807267. https://doi.org/10.3389/fanim.2022.807267

[24] Tsiouris, V.; Georgopoulou, I.; Batzios, C.; Pappaioannou, N.; Ducatelle, R.; Fortomaris, P. Heat stress as a predisposing factor for necrotic enteritis in broiler chicks. Avian Pathol. 2018, 47, 616–624. https://doi.org/10.1080/03079457.2018.1524574

[25] Jahanian, R. & Rasouli, E. (2015). Dietary chromium methionine supplementation could alleviate immunosuppressive effects of heat stress in broiler chicks. Journal of Animal Science, 93, 3355–3363. https://doi.org/10.2527/jas.2014-8807

[26] Lara, L.J.; Rostagno, M.H. Impact of heat stress on poultry production. Animals 2013, 3, 356–369. https://doi.org/10.3390/ani3020356

[27] Sohail, M.U.; Ijaz, A.; Yousaf, M.S.; Ashraf, K.; Zaneb, H.; Aleem, M.; Rehman, H. Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and Lactobacillus-based probiotic: Dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. Poult. Sci. 2010, 89, 1934–1938. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00751

[28] Kim, D.-H.; Lee, Y.-K.; Kim, S.-H.; Lee, K.-W. High Temperature with Low Humidity or Vice Versa Does Not Affect Performance and Physiology of Laying Hens—Preprints. DOI: http://dx.doi.org/10.20944/preprints202011.0251.v1

[29] Total production of fishery products (million tonnes of live weight, EU, 2000-2021) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Aquaculture_statistics (accessed on 1.6.2024).

[30] Michael Isaacson, Norman Allyn, Gary Loverich, Development of a net pen system for aquaculture farming, Canadian Journal of Civil Engineering, February 2011

[31] Jaap van Rijn, Waste treatment in recirculating aquaculture systems, Aquacultural Engineering 53 (2013) 49–56, https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010

[32] Somerville, C.; Cohen, M.; Pantanella, E.; Stankus, A.; Lovatelli, A. Small-Scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming; FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper; FAO: Rome, Italy, 2014.

[33] S. Wahyuningsih, H. Effendi, and Y. Wardiatno, ‘‘Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system,’’ Aquaculture, Aquarium, Conservation Legislation, vol. 8, no. 4, pp. 491–499, 2015.

[34] X. Li, J. Li, Y. Wang, L. Fu, Y. Fu, B. Li, and B. Jiao, ‘‘Aquaculture industry in China: Current state, challenges, and outlook,’’ Rev. Fisheries Sci., vol. 19, no. 3, pp. 187–200, 2011

[35] Gilbert Van Stappen, Khalid Salie, Henk Stander, Inoculating fish sludge from aquaponics with microbes to enhance mineralisation of phosphorus, Ghent University: 2019 – 2020

[36] Resources, N. Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants. J. World Aquac. Soc. 2008, 39, 510–520

[37] Graber, A.; Junge, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination 2009, 246, 147–156.

[38] Goddek, S.; Delaide, B.; Mankasingh, U.; Ragnarsdottir, K.V.; Jijakli, H.; Thorarinsdottir, R. Challenges of sus-tainable and commercial aquaponics. Sustainability 2015, 7, 4199–4224.

[39] Wenlong C., De La Fuente, L., Arias, C. R.,"Biofilm Formation by the Fish Pathogen Flavobacterium col-um-nare: Development and Parameters Affecting Surface Attachment", Applied and Environmental Micro-biolo-gy, Vol. 79, No. 18, 2013, DOI: 10.1128/AEM.01192-13

[40] N. M. A. Amri1, S. Suhaila1*, A. Yusoff2, N. S. A. M Taujuddin1, R. Hazli3, N. Ibrahim1, S. Z. M. Muji1, De-velopment of Indoor Aquaponic System with Monitoring Mechanism for Tilapia and Pak Choy, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Batu Pahat, 86400, MALAYSIA

[41] A. A. Steiner, ''Soilless culture,'' in Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst., no. 97. Bern, Switzerland: International Potash Insitute, 1968, pp. 324–341.

[42] B. Zhang, P. Luo, H. Pang, Y. Gao, Z. Zhang, and C. Li, ''Nitrogen pollutants removal characteristics in aquaponic system,'' Chin. J. Environ. Eng., vol. 12, no. 5, pp. 1501–1509, 2018. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004

[43] N. Savidov, ''Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta,'' Alberta Agricult., Food Rural Develop., Crop Diversification Centre South, Brooks, AB, Canada, Tech. Rep., 2004.

[44] https://www.bigdutchman.com/en/homepage/; (accessed on 1 July 2024)

[45] https://www.fancom.com/; (accessed on 1 July 2024)

[46] https://www.skov.com/en/home/; (accessed on 1 July 2024)

[47] https://www.lionkingfan.com/; (accessed on 2 July 2024)

[48] https://www.meier-brakenberg.de/en/; (accessed on 5 July 2024)

[49] https://www.dol-sensors.com/; (accessed on 7 July 2024)

[50] https://pentairaes.com (accessed on 3 August 2024)

[51] https://aquaponics.com (accessed on 1 August 2024)

[52] https://eheim.com (accessed on 10 August 2024)

[53] https://milwaukeeinstruments.com (accessed on 3 August 2024)

[54] www.agrowtek.com (accessed on 10 August 2024)

[55] Lee, C.; Wang, Y. Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics. Aquac. Eng. 2020, 90, 102067. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102067

[56] Khaoula, T.; Abdelouahid, R.A.; Ezzahoui, I.; Marzak, A. Architecture design of monitoring and controlling of IoT-based aquaponics system powered by solar energy. Procedia Comput. Sci. 2021, 191, 493–498. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.063

[57] Abd Al-Zahraa Naser, Baraa, Aajam Laith Saleem, Ali Hilal Ali, Salam Alabassi and Maher A.R. Sadiq Al-Baghdadi. (2019) "Design and construction of smart IoT-based aquaponics powered

by PV cells.” International Journal of Energy and Environment (IJEE), Volume 10, Issue 3, 2019, pp.127-134.

[58] Adrian K. Pasha; Edi Mulyana; Cecep Hidayat; Muhammad Ali Ramdhani; Opik T. Kurahman; M. Adhipradana, “System Design of Controlling and Monitoring on Aquaponic Based on Internet of Things”, in 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). https://doi:10.1109/icwt.2018.8527802 , IEEE.

[59] Goran D. Putnik, Luis Ferreira, Nuno Lopes, Zlata Putnik, “What is a Cyber-Physical System: Definitions and Models Spectrum” Polytechnic Institute of Cávado and Ave, Vila Frescaínha S. Martinho, Barcelos, Portugal, June 2019, doi: 10.5937/fmet1904663P

[60] E. A. Lee, “Cyber Physical Systems: Design Challenges,” 2008 11th IEEE Int. Symp. Object Component-Oriented Real-Time Distrib. Comput., pp. 363–369, 2008 DOI: 10.1109/ISORC.2008.25

[61] MQTT Version 5.0. Edited by Andrew Banks, Ed Briggs, Ken Borgendale, and Rahul Gupta. 07 March 2019. OASIS Standard. https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html

[62] Figueroa-Lorenzo, S.; Añorga, J.; Arrizabalaga, S. A Role-Based Access Control Model in Modbus SCADA Systems. A Centralized Model Approach. Sensors 19(20):4455 https://doi.org/10.3390/s19204455

[63] https://www.openhab.org/; (accessed on 3 June 2024)

[64] https://mosquitto.org/ (accessed on 7 March 2025)

[65] R. A. Light, "Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol," The Journal of Open Source Software, vol. 2, no. 13, May 2017, DOI: 10.21105/joss.00265

[66] https://www.influxdata.com/ (accessed on 7 March 2024)

[67] https://grafana.com/ (accessed on 7 March 2024)

[68] https://www.amanda.org/ (accessed on 6 March 2024)

[69] https://code.visualstudio.com/ (accessed on 11 March 2024)

[70] https://tasmota.github.io/docs/ (accessed on 12 March 2024)

[71] https://www.softblade.de/ (accessed on 12 March 2024)

[72] http://www.volison.com/ (accessed on 9 December 2023)

[73] https://www.analog.com/ (accessed on 14 March 2024)

[74] http://www.aosong.com/ (accessed on 15 March 2024)

[75] https://sensirion.com/ (accessed on 16 March 2024)

[76] https://www.winsen-sensor.com/ (accessed on 3 June 2024)

[77] https://senseair.com/ (accessed on 5 January 2024)

[78] http://www.klha.com/ (accessed on 9 February 2023)

[79] https://www.jxctiot.com/ (accessed on 9 December 2023)

[80] https://www.renkeer.com/ (accessed on 9 December 2023)

[81] https://www.wika.com/ (accessed on 3 June 2024)

[82] https://www.rohm.com/ (accessed on 5 June 2024)

[83] https://ams-osram.com/ (accessed on 5 January 2024)

[84] https://www.ysi.com/ (accessed on 3 January 2024)

[85] https://www.nnelectronic.com/ (accessed on 16 March 2024)

[86] Hristev, H., 2007. Natural resistance of animals. Agrarian University, Plovdiv, 128 p. (Bg)

[87] Наредба №.44 от 20 април 2006г. За Ветеринарномедицинските изисквания към животновъдните обекти. Обн. ДВ. бр.41 от 19 Май 2006г., изм. ДВ. бр.102 от 19 Декември 2006г., изм. ДВ. бр.40 от 18 Април 2008г., изм. ДВ. бр.48 от 23 Май 2008г., изм. ДВ. бр.90 от 17 Октомври 2008г., изм. ДВ. бр.50 от 2 Юли 2010г., изм. ДВ. бр.10 от 3 Февруари 2012г.

[88] Наредба № 14 от 3 Февруари 2006 Г. За минималните изисквания за защита и хуманно отношение при отглеждане на телета. В сила от 01.05.2006 г. Издадена от Министерството на земеделието и горите. Обн. ДВ. бр.17 от 24 Февруари 2006г., изм. ДВ. бр.6 от 19 Януари 2007г.

[89] Наредба № 13 от 30 декември 2003 Г. За защита на работещите от рискове, свързани с експозиция на химични агенти при работа. В сила от 31.01.2005 г. Издадена от министъра на труда и социалната политика и министъра на здравеопазването. Обн. ДВ. бр.8 от 30 Януари 2004г., изм. ДВ. бр.71 от 1 Септември 2006г., изм. ДВ. бр.67 от 17 Август 2007г., изм. ДВ. бр.2 от 6 Януари 2012г., изм. и доп. ДВ. бр.46 от 23 Юни 2015г., изм. и доп. ДВ. бр.73 от 4 Септември 2018г., изм. ДВ. бр.5 от 17 Януари 2020г.

[90] EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON CONTENT OF CARBON DIOXIDE IN BARNS Valerii Vtoryi, Sergei Vtoryi, Evgenia Lantsova, Vladislav Gordeev Federal State Budget Scientific Institution "Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production" IEEP, Saint Petersburg, Russia, p2, https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N080.pdf

[91] Macavoray, A.; Rashid,M.A.; Rahman, H.; Shahid, M.Q. On-Farm Water Use Efficiency: Impact of Sprinkler Cycle and Flow Rate to Cool Holstein Cows during Semi-Arid Summer. Sustainability 2023, 15, 3774. https://doi.org/10.3390/su15043774

[92] Asher, A.; Fialko, M.; Fares, F.; Moallem, U.; Yaacoby, S.; Gutman, R. The Effect of Short-Wavelength, White LED Illumination throughout the Night on the Milk Fatty Acid, Profile of High-Yielding Dairy Cows. Biology 2022, 11, 1799. https://doi.org/10.3390/biology11121799

[93] Ian Ohnstad, The Dairy Group Reviewed: Ian Ohnstad, May 2016, Published: 2012, National Animal Disease Information Service, United Kingdom (NADIS), https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/managing-heat-stress-in-dairy-cows/ (accessed on 15 February 2022)

[94] Santana, C. M., Gauger, P., Vetger, A., Magstadt, D., Kim, D. S., Shrestha, D., … Rumbeiha, W. K. (2021). Ambient hydrogen sulfide exposure increases the severity of influenza A virus infection in swine. Archives of Environmental & Occupational Health, 76(8), 526–538. https://doi.org/10.1080/19338244.2021.1896986

[95] Marszałek M. , Kowalski Z. , Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry - effect on the environment and methods of its reduction. September 2018, Ecological Chemistry and Engineering S 25(3):383-394, DOI: https://doi.org/10.1515/eces-2018-0026

[96] Oh B, Park J, Kim E, Seo S, Kim B, Oh SI. Alteration of growth performance and characterization of pathological lesions in long-term ammonia-exposed pigs. Ecotoxicol Environ Saf. 2024 Nov 15; https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117318

[97] S.E. Curtis et al., Atmospheric ammoniaaffects swine health, Illinois Research (1977)

[98] A.J. Scaillierez, S.E. van Nieuwamerongen - de Koning, I.J.M.M. Boumans, P.P.J. van der Tol, S.K. Schnabel, E.A.M. Bokkers, Effect of light intensity on behaviour, health and growth of growing-finishing pigs, Animal, Volume 18, Issue 3, 2024, https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101092

[99] Donald, J.O. Environmental Management in the Broiler House; Auburn University: Auburn, AL, USA, 2010.

[100] Mohammad, M.S.; Mardenli, O.; Altawash, A.S.A. Evaluation of the progeny test of some productive and reproductive traits of the black australorp chicken strain under conditions of semi-intensive housing. Plant Arch. 2020, 20, 341–346.

[101] Bist, R.B.; Subedi, S.; Chai, L.; Yang, X. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. J. Environ. Manag. 2023, 328, 116919. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919

[102] Olanrewaju, H.A.; Thaxton, J.P.; Dozier, W.A.; Purswell, J.; Roush, W.B.; Branton, S.L. A review of lighting programs for broiler production. Int. J. Poult. Sci. 2006, 5, 301–308. DOI: 10.3923/ijps.2006.301.308

[103] Mendes, A.S.; Paixão, S.J.; Restelatto, R.; Morello, G.M.; de Moura, D.J.; Possenti, J.C. Performance and preference of broiler chickens exposed to different light sources. J. Appl. Poult. Res. 2013, 22, 62–70. https://doi.org/10.3382/japr.2012-00580

[104] Farm Animal Welfare Council, Report on the Welfare of Broiler Chickens. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK (1992)

[105] Riddell, C.; Classen, H.L. Effects of increasing photoperiod length and anticoccidials on performance and health of roaster chickens. Avian Dis. 1992, 36, 491–498. DOI: 10.2307/1591739

[106] Morris, M.P. National survey of leg problems. Broiler Ind. 1993, 93, 20–24.

[107] Classen, H. L., Annett, C. B., Schwean-Lardner, K. V., Gonda, R., & Derow, D. (2004). 2004 SPRING MEETING OF THE WPSA UK BRANCH PAPERS: The effects of lighting programmes with twelve hours of darkness per day provided in one, six or twelve hour intervals on the productivity and health of broiler chickens. British Poultry Science, 45(sup1), S31–S32. https://doi.org/10.1080/00071660410001698137

[108] Gordon, S.H. Effects of day length and increasing day length programs on broiler welfare and performance. World's Poult. Sci. J.1994, 50, 269–282.

[109] Rozenboim, I., Robinzon, B., & Rosenstrauch, A. (1999). Effect of light source and regimen on growing broilers. British Poultry Science, 40(4), 452–457. https://doi.org/10.1080/00071669987197

[110] Renden, J.A.; Bilgili, S.F.; Lien, R.J.; Kincaid, S.A. Live performance and yields of broilers provided various lighting schedules. Poult. Sci. 1991, 70, 2055–2062. https://doi.org/10.3382/ps.0702055

[111] Leeson, S.; Caston, L.J.; Summers, J.D. Performance of layers given two-hour midnight lighting as growing pullets. J. Appl. Poult. Res. 2003, 12, 313–320. https://doi.org/10.1093/japr/12.3.313

[112] Kritensen, H.H.; Aerts, J.M.; Leroy, T.; Berckmans, D.; Wathes, C.M. Using light to control broiler chickens. Br. Poult. Sci. 2004, 45, S30–S31.

[113] Czarick, M.; Lacy, M.P.; Lott, B. Poultry Housing Tips, Recent Developments in Wind-Chill Charts; College of Agricultural and Environmental Science: Athens, GA, USA, 1999; Volume 11.

[114] Wind Chill Effect. What It Is and How to Calculate It. Available online: https://www.pericoli.com/en/Wind-chill-effect-What-it-is-and-how-to-calculate-it/ (accessed on 11 November 2022).

[115] Publisher—Avigen, Ross Broiler Management Handbook 2018. 2018. Available online: www.avigen.com (accessed on 23 November 2022).

[116] Crippa, M.; Guizzardi, D.; Muntean, M.; Schaaf, E.; Dentener, F.; van Aardenne, J.A.; Monni, S.; Doering, U.; Olivier JG, J.; Pagliari, V.; et al. Gridded emissions of air pollutants for the period 1970–2012. Earth Syst. Sci. Data Discuss. 2018, 10, 1987–2013. https://doi.org/10.5194/essd-2018-31

[117] Mihina, S., Kazimirova, V. & Copland T.A. Technology for farm animal husbandry. 2012. Nitra: Slovak Agri-cultural University

[118] Patterson, P.H. & Adrizal A. Management strategies to reduce air emissions: Em-phasis – dust and ammonia. 2005. Journal of Applied Poultry Research 14: 638−650. https://doi.org/10.1093/japr/14.3.638

[119] More, P.A.; Daniel, T.C.; Edwards, D.R. Reducing Phosphorus Runoff and Improving Poultry Production with Alum. Poult. Sci.1999, 78, 692–698. https://doi.org/10.1093/ps/78.5.692

[120] Hulzebosch, J. What affects the climate in poultry houses? World Poult. 2004, 20, 36–38.

[121] Daghir, N.J. Nutritional strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders. Lohmann Inf. 2008, 44, 6–15.

[122] Holik, V. Management of laying hens to minimize heat stress. Lohmann Inf. 2009, 44, 16–29.

[123] Ketelaars, E.H. Lector Notes on Chicken Farming in Warm Climate Zones, 1st ed.; Agromisa Foundation: Wageningen, The Netherlands, 2005; 128p, ISBN 90 5285 006.

[124] Daghir, N.J. (Ed.) Poultry Production in Hot Climates, 2nd ed.; CAB International: Wallingford, UK, 2008; 387p. DOI: 10.1079/9781845932589.0000

[125] Bhadauria, P.; Kataria, J.M.; Majumdar, S.; Bhanja, S.K.; Kolluri, G. Impact of hot climate on poultry production system—A review. J. Poult. Sci. Technol. 2014, 2, 56–63.

[126] Bruce, J.; Drysdale, E.M. Trans-shell transmission. In Microbiology of the Avian Egg; Board, R.G., Fuller, R., Eds.; Chapman and Hall: London, UK, 1994; pp. 63–91.

[127] Kaukonen, E., Norring, M., & Valros, A. (2017). Evaluating the effects of bedding materials and elevated platforms on contact dermatitis and plumage cleanliness of commercial broilers and on litter condition in broiler houses. British Poultry Science, 58(5), 480–489. https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1340588

[128] Huang, Y.; Yoo, J.S.; Kim, H.J.; Wang, Y.; Chen, Y.J.; Cho, J.H. Effect of bedding types and different nutrient densities on growthperformance, visceral organ weight, and blood characteristics in broiler chickens. J. Appl. Poult. Res. 2009, 18, 1–7. https://doi.org/10.3382/japr.2007-00069

[129] Donald, J.; Campbell, J.; Simpson, G.; Macklin, K. Poultry Engineering, Economics & Management, National Poultry Technology CenterProduced in Cooperation with the U.S. Poultry & Egg and Alabama Poultry & Egg Associations Issue No 67; Auburn University: Auburn, AL, USA, 2010.

[130] Sheikh, B. Hydroponics: Key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. Pak. J. Agric. Agril. Eng. Vet. Sci. 2006, 22, 53–57.

[131] Sallenave, R. Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems; Circular 680, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, New Mexico State University: Las Cruces, NM, USA, 2016.

[132] Thorarinsdottir, R. Aquaponics Guidelines; Haskolaprent: Reykjavik, Iceland, August 2015; ISBN: 978-9935-9283-1-3. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4975.6880.

[133] Palm, H.W.; Bissa, K.; Knaus, U. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: Fish and plant growth. Aquac. Aquar. Conserv. Legis. Int. J. Bioflux Soc. 2014, 7, 3.

[134] Wongkiew, S.; Hu, Z.; Chandran, K.; Lee, J.W.; Khanal, S.K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. Aquac. Eng. 2017, 76, 9–19. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004.

[135] Timmons, M.B.; Ebeling, J.M.; Wheaton, F.W.; Summerfelt, S.T.; Vinci, B.J. Recirculating Aquaculture Systems, 2nd ed.; Cayuga Aqua Ventures: New York, NY, USA, 2002.

[136] Tyson, R.V.; Simonne, E.H.; White, J.M.; Lamb, E.M. Reconciling water parameters impacting nitrification in aquaponics: The pH levels. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 2004, 117, 79–83.

[137] Wedemeyer, G.A. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems; Chapman & Hall: New York, NY, USA, 1996.

[138] Luo, S.; Wu, B.; Xiong, X.; Wang, J. Short-term toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to early life stages of the rare minnow (Gobiocypris rarus). Environ. Toxicol. Chem. 2016, 35, 1422–1427.

[139] Jensen, F.B. Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. Comp. Biochem. Physiol. A 2003, 135, 9–24.

[140] Williams, E.M.; Eddy, F.B. Chloride uptake in freshwater teleosts and its relationship to nitrite uptake and toxicity. J. Comp. Physiol. B 1986, 156, 867–872.

[141] Kroupova, H.; Machova, J.; Svobodova, Z. Nitrite influence on fish: A review. Vet. Med. 2005, 11, 461–471.

[142] Espinal, C.A.; Matulić, D. Recirculating Aquaculture Technologies. In Aquaponics Food Production Systems; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019; pp. 35–76.

[143] Zhou, L.; Boyd, C.E. An assessment of total ammonia nitrogen concentration in Alabama (USA) ictalurid catfish ponds and the possible risk of ammonia toxicity. In Aquaculture and Aquatic Sciences; School of Fisheries, Auburn University: Auburn, AL, USA, 2015.

[144] Zhou, L.; Boyd, C.E. Ammonia Nitrogen Management in Aquaculture Ponds. In Aquaculture and Aquatic Sciences; School of Fisheries, Auburn University: Auburn, AL, USA, 2015.

[145] Calculation of Unionized Ammonia in Fresh Water Storet Parameter Code 00619, FLORIDA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION CHEMISTRY LABORATORY METHODS MANUAL, TALLAHASSEE; Revision 2. Thesis; Florida DEP Laboratory: Tallahassee, FL, USA, 2001.

[146] Emerson, K.; Russo, R.C.; Lund, R.E.; Thurston, R.V. Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and temperature. J. Fish. Res. Board Can. 1975, 32, 2379–2383.

[147] Francis-Floyd, R.; Watson, C.; Petty, D.; Pouder, D.B. Ammonia in Aquatic Systems; University of Florida: Gainesville, FL, USA, June, 2022. https://doi.org/10.32473/edis-fa031-2022

[148] Purwono, A.R.; Muhammad, H.; Mochamad, A.B. Ammonia-Nitrogen ($NH_3$-N) and Ammonium-Nitrogen ($NH_4^+$-N) Equilibrium on The Process of Removing Nitrogen by Using Tubular Plastic Media. J. Mater. Environ. Sci. 2017, 8, 4915–4922.

[149] Yogev, U.; Sowers, K.R.; Mozes, N.; Gross, A. Nitrogen and carbon balance in a novel near-zero water exchange saline recirculating aquaculture system. Aquaculture 2017, 467, 118–126.

[150] Boyd, C.E. Overview of aquaculture feeds: Global impacts of ingredient use. In Feed and Feeding Practices in Aquaculture, 1st ed.; Davis, D.A., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge/London, UK, 2015; pp. 3–25.

[151] Neori, A.; Krom, M.D.; van Rijn, J. Biogeochemical processes in intensive zero-effluent marine fish culture with recirculating aerobic and anaerobic biofilters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2007, 349, 235–247.

[152] Evans, D.H.; Piermarini, M.P.; Choe, K.P. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. Physiol. Rev. 2005, 85, 97–177.

[153] Masser, M.P.; James Rakocy, J.; Thomas, M.; Losordo, T.M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations; SRAC Publication No. 452; SRAC Publication: Stoneville, MS, USA, 1999.

[154] Thangam, Y. Histopathological studies on nitrite toxicity to freshwater fish, Cirrhinus mrigala. IOSR JESTFT 2014, 8, 2319–2402.

[155] Buzby, K.M.; Lin, L.S. Scaling aquaponics systems: Balancing plant uptake with fish output. Aquac. Eng. 2014, 63, 39–44.

[156] Yang, T.; Kim, H.-J. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. Water 2020, 12, 1259. https://doi.org/10.3390/w12051259.

[157] Kasozi, N.; Abraham, B.; Kaiser, H.; Wilhelmi, B. The complex microbiome in aquaponics: Significance of the bacterial ecosystem. Ann. Microbiol. 2021, 71, 1. https://doi.org/10.1186/s13213-020-01613-5.

[158] Keesman, K.J.; Körner, O.; Wagner, K.; Urban, J.; Karimanzira, D. Thomas Rauschenbach, Simon Goddek, Aquaponics Systems Modelling, In Aquaponics Food Production Systems; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019; pp. 267–299.

[159] Hu, Z.; Lee, J.W.; Chandran, K.; Kim, S.; Brotto, A.C.; Khanal, S.K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. Bioresour. Technol. 2015, 188, 92–98.

[160] Mori, J.; Smith, R. Transmission of waterborne fish and plant pathogens in aquaponics and their control with physical disinfection and filtration: A systematized review. Aquaculture 2019, 504, 380–395.

[161] Schwibbert, K.; Richter, A.M.; Krüger, J.; Bonse, J. Laser TexturedSurfaces: A Way to Control Biofilm Formation? Laser Photon - Rev. 2024, 18, 2300753. https://doi.org/10.1002/lpor.202300753

[162] Ge, X.; Ren, C.; Ding, Y.; Chen, G.; Lu, X.; Wang, K.; Ren, F.; Yang, M.; Wang, Z.; Li, J.; et al. Micro/nano-structured TiO2 surface with dual-functional antibacterial effects for biomedical applications. Bioact. Mater. 2019, 4, 346–357. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.10.006

[163] Li, X.; Du, S.; Ma, C.; Shi, T.; Qi, W.; Yang, H. Nano-SiO2 based anti-corrosion superhydrophobic coating on Al alloy with mechanical stability, anti-pollution and self-cleaning properties. Ceram. Int. 2024, 50, 9469–9478.

[164] Roalkvam, I.; Drønen, K.; Dahle, H.; Wergeland, H. Microbial Communities in a Flow-Through Fish Farm for Lumpfish (Cyclopterus lumpus L.) During Healthy Rearing Conditions. Front. Microbiol. 2019, 10, 1594. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01594

[165] Bondad-Reantaso, M.G.; MacKinnon, B.; Karunasagar, I.; Fridman, S.; Alday-Sanz, V.; Brun, E.; Le Groumellec, M.; Li, A.; Surachetpong, W.; Karunasagar, I.; et al. Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. Rev. Aquac. 2023, 15, 1421–1451.

[166] Dimitrov, K.; Chivarov, N.; Chivarov, S.; Paunova-Krasteva, T.; Filipov, E.; Daskalova, A. Concept of a Cyber–Physical System for Control of a Self-Cleaning Aquaponic Unit. AgriEngineering 2024, 6, 3843-3874. https://doi.org/10.3390/agriengineering6040219

[167] Masłon, A.; Tomaszek, J.A. A Study on the Use of the BioBall® as a Biofilm Carrier in a Sequencing Batch Reactor. Bioresour. Technol. 2015, 196, 577–585. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.020

# Декларация за оригиналност

Декларирам, че дисертацията съдържа оригинални резултати, получени, при проведени от мен, научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител.

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са коректно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящият дисертационен труд не е прилаган за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис: ……..

/маг. инж. Кристиян Димитров/

# Публикации по дисертационната тема

**Научни публикации в издания реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни (Web of Science, Scopus).**

- „ Algorithms for Cost Oriented Cyber Physical System (COCPS) for intelligent control of animal husbandry farms“, Stefan Chivarov, Kristian Dimitrov, Nayden Chivarov; IFAC-PapersOnLine Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 31-36, https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.044

- „Cost Oriented Cyber-Physical System algorithm for pig farm microclimate and air quality control “, Kristian Dimitrov, Stefan Chivarov, Nayden Chivarov; IFAC-PapersOnLine Volume 55, Issue 39, 2022, Pages 336-341, https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.047

- „Algorithm for Autonomous Management of a Poultry Farm by a Cyber-Physical System“ Special Issue Intelligent Animal Husbandry; Nayden Chivarov, Stefan Chivarov, Kristian Dimitrov; Animals 2023, 13, 3252. https://doi.org/10.3390/ani13203252

- “Concept of a Cyber–Physical System for Control of a Self-Cleaning Aquaponic Unit” Kristiyan Dimitrov, Nayden Chivarov, Stefan Chivarov, Tsvetelina Paunova-Krasteva, Emil Filipov and Albena Daskalova, AgriEngineering 2024, 6(4), 3843-3874; https://doi.org/10.3390/agriengineering6040219

**Научна публикация в не реферирани списания с научно рецензиране.**

- „Кибер физична система за управление на микроклимата в животновъдни ферми“ Кристиян Димитров, Автоматизация на дискретното производство, Брой 6 юли 2024 г. Издателство на ТУ-София, ISSN: 2682-9584, https://mf.tu-sofia.bg/mntkadp/includes/archive/2024.pdf

**Цитати.**

- Vatn, K.J.D., Kavallieratos, G., Katsikas, S. (2024). Threat Analysis in Dairy Farming 4.0. In: Katsikas, S., et al. Computer Security. ESORICS 2023 International Workshops. ESORICS 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14398. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54204-6_3

- Ibrahimov, B.; Stapleton, L.; Technology, International Stability and Culture (TECIS) – TC9-5 Exploring the Alignment of Control and Automation Systems with the United

Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs). IFAC-PapersOnLine Volume 58, Issue 3, 2024, Pages 176-181, https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.146

- Tan, C.; Yu, Z. A Low-Carbon Emission Production Scheduling Algorithm of Intelligent Manufacturing based on Energy and Environmental Efficiency. Procedia Computer Science 2024, 247, 1215. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.146

- Kistanova, E.; Yotov, S.; Zaimova, D. Intelligent Animal Husbandry: Present and Future. Animals 2024, 14, 1645. https://doi.org/10.3390/ani14111645

- Montalvo, A.; Camacho, O.; Chavez, D. Cyber-Physical Systems for Smart Farming: A Systematic Review. Sustainability 2025, 17, 6393. https://doi.org/10.3390/su17146393