НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

Робота рекомендована до захисту:

рішення кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства
(протокол №, від 2025 р.)
Завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства,
д.т.н., професор,
_____ Лопатько К.Г.
"___" _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА

на тему:
«РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОПОННИХ СИСТЕМ»

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Гарант освітньої програми: д.т.н., професор _____ / В. М. Булгаков /
науковий ступінь та вчене звання — підпис

Керівник дипломного проекту бакалавра: д.т.н., професор _____ / К. Г. Лопатько /
науковий ступінь та вчене звання — підпис

Виконав:_____ /Я. О. Бачинський /
підпис

Київ 2025

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ…….. 6
ВСТУП…….. 7
1 ГІДРОПОННЕ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН…….. 7
1.1 Огляд існуючих типів гідропонних систем……..... 8
1.1.1 Гнітова система.…… 10
1.1.2 Система крапельного зрошення…….. 12
1.1.3 Система живильного шару……... 15
1.1.4 Система періодичного затоплення…… 17
1.1.5 Система плаваючої платформи……... 19
1.1.6 Гібридна система……..
2 ТЕХНОЛОГІЧНО—КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА. РОЗРОБКА 21
ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ…… 21
2.1 Напрямок розробки…… 21
2.2 Концепція системи…….. 24
2.3 Опис гідропонної системи…….. 24
2.3.1 Стелажна конструкція…… 29
2.3.2 Площа вирощуванн…….. 36
2.3.3 Світлодіодне освітлення……... 42
2.3.4 Система подачі живильного розчину…… 49
2.3.5 Зливна система…… 51
2.3.6 Вентиляція…… 53
2.3.7 Система електроживлення та автоматизації…… 58
2.4 Загальний огляд створеної системи…….. 59
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. ВИРОБНИЧІ МАТЕРІАЛЬНІ ВИТРАТИ... 61
ВИСНОВКИ……... 62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….

РЕФЕРАТ

Проект викладено на 63 стор., 41 рис., 1 табл., додатки, використано 15 джерел літератури.

Об’єкт проектування – Гідропонна системи живильного шару.

Мета роботи— Розробка гідропонної системи для вирощування рослин.

Дипломна робота присвячена дослідженню та розробці гідропонної системи для ефективного безгрунтового вирощування рослин.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи гідропоніки, переваги та недоліки різних їх видів (система гнотового поливу, крапельного зрошення, живильного шару (NFT), періодичного затоплення (Flood & Drain), плаваючої платформи, гібридні системи), а також проведено аналіз сучасних технологій вирощування рослин без грунту.

У другому розділі здійснено вибір та обрунтування оптимального виду гідропонної системи, а саме— система поверхневого шару. У відповідносні до цього, викладено опис процесу розробки та виготовлення власного зразка обладнання, розрахунки. Також представлений результат створеної гідропонної системи та її загальні параметри виробничої потужності.

У третьому розділі наведено виробничі витрати, що дають можливість первинно оцінити рентабельність проекту.

ВСТУП

Використання природних та екологічних методів вирощування продовольства стає дедалі популярнішим, оскільки люди все більше прагнуть до здорового та збалансованого харчування. Одним із прогресивних напрямків у цій галузі, що має значний потенціал, є впровадження гідропонних систем для вирощування зелені.

На сьогоднішній день український ринок практично не пропонує готових рішень обладнання для гідропонного вирощування. Це обмежує можливості фермерів та підприємців, які бажають скористатися перевагами даної технології.

Новизна дослідження полягає в пропозиції модульної конструкції гідропонних систем, яка здатна стати ефективним рішенням для організації виробництва в аграрному секторі. Запропонована модульність забезпечує легке транспортування та швидке складання компонентів системи.

Модульний дизайн не тільки підвищує ефективність виробництва, але й напряму впливає на економічні показники та конкурентоспроможність підприємства. Зменшення витрат на виробництво, ремонт та обслуговування, а також збільшення продуктивності – це ключові фактори, які дозволяють компаніям отримувати більший прибуток та інвестувати у власний розвиток.

Практичне значення роботи полягає не лише в теоретичних викладках, а і в можливості реального впровадження запропонованих рішень на практиці. Наприклад, застосування цих сучасних світових тенденцій у сільському господарстві України допоможе модернізувати виробничі процеси, підвищити їх продуктивність і забезпечити краще використання ресурсів. Це відкриває нові перспективи для розвитку аграрної галузі в країні.

Дослідження передбачає детальний аналіз типів гідропонних систем, розробку технічної документації на модульні установки, а також оцінку матеріальних витрат виготовленого обладнання. Очікуваним результатом є

функціональний зразок установки з вирощування мікрозелені, що може бути використаний у якості тестового продукту для оцінки реакції ринку та для подальшого проведення досліджень з його фінансової ефективності.

1 ГІДРОПОННЕ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

1.1 Огляд існуючих типів гідропонних систем

Сільське господарство є одним із основних занять людини з давніх часів, і навіть сьогодні неминуче ручне втручання у землеробство. Теплиці є невід'ємною складовою садівництва та сільського господарства в світі, оскільки їх можна використовувати для контрольованого вирощування рослин, відповідно отримання оптимальної якості продукції. Оскільки застосування теплиць стає все більш масштабним, вимоги до технологічності стають більш високими. Все більше тепличні заміські комплекси замінюються на міські гідропонні.

Актуальність заміни традиційного тепличного господарства на гідропонні ферми в межах міста стає дедалі очевиднішою, враховуючи стрімке зростання населення планети до 9 мільярдів осіб. Згідно з прогнозами, до 2050 року близько 85% жителів світу будуть проживати в містах. Це ставить перед нами серйозні виклики у забезпеченні продовольчої безпеки та сталого розвитку.

Гідропонні ферми пропонують ефективне рішення для вирощування рослин у міських умовах. Вони використовують значно менше води та земельних ресурсів у порівнянні з традиційним землеробством. Завдяки технологіям, які дозволяють контролювати всі умови вирощування, такі як температура, вологість і освітлення, можна отримувати високоякісні продукти протягом всього року.

В загальному визначенні, термін «гідропоніка» можна описати так: метод культавації рослин у безгрунтових середовищах штучного типу. При гідропонному вирощуванні рослини живляться розчином, в який занурене їх коріння. Вони можуть культивуватися в рідкому поживному середовищі або на

інертному субстраті, який полегшує дихання коренів, що вимагає відносно частого або постійного зрошення поживним розчином.

Концепція безґрунтового вирощування рослин — не нова розробка. Понад століття біологи з різних регіонів світу використовували поживні розчини для лабораторних досліджень. Серед першопрохідців у цій галузі були такі вчені, як Еліс і Суоней в 1938 році, Тернер і Генрі в 1939 році та Геріке і Лорі в 1940 році. Ці дослідники першими визнали потенціал промислової гідропоніки та розпочали масштабну роботу в цій галузі.

З роками технологія розвивалася, що призвело до створення різних конфігурацій гідропонних систем. Вони відрізняються способами подачі повітря, води та мінеральних поживних речовин до кореневої системи рослин. Залежно від конструкційних особливостей виділяють наступні системи :

- Гнітові системи
- Системи крапельного зрошення
- Система живильного шару (NFT)
- Системи періодичного затоплення (F&D)
- Система плаваючої платформи (DWC)
- Гібридні системи

1.1.1 Гнітова система

Гнітова система один з найпростіших і доступних методів вирощування рослин без грунту. Він особливо добре підходить для початківців і тих, хто хоче вирощувати рослини вдома або в невеликих кількостях.

Принцип роботи:

Принцип роботи цієї системи, призначеної для пасивного зрошення рослин, простий і ефективний. У нижній частині системи знаходиться спеціальний резервуар, заповнений живильним розчином. Він містить усі

необхідні мінерали та елементи, які підтримують ріст і розвиток рослин. Із горщика з рослиною опускають спеціальний шнур або тканину, яка виконує функцію гніту. Він працює за принципом капілярності, поглинаючи поживний розчин з резервуара і доставляючи його безпосередньо до коренів рослини. Цей механізм гарантує, що рослини постійно отримують достатню кількість вологи та необхідних поживних речовин, мінімізуючи ризик осушення. У горщику, зазвичай наповненому інертним субстратом, розвивається коренева система рослини. Інертні субстрати, такі як перліт або керамзит, створюють оптимальні умови для аерації коренів, ефективно утримуючи вологу.

Рисунок 1.1 Схема гнітової системи

Переваги гнітової системи:

- Простота: Система не вимагає складного обладнання та спеціальних знань.
- Економія: Відсутність електричного устаткування
- Чистота: Відсутність постійного контакту коріння з поживним розчином знижує ризик розвитку хвороб.
- Компактність: Систему можна легко розмістити в невеликому просторі.

Недоліки гнітової системи:

- Обмеження за розміром рослин: Для великих рослин система може бути недостатньо ефективною.
- Схильність до засолення: Якщо не контролювати рівень pH і мінералі-зацію поживного розчину, в системі та субстраті може накопичуватися сіль, що негативно вплине на ріст рослин.
- Застоювання розчину: Створюються сприятиві умови для розмноження патогенних мікроорганізмів.
- Повільне відновлення рівня поживного розчину: Якщо рослина споживає багато води, рівень поживного розчину в резервуарі може знизитися, і рослині може не вистачати вологи.

1.1.2 Система крапельного зрошення

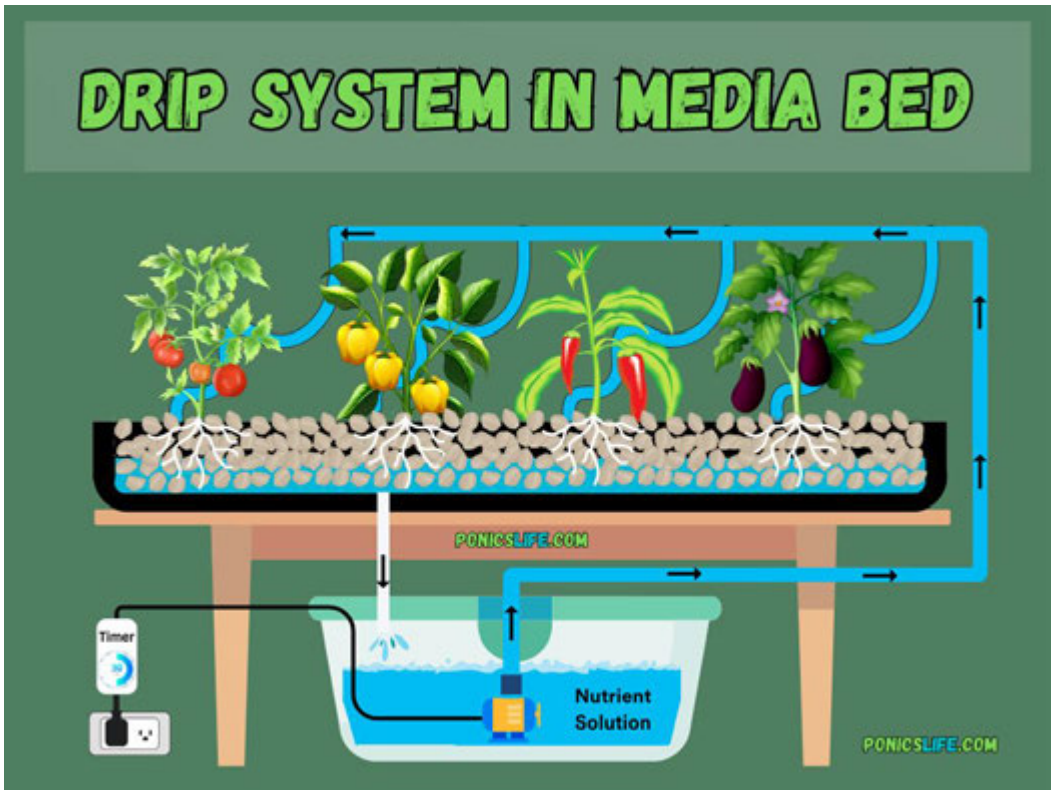
Класична та відома майже кожному— система крапельного зрошення. Активно застосовується на фермерських господарствах, як ефективний елемент автоматизованого внесення живильного розчину чи води безпосередньо до коріння рослини. Цей метод дозволяє уникнути випаровувань, скорочує необхідність частих поливів. Система крапельного зрошення також знайшла своє місце і в галузі гідропоніки. Головною відмінністю від класичного методу використання є внесення живильного розчину в грунтозамінне середовище, безпосередньо до коріння рослини.

Конструкційно, система крапельного зрошення складається з таких елементів: резервуар для розчину, насос, аератор (опціонально), крапельна стрічка, фітинги, крани, крапельниці, фільтри, ємність для рослин, систем автоматизації.

Принцип роботи системи:

З резервуара, обладнаного аератором для насичення розчину киснем (опціонально), рідина за допомогою насоса поступово рухається по водопровідній системі. Перш ніж потрапити до рослини, вона проходить через фільтр для очищення. Очищений розчин рівномірно розподіляється по системі

труб. На певних ділянках цих труб розташовані невеликі крапельниці, що дозволяють доставляти розчин по краплях безпосередньо до коренів рослин. Швидкість подачі крапель можна регулювати відповідно до потреб. Коріння залишаються в постійному контакті з поживним розчином, поглинаючи все необхідне для свого росту. Вся надлишкова вода стікає назад до резервуара, що забезпечує відведення рідини, яку не в змозі утримати субстрат. Цикл поливу



відбувається знову, як тільки спрацює запрограмований таймер.

Рисунок 1.2 Схема системи крапельного зрошення

Переваги крапельної системи:

- Доступність: Компоненти системи доступні на ринку у великій кількості та у широкому ціновому діапазоні.
- Простота: Процес складання системи є інтуїтивно зрозумілим завдяки модульній конструкції.
- Ремонтопридатність: Легка заміна пошкоджених елементів, завдяки стандартизації компонентів системи.

- Гнучкість: Систему легко адаптувати під різні розміри вирощувальних площ.
- Менша ймовірність розвитку кореневих гнилей: Оскільки коріння завжди сухе між поливами, ризик розвитку грибкових захворювань значно знижується. Це особливо важливо для рослин, схильних до кореневих гнилей.
- Можливість автоматизації: В систему легко додаються супутні пристрої для мінімізації ручної праці.

Недоліки крапельної системи:

- Забивання крапельниць: Частинки субстрату, солі або водорості можуть заби-ти отвори крапельниць, що призведе до нерівномірного розподілу поживних речовин і, як наслідок, до нерівномірного росту рослин.
- Нерівномірний розподіл живильного розчину: Якщо система не налаштована правильно або є проблеми з тиском, деякі рослини можуть отримувати більше вологи, ніж інші, що може призвести до перезволоження або пересихання.
- Необхідність постійного моніторингу: Для безперебійної роботи системи необхідно регулярно перевіряти стан кожної крапельниці, тиск у системі та наявність пошкоджень. Також важливо контролювати рівень кислотності розчину, або обладнання, яке відповідає за його автоматичне калібрування.
- Необхідність стерилізації: Для запобігання утворення та розвитку шкідливих мікроорганізмів, бактерій та грибків, систему потрібно періодично очищати розчином пероксиду водню.

1.1.3 Система живильного шару

Система живильного шару (Nutrient film technique), далі NFT— це гідропонна система, при якій коріння рослин омивається тонким шаром розчину, що постійно циркулює у спеціальному нахиленому жолобі, також відомому як канал. Ця характеристика NFT забезпечує розгалужену кореневу систему, що формується в нижній частині каналу, можливістю підтримувати

оптимальний рівень вологи, а також сприяє ефективному постачанню кисню до коріння рослини. Коректно спроектована система NFT ґрунтується на правильному нахилі каналу, швидкості потоку та його довжині.

Система живильного шару складається з декількох конструкційни частин. Першою частиною є канал, під нахилом 0,3% –2%. Жолоби мають ширину від 40 до 150мм та довжину від 1 до 20м. Залежно від розмірів жолобів використовуються різні типи матеріалів: поліетилен, полівінілхлорид (ПВХ), поліпропілен. Для задання потрібного нахилу, канали встановлюють на похилу зварну металеву конструкцію. Для утримання рослин у вищеописаних жолобах використовують спеціальні сітчаті горщики. Система подачі живильного розчину складається з резервуару для рідини, фільтрів грубої очистки, водопровідних труб та фітингових з'єднань, мікротрубок з суміжньою фурнітурою. До складу зливної конструкції входять водостічні канали та труби з відповідними фітинговими з'єднаннями. У випадку, коли резервуар з живильним розчином розташований вище за точку зливу системи, для забезпечення постійної циркуляції рідини використовується забірний насос. Він відкачує розчин з нижньої точки системи і подає його назад у резервуар.

Принцип роботи системи:

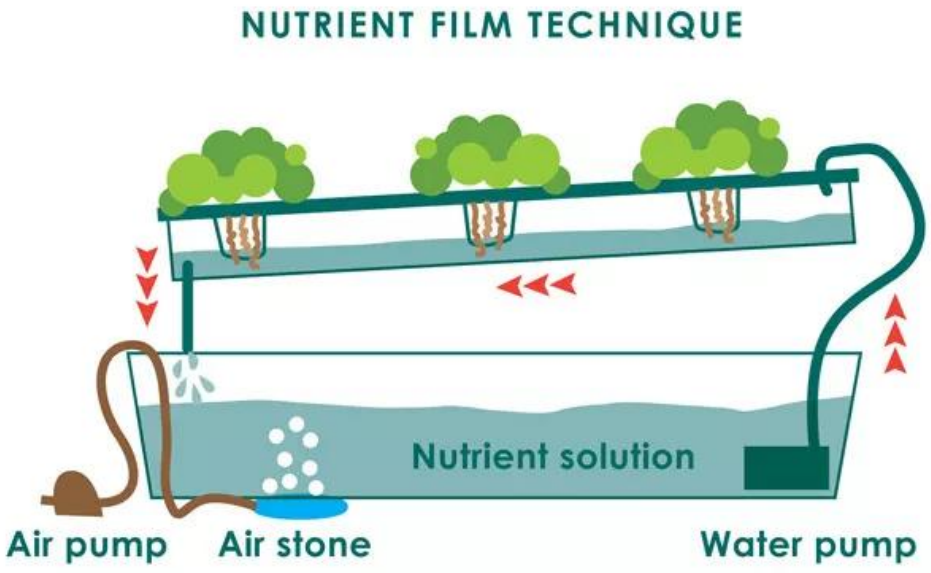


Рисунок 1.3 Схема системи живильного шару

У резервуарі постійно підтримується оптимальний рівень води. Автоматизована система регулярно корегує рівень кислотності рідини та додає до неї необхідні добрива, забезпечуючи рослини поживними речовинами. Поживний розчин, що безперервно циркулює завдяки насосу, спочатку проходить через фільтри для очищення. Далі, він розподіляється по шлангах, які під'єднуються вздовж певних ділянок труб і потрапляє у спеціальні жолоби. У жолобах розчин тонким шаром омиває коріння рослин, забезпечуючи їх вологою та живильними речовинами. Після цього, вже використаний розчин збирається в нижній частині жолобів і зливається назад у резервуар, де процес повторюється.

Переваги системи живильного шару:

- Компактність: Систему можна розширювати вертикально, що дозволяє економити простір.
- Доступність: Для створення жолобів часто використовують каналізаційні ПВХ труби та кабель-канали. Вони доступні на ринку у великій кількості та у різних розмірах.
- Надійність: Система не передбачає використання великої кількості елементів, що суттєво зменшує кількість неполадок
- Оптимальне засвоєння поживних речовин: Коріння рослин постійно контактують з повітрям, що забезпечує їхнє активне дихання та краще засвоєння поживних елементів.
- Знижений ризик розвитку хвороб: Відсутність субстрату унеможливлює утворення кореневих гнилей, зменшує ризик розмноження шкідників та збудників хвороб.

Недоліки системи живильного шару:

- Обмежений вибір культур: Не всі рослини добре ростуть в системі живильного шару. Деякі культури мають велику кореневу систему або потребують особливих умов вирощування.

- Нерівномірний розподіл поживних речовин: Рослини, коріння яких знаходиться останніми в каналі, отримують менше поживних речовин, оскільки попередні рослини на малій швидкості потоку забирають із розчину більшу частину поживних речовин, майже нічого не залишаючи останнім.
- Необхідність частого очищення: Накопичення відкладень на внутрішній поверхні жолобів та у фільтрах зменшує пропускну здатність системи, ускладнює циркуляцію живильного розчину. Також створюється сприятливе середовище для розмноження бактерій, грибків та інших патогенів, що можуть призвести до розвитку хвороб рослин.

1.1.4 Система періодичного затоплення

Система періодичного затоплення (Flood & Drain), далі F&D - система, що використовує метод припливу та відпливу для гідропонного вирощування рослин. Ця технологія широко використовується як в домашніх умовах, так і в промисловому виробництві завдяки наявності вичерпної кількості інформації для самостійного виготовлення та обслуговування системи, а також чітких інструкцій з приготування поживних розчинів для різних видів рослин. Великий об’єм наукової літератури вказує на прогресивність даного методу в гідропонній галузі, що свідчить про постійний розвиток та вдосконалення цієї технології.

Конструкційно, дана система є такою ж простою, як попередньо описані. Металевий каркас є основою, на якій розміщуються компоненти. У якості ємності зберігання розчину часто використовують таз для невеликий установок, або резервуар для промислових систем. Зазвичай такі ємності виготовляється з пластику для забезпечення довговічності та хімічної стійкості. Їх об’єм безпосередньо залежить від кількості вирощуваних рослин. Всередині емності знаходиться аеруючий камінь, який під’єднаний до аератора для збагачення рідини киснем та запобігання застоювання води. Наступний важливий компонент – насос. Підбирається він відповідно до параметрів системи. Для керування його роботою використовується таймер. Цей пристрій встановлює

необхідну частоту і тривалість циклів затоплення та осушення коріння рослин. Поживний розчин від насоса до рослин подається за системою труб і фітингів. Ці елементи зазвичай виготовляються з пластику, стійкого до впливу хімічних речовин. Для оптимального розподілення тиску по системі використовують крани. Безпосередньо рослини розміщуються в пластикових піддонах, кожен з них оснащений зливною горловиною та переливним клапаном, що представляють єдину збірну конструкцію. Для відведення надлишкової води з піддонів, використовуються каналіаційні труби та відповідні фітинги.

Принцип роботи системи:

За встановленим графіком, система автоматизації активує насос, який перекачує поживний розчин з резервуара по системі трубопроводів. Попередньо рідина насичується киснем за допомогою аератора. Живильний розчин подається у спеціальні піддони, заповнюючи їх до рівня переливного клапана. Після досягнення цієї відмітки, надлишки самотоком відводяться у зливну систему. Рослини, що знаходяться в даних піддонах, протягом періоду затоплення активно поглинають поживні речовини і воду. Після закінчення встановленого часу, система автоматизації відключає насос, і залишки робочого розчину стікають в резервуар через зливну горловину. Між періодами затоплення коріння рослин забезпечуються достатньою кількістю кисню. Цей цикл затоплення та осушення повторюється з певною періодичністю,

створюючи оптимальні умови для росту рослин.

Рисунок 1.4 Схема системи живильного шару

Переваги системи періодичного затоплення:

- Універсальність: за допомогою даної системи можна вирощувати великий спектр різноманітних рослин.
- Легкість усунення неполадок: Більшість проблем, які можуть виникнути в таких системах, легко виявити та усунути.
- Компактність: систему можна розширювати у вертикальному напрямку, тим самим економлячи місце.
- Імітація природніх циклів: Ця система імітує природний цикл дощу та посухи, що дозволяє корінням отримувати достатню кількість кисню і поживних речовин.

Недоліки системи періодичного затоплення:

- Ризик засолення субстрату: При кожному циклі поливу в субстраті залишаються солі з поживного розчину. З часом їх концентрація може збільшуватися, що призводить до засолення.
- Ризик перезволоження субстрату: при збої автоматизації, або неправильно виставлених циклах затоплення, субстрат може ввібрати в себе надлишкову кількість вологи, що призведе до утворення кореневих гнилей.
- Низька доступність: В даній системі переважно використовуються спеціальні піддони, що продаються лише в спеціалізованих магазинах. Заміна їх на альтернативні компоненти є лише трохи дешевшою та часто призводить до технологічного ускладнення.

1.1.5 Система плаваючої платформи

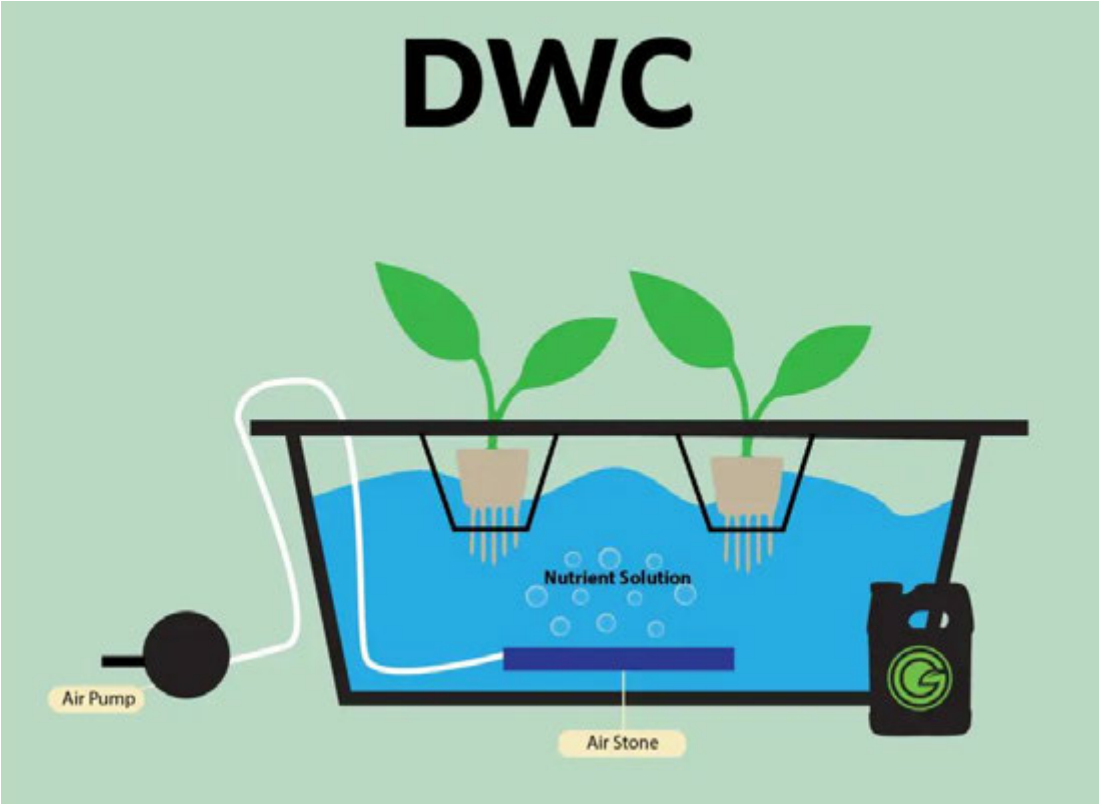
Система плаваючої платформи (Deep Water Culture), далі DWC, є популярним типом гідропоніки для вирощування рослин у промислових масштабах. Вона представлена у вигляді великих прямокутних басейнів, наповнених живильним розчином, в яких плавають плоти з рослинами.

Дана система має мінімальну кількість конструкційних елементів. У сучасному виконанні основна частина, а саме — басейн, складається з металевої конструкції та закріпленої на неї цупкої пвх плівки, що формує

заглибину. Висота даної конструкції в середньому 1м. В даних басейнах на постійній основі працюють аератори для запобігання застоювання розчину. У якості плаваючих платформ використовують пінопласт чи пінополістирол. В них легко зробити отвори для розміщення та фіксації рослин. Також, до складу системи входить потужний насос, він використовується для закачування та відкачування рідини.

Принцип роботи системи:

За допомогою потужного насосу басейн наповнюється водою, що пройшла попередню очитку. До води додаються комплексні добрива у потрібній кількості та за допомогою аераторів поступово перемішуються у всьому об’ємі рідини. По завершенню даного процесу починається висадка рослин. В отвори плаваючих плотів поміщаються саджанці, попередньо зафіксовані в сітчатих горщиках. Басейн поступово заповнюють потрібною кількістю платформ. Коріння рослин вільно звисають у поживний розчин, отримуючи з нього насичену киснем воду і всі необхідні поживні речовини.



Після декількох урожаїв воду зливають і процес починається знову.

Рисунок 1.5 Схема системи плаваючої платформи

Переваги системи плаваючих платформ :

- Простота: Відсутня велика кількість компонентів, що спрощує моніторинг системи.

- Знижений ризик розвитку хвороб: Відсутність субстрату унеможливлює утворення кореневих гнилей, зменшує ризик розмноження шкідників та збудників хвороб.
- Можливість вирощування великих рослин: Система підходить для вирощування як листових культур, так і коренеплодів.
- Легкість обслуговування: Система потребує лише періодичного очищення басейнів та плаваючих платформ.

Недоліки системи плаваючих платформ:

- Необхідність постійної аерації: Для забезпечення достатнього рівня кисню в розчині потрібна потужна аераційна система.
- Ризик затоплення виробничої площадки: При непередбачуваних пошкодженнях басейну можливий витік великого об’єму води, що може нанести збитків.
- Швидке поширення інфекцій: Зараження однієї рослини може швидко призвести до епідемії в усій системі.

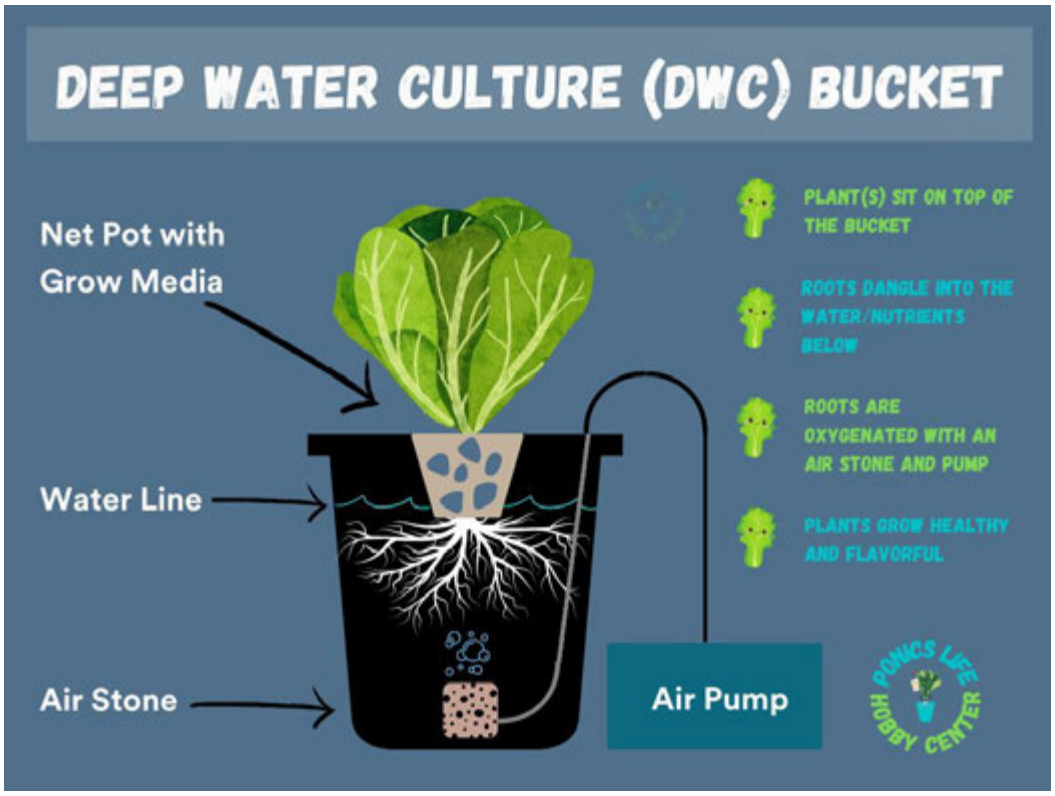
1.1.6 Гібридна система

Гібридна система – це інноваційний підхід, що об’єднує в собі різні методи, концепції та конструктивні елементи гідропонніки. Це дозволяє створити більш ефективне та адаптоване під конкретні цілі обладнання для безгрунтового вирощування рослин.

Принцип побудови таких систем полягає у виборі головної та другорядної складової. За основу береться одна концепція, елемент чи метод та доповнюється іншою для зміни бажаних параметрів. До них можна віднести збільшення мобільності, покращення експлуатаційних характеристик, зменшення ризику захворювань рослин, підвищення продуктивності.

Як приклад такого новаторського підходу, можна розглянути аквапот систему. Основою концепції є класична технологія DWC з внесеними конструктивними змінами для збільшення мобільності. У якості басейну

використовується пластикове відро, а плаваючий плот замінений звичайною кришкою. Принцип роботи системи залишився сталим. Єдиною відмінністю є використання субстрату, переважно керамзиту, що поміщають у сітчатий



горщик.

Рисунок 1.5 Схема системи плаваючої платформи

З додаткових переваг можна відмітити доступність, збереження простоти конструкції, можливість масштабування на малих об’ємах, стійкість до нетривалих відключень електроенергії, підходить для рослин з великою кореневою системою.

До недоліків можна віднести необхідність регулярного моніторингу, схильність до засолення поживного розчину, висока залежність від аерації розчину.

2 ТЕХНОЛОГІЧНО—КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА: РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОПОННОЇ СИСТЕМИ

2.1 Напрямок розробки

Аналіз наукової літератури засвідчив значну різноманітність існуючих гідропонних систем, що відображає постійний пошук оптимальних рішень для різних умов та масштабів вирощування рослин. Зважаючи на це, можна підкреслити актуальність розширення варіацій даного типу обладнання для збільшення доступності технології, отже — і розширенню сільськогосподарського сектору.

Одним з актуальних та малорозвинених напрямків в Україні є вирощування мікрозелені. Даний вид продукції представлений у вигляді паростків різних культурних рослин.

Цей сектор є доволі затребуваним, проте страждає від ряду проблем, пов’язаних здебільшого з технічною складовою. До найпоширеніших можна віднести недостатню кількість готових рішень обладнання на ринку, складність масштабування виробництва. Ці два фактори доволі суттєво впливають на темпи розвитку галузі.

З огляду на це, даний розділ присвячено розробці ефективного спеціалізованого обладнання, що відповідає потребам сучасного виробництва з вирощування мікрозелені.

2.2 Концепція системи

Концепція є первинним задумом, який задає напрямок усьому процесу проєктування. Цей задум не виникає на порожньому місці, він базується на глибокому розумінні проблеми, аналізі доступної інформації та врахуванні різноманітних факторів. Отже, для формування ефективної та функціональної концепції гідропонної установки, необхідно проаналізувати умови, в яких відбувається процес сучасної культивації мікрозелені, підібрати найбільш оптимальний тип системи та встановити залежності, які визначатимуть її ключові параметри та характеристики.

<u>Умови вирощування:</u>

1. Освітлення відіграє ключову роль у фотосинтезі та розвитку рослин. Для вирощування мікрозелені оптимальним є використання світлодіодного освітлення. Тривалість світлового дня має становити від 12 до 16 годин, забезпечуючи достатню кількість світла для ефективного фотосинтезу.
2. Полив є критично важливим фактором для вирощування мікрозелені, забезпечуючи гідратацію та транспортування поживних речовин. Режим поливу визначається типом субстрату та умовами навколишнього середовища. Основна мета – підтримувати оптимальну вологість субстрату, уникаючи як пересихання, так і надмірного зволоження.
3. Для вирощування мікрозелені застосовують широкий спектр субстратів, зокрема кокосовий субстрат, торф, мінеральну вату, лляні килимки, або ж вдаються до безсубстратного методу. Вибір відповідного матеріалу зумовлюється видом мікрозелені та особистими вподобаннями.
4. Оптимальна температура для вирощування мікрозелені знаходиться в діапазоні від 18 до 24 градусів Цельсія. Важливо підтримувати стабільність даного параметру, уникаючи різких коливань. Відносна вологість повітря повинна становити 60-70 %, що сприяє нормальному розвитку рослин та запобігає їх пересиханню.
5. Для розміщення контейнерів з мікрозеленню часто використовують стелажні конструкції. Стелажі дозволяють ефективно використовувати простір та забезпечують зручний доступ до рослин для догляду та збору врожаю.

Хоч дані умови мають лише поверхневий характер, проте їх достатньо для визначення функцій, що має виконувати гідропонна установка, а саме: забезпечувати рослини світлом у потрібній кількості та за певним графіком, нормовано зволожувати коріння та надавати йому необхідні поживні речовини, підтримувати ефективну циркуляцію повітря, оптимально розміщувати контейнери, здійснювати автоматичне виконання процесів.

Даний підхід дозволяє структурувати конструктивні елементи за функціональним призначенням. Умовно їх можна поділити на сім груп: стелажна

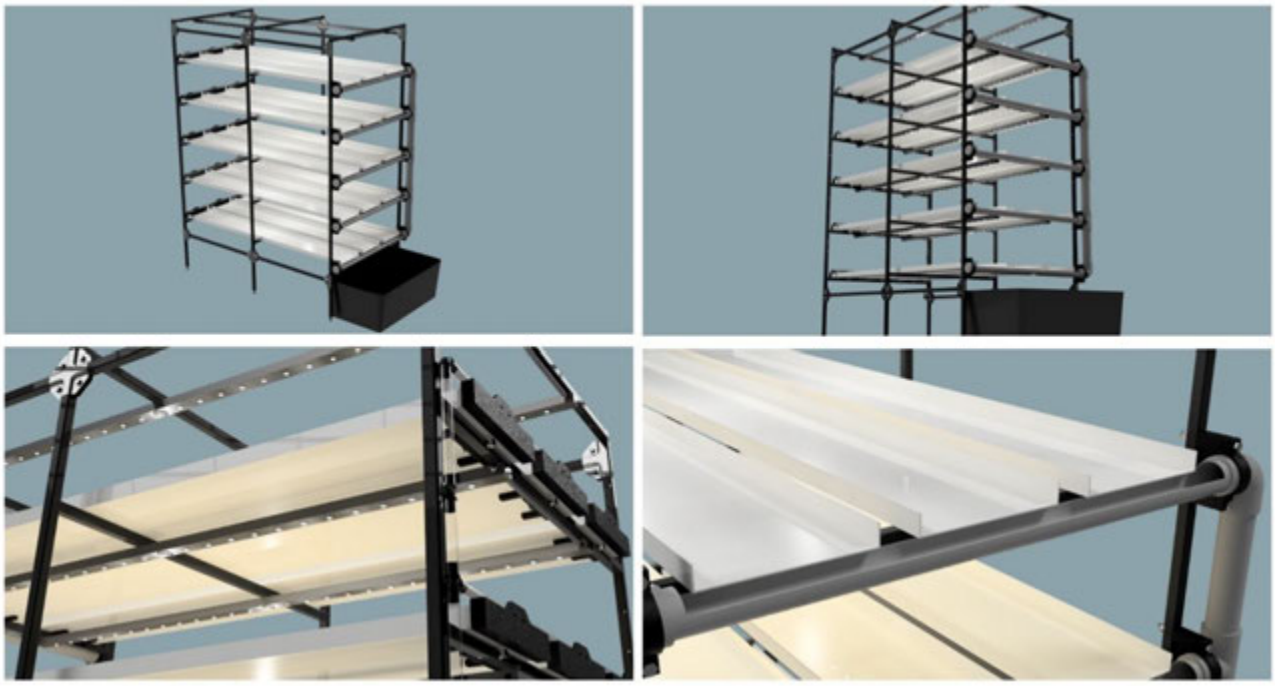
конструкція, освітлення, система подачі живильного розчину, зливна система, площа вирощування, вентиляція, система автоматизації та електроживлення.

Проте для отримання чіткого образу майбутньої конструкції потрібно визначити тип гідропонної системи, що буде в основі установки. Варто врахувати, що даний вибір напряму залежить від потреб кінцевого споживача, тобто виробництва. За рахунок отриманння актуальних даних, безпосередньо від підприємств, можна виділити наступні характеристики необхідного їм обладнання: стійке до корозії, зручне в експлуатації, швидкозбірне, мобільне, надійне, легке в ремонті, не потребує частого обслуговування. За допомогою перерахованих пунктів, стає можливим визначити гідропонну систему, що буде максимально задовільняти всі потреби.

Проаналізувавши переваги та недоліки кожної з них, було прийнято наступне рішення — обрати систему живильного шару. Даний вибір обумовлений можливістю адаптації системи під конкретну задачу, а саме— вирощування мікрозелені. Варто зазначити, що даний тип гідропонного обладнання має відносно невелику кількість елементів, матеріали доступні на ринку в достатній кількості та за відносно невисокою вартістю. Перераховані позитивні технічні аспекти доповнюються ефективністю вирощування, адже система живильного шару надає підвищений доступ кисню до коренів, що прискорює ріст.

Для реалізації обраного типу системи, сформовано наступну концепцію модульної гідропонної установки. Конструкція передбачає швидкий монтаж та демонтаж, також ремонт стає простим, часові затрати на його проведення— мінімальні. Стелажна основа виконана у вигляді трьох рам, з'єднаних між собою, утворюючи п'ять ярусів для оптимального розміщення рослин. На кожному ярусі розташовані поздовжні канали, обладнані заглушками та кріпленнями. Над каналами розміщуються світлодіодні модулі для забезпечення необхідного освітлення. Система зливу складається з жолобів круглого перерізу, що з'єднуються між собою та спрямовують рідину до резервуару. Поруч з резервуаром встановлено аератор для забезпечення

насичення живильного розчину киснем. Рідина подається за допомогою насоса через фільтр та систему трубопроводу з регулюючими кранами. За рахунок отворів на певних ділянках труб забезпечується доставка розчину до початку каналів. Вентилятори, встановлені на кожному ярусі, активно циркулюють повітря для підтримання сталого мікроклімату. Блок автоматизації керує всіма



системами: насосом, аератором, вентиляторами та освітленням.

Рисунок 2.1 Візуалізація концепції гідропонної системи для вирощування мікрозелені

2.3 Опис гідропонної системи

2.3.1 Стелажна конструкція

Використання стелажних конструкцій в гідропонних системах є звичною практикою. Вони є надзвичайно важливими, адже дозволяють максимально ефективно використовувати простір. Тобто, вертикальний дизайн гідропонної системи збільшує кількість рослин, що можна виростити на одиниці площі.

Для реалізації вищеописаних позитивних аспектів була виготовлена металева конструкція з габаритними розмірами 144х84х200см (ДхШхВ). В основі знаходяться три рами, сполучені між собою за допомогою восьми перекладин довжиною 69см та кріплень типу «Краб-система». Кожна рамка має по дві регулювальні опори. В зібраному вигляді стелажна конструкція формує п’ять полиць 144х80см (ДхШ). Вздовж горизонтальних складових кожного ярусу першої та третьої рами знаходяться три наскрізні отвори діаметром 9мм. Вони призначенні для болтового з’єднання каналів. Також, третя рама має додаткові наскрізні отвори вздовж вертикальної складової, що використо-вуються для монтажу кріплень зливних жолобів.

Рисунок 2.2 Стелажна конструкція

Розробка даної стелажної конструкції передбачала правильний підбір металевої профільної труби, матеріалу з якого вона виготовлена. Найбільш оптимальним вибором для реалізації поставленої задачі була сталева труба 20х20х1мм марки AISI304.

Рішення, щодо використання даного матеріалу обумовлюється оптимальним хімічним складом, доступною вартістю і відмінними експлуатаційними якостями. Висока механічна міцність, стійкість до дії хімічно активних сполук, корозії і температурних перепадів AISI304 описують бажані характеристики стелажної конструкції.

Профільна труба підібрана з метою забезпечення значного запасу міцності конструкції. Для якісної оцінки прийнятого рішення був проведенний розрахунок звареної металевої рами на міцність. Він надає уявлення про те, чи витримує конструкція необхідні навантаження, без порушення функціональності всієї установки.

Розрахунок:

1. Будуємо умовне зображення рами та відображаємо сили, що на неї діють. Показуємо напрямок осі Y. Оскільки головною умовою є забезпечення металевої конструкції значним запасом міцності, числові значення сили взяті в 3 рази більші, аніж дійсні.
2. Визначаємо внутрішні сили на кожній ділянці (d1-d6). N—внутрішні сили.

d1 — $N_{y1}= F_1= 18$ Н

d2 — $N_{y2}= F_1+F_2= 18+118= 136$ Н

d3 — $N_{y3}= F_1+F_2+F_3= 18+118+118= 254$ Н

d4 — $N_{y4}= F_1+F_2+F_3+F_4= 18+118+118+118= 372$ Н

d5 — $N_{y5}= F_1+F_2+F_3+F_4+F_5= 18+118+118+118+118= 490$ Н

d6 — $N_{y6}= F_1+F_2+F_3+F_4+F_5+F_6= 18+118+118+118+118+100= 590$ Н

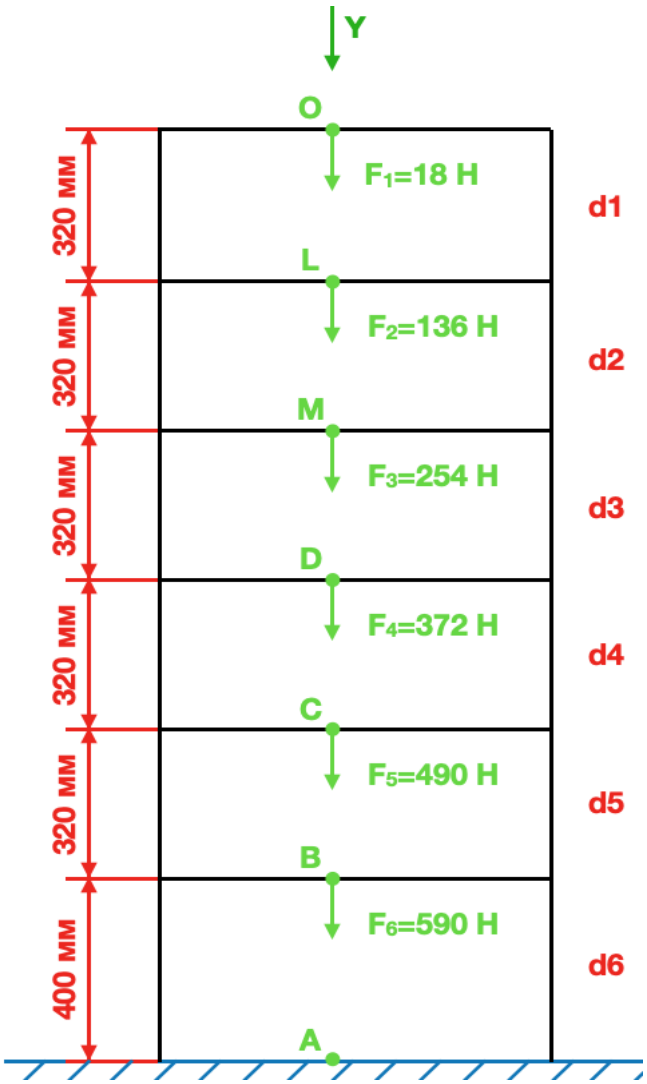


Рисунок 2.3 Схематичне зображення рами з діючими на неї силами

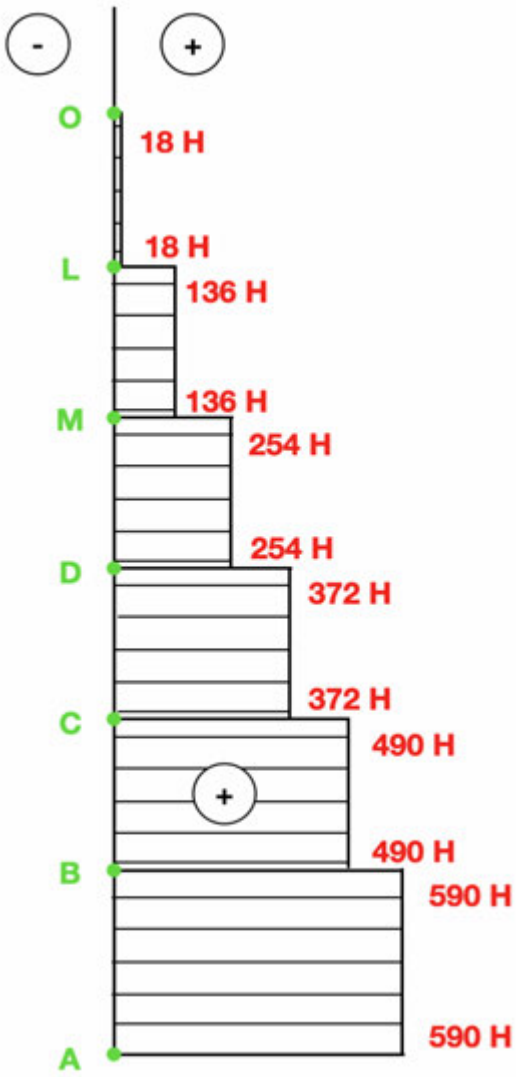


Рисунок 2.4 Епюра внутрішніх сил

3. Визначаємо площу трубчатого перерізу.

$$A = S_2 - S_1 = (a_2 \cdot b_2) - (a_1 \cdot b_1) = (20 \cdot 20) - (18 \cdot 18) = 76мм^2$$

4. Визначаємо напруження на кожній ділянці стержня.

$$\sigma_1 = \frac{N_{y1}}{A} = \frac{18}{76} = 0.24МПа$$

$$\sigma_2 = \frac{N_{y2}}{A} = \frac{136}{76} = 1.79МПа$$

$$\sigma_3 = \frac{N_{y3}}{A} = \frac{254}{76} = 3.34МПа$$

$$\sigma_4 = \frac{N_{y4}}{A} = \frac{372}{76} = 4.90МПа$$

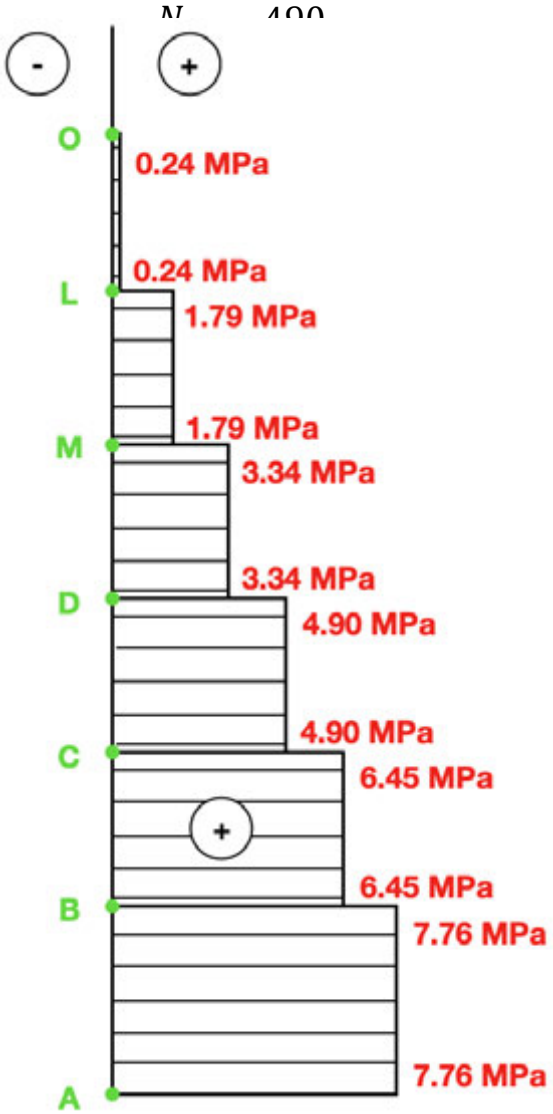


Рисунок 2.5 Епюра нормальних напружень

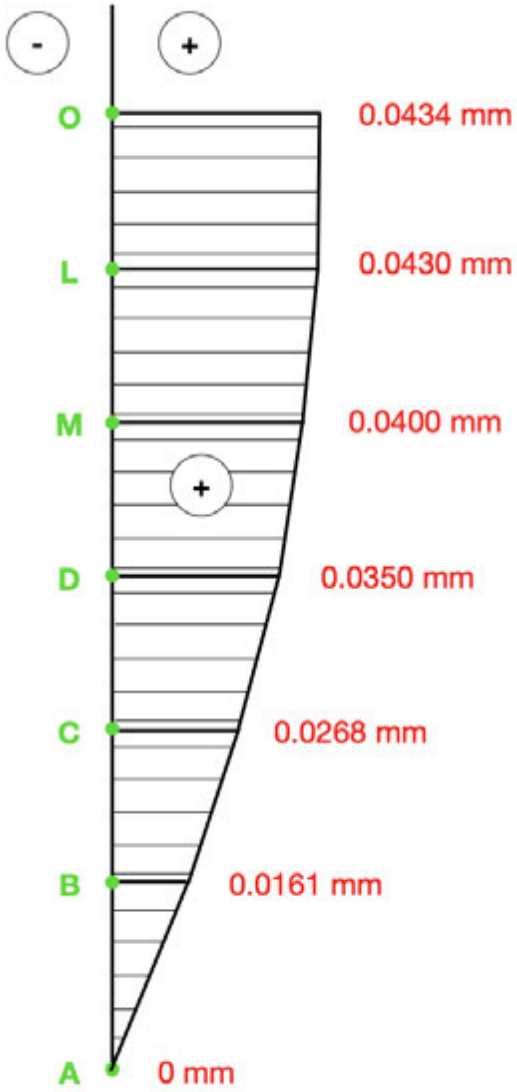


Рисунок 2.6 Епюра зміщення Δl

5. Визначаємо переміщення Δl [мм] на кожній ділянці, починаючи із нижньої частини. (E= 193000 МПа, модуль пружності для сталі AISI304)

$$\Delta l_A = 0 МПа$$

$$\Delta l_B = \frac{\delta_6 \cdot l_6}{E} + \Delta l_A = \frac{7.76 \cdot 400}{193000} = 0.0161 мм$$

$$\Delta l_C = \frac{\delta_5 \cdot l_5}{E} + \Delta l_B = \frac{6.45 \cdot 320}{193000} + 0.0161 = 0.0268 мм$$

$$\Delta l_D = \frac{\delta_4 \cdot l_4}{E} + \Delta l_C = \frac{4.90 \cdot 320}{193000} + 0.0268 = 0.0350 мм$$

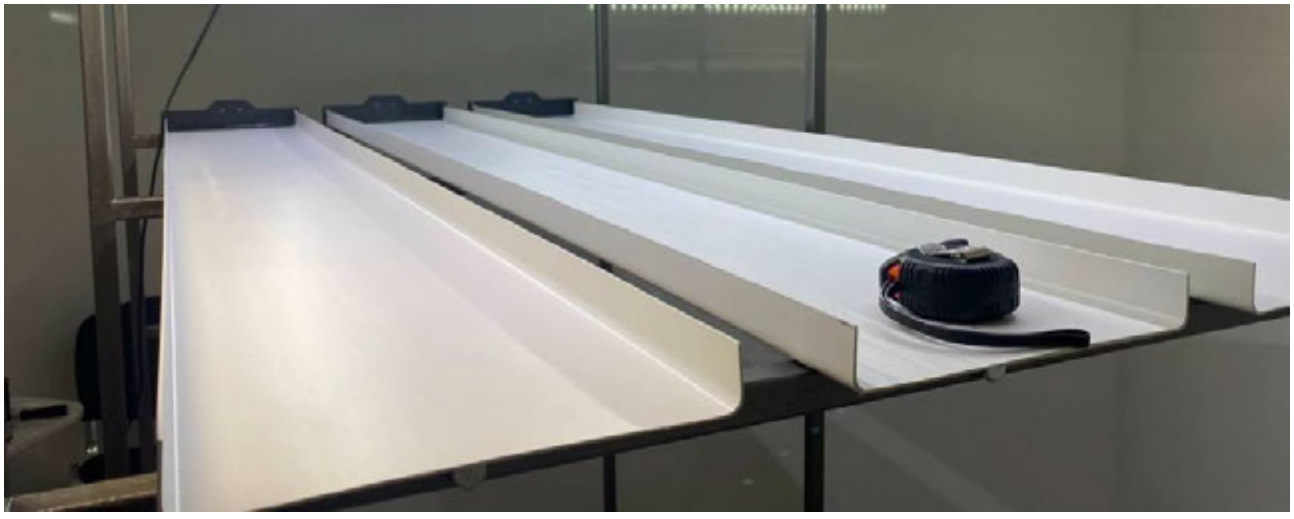
$$\Delta l_M = \frac{\delta_3 \cdot l_3}{E} + \Delta l_D = \frac{3.34 \cdot 320}{193000} + 0.0350 = 0.0400 мм$$

$$\Delta l_L = \frac{\delta_2 \cdot l_2}{E} + \Delta l_M = \frac{1.79 \cdot 320}{193000} + 0.0400 = 0.0430 мм$$

$$\Delta l_O = \frac{\delta_1 \cdot l_1}{E} + \Delta l_L = \frac{0.24 \cdot 320}{193000} + 0.0430 = 0.0434 мм$$

2.3.2 Площа вирощування

Ефективність промислового гідропонного вирощування мікрозелені значною мірою залежить від коректної організації площ вирощування. Елементами системи живильного шару, що використовуються в розробленій установці для виконання вказаної задачі є канали. Проте їх застосування в класичному виконанні є неможливим за рахунок розміщення мікрозелені у відносно великих лотках прямокутної форми, отже необхідні певні доо-



працювання.

Рисунок 2.7 Канали

Для виготовлення каналів використано вентиляційні ПВХ труби розміром 204х60 мм та довжиною 150 см. Їх було розпилено вздовж меншої сторони, в результаті отримано П-подібні жолоби з перерізом 204х30 мм. Вибір даних параметрів обумовлений розміром лотків для мікрозелені (195х115х35 мм) та необхідністю забезпечення достатнього простору для їх розміщення. Зазначені розміри каналу дозволяють розмістити лоток з невеликим зазором, що сприяє вільній циркуляції повітря та поживного розчину навколо нього. Загальна кількість одиниць рослинної продукції, що можна розмістити в одному жолобі довжиною 150 см складає 12 штук.

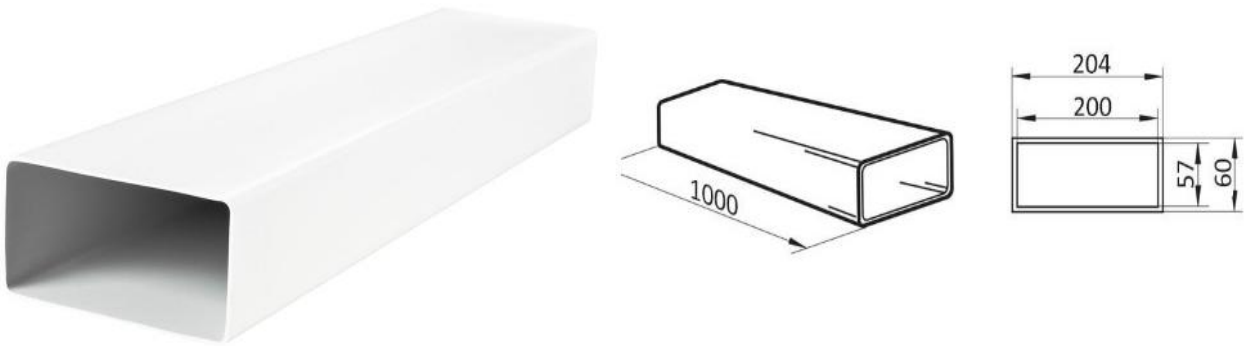


Рисунок 2.8 Вентиляційна труба

Полівінілхлорид (ПВХ) був обраний як матеріал для виготовлення каналів через кілька ключових факторів. Цей полімер характеризується хімічною інертністю, що запобігає небажаним реакціям з живильним розчином і забезпечує стабільність його компонентного складу. ПВХ також має високу механічну міцність і стійкість до зовнішніх факторів, таких як температура, вологість та ультрафіолетове випромінювання, що гарантує тривалий термін служби системи. Крім того, він легко піддається обробці (шляхом різання, свердління тощо) і дії клеїв, що спрощує процес виготовлення. Іншим

важливим фактором є економічна доступність ПВХ, що робить його привабливим варіантом для використання в гідропонних системах різного масштабу.

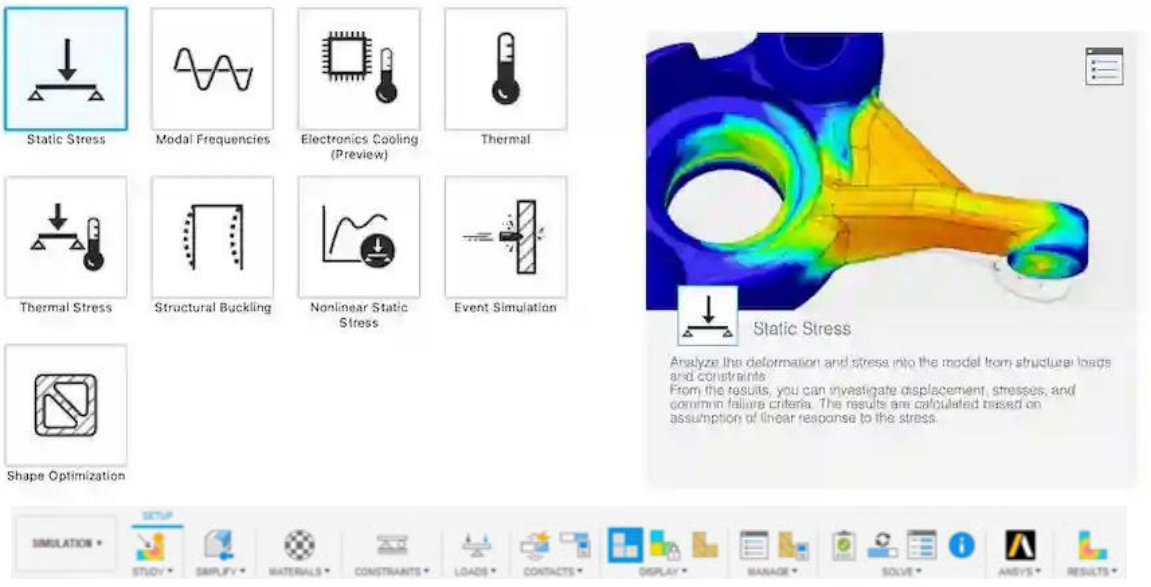
Для запобігання витіканню води з початку канала, були спроектовані заглушки. Елементами фіксації каналів до стелажної конструкції є спеціальні болтові кріплення, що розміщуються з двох сторін каналу. Виготовляються ці компоненти шляхом 3D-Друку з матеріалу PETG. Його властивості відповідають вищеописаній стійкості ПВХ до агресивних середовищ та впливу зовнішніх факторів, отже так само гарантують тривалий термін служби.

Рисунок 2.9 Заглушки та кріплення каналів

Ефективним рішенням для фіксації надрукованих деталей до каналу є поліуретановий клей. Він запезпечує міцне з’єднання двох видів полімерних

матеріалів, а саме — PETG та PVC. Вибір даного клею обумовлений еластичністю та стійкістю до вологи, температурних перепадів, ультрафіолетового випромінювання та хімічних речовин. Також варто зазначити, що поліуретанові сполучні матеріали не виділяють шкідливих речовин при використанні, отже є відносно безпечними.

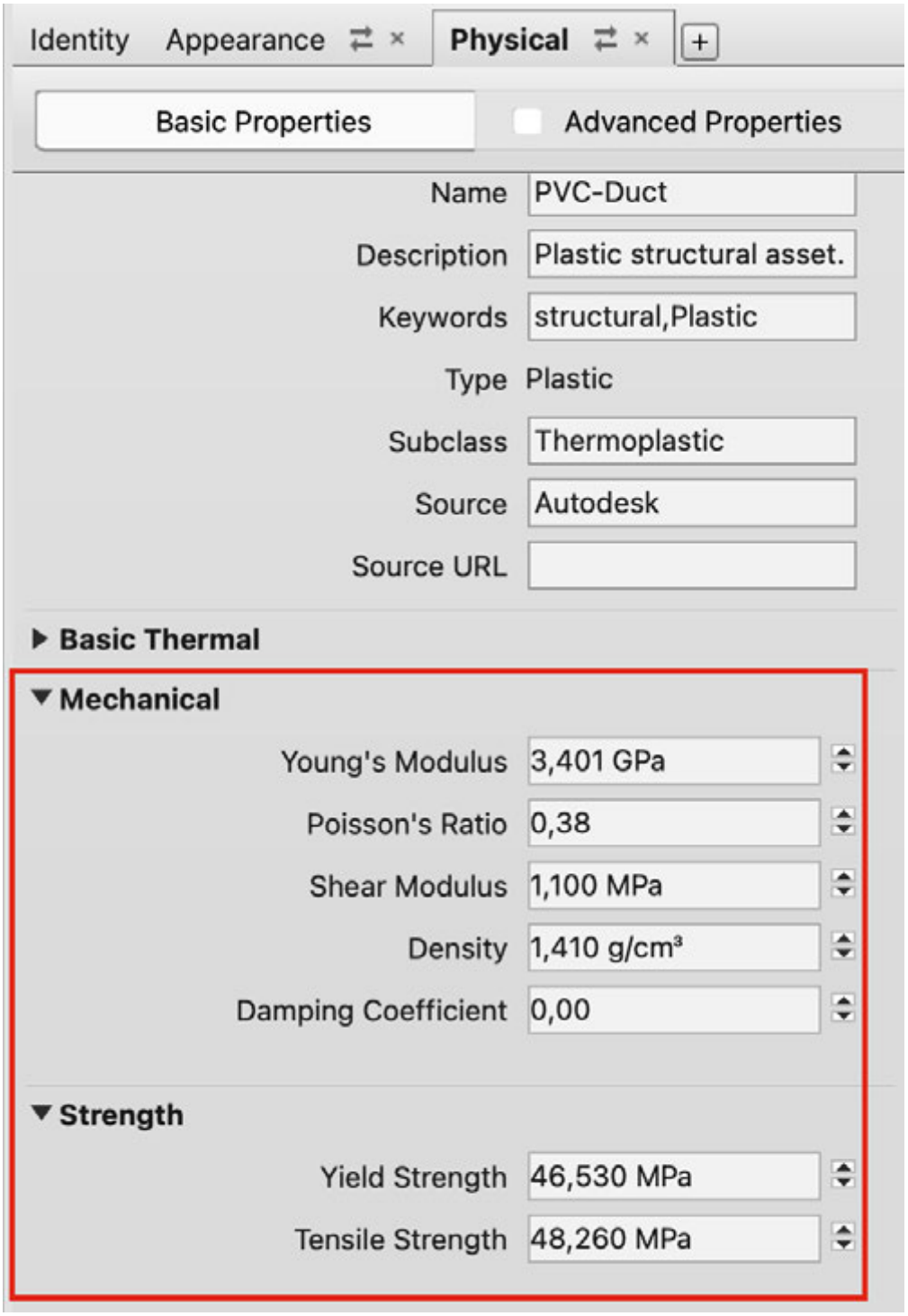
Для перевірки каналів на механічну стійкість використовувалося програмне забезпечення Fusion 360. Даний САПР інструмент має багато корисних доповнень для всебічної роботи з просторовими об’єктами. Одним з них є Autodesk Fusion Simulation Extension. Дане розширення є набором типів досліджень моделювання, які допомагають оцінити, як поводитиме себе об’єкт симуляції при різних умовах. У випадку каналів, буде проводитись аналіз на статичні навантаження. Зонами цікавості, що досліджувались, були напруження, зміщення та коефіцієнт безпеки. Важливість даного аналізу полягає в розумінні, чи підходять виготовлені канали для використання в гідропонній



установці.

Рисунок 2.10 Панель інструментів Autodesk Fusion Simulation Extension

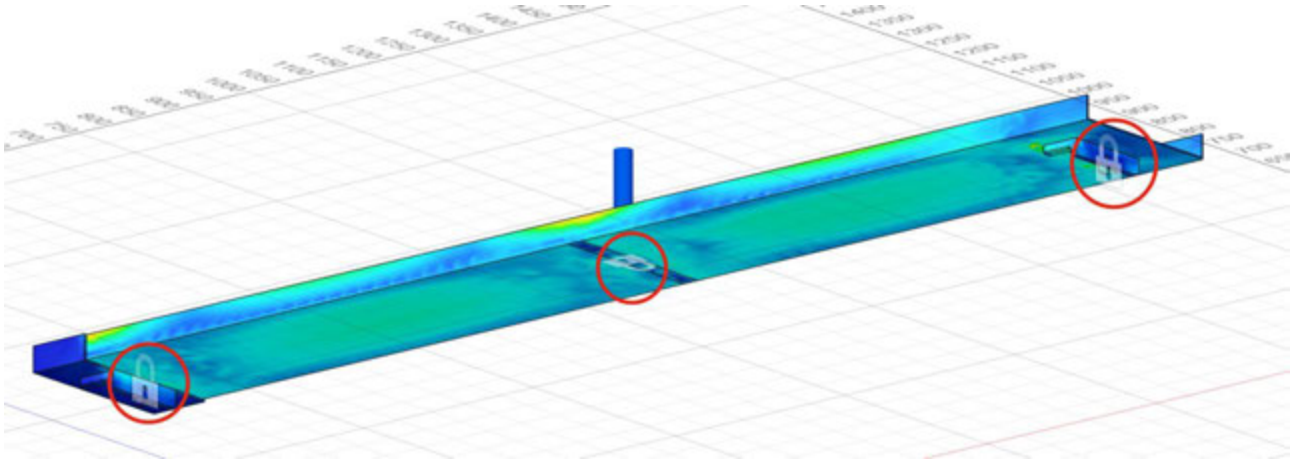
Для проведення симуляції навантажень на елемент конструкції, першочергово створюється симулятивна модель, тобто просторове відображення реального об’єкта. Наступним кроком є визначення вхідних даних. Дану задачу координує саме розширення Autodesk Fusion Simulation, за рахунок зручного функцоналу. На панелі інструментів можна побачити іконки, що надають інтуїтивні підказки, які операції потрібно провести та в якій послідовності для проведення симулятивних розрахунків. Спочатку створюється профіль фізичних властивостей матеріалу досліджуваного елемента, перейшовши по вкладці «Materials». Для отримання коректних кінцевих результатів, варто скористатись характеристиками матеріалу, які



надає сам виробник вентиляційних труб, що використовувались для створення каналів.

Рисунок 2.11 Властивості ПВХ матеріалу, використані для проведення симулятивного дослідження

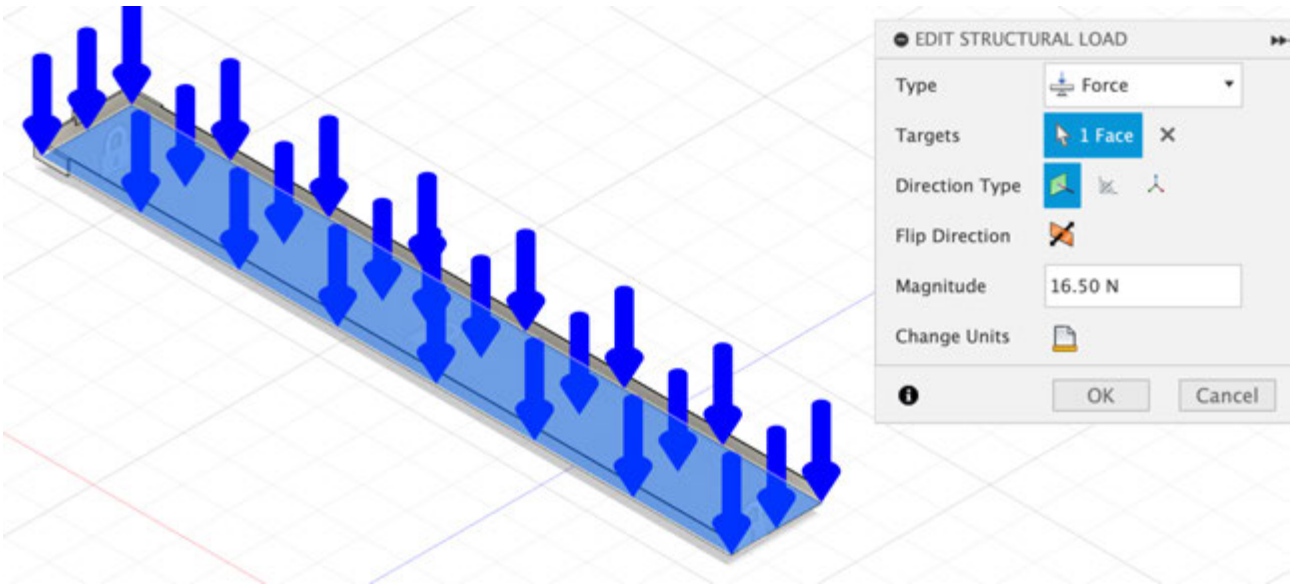
Подальшим кроком є встановлення точок опори просторового об’єкта за допомогою інструменів, що відображаються при натисканні іконки «Constraints». Представлено такі типи з’єднань: Fixed, Frictionless, Pin, Prescribed Displacement, Remote constraint. Найбільш підходящим варіантом з представлених є «Frictionless» за рахунок того, що він враховує рух компонентів один відносно одного в площині контакту без тертя, тобто невеликі зміщення під час роботи елемента. Зважаючи на те, що канал спирається на три горизонтальні перекладини окремих рам та фіксується до крайніх за допомогою болтових з’єднань, використання даного інструмента



повністю описує реальні умови експлуатації.

Рисунок 2.12 Зони фіксації канала

Кінцевим етапом є встановлення навантажень, що діють на канал. В даному випадку були розглянуті параметри, за яких на площину елемента діє рівномірне навантаження, тобто, канал повністю заповнений лотками з мікрозеленню. За їх середню вагу прийнято 0.14 кг, тобто загальне навантаження при розміщенні 12-ти одиниць рослинної продукції складає 1.68 кг. Виходячи з цього, сила, що діє на канал дорівнює 16.50 Н. Скориставшись інструментом «Force», що відображається при натисканні



іконки «Loads», було обрано площину, на яку безпосередньо діє сила та вказано її числове значення.

Рисунок 2.13 Зображення сили, що діє на канал

Надалі стає можливим запустити хмарний симулятивний розрахунок та отримати результати. Його принцип роботи базується на МСЕ (Метод скінченних елементів). Конструкція розбивається на безліч дрібних частин, утворюючи сітку. Для кожної з них визначаються математичні рівняння, що описують їх поведінку під дією зовнішніх впливів, в даному випадку — навантаження. Ці формули базуються на властивостях матеріалу та законах фізики. Для всіх елементів створюється єдина система, яка описує поведінку всієї конструкції. Вона розвязується числовими методами, щоб визначити значення невідомих параметрів, таких як переміщення, напруження, деформації тощо, в кожній точці конструкції. Результати розв'язання інтерпретуються для отримання інформації про поведінку конструкції під дією заданих умов. Ця інформація представлена у вигляді шкал та різнокольорових частин, що відображаються на просторовій моделі.

Отримані результати демонструють такі показники: максимальне напруження дорівнює 0.478 МПа та точково припадає на з’єднання заглушки з основою канала, найбільшого зміщення, а саме— 0.314 мм, зазнає середина

другої частини жолоба, коефіцієнт безпеки є максимальним за демонстрованою шкалою та сягає позначки 15 одиниць.

Зважаючи на отриману інформацію у вигляді числових показників та візуалізованого розподілу фізичних величин, можна з впевненістю сказати, що канал буде повноцінно виконувати свої функції. Тобто, за рахунок того, що елемент витримує потрібні навантаження, а деформації є мінімальними, рідина плавно перетікатиме з початку жолоба до його кінця, не накопичуючись в певних точках. За рахунок цього, живильний розчин буде рівномірно розподілятись по кожному лотку з мікрозеленню.

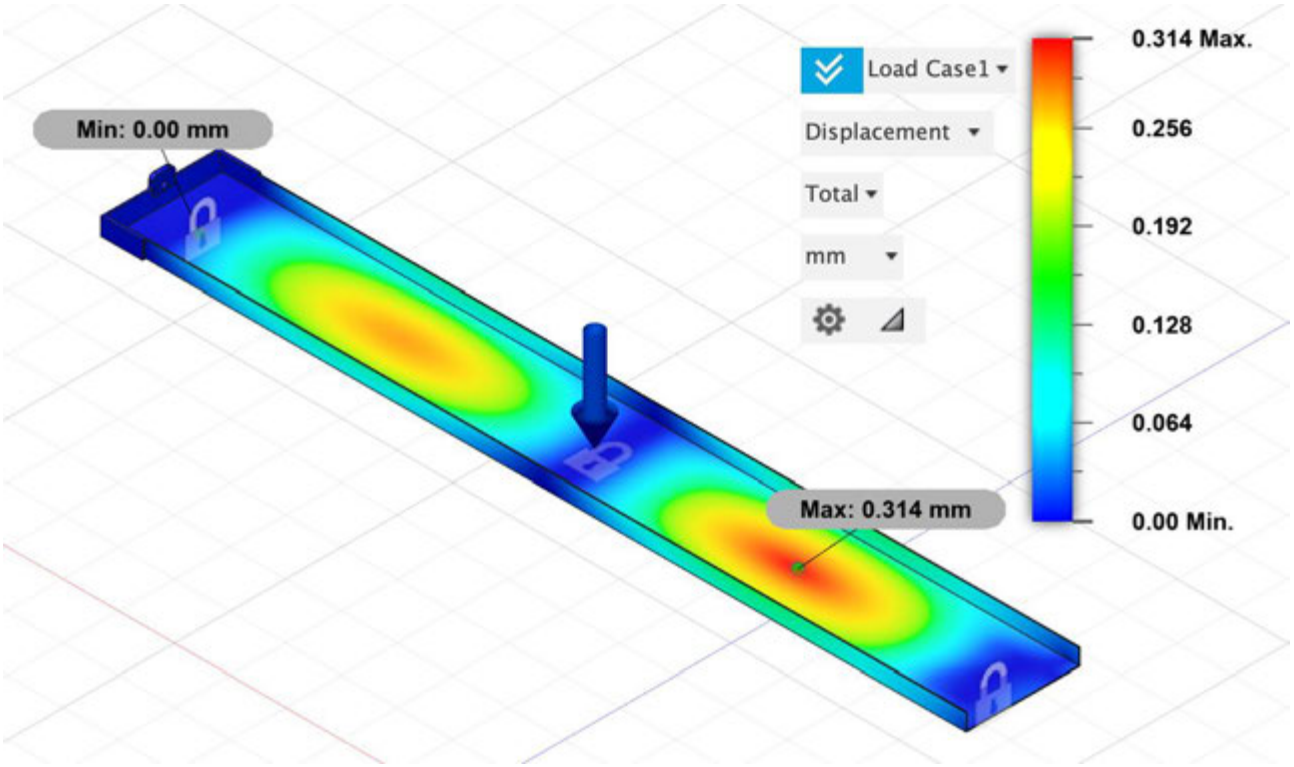


Рисунок 2.14 Візуальне зображення деформацій під навантаженням

2.3.3 Світлодіодне освітлення

Ще одним фактором ефективності вирощування мікрозелені є використання якісного освітлення, а саме LED. Звичайні джерела світла, такі як

лампи розжарювання або люмінесцентні лампи, не забезпечують необхідного спектрального складу та інтенсивності світлового потоку, потрібних для оптимального росту та розвитку рослин. Отже, організація освітлення в гідропонній установці потребує особливої уваги.

Для побудови світлодіодного модуля були розглянуті певні вимоги щодо організації освітлення мікрозелені, які сформувались за допомогою практичного досвіду фермерів та ряду досліджень. Прийнято, що рекомендована потужність всіх світильників має знаходитись в межах 50–90 Вт, у розрахунку на квадратний метр площі вирощування. Конкретне значення зі вказаного інтервалу обирається з врахуванням відстані світильника до полиці. Найменшою межею є висота 25 см, найбільшою— 40 см. Варто зазначити, що зі зменшенням відстані джерела освітлення до рослин, зростає інтенсивність випромінювання, відповідно збільшується кількість фотонів в діапазоні 400—700 нанометрів , спожитих паростками за секунду. Проте, при надто близькому розміщенні лампи до рослин, або надмірній інтенсивності світла, можливе утворення світлових опіків на мікрозелені.

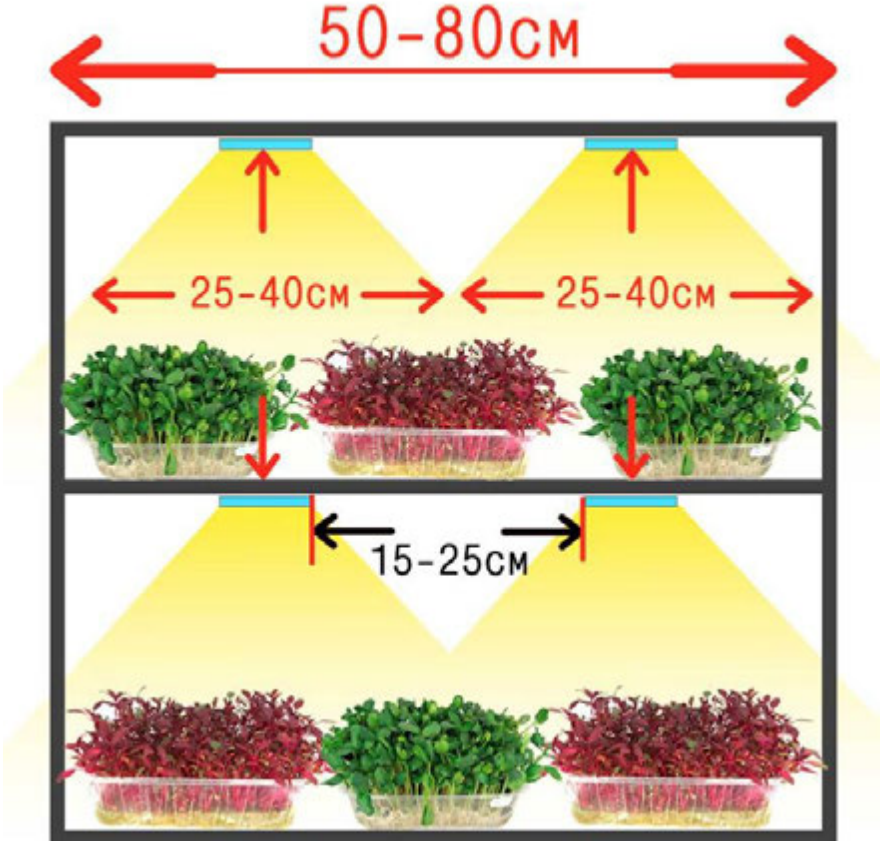


Рисунок 2.15 Схематичне зображення ефективного розміщення джерел освітлення над мікрозеленню

Окремої уваги заслуговує спектр світла, адже саме він визначає, які довжини хвиль та в якій кількості будуть надаватись рослинам для фотосинтезу. Найчастіше обираються світильники з колірною температурою 6000К. Такий вибір пов’язаний з великим вмістом синього спектру та малим червоного у світлі, що випромінює світлодіод. Воно відіграє вирішальну роль на ранніх стадіях росту. Синє світло ефективно поглинається хлорофілом - основним пігментом, що відповідає за перетворення світлової енергії в хімічну. Відповідно, воно сприяє активному фотосинтезу та забезпечує рослини необхідною енергією для росту. Окрім того, даний тип світла впливає на морфологію, сприяючи формуванню компактної та міцної структури. За його достатньої кількості запобігається витягування рослин, що є важливим, адже мікрозелень має формувати густий зелений шар для підтримання презентабельного вигляду. Синє світло також регулює вироблення гормонів росту, які відповідають за розвиток стебел та листя, стимулюючи активний ріст рослин та забезпечуючи їх здоровий розвиток.

Взявши до уваги загальний дизайн гідропонної системи, що передбачає легкий монтаж та демонтаж кожного елемента конструкції, був розроблений та виготовлений світлодіодний модуль, що враховує вищеописані фактори. Його потужність сягає 54W, чого цілком вистачає для нормального росту мікрозелені. Світлодіодний модуль розміщений на висоті 30см від полиці, а

світло , що він випромінює, розподіляється по поверхні площі вирощування рівномірно.

Рисунок 2.16 Світлодіодний модуль

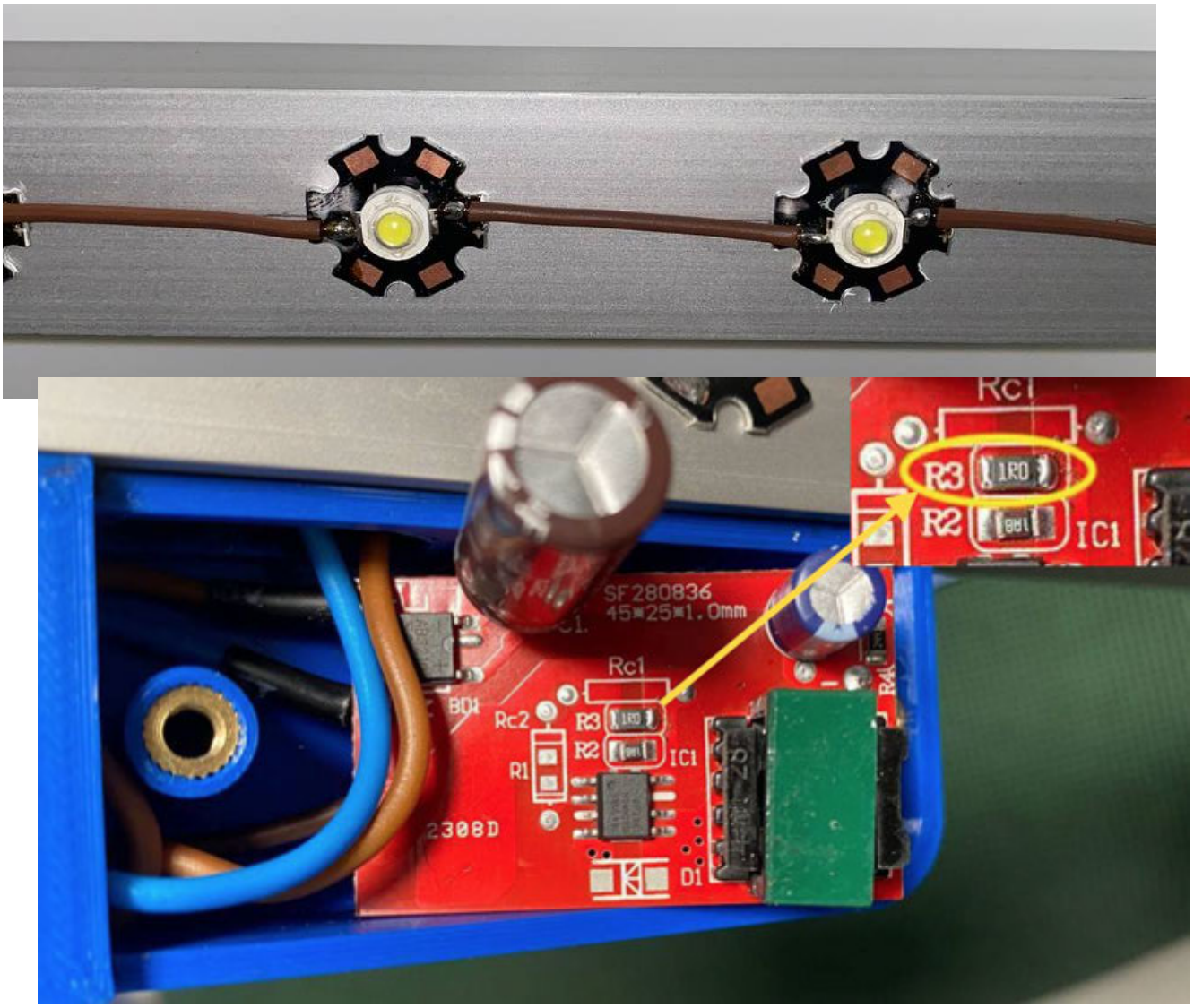
У якості основи для розміщення світлодіодів використано дві анодовані алюмінієві труби з поперечним перерізом 30х20х1.5 мм та довжиною 144 см. По двом краям меншої сторони профіля знаходяться наскрізні отвори діаметром 11 мм. Завдяки їм дві труби розміщуються на кінцях різьбових шпильок М10х430 та надійно фіксуються за допомогою гайок відповідного розміру, утворюючи єдину металеву конструкцію. Алюмінієві профілі також мають інші технологічні отвори, призначені для монтажу мережевих гнізд типу

АС-008 та одноклавішного перемикача, виведення дротів в корпус драйвера.

Рисунок 2.17 Елементи світлодіодного модуля

В даному світильнику використовуються LED діоди типу BIN-1 з потужністю 1 Вт та колірною температурою світіння 6000 К, робоча напруга кожного 3.0-3.6 В, а номінальний струм роботи дорівнює 310 мА. Світлодіоди монтуються на спеціальні друковані плати шляхом пайки, отримані елементи фіксуються на поверхні алюмінієвого профіля, що має ширину 30 мм, за допомогою теплопровідного клею на відстані 51 мм один від одного. Всі

напівпровідникові випромінювачі світла, а саме— 54 шт, з’єднуються в один



ланцюг послідовно за допомогою невеликих відрізків дроту.

Рисунок 2.18 Розміщення світлодіодів

Для забезпечення світлодіодів живленням використовується джерело постійного струму, що маркується виробником як «SF280836». Воно розміщуєть в надрукованому на 3D принтері PETG корпусі, що приклеєний до алюмінієвої труби за допомогою поліуретанового клея.

Рисунок 2.19 Світлодіодний драйвер

В характеристиках вказано, що плата може живити світлодіоди загальною потужністю від 36 до 60 Вт з підтримуванням сталого струму 300 мА. Проте останнє є хибним, адже при проведенні вимірювань було встановлено, що реальне значення складає всього лише 230 мА. Даний показник вихідного струму значно зменшує ефективність роботи світильника, в свою чергу це негативно впливає на ріст рослин. Для вирішення цієї проблеми була виконана заміна одного з двох струмообмежуючих резисторів.

Прорахунок підходящого опору проводився за допомогою формул, що розміщені на сторінках технічної документації керуючої мікросхеми LED драйвера «BP2861».

$$I_{LED} = \frac{I_{PK}}{2} \qquad I_{PK} = \frac{400}{R_{CS}}\, мА,$$

де I_{LED}— вихідний струм драйвера, I_{PK}— піковий струм індуктора, R_{cs}— загальний струмообмежуючий опір

Зважаючи на те, що змінна I_{LED} — це бажаний постійний струм 310 мА, можна визначити R_{cs}:

$$R_{cs} = \frac{400}{2 \cdot I_{LED}} = \frac{400}{2 \cdot 310} = 0.645\, Ом$$

Далі дізнаємось номінальний опір одного резистора, який потрібно встановити для отримання потрібного вихідного струму. Оскільки на платі вони впаяні паралельно до двох доріжок, використовується класичне рівняння закону Ома:

$$\frac{1}{R_{cs}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

де R2— резистор номіналом 1.8Ом, що впаяний з заводу.

$$\text{Звідси}, \quad R1 = \frac{R_{cs} \cdot R_2}{R_2 - R_{cs}} = \frac{0.645 \cdot 1.8}{1.8 - 0.645} \approx 1\, Ом$$

Після заміни резистора, не спостерігалось перегрівання жодного з елементів схеми, загальна робоча температура драйвера ніяким чином не змінилася після внесених змін. Щодо світлодіодів, яскравість суттєво зросла, ледве помітно збільшилось виділення тепла

2.3.4 Система подачі живильного розчину

Ще однією невід'ємною частиною гідропонної установки є система подачі живильного розчину. Її завдання полягає в контрольованому транспортуванні рідини до рослин, створюючи умови для оптимального засвоєння поживних речовин. Тобто, даний комплексний елемент безпосередньо відповідає за забезпечення життєдіяльності мікрозелені.

Для побудови ефективної моделі системи подачі живильного розчину були розглянуті певні умови, щодо організації поливу. Їх можна умовно поділити на загальні та супутні, тобто ті, що формують безпосередні функції та ті, які будуть підтримувати їх безперебійну роботу. Такий ієрархічний підхід надає можливість систематизувати послідовність побудови системи, а також врахувати більшу кількість факторів впливу на її роботу, аніж при лінійному методі проектування.

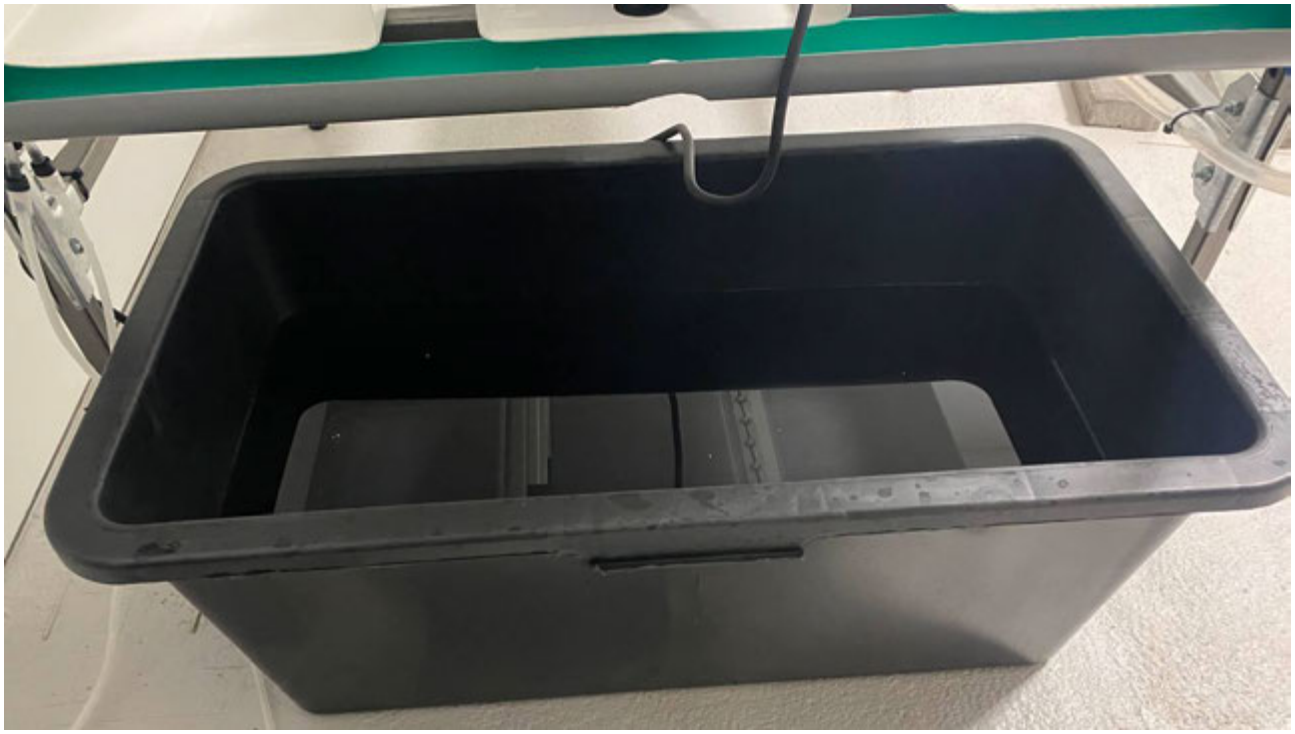
В даному випадку, всі загальні умови стосуються характеру побудови гідропонної установки. Головним критерієм, що взявся до уваги, був модульний дизайн. Тобто, елементи системи мають швидко збиратись в єдину конструкцію та легко монтуватись. Наступною умовою є забезпечення рівномірного розподілення живильного розчину по кожному з каналів. Цей пункт є дуже важливий, оскільки всі рослини потрібно забезпечити однаковою нормованою кількістю рідини на певний проміжок часу.

До супутньої умови можна віднести хімічну стійкість елементів конструкції. Даний аспект відповідає за запобігання небажаних реакцій між рідиною та матеріалами, з яких виготовлена система. Наступним фактором є достатня потужність насосного обладнання. Він має забезпечувати транспор-

тування рідини на всі яруси стелажа. Іншою важливою умовою є оптимальна вмісткість резервуару, де зберігатиметься рідина. Цей аспект впливає на кількість часу, необхідного для обслуговування гідропонної установки. Останньою умовою є пітримання сталої якості живильного розчину. Рідини має постійно переміщуватись для рівномірного розподілу поживних елементів в загальному об’ємі та бути достатньо збагаченою киснем для запобігання утворень патогенів та водоростей.

Взявши до уваги вищеописані фактори, була розроблена та виготовлена система подачі живильного розчину. За основу взято класичну конструкцію, передбачену технологією живильного шару.

У якості резервуара для зберігання розчину використовується поліпропіленовий будівельний таз об’ємом 80л. Дане рішення є оптимальним з



урахуванням вирощуваних культур.

Рисунок 2.20 Резервуар для зберігання поживного розчину

Взявши за стандарт рослину з найбільшим споживанням води, а саме — соняшник, можна прорахувати верхню межу денної витрати поживного

розчину та визначити інтервали поповнення резервуара. Вказана культура споживає 100мл рідини на день в розрахунку на один лоток розміром 110х190 мм. З огляду на те, що максимально можлива кількість одиниць рослинної продукції, яку можна розмістити в установці— 180 шт, денна межа витрати живильного розчину складає 16.5 л. Отже, рентабельним є поповнення баку два рази на тиждень. А двічі на місяць проводиться профілактична очистка резервуару з повною заміною розчину.

Для забезпечення сталої якості живильної рідини в резервуарі, до системи був доданий повітряний компресор «GRECH CIP-200». Він закріплений на стелажній конструкції, вище рівня резервуару з рідиною. Таке місце розміщення зменшує навантаження на мембрану та не дає потрапити рідині в компресор при вимкненні живлення. Продуктивність роботи пристрою 3 л/хв, а потужність споживання складає всього 3.5 вт/год. Повітряний компресор вищевказаної моделі має два виходи під шланги, до кінців яких

кріпляться аераційні камені.

Рисунок 2.21 Аератор

Запобігання застоювання рідини за допомогою копресора описується доволі простим явищем. В результаті роботи приладу утворюються бульбашки, завдяки яким збільшується площа контакту води з повітрям. Оскільки рідина активно насичується киснем, ризик утворення патогенів істотно зменшується, а водоростей— зникає зовсім. Рівномірність розподілу поживних елементів в об’ємі води також забезпечується за рахунок бульбашок повітря. Піднімаючись на поверхню, вони створюють рух рідини в резервуарі, тим сам підтримуючи її постійну циркуляцію.

Для перекачування живильного розчину використано занурювальний насос моделі « Sunsun HJ-2500». Даний прилад має продуктивність 2500 л/год та здатний підняти стовб рідини на висоту до 2.7 м. Потужність споживання 45 Вт/год, що вказує на економічну ефективність використання помпи. Прилад оснащений фільтруючою губкою, що запобігає потраплянню часточок бруду та органічних відходів у рухомі частини насосного обладння. Підключення до трубопроводу відбувається за рахунок комплектного штутцера.

Рисунок 2.22 Насос

Підбір насосного обладнання відбувався імперичним методом, адже за рахунок великої кількості вхідних даних, теоретичне визначення потрібних характеристик приладу було ускладненим. Шляхом експериментальних досліджень встановлено, що використання обраного занурювального насоса є ефективним рішенням по перекачуванню рідини до каналів. Його потужності цілком вистачає, щоб запезпечити потрібний тиск в системі.

Трубопровід системи подачі живильного розчину складається з трьох складальних одиниць: розподільчої рамки, фільтрувального вузла та шлангу.

Початковим елементом є прозорий ПВХ шланг із зовнішнім діаметром 16 мм. Він слугує елементом з’єднання насоса з проточним фільтром. На відстані 120 см від початку шлангу встановлено фітинг з краном, що використовується

для більш легкого зливання рідини з баку за потреби.

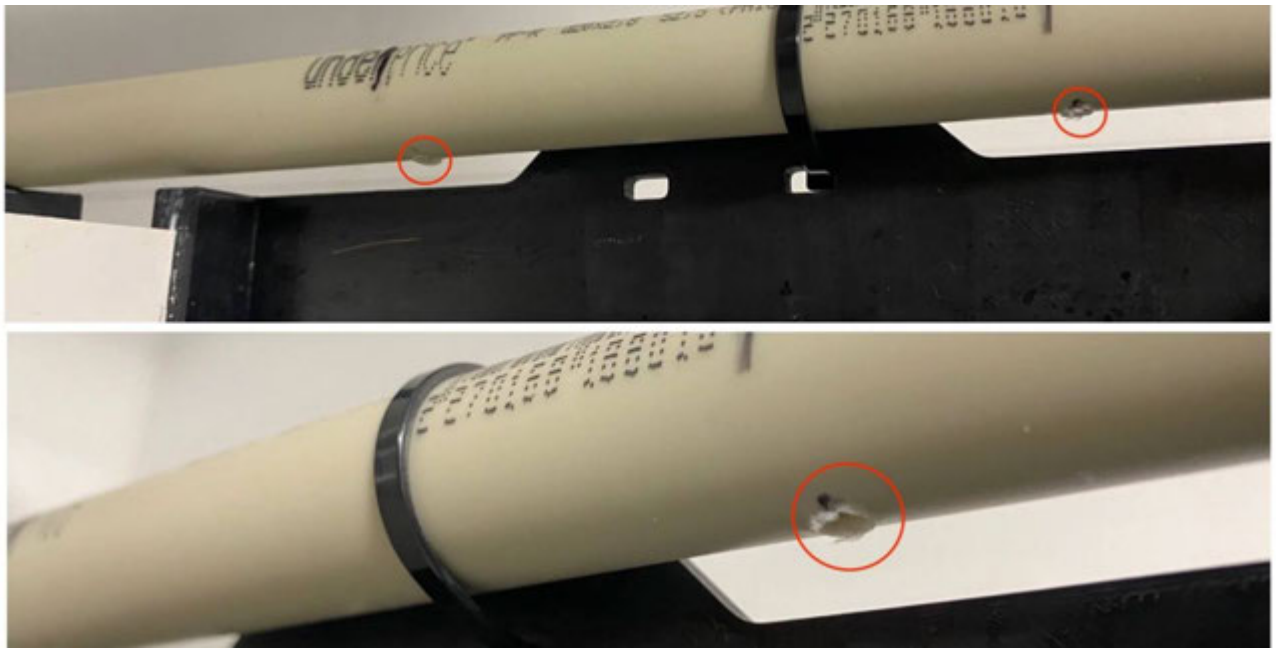
Рисунок 2.23 Зливний вузол

Сітчатий фільтр виконує тонку очистку, вловлюючи частинки розміром більше 0.125 мм, що не затримались губкою помпи. Це допомагає істотно зменшити кількість забивань отворів, з яких витікає живильний розчин в канали. З’єднання фільтра зі шлангом виконується за допомогою різьбового

штуцера, що вкручується зі вхідної сторони в корпус фільтра. Інший кінець має зовнішню різьбу 3/4, завдяки якій виконується сполучення з розподільним вузлом.

Рисунок 2.24 Фільтрувальний вузол

Розподільча рамка відповідає за рівномірний розподіл рідини по каналам. Вона складається з водопровідних труб діаметром 20 мм, відповідних фітингів, заглушок та запірної арматури. На кожній з п’яти горизонтальних складових рамки просверлено 6 отворів, по два на кожен жолоб, в напрямку, перпен-



дикулярному до його площини.

Рисунок 2.25 Розміщення ихідних отворів

З’єднання елементів виконано за допомогою паяльного обладнання, а монтаж всієї конструкції відбувається шляхом закріплення горизонтальних елементів рамки до заглушок каналів з використанням нейлонових стяжок.

Рівномірний розподіл живильного розчину по жолобам забезпечується встановленням кожної з п’яти ручок кранів у відповідне положення, до досягнення однакового потоку рідини на кожному ярусі установки. Таке регулювання проводиться візуально.

Рисунок 2.26 Розподільча рамка

2.3.5 Зливна система

Для відведення рідини з каналів та спрямування її до резервуару використовуєть зливна система. Дана конструкція працює в парі з лінією подачі живильного розчину. Принцип роботи зливної системи є простим та логічно зрозумілим: рідина з поживним речовинами, що не спожилася рослинами, поступово стікає у жолобки та самотоком направляється по трубам до вихідного отвору, звідки потрапляє в ємність для зберігання.

Рисунок 2.27 Зливна система

Розроблена конструкція має модульний характер. Вона складається з п’яти складових частин, що поєднуються шляхом фітингування. Кожен модуль представлений у виглялі зливних жолобів, по обидві сторони яких розміщені фітинги з вертикальними стоками. Остання складова частина має отвір в жолобі, через який рідина потрапляє в бак. Рішення щодо такого влаштування конструкції пов’язане з легкістю проведення періодичної очистки зливної системи.

Для виготовлення зливних жолобів використано каналізаційні труби діаметром 50 мм з товщиною стінки 1.8 мм, нарізані по 850 мм. В них були зроблені вирізи глибиною 20 мм в розрізі та довжиною 740 мм в повздовжньому напрямку. Вертикальні стоки виготовлені з труб відповідного діаметру, нарізаних по 265 мм. З’єднання вищеописаних елементів відбувається

за допомогоє вклеювання їх у фітинги.

Рисунок 2.28 Модуль зливної системи

Закріплення зливної системи в гідропонній установці забезпечується болтовими двохскладовими фіксаторами, виготовленими шляхом 3D-Друку з матеріалу PETG. Вказані кріплення розміщуються на горизонтальних кінцях кожного фітинга та стикуються своїми отворами з відповідними на металевій

рамі. В ці місця поміщають болти М8Х90 зі сторони скоби фіксатора та закручуються гайками з боку рами, таким чином надійно фіксуючи всю зливну систему.

Рисунок 2.29 Кріплення зливної системи

Експериментальні дослідження показали, що зливна система має запас продуктивності 150 %, що свідчить про здатність відведення значно більшого об’єму рідини, аніж потрапляє в неї за нормальних умов в певний інтервал часу.

2.3.6 Вентиляція

Важливим аспектом вирощування мікрозелені є забезпечення хорошої циркуляції повітря в зоні її росту. Вона досягається шляхом додавання до системи вентиляторів, що утворюють постійний повітряний потік над рослинами. Таким чином мікрозелень отримує достатній рівень кисню для

процесу дихання. Також елементи вентиляції допомагають підтримувати кліматичні параметри в гідропонній системі, що, у свою чергу, перешкоджає утворенню зон високої вологості, через які підвищується ризик розвитку грибкових захворювань, та високої температури, яка викликає комплекс негативних реакцій рослини на надмірне тепло.

Рисунок 2.30 Розміщення вентиляторів

Для організації вентиляції в гідропонній установці використовуються кулери 90x90x25 мм з параметрами живлення 12 В 0.2 А, закріплені на стелажній конструкції зі сторони розподільчої рамки, по одному на кожен ярус. Елементом їх живлення виступає джерело постійної напруги на 12 В з максимальним вихідним струмом 1.5 А.

Потужності вентиляторів цілком вистачає для забезпечення достатнього притоку свіжого повітря до всієї зони росту рослин. А за рахунок достатньої відстані між каналами, тепле та зволожене повітря безперешкодно виводиться за межі гідропонної установки. Дані твердження базуються на отриманих показникниках температури, вологості та кисню, що фіксували датчики в різних зонах гідропонної установки та віддалених від неї точках.

2.3.7 Система електроживлення та автоматизації

Невід'ємним елементом гідропонної установки є система електроживлення та автоматизації. Як зрозуміло з назви, вона відповідає за роботу та контроль всіх пристроїв, що входять до складу комплексу зі штучного вирощування мікрозелені. Елементи автоматизації допомагають зменшити обсяг ручної праці, а також мінімізувати ризики, пов'язані з помилками та неточностями, які можуть виникнути при ручному управлінні та негативно вплинути на ріст та розвиток рослин.

Реалізована система представлена у вигляді герметичного монтажного боксу з вмонтованим електричним обладнанням. Підведення мережі змінного струму до компонентів відбувається за допомогою кабеля ПВС 2х2.5 мм^2 ,що проходить через отвір в нижній частині корпусу, та штепсельної вилки, яка безпосередньо під'єднується до розетки. Дроти спочатку заводяться на реле напруги, що призначене для захисту обладнання від надмірних коливань параметрів електромережі, а потім розгалужуються на дві лінії. Перша підводиться до пари тумблерів, розміщених на боковій поверхні бокса, та трьох двоканальних релейних WI-Fi перемикачів «Sonoff Dual R3». Таким чином

утворюються два ручних канали, що відповідають за вентиляцію з аерацією (не виникає часта необхідність у їх перемиканні), та 6 автоматизованих, які керують освітленням та поливом (потрібно регулярно змінювати стан пристроїв). Кожен з каналів виведений на окремі роз’єми в нижній частині бокса, що використовуються для підключення гідропонного обладнання. Друга лінія йде на блок джерела постійної напруги 12 В, що забезпечує роботу слаботочних пристроїв. До них відносяться: «Sonoff Bridge RF» та «Sonoff S-Cam Slim» (живлення через понижуючий перетворювач напруги 12-5 В), роутер «Mikrotik Hap Ac». Маршрутизатор відповідає за забезпечення з’єднання кожного WI-FI пристрою системи з хмарним сервером та отримання віддаленого контролю над обладнанням. «S-Cam Slim» надає доступ до відеонагляду та функціям виявлення руху, а «Bridge RF» — до даних датчика температури та вологості «Sonoff SNZB-02P», що розміщений на верхній частині бокса разом з камерою.

Рисунок 2.31 Система електроживлення та автоматизації

Рисунок 2.32 Розміщення камери та датчика температури-вологості

Рисунок 2.33 Роз’єми для підключення гідропонного обладнання

Описана система є концентрованою, тобто розрахованою на підключення декількох гідропонних установок. Таке рішення є виправданим у випадках, коли загальне споживання струму всим обладнання не перевищує 16А. В інших випадках застосовується розгалужений тип системи, тобто кожна гідропонна установка має вмонтований модуль з елементами автоматизації та окремою лінією електроживлення.

Керування автоматизацією відбувається за допомогою додатку «eWeLink». Завдяки вичерпним інструкціям, розміщених на офіційному сайтірозробника, та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу застосунку, налагодження роботи гідропонної установки стає доволі простою задачею для користувача.

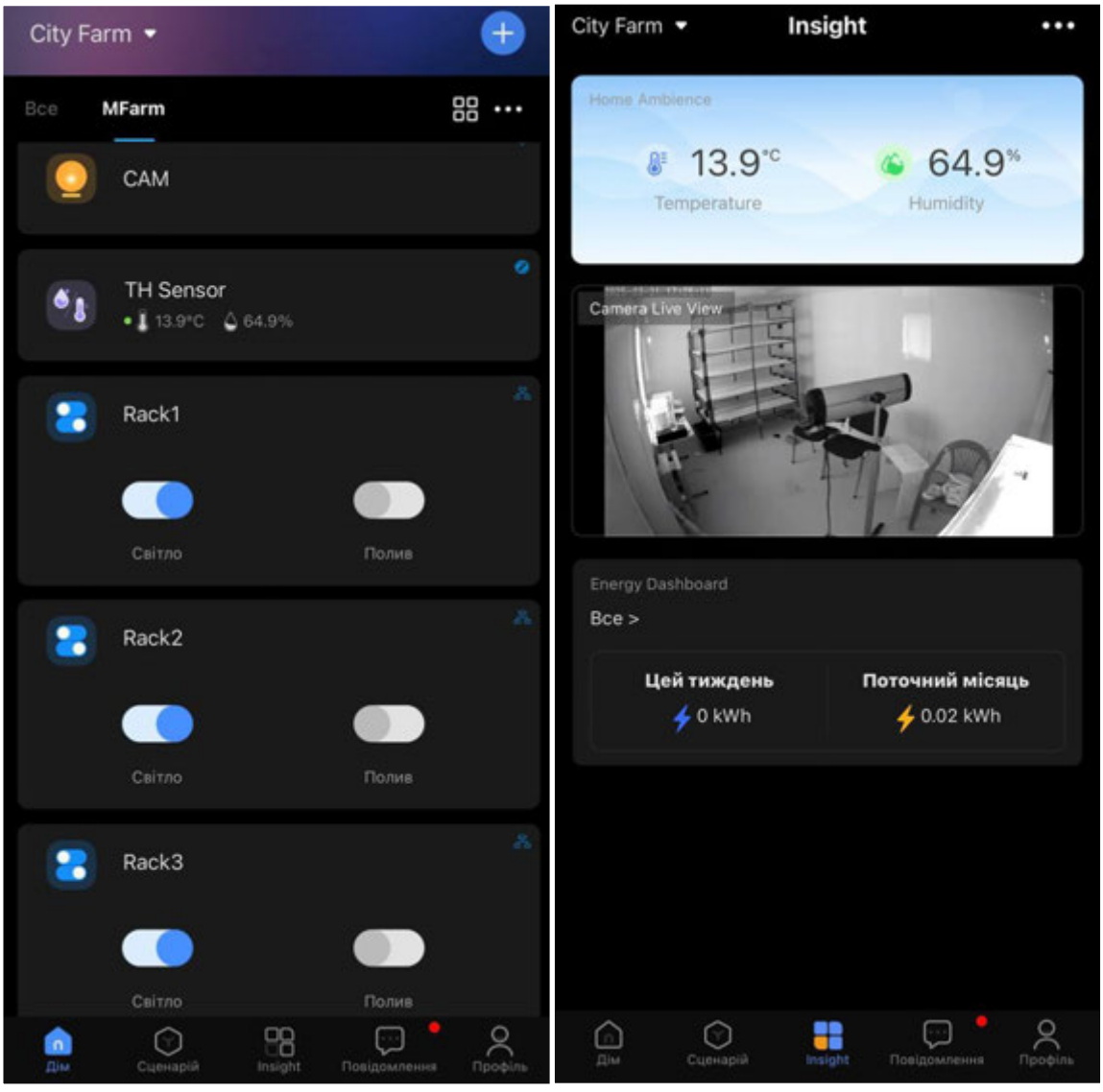


Рисунок 2.34 Основні меню застосунку «eWeLink»

Процедура налагодження автоматизації гідропонної установки відбувається за таким планом:

1. Додавання пристроїв до додатку «eWeLink».

Для проведення даної процедури, обладнання Sonoff переводять у режим сполучення, затиснувши кнопку на корпусі кожного приладу протягом п'яти секунд, до появи світлової індикації. Для пошуку пристроїв використовують відповідне меню застосунку, яке відкривається при натисканні на знак «+» у верхньому правому кутку сторінки «Дім». Після введення даних мережі Wi-Fi, програма почне пошук сумісних із нею пристроїв і автоматично додасть їх до основного меню додатку.

2. Налаштування камери «Sonoff S-Cam Slim».

При натисканні інтерактивної клавіши зі значком камери на сторінці «Дім», розгортається меню вказаного пристрою. Єдиним параметром, що потребує налаштування є режиму «Виявлення руху». Для даної функції встановлюється параметр середньої чутливості та часовий інтервал періоду сигнального спрацювання охорони.

3. Налаштування датчика температури-вологості «Sonoff SNZB-02P».

При натисканні інтерактивної клавіши зі значком каплі та градусника на сторінці «Дім», розгортається меню вказаного пристрою. Єдиний параметр, що потребує налаштувань — одиниця вимірювання температури. Потрібно обрати одну з двох опцій: «За фаренгейтом» чи «За Цельсієм».

4. Налаштування двоканальних релейних модулів «Sonoff Dual R3»

При натисканні інтерактивної клавіши зі значком перемикача на сторінці «Дім», розгортається меню вказаного пристрою. Першочергово релейні модулі встановлюються в режим роботи «Перемикач». Далі для кожного каналу обираються параметри перевантаження, при перевищенні яких пристрій

автоматично вимикатиметься. Останнім кроком є налаштування «Smart Scene», за допомогою якого встановлюються періоди ввімкнення та вимкнення гідропонне обладнання.

2.4 Загальний огляд створеної системи

Візуальне представлення створеної системи продемонстровано на рисунку 2.32. З ключових характеристик, що властиві створеній установці, можна відмітити: мобільність, довговічність, надійність, простота експлуатації. Система здатна вміщувати 180 лотків одночасно, що при правильній організації робочого процесу та оптимальним кліматичним показникам надає змогу отримувати 720 одиниць готової продукції щомісяця. Завдяки наявному вузлу автоматизації, такі ключові процеси, як світловий режим та зрошення виконуються без участі людини, що дозволяє утримувати якість продукції в

установлених межах.

Рисунок 2.35

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. ВИРОБНИЧІ МАТЕРІАЛЬНІ ВИТРАТИ

Виготовлення описаної гідропонної системи потребувало певних фінансових вкладень, що наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Матеріальні витрати

Найменування	Кількість, шт	Затрати, грн
Стелажна конструкція	1	5000
Світлодіодний модуль	5	6500
Система подачі живильного розчину	1	2800
Автоматизація	1	2300
Зливна система	1	1000
Вентилятор	5	400
Канал	15	6600
Інше	-	100
Всього:		24700

Найменування записані в узагальненому форматі з причини великої кількості елементів, що представляють окремі складові установки. Для зручності обчислень значення затрат були округлені. Варто зазначити, що для найменувань «Автоматизація» та «Канал» фінансові показники скореговані для якісної оцінки матеріальних витрат саме на одиницю виготовленого обладнання. Також, значення, виражені в гривневому еквіваленті, що відповідають кожному найменуванню, включають супутні платежі, пов’язані з логістичними операціями, послугами, допоміжними матеріалами. Однак, вказані аспекти справляють незначний вплив на об’єктивність оцінки загальних матеріальних витрат з виготовлення гідропонної установки, що складають 24700 грн.

Гідропонну установку створено на перспективу, саме тому терміни й доходи від її реалізації можна визначити лише з певною імовірністю.

Найпростіший метод економічної оцінки проекту це перевірка відповідності періоду окупності до побажань інвестора. Період окупності (Payback Period) - період часу з моменту початку реалізації проекту та до моменту, коли доходи від експлуатації стають рівними початковим інвестиціям (капітальні витрати і експлуатаційні витрати). Наприклад, звичайна лампочка може бути описана як період окупності певної кількості років або годин роботи, припускаючи певні витрати. Тут повернення інвестицій складається із зменшення експлуатаційних затрат. Хоча насамперед фінансовий термін, поняття періоду окупності з певною періодичністю поширюється на інші види використання, такі як період окупності енергії (період часу, протягом якого економія енергії проекту дорівнює кількості енергії, витраченої з моменту початку проекту); ці та інші терміни можуть не бути стандартизованими або широко застосовуватись.

Вибір тих чи інших показників ефективності інвестицій визначається конкретними цілями інвестиційного аналізу. Ступінь об'єктивності інвестиційного рішення багато в чому залежить від глибини і комплексності оцінки ефективності інвестицій на основі використовуваної сукупності формалізованих параметрів. Рішення про інвестування коштів у проект має прийматися з урахуванням значення всіх перерахованих показників і інтересів всіх учасників. Важливу роль в цьому рішенні повинна відігравати також структура і розподіл в часі коштів, що залучаються для здійснення проекту, а також інші фактори, які піддаються тільки змістовному аналізу.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши переваги та недоліки існуючих типів гідропонних систем, була обрана найбільш перспективна — живильного шару. Вибір здійснювався за двома ключовими параметрами: доступність матеріалів та ефективність вирощування рослин.
2. На базі обраної гідропонної системи була сформована концепція власного зразка обладнання для вирощування мікрозелені. Додатково створено концептуальну візуалізацію об’єкта.
3. Проведено комплексну роботу з розробки та виготовлення функціонального зразка гідропонного обладнання. Теоретична частина складаласть з таких частин: моделювання установки, розрахунки на міцність рами, симулятивне дослідження на деформацію каналів під статичним навантаженням, підготовка технічної документації. Практична складова передбачала реалізацію фізичного зразка обладнання.
4. Підраховано матеріальні витрати на виготовлення одиниці обладнання, що будуть використані для подальшого дослідження з оцінки фінансової ефективності створеного продукту.