

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний

(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Третяк Дарії Владиславівни

(ПІБ)

академічної групи 132-21-ск-2 ММФ

(шфр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(за наявності)

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_

(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Генеративний дизайн у створенні ергономічних меблів для публічних просторів з використанням переробленого пластику

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Клименко А.В.			
<b>розділів:</b>				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Клименко А.В.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Зіборов К.А.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	Вернер І.В.			

Дніпро  
2024

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
конструювання, технічної  
естетики і дизайну  
 (повна назва)

\_\_\_\_\_ Федоряченко С.О.  
 (підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Третяк Дарії Владиславівни академічної групи 132-21-ск-2 ММФ  
 (прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство  
 спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація  
матеріалів та виробів»

на Генеративний дизайн у створенні ергономічних меблів для публічних просторів з  
використанням переробленого пластику

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_ .2024р.  
 № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи		
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки		
Інженерно-технологічний розділ		
Експлуатаційний розділ		

Завдання видано \_\_\_\_\_  
 (підпис керівника)

Клименко А.В.  
 (прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_ .2024

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_ .06.2024

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Третяк Д.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с, 29 рис, 19 табл, 26 джерела.

### ЕРГОНОМІЧНІ МЕБЛІ, ПЕРЕРОБЛЕНИЙ ABS ПЛАСТИК, 3D-ДРУК

Мета дослідження полягає у розробці дизайну та моделюванні меблів для публічних просторів, з урахуванням ергономічних параметрів користувача та використанням переробленого пластику. Проведено аналіз схожих об'єктів та визначено ергономічні показники, виявлені проблеми та недоліки, які були обґрунтовані та використані для розробки варіантів вирішення у 3D моделюванні. Також проведений функціональний та функціонально-вартісний аналіз об'єкту. Досліджено різні технології виготовлення об'єктів з пластику та інших матеріалів, вибрана та обґрунтована найбільш відповідна технологія – технологія 3D-друку. Вивчено матеріали, обрано та обґрунтовано найбільш відповідні з урахуванням ергономіки. Для даного об'єкту проведено розрахунок за методом скінчених елементів, використовуючи програму Autodesk Fusion. Також надано пояснення щодо технології виготовлення даного об'єкту. Експериментально визначено показники деформації згину та руйнування, а також проведено аналіз стійкості матеріалу до зовнішніх факторів та його довговічність у реальних умовах експлуатації.

## ЗМІСТ

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ.....	5
1.1 Типи меблів для публічного простору та їх проблематика.....	5
1.2 Використання переробленого пластику у меблевому виробництві.....	8
1.3 Ергономічні принципи проектування меблів для публічних просторів.....	14
1.4 Постановка задач роботи.....	18
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТА РОЗРОБКИ.....	19
2.1 Функціонально-вартісний аналіз технічного об’єкта.....	19
2.2 Процес створення тривимірної моделі.....	23
2.3 Вибір матеріалу для розробки прототипу.....	31
2.4 Технологія виготовлення прототипу крісла.....	34
2.5 Висновки за розділом.....	37
3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	38
3.1 Постановка задачі дослідження .....	38
3.2 Процес дослідження .....	41
3.3 Метод випробування матеріалу на вигин.....	44
3.4 Висновки за розділом.....	49
4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	50
4.1 Характеристика якості матеріалів для продукції.....	50
4.2 Сертифікація продукції і якість їх гарантії.....	52
4.3 Аналіз отриманих результатів.....	54
4.4 Висновки за розділом.....	57
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	58

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

## 1.1 Типи меблів для публічного простору та їх проблематика

Сучасна меблева промисловість постійно шукає нові способи удосконалення продукції та відповіді на виклики сучасного світу, зокрема вимоги сталого розвитку та екологічної безпеки. У цьому контексті генеративний дизайн виступає як інноваційний підхід, що може змінити парадигму у створенні меблів та відкрити нові можливості для розвитку галузі.

При аналізі поточного стану меблевої промисловості можна відзначити зростаючий попит на ергономічні та функціональні рішення у дизайні меблів для різних просторів, включаючи публічні. Одночасно, проблема використання пластику та інших неекологічних матеріалів стає все більш актуальною, що вимагає пошуку стійких та екологічно чистих альтернатив.

Цей дослідницький проект спрямований на удосконалення підходів у меблевій промисловості та впровадження інноваційних рішень, які сприятимуть створенню більш екологічно чистого та функціонального середовища у публічних просторах.

Меблі для публічних просторів, таких як парки та сквери, включають кілька основних типів.

Таблиця 1.1 – Класифікація меблів для публічного простору

Сидіння	Лавки Крісло-качалки Стільці
Столи	Пікнікові столи Ігрові столи (для шахів, настільного тенісу)
Освітлення	Ліхтарі Світлодіодні лампи
Додаткові елементи	Урни для сміття Велосипедні стійки



Рисунок 1.1 – Приклад меблів для публічного простору в парках та скверах  
Дніпра



Рисунок 1.2 – Приклад меблів для публічного простору в парках та скверах  
Дніпра

Проблематика.

Неергономічність. Більшість публічних меблів не враховують ергономічні потреби користувачів. Наприклад, висота сидінь може бути незручною для багатьох людей, а спинки не забезпечують належну підтримку хребта[3].

Дорогий і неякісний матеріал. Використання матеріалів, які не є довговічними або мають високу вартість, але не відповідають якості. Це може призвести до швидкого зносу меблів.

Неестетично і не сучасно. Багато елементів меблів мають застарілий дизайн, що не відповідає сучасним естетичним вимогам та не сприяє привабливості публічного простору.

Не відповідає міцності. Багато меблів не витримують високих навантажень, що призводить до їх швидкого руйнування та необхідності заміни.

Таблиця 1.2 – Проблематика конкретних типів меблів

	Неергономічність	Дорогий і неякісний матеріал	Неестетично і не сучасно	Не відповідає міцності
Вуличні лавки та крісла	70%	60%	65%	50%

Таблиця 1.3 – Аналіз антропометрії та ергономіки

Середньостатистична вага людини	
Чоловіки	70-80 кг
Жінки	60-70 кг
Антропометричні параметри (середні значення)	
Висота сидіння	400-450 мм
Глибина сидіння	400-450 мм
Висота спинки	300-400 мм

Вимоги ергономіки.

Підтримка спини. Спинки повинні забезпечувати підтримку попереку та верхньої частини спини.

Висота сидіння. Сидіння повинні бути на такій висоті, щоб ноги користувача могли комфортно стояти на землі, а коліна знаходилися під прямим кутом.

Матеріали. Меблі повинні бути виготовлені з матеріалів, які не тільки довговічні, але й приємні на дотик, не нагріваються і не охолоджуються занадто сильно.

Недостатки.

Неергономічність. Багато лавок і крісел мають занадто високу або занадто низьку висоту сидіння, що робить їх незручними для тривалого сидіння.

Довговічність матеріалів. Використання неякісних матеріалів призводить до швидкого зносу меблів під впливом погодних умов.

Неестетичний вигляд. Застарілий дизайн не приваблює користувачів та не сприяє комфортному відпочинку.

Враховуючи ці проблеми, необхідно використовувати сучасні ергономічні підходи та якісні матеріали для створення меблів для публічних просторів. Перероблений ABS пластик може бути ідеальним варіантом завдяки своїм властивостям: він міцний, довговічний, екологічно чистий та легко піддається обробці, що дозволяє створювати сучасні та комфортні дизайни.

## **1.2 Використання переробленого пластику у меблевому виробництві**

У сучасному світі проблема переробки пластику є однією з найбільш актуальних екологічних проблем. Пластик є одним з найпоширеніших матеріалів, що використовується у виробництві різних товарів, включаючи меблі, але недостатня переробка та велика кількість відходів створюють серйозні проблеми для навколишнього середовища та здоров'я людей.

Вирішення проблеми переробки пластику потребує комплексного підходу, що включає підтримку використання біорозкладаючих матеріалів, розвиток ефективних технологій переробки та підвищення усвідомленості серед громадськості щодо важливості відновлення та використання пластику у балансованому та екологічно безпечному способі.

Існує кілька переваг використання переробленого пластику у виробництві меблів, які варто врахувати[4].

1. Екологічна користь. Використання переробленого пластику допомагає зменшити кількість відходів та сприяє більш екологічно чистому виробництву меблів. Це сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище та допомагає в боротьбі з проблемою забруднення пластиком.

2. Економічна вигода. Використання переробленого пластику може бути економічно вигідним, оскільки він часто є доступнішим за новий матеріал. Це допомагає знизити витрати на сировину та підвищити конкурентоспроможність продукції.

3. Дизайн та інновації. Перероблений пластик може бути використаний для створення унікальних та інноваційних дизайнів меблів. Він може мати різноманітні текстури, кольори та властивості, що дозволяє дизайнерам створювати цікаві та естетично привабливі вироби.

4. Міцність та тривалість. Перероблений пластик може мати високу міцність та стійкість до зносу, що робить його ідеальним для виробництва меблів. Він може витримувати великі навантаження та мати довгий термін служби.

5. Підтримка циркулярної економіки. Використання переробленого пластику сприяє розвитку циркулярної економіки, де матеріали переробляються та використовуються повторно, що допомагає зменшити використання природних ресурсів та кількість відходів.

Отже, використання переробленого пластику у меблевому виробництві є важливим кроком у напрямку сталого та екологічно відповідального виробництва, що має численні переваги як для довкілля, так і для виробників та споживачів.

Таблиця 1.4 - Матеріали які використовуються при створенні меблів

Матеріал	Ергономічність	Функціональність	Довговічність	Естетичність	Коштовність
Дерево	8	6	5	7	7

<b>Прут для плетіння</b>	7	6	5	6	6
<b>Алюміній</b>	7	8	8	6	8
<b>Коване залізо</b>	6	7	9	6	9
<b>Пластик</b>	8	8	7	7	5
<b>Бетон</b>	5	8	10	6	7
<b>Каміння</b>	5	8	10	7	9

Недоліки використання дерева.

1. Довговічність. Дерево піддається впливу погодних умов, таких як волога і сонце, що призводить до його швидкого зносу, гниття або розтріскування.

2. Вага. Дерев'яні меблі можуть бути досить важкими, що ускладнює їх переміщення.

3. Технічне обслуговування. Дерев'яні меблі потребують регулярного догляду та обробки для захисту від шкідників і погодних умов [5].

Недоліки використання пруту для плетіння (ротанг).

1. Довговічність. Прут для плетіння, особливо натуральний, схильний до швидкого зносу під дією вологи і ультрафіолетових променів.

2. Міцність. Меблі з прута не настільки міцні і можуть легко деформуватися під великим навантаженням.

3. Стійкість. Вироби з ротангу можуть бути менш стійкими та надійними в порівнянні з іншими матеріалами [6].

Недоліки використання алюмінію.

1. Комфорт. Алюмінієві меблі можуть бути холодними на дотик, що не сприяє комфорту користувачів.

2. Вигляд. Металевий вигляд може не вписуватися в природний ландшафт парку, виглядаючи занадто промислово.

3. Ціна. Алюміній дорожчий у виробництві та може збільшити загальну вартість проекту [7].

Недоліки використання кованого заліза.

1. Вага. Коване залізо дуже важке, що ускладнює транспортування та встановлення меблів.

2. Корозія. Залізо піддається корозії під впливом вологи, що потребує регулярного технічного обслуговування та покриття антикорозійними засобами.

3. Комфорт. Залізо, як і алюміній, може бути незручним на дотик, особливо в холодну або жарку погоду.

Чому перероблений ABS пластик кращий варіант.

1. Міцність. ABS пластик має високу ударостійкість та міцність, що робить його ідеальним для використання у громадських місцях.

2. Довговічність. ABS пластик добре витримує вплив ультрафіолетового випромінювання, вологи та температурних коливань, що забезпечує тривалий термін служби виробів.

3. Легкість. Вироби з ABS пластику легкі, що полегшує їх транспортування та встановлення.

4. Ергономічність. ABS пластик легко обробляється, що дозволяє створювати ергономічні форми для максимального комфорту користувачів.

5. Екологічність. Використання переробленого пластику зменшує кількість відходів і підтримує концепцію сталого розвитку.

6. Естетика. ABS пластик може бути пофарбований у різні кольори та текстури, що дозволяє створювати естетично привабливі вироби, які добре вписуються в будь-який дизайн публічного простору.

7. Вартість. Використання переробленого ABS пластику може бути економічно вигідним, забезпечуючи високу якість за розумну ціну.

Таким чином, перероблений ABS пластик поєднує в собі всі необхідні характеристики для створення ергономічного та довговічного крісла для публічних просторів [8].

В цілому, використання переробленого пластику у меблевому виробництві є важливим кроком у напрямку сталого та екологічно відповідального виробництва. Це сприяє збереженню довкілля, розвитку інноваційних продуктів та підтримці циркулярної економіки. З урахуванням цих факторів, використання переробленого

пластику може стати ключовим елементом успішного розвитку меблевої промисловості в майбутньому.

Таблиця 1.5 – Аналіз матеріалу дерево

Назва	Дерево	Прут для плетіння
Целюлоза	40-50%	40-50%
Лагнін	20-30%	15-25%
Геміце-люлоза	15-25%	20-30%
Вода	5-10%	5-10%
Смоли	1-5%	-

Таблиця 1.6 – Аналіз матеріалу бетон

Бетон	
Цемент	10-20%
Пісок	20-30%
Гравій або щебінь	40-50%
Вода	5-10%
Добавки (пластифікатори, прискорювачі твердіння)	0.5-2%

Таблиця 1.7 – Аналіз матеріалу спеціальне каміння (граніт, мрамур, тощо)

Спеціальне каміння (граніт, мрамур, тощо)	
Силікати (для граніту)	70-80%
Карбонати кальцію (для мрамору)	90-95%

Інші мінерали та домішки	8-10%
--------------------------	-------

Таблиця 1.8 – Аналіз матеріалу коваче залізо

<b>Коваче залізо</b>	
Залізо (Fe)	96-98%
Вуглець	0.02-0.03%
Кремній	0.1-0.3%
Марганець	0.2-1%
Фосфор	0.02-0.1%
Сірка	0.02-0.1%

Таблиця 1.9 – Аналіз матеріалу алюміній

<b>Алюміній</b>	
Чистий алюміній (Al)	99-99.9%
Дрібні домішки інших матеріалів	0.1-1%

Таблиця 1.10 – Аналіз матеріалу ABS пластик

<b>Хімічний склад ABS пластику</b>	
Акрилонітрил	20-30%
Бутадієн	5-30%
Стирол	40-60%
Пластифікатор, барвники, стабілізатори	1-5%

### 1.3 Ергономічні принципи проектування меблів для публічних просторів

Ергономіка відіграє значущу роль у дизайні меблів для публічних просторів, таких як офіси, ресторани, готелі, лобі та інші громадські місця. Врахування ергономічних принципів сприяє створенню комфортних та безпечних умов для користувачів, сприяючи їхньому здоров'ю.

Комфорт користувачів. Ергономічно спроектовані меблі повинні забезпечувати оптимальний рівень комфорту для користувачів. Це означає врахування правильної висоти сидіння, нахилу спинки, глибини та ширини сидіння, щоб користувачі могли сидіти або працювати зручно та без дискомфорту.

Безпека та здоров'я. Ергономічні меблі повинні бути безпечними для використання та не завдавати шкоди здоров'ю користувачів. Наприклад, правильно підібрані стільці з підтримкою для спини можуть запобігти болю у спині та дискомфорту при сидінні.

Ефективність та продуктивність. Ергономічні меблі можуть підвищити ефективність та продуктивність користувачів, забезпечуючи їм комфортні умови для роботи або відпочинку. Наприклад, правильно спроектовані робочі столи можуть допомогти зберегти енергію та підвищити концентрацію.

Доступність для всіх користувачів. Ергономічний дизайн меблів також повинен враховувати потреби всіх користувачів, включаючи людей з обмеженими можливостями. Наприклад, меблі з правильною висотою та розмірами можуть забезпечити зручний доступ для всіх груп користувачів.

При проектуванні меблів для публічних просторів важливо враховувати основні ергономічні принципи, що забезпечують комфорт, безпеку та здоров'я користувачів.

Основні ергономічні принципи, які слід враховувати при проектуванні меблів[9].

Висота сидіння. Важливо, щоб висота сидіння меблів була оптимальною, щоб користувачі могли сидіти зручно. Зазвичай висота сидіння має бути такою, щоб

стопи користувача торкалися підлоги, а коліна були згнуті під кутом близько 90 градусів.

Глибина та ширина сидіння. Глибина та ширина сидіння також важливі для комфорту. Сидіння повинно бути достатньо широким та глибоким, щоб користувач міг сидіти зручно, не відчуваючи дискомфорту.

Підлокітники. Підлокітники можуть допомогти підтримати руки користувача та розподілити вагу тіла, зменшуючи навантаження на спину та плечі. Вони повинні мати належну висоту та ширину, щоб забезпечити комфортну підтримку.

Спинка. Спинка меблів повинна мати правильну форму та підтримувати природну кривизну хребта. Висота та нахил спинки також важливі для оптимальної підтримки спини користувача.

Матеріали та текстури. Матеріали, з яких виготовлені меблі, повинні бути приємними на дотик та легкими у догляді. Текстура поверхні сидінь та спинок також важлива для комфорту користувачів.

Таблиця 1.11 – Ергономічні показники що забезпечують комфорт, безпеку та здоров'я користувачів

Параметр	Значення	Опис
Висота сидіння	400 мм	Оптимальна висота для комфортного сидіння
Глибина сидіння	430 мм	Забезпечує належну підтримку для стегон
Висота спинки	600 мм	Підтримує поперек та частину спини
Ширина сидіння	800 мм	Забезпечує достатньо місця для зручного сидіння
Кут нахилу спинки	10-20 градусів	Оптимальний кут для зручного відпочинку
Матеріал	Перероблений ABS пластик	Міцний, довговічний та екологічно чистий матеріал

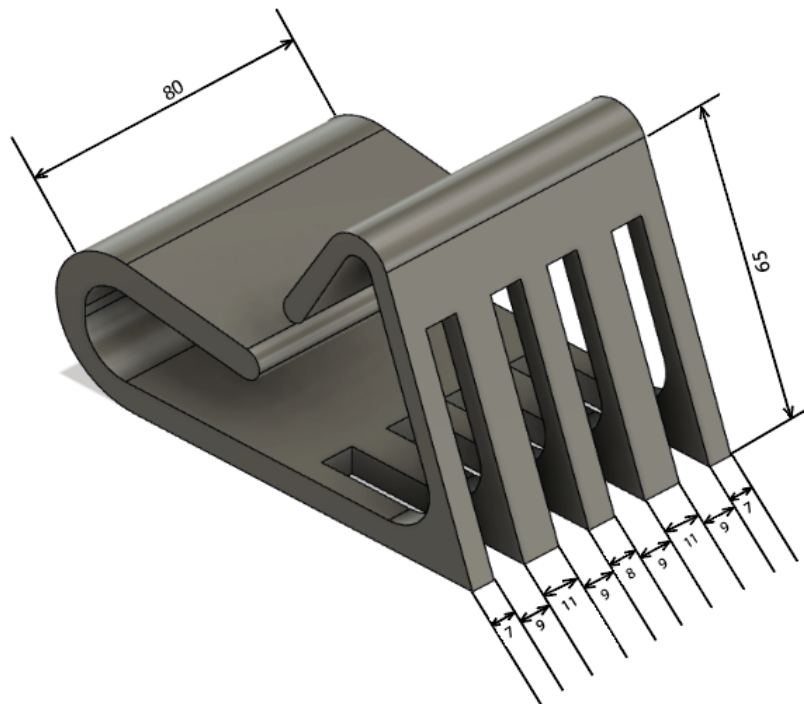
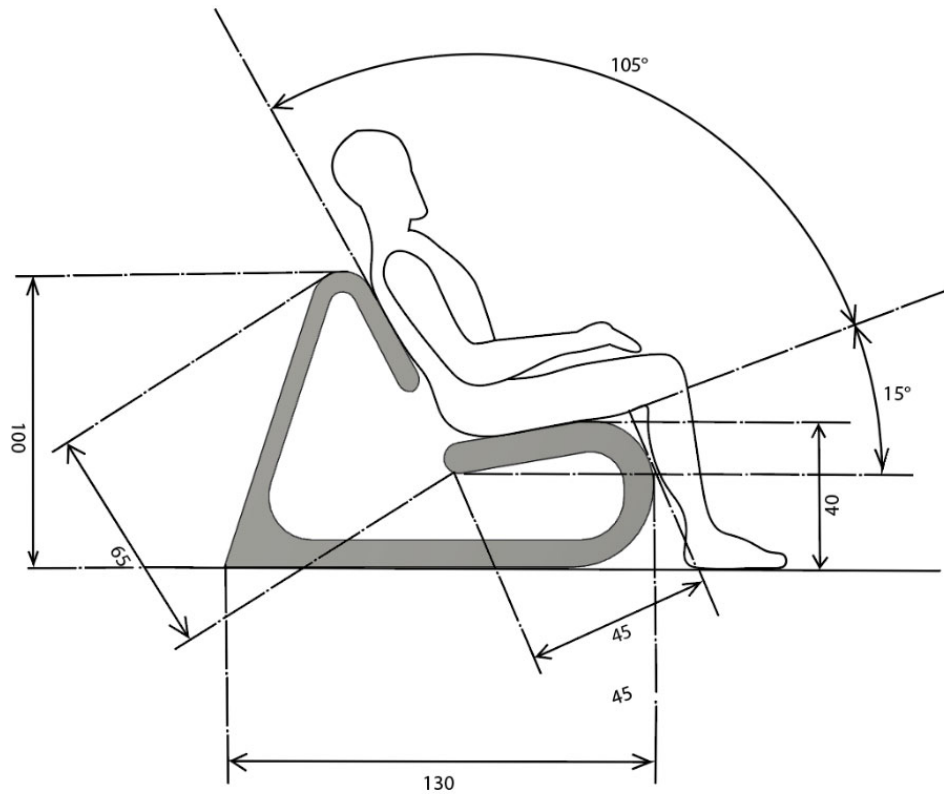


Рисунок 1.3 – Ергономічна схема прототипу крісла

Ергономічні рекомендації [9] спрямовані на покращення ефективності та якості наукової діяльності, збереження здоров'я та розвиток особистості.

Класифікацію та типову номенклатуру показників якості промислових виробів і методичні рекомендації для їх оцінювання встановлено у ДСТУ 3963–2000 та ДСТУ 4055–2001. Ці показники використовуються під час оцінювання якості виробів у процесі їх створення, впровадження або експлуатації, а також у науково-технічній, навчальній, методичній та довідковій літературі.

Під час проектування меблів для публічних просторів важливо дотримуватися ергономічних принципів, оскільки вони мають бути зручними та безпечними для користувачів різних вікових та фізичних груп. Нижче наведені ключові ергономічні аспекти, які слід враховувати при проектуванні меблів для публічних просторів.

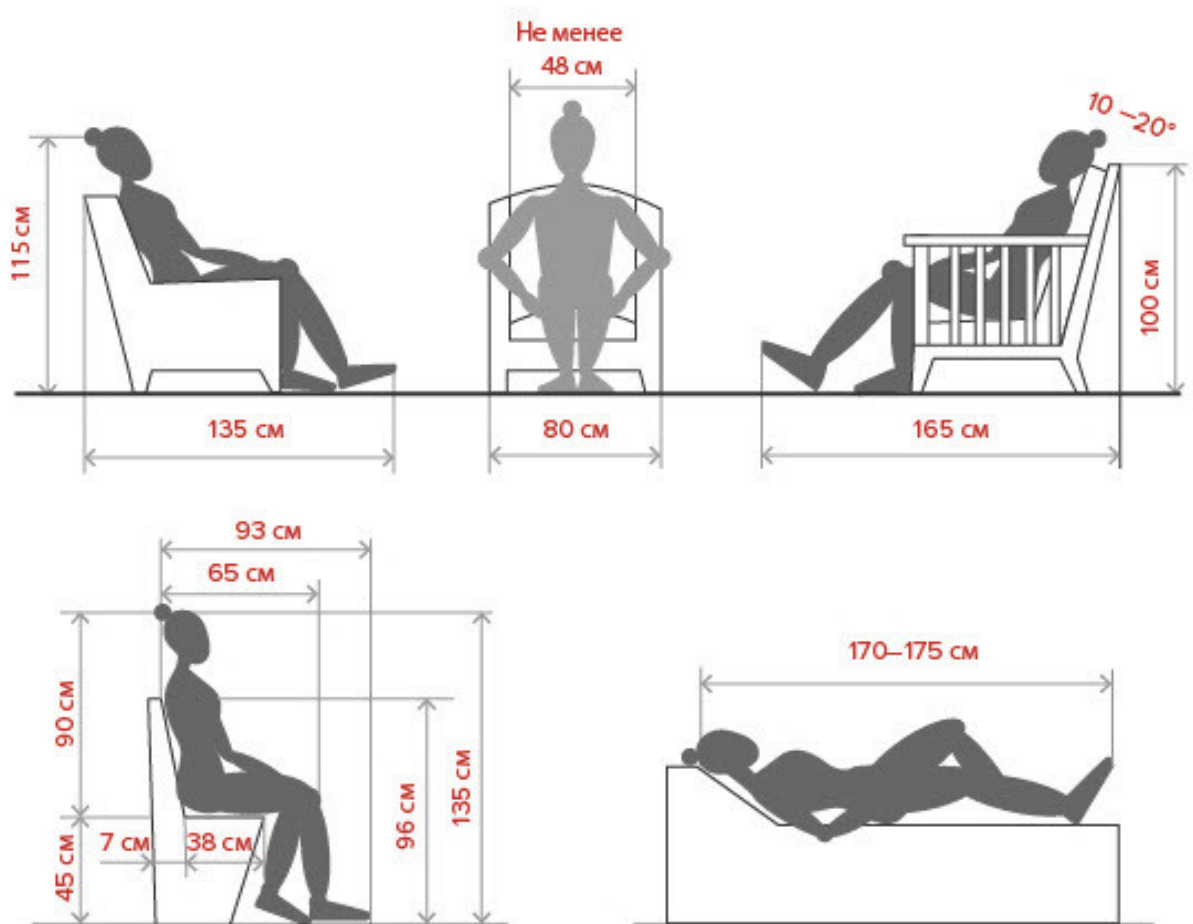


Рисунок 1.4 – Соматографія людського тіла

## 1.4 Постановка задач роботи

Сучасна меблева промисловість постійно прагне вдосконалити свою продукцію та реагувати на виклики сучасності, включаючи вимоги сталого розвитку та екологічної безпеки. В цьому контексті, генеративний дизайн виступає як інноваційний підхід, здатний змінити підходи до створення меблів і відкрити нові горизонти для розвитку галузі.

Потрібно визначити вплив різних факторів на експлуатаційні характеристики матеріалу та визначити оптимальні ергономічні параметри об'єкту дослідження, так само матеріал для конструкції повинен мати відповідну зносостійкість, міцність, стійкість до УФ променів та теплостійкість, екологічність і естетичність.

Виходячи з вищевизначеного, метою цього проекту є розробка генеративного дизайну, який об'єднує естетичність та ергономічність, з використанням переробного пластику, для меблів у публічному просторі.

Щоб досягти поставленої мети, слід виконати такі завдання:

1. Виявити основні проблеми з ергономікою, зручністю та довговічністю існуючих меблів у публічних просторах.
2. Розробити 3D модель прототипу меблевого виробу.
3. Визначити вплив різних факторів на експлуатаційні характеристики матеріалу та визначити оптимальні ергономічні параметри об'єкту дослідження.
4. Встановити критерії якості контролю та обґрунтувати методологію визначення показників навантаження шляхом аналізу методом кінцевих елементів, експериментально визначити показники деформації згину та руйнування і провести аналіз під впливом УФ світла за допомогою ударної трубки.

## **2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ**

### **2.1 Функціонально-вартісний аналіз технічного об'єкта**

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) [10] відносять до найбільш Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) є одним із найефективніших методів дослідження для виявлення можливостей економії матеріальних, трудових і фінансових ресурсів у виробництві продукції. Цей аналіз проводиться з метою знайти способи зниження витрат шляхом більш ефективних варіантів виробництва та досягнення оптимального співвідношення між споживчою цінністю виробу і витратами на його виготовлення. Основою ФВА є пошук шляхів зменшення матеріало-, енерго- та трудомісткості продукції.

ФВА спрямований на мінімізацію витрат ресурсів у процесі виробництва через покращення конструкції виробів, удосконалення методів виготовлення деталей та вузлів, виявлення додаткових або зайвих витрат, раціоналізацію технологій та використання ефективних матеріалів. Для здійснення цього аналізу використовують звітну, облікову, конструкторсько-технологічну, нормативну та позаоблікову інформацію.

Особливістю ФВА є функціональний підхід, який відрізняється від традиційних методів зниження виробничих та експлуатаційних витрат. Суть функціонального підходу полягає в розгляді об'єкта як сукупності функцій, які він повинен виконувати, а не тільки в його конкретній формі. Кожна функція аналізується з точки зору можливих принципів і способів її виконання за допомогою спеціальних прийомів. Оцінка варіантів побудови об'єкта проводиться за критеріями, що враховують ступінь виконання та значимість функцій, а також розмір витрат, пов'язаних із їх реалізацією на всіх етапах життєвого циклу.

Прагнення суспільства до підвищення споживчої цінності створюваних об'єктів є законом розвитку. Філософія ФВА ґрунтується на досягненні раціонального балансу між споживчими властивостями (якістю) та витратами на їх

досягнення. Основна мета ФВА полягає не лише у зниженні витрат чи підвищенні якості, а у максимізації споживчої цінності об'єкта.

Результати ФВА.

Зменшення витрат. Досягнення суттєвого зниження витрат на виробництво продукції або виконання процесів.

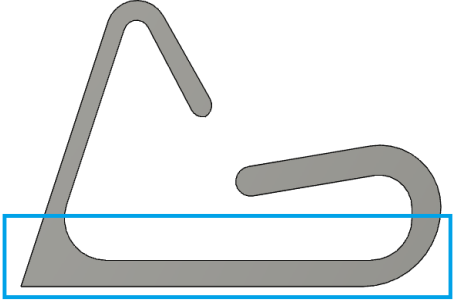
Покращення якості. Підвищення якості продуктів або послуг, що надаються.

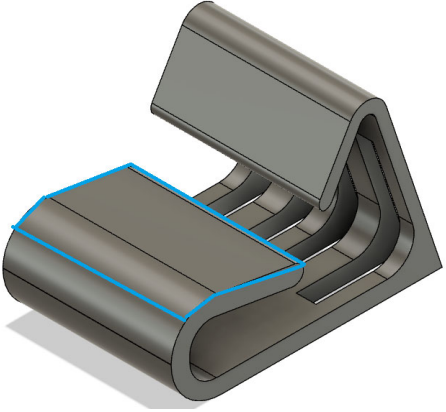
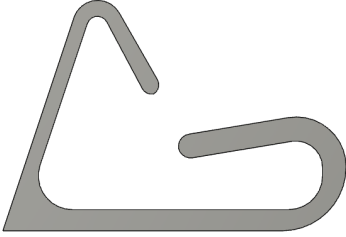
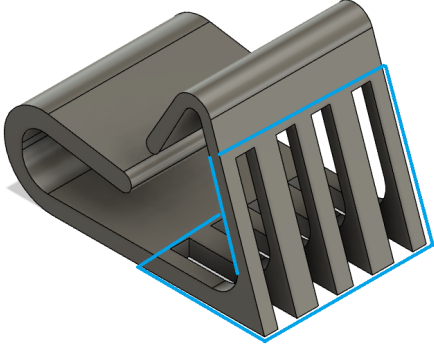
Оптимізація процесів. Спрощення і раціоналізація бізнес-процесів.

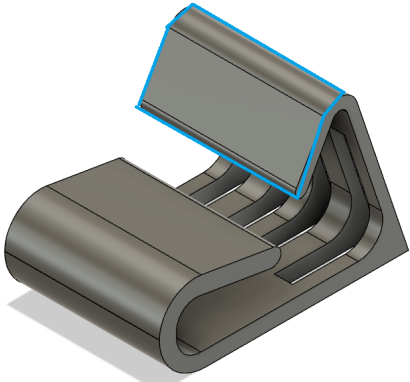
Збільшення конкурентоспроможності. Підвищення конкурентоспроможності продукції або підприємства на ринку.

Інноваційні рішення. Впровадження нових, більш ефективних рішень, технологій або методів.

Таблиця 2.1 – Функціонально-вартісний аналіз

Склада-дова	Склада-дова	Назва	Функція	Приклад
E1	Ф1	Нижня частина конструкції	Підтримує конструкцію та забезпечує стабільність та надійність крісла.	

E2	Ф2	Сидіння	Забезпечення комфортного та підтримуючого сидіння.	
E3	Ф3	Виріз	Конструкційно зменшує вагу крісла, дає додаткову жорсткість конструкції.	
E4	Ф4	Спеціальні отвори для транспорту користувача	Додаткова функціональність може підвищити вартість виробництва, але забезпечує додатковий зручний функціонал для користувача.	

E5	Ф5	Спинка	Забезпечує оптимальну підтримку спини, комфорт та зручність для користувача під час тривалого сидіння	
----	----	--------	---	---

Таблиця 2.2 – Оцінка ефективності елементів

Елементи	Функція	Значимість	Вартість	Ефективність
Нижня частина конструкції	Ф1	25	30	0.8
Сидіння	Ф2	20	20	1
Виріз	Ф3	23	15	1.5
Спеціальні отвори для транспорту користувача	Ф4	10	15	0.6
Спинка	Ф5	22	20	1.1
		100 %	100 %	

У результаті проведення функціонально-вартісного аналізу, можемо зробити наступні висновки: нижня частина конструкції, сидіння та спинка по значимості є одним із найважливіших у всій конструкції, Враховуючи велику вартість сидіння конструкції її було знижено за допомогою збільшення вирізу, для цього необхідно визначити чи витримає дана конструкція необхідні навантаження.

## 2.2 Процес створення тривимірної моделі

Під час етапу розробки використовується програмне забезпечення Autodesk Fusion 360 [11] та Blender для створення цифрових моделей меблів. Autodesk Fusion 360 дозволяє розробляти складний та промисловий дизайн, урахувавши функціональні вимоги та ергономіку, тоді як Blender надає можливості для творчого моделювання та візуалізації концепцій.

Функціональні властивості.

- Забезпечення правильної підтримки для спини та ніг для зменшення втоми;
- Відповідні розміри та форми для різних користувачів;
- Матеріал, що не нагрівається на сонці для зручного використання в будь-яку погоду;

Матеріал.

Для виготовлення ергономічного крісла для публічного простору використовується перероблений пластик. Цей матеріал є стійким до впливу атмосферних умов, легким для транспортування та утилізації, а також може мати високу міцність та довговічність.

Навантаження.

Ергономічне крісло для публічного простору повинно витримувати різні види навантажень, оскільки воно буде використовуватися різними людьми у громадських місцях. Тому при розробці необхідно враховувати максимальну допустиму навантаженість та міцність конструкції, ергономічне крісло з переробленого пластику може витримати навантаження від 100 до 150 кілограм.

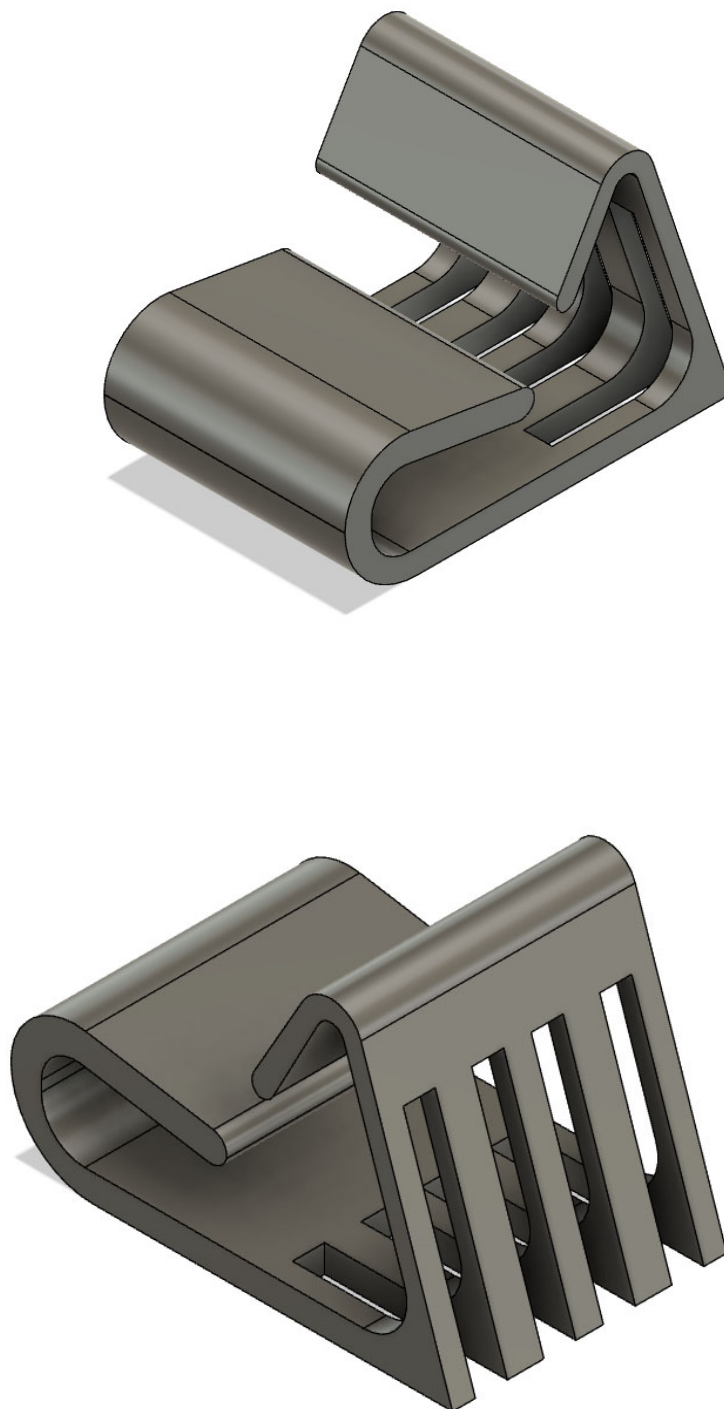


Рисунок 2.1 – Тривимірні моделі розробленого крісла для публічного простору

Після створення тривимірної моделі крісла, потрібно перейти до визначення показників навантаження шляхом аналізу методом кінцевих елементів, для цього будемо використовувати симуляцію у Autodesk Fusion 360 на Static Stress[12].

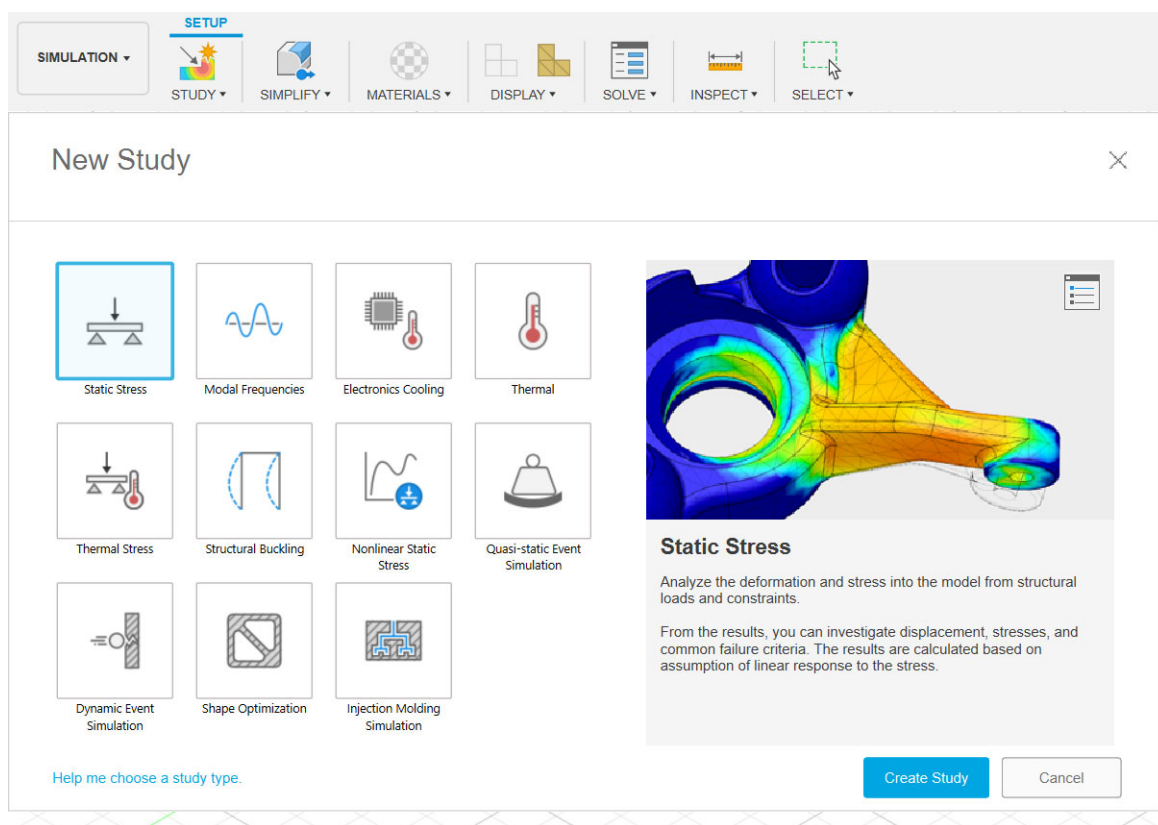


Рисунок 2.2 – Огляд вікна симуляції у Autodesk Fusion 360 на Static Stress

Процес симуляції статичного навантаження (Static Stress) в Autodesk Fusion 360 включає декілька основних етапів[13].

#### 1. Підготовка моделі.

Перед початком симуляції потрібно переконатися, що модель готова. Всі компоненти повинні бути правильно спроектовані та з'єднані.

#### 2. Перехід до середовища симуляції.

- Переходимо до середовища симуляції, натиснувши на вкладку Simulation у верхньому меню.

#### 3. Вибір типу симуляції.

- Обираємо кнопку New Study і обираємо тип симуляції Static Stress.

- Натискаємо ОК, щоб підтвердити вибір і створити нове дослідження.

#### 4. Призначення матеріалів.

- Обираємо кожен компонент моделі і признаємо відповідний матеріали, у нашому випадку це ABS пластик. Це можна зробити, натиснувши правою кнопкою миші на компонент і вибравши Assign Material.

## 5. Задання умов граничних умов (Constraints).

- Обираємо місце, де наша модель буде закріплена (фіксовані точки або поверхні).

- Обираємо Constraints і обираємо тип граничної умови (наприклад, Fixed для повного фіксування).

- Застосовуємо граничні умови до вибраних місць.

## 6. Задання навантажень.

- Обираємо Loads у меню симуляції.

- Обираємо тип навантаження (Force).

- Застосовуємо навантаження 1200N до відповідних поверхонь або точок моделі.

- Вказуємо величину і напрямок навантаження.

## 7. Запуск симуляції.

- Після завершення всіх налаштувань натискаємо Solve.

- Обираємо спосіб розрахунку (локальний комп'ютер або хмарні обчислення Autodesk).

- Натискаємо Solve для запуску симуляції.

## 8. Аналіз результатів.

- Після завершення симуляції можна переглянути результати. Можна побачити розподіл напружень, деформацію та інші важливі параметри.

Цей процес допомагає оцінити, як вироби реагуватимуть на статичні навантаження, і прийняти обґрунтовані рішення щодо оптимізації дизайну.



Рисунок 2.3 – Тестування на Contact force

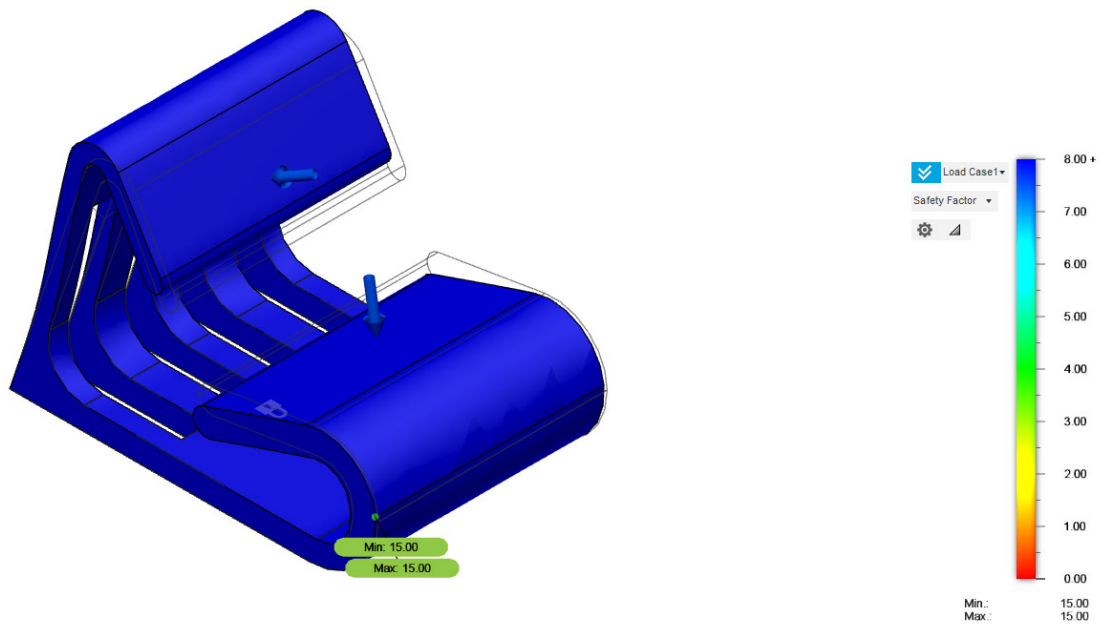


Рисунок 2.4 – Тестування на Safety factor

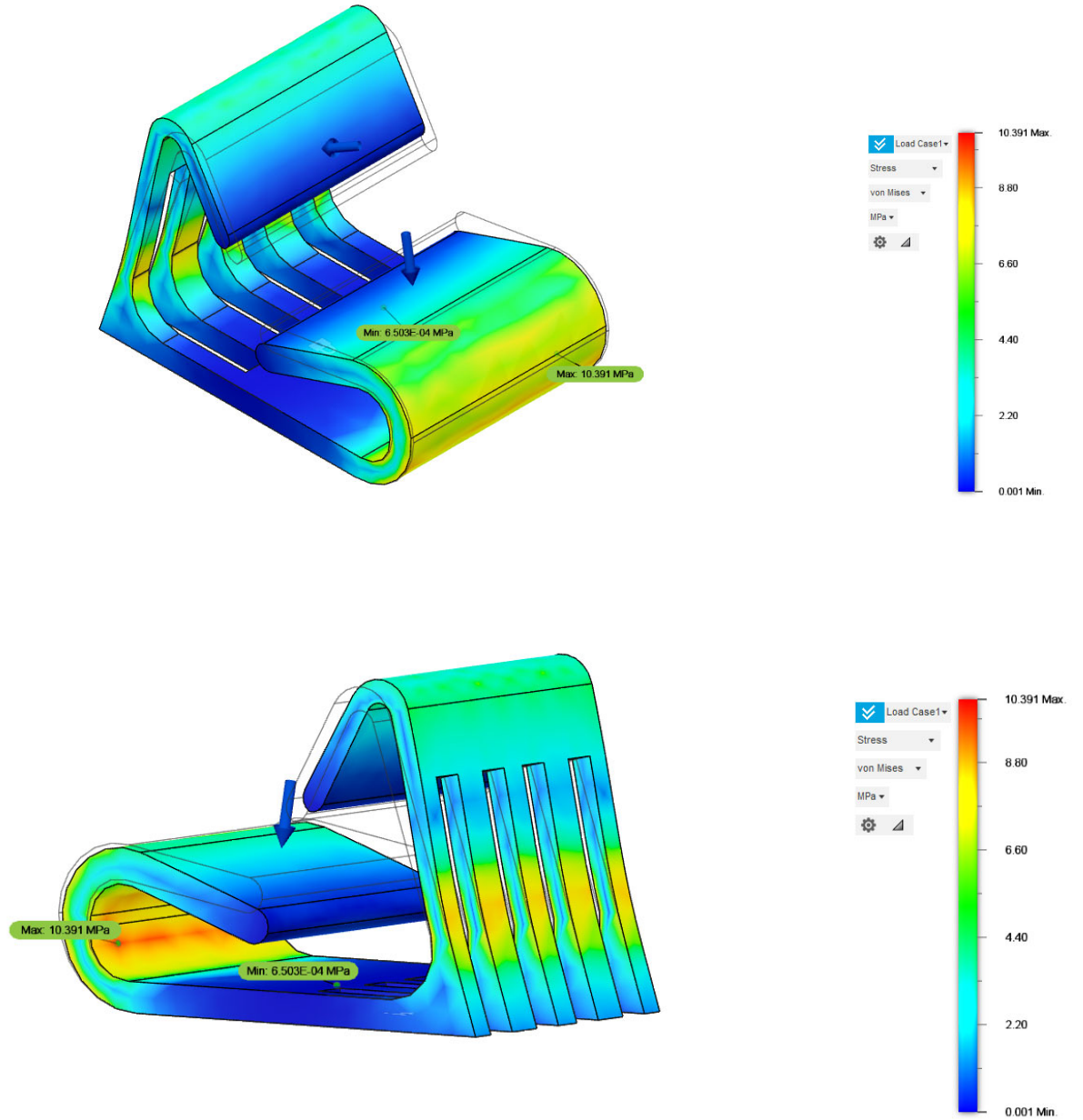


Рисунок 2.5 – Тестування на Stress

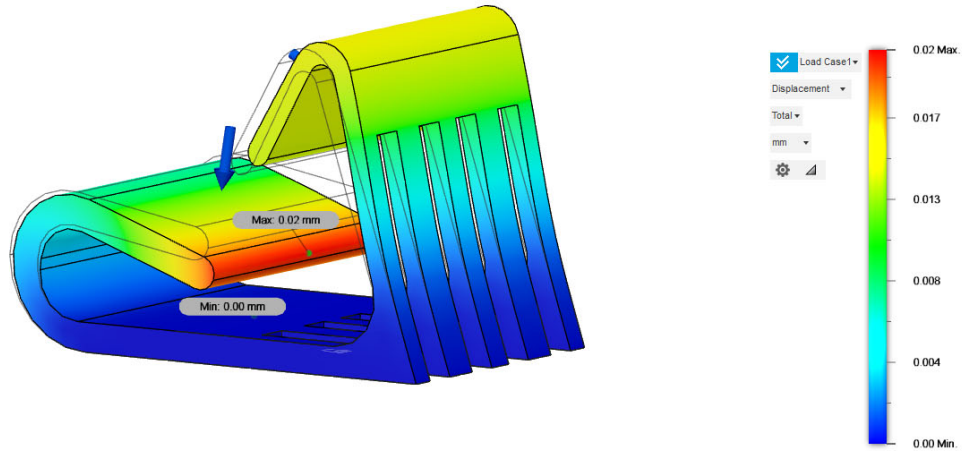


Рисунок 2.6 – Тестування на Displacement

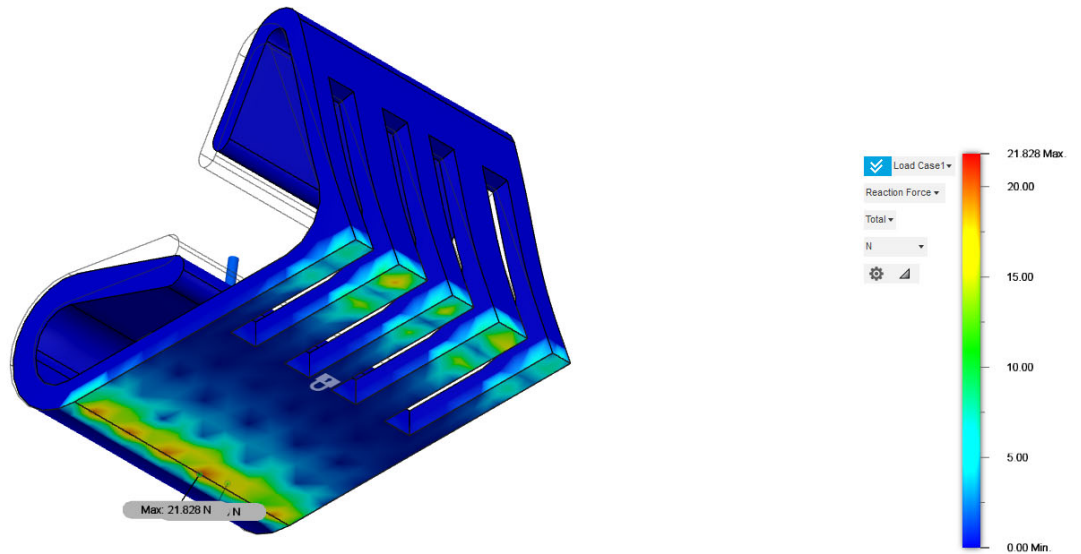


Рисунок 2.7 – Тестування на Reaction force

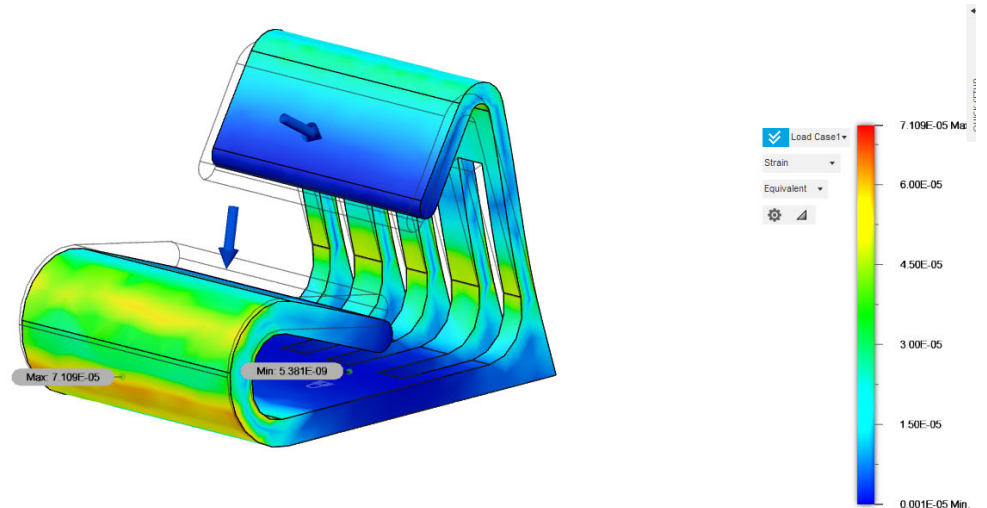


Рисунок 2.8 – Тестування на Strain

У максимальному значенні Stress становить 10,391 МПа.

Ми бачимо що у сидіння максимальна деформація ,і вона становить 0,02 мм. Отримані дані показали, що напруження в конструкції крісла при навантаженні 1200N не перевищують допустимі значення для переробленого пластику. Виявлено, що деформації крісла під впливом навантаження 1200N є прийнятними та не призводять до порушення цілісності конструкції.



Рисунок 2.9 – Прототип крісла для публічного простору з переробленого пластику розробленого в програмному забезпеченні Blender

## 2.3 Вибір матеріалу для розробки прототипу

У випадку пластику, якщо використовуються змішані типи, це ускладнює його подальшу переробку. Натомість, наш один джерело може бути розплавлене та повторно використане, що є відмінним прикладом того, як усвідомлені вибори виробництва можуть сприяти повному закриттю циклу відходів шляхом переробки та повторного використання матеріалів, які раніше вважалися сміттям.

Для виготовлення меблів за допомогою 3D друку можна використовувати різноманітні види переробленого пластику. Деякі з найпоширеніших видів переробленого пластику, які підходять для цієї цілі, включають [14].

PLA (полілактид) - це біорозкладається пластик, який може бути виготовлений зі старих пластикових виробів або навіть з рослинних відходів.

ABS (акрилонітрил-бутадієн-стироль) - цей міцний та довговічний пластик також може бути використаний для друку меблів.

PETG (поліетилен-тетрафталатгліколь) - прозорий та міцний матеріал, який ідеально підходить для створення меблів.

HDPE (високоміцний поліетилен) - цей пластик стійкий до ударів та хімічно стійкий, і може бути перероблений для використання в 3D друку.

PP (поліпропілен) - цей пластик відомий своєю високою термічною та хімічною стійкістю, а також міцністю. Він може бути використаний для створення меблів, які вимагають високої стійкості до розтягнення і зносу.

PE (поліетилен) - цей пластик має високу стійкість до хімічних речовин і води, а також має низьку щільність. PE часто використовується для створення легких та міцних меблів.

Для створення меблів для публічного простору за допомогою 3D друку, важливо вибирати матеріали, які мають високу міцність і стійкість до зношування. У цьому контексті, ABS (акрилонітрил-бутадієн-стироль) [8] може бути одним з найкращих варіантів. ABS відомий своєю високою міцністю, стійкістю до ударів і зносу, а також термічною стійкістю. Цей матеріал також має добру стійкість до хімічних речовин, що є важливим для меблів у громадських місцях. Крім того, ABS

має високу естетичну якість, що дозволяє створювати якісні та привабливі дизайни меблів. Отже, ABS може бути найкращим вибором для виготовлення меблів для публічного простору за допомогою 3D друку.

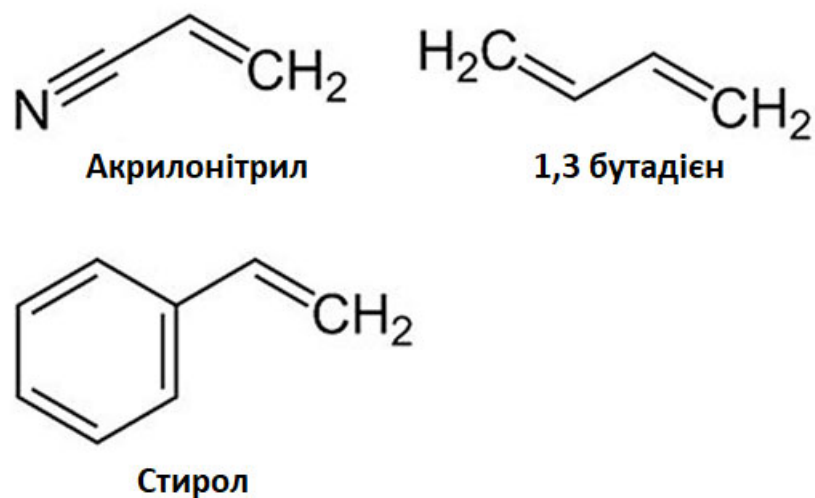


Рисунок 2.10 – Хімічна формула акрилонітрил-бутадієн-стиролу (ABS)

Таблиця 2.3 – Характеристики переробленого пластику

	PLA	ABS	PETG	HDPE	PP	PE
Міцність	Середня	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня
Гнучкість	Низька	Середня	Висока	Висока	Висока	Висока
Стійкість до впливу навколишнього середовища	Середня	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока
Естетичні якості	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня	Середня
Інші характеристики	Біорозкладається, екологічно чистий матеріал	Добре піддається обробці, добре підходить для друку дрібних деталей	Прозорий, стійкий до подряпин	Хороша хімічна стійкість, витримує знос	Легкий, стійкий до хімічних речовин, гарна термічна стійкість	М'який, стійкий до вологи, хороша електрична ізоляція

Таблиця 2.4 – Фізико-хімічні параметри пластику ABS

Щільність (23 °С), г/см <sup>3</sup>	1.02 — 1.06
Межа текучості при розтягуванні (23 °С), МПа	34 — 52
Міцність при розтягуванні (23 °С), МПа	26 — 47
Модуль пружності при розтягуванні (23 °С), МПа	1700 — 2930
Водопоглинання (23 °С, 24 год, при зануренні), %	0.2 — 0.3
Водопоглинання (23 °С, рівноважний, при зануренні), %	0.3 — 1.8
Типова усадка, %	0.3 — 0.8
Температура розм'якшення за Віка ( 10Н),°	90 — 119
Температура вигину під навантаженням (0.45 МПа),°	95 — 99
Твердість по Роквеллу (23 °С)	R80 — R116



Рисунок 2.11 – Вигляд готового ABS пластику для 3D друку

## **2.4 Технологія виготовлення прототипу крісла**

3D-друк є передовим методом виготовлення виробів з пластику, який дозволяє підприємствам ефективно виробляти дрібносерійні деталі та індивідуалізувати товари. Ця технологія широко застосовується у різних галузях, розмиваючи межу між реальністю та фантастикою.

Завдяки 3D-друку можна створювати прототипи продуктів, проводити їх тестування та подальше вдосконалення. Цей метод дозволяє досягати плавних переходів кольорів, наносити різноманітні текстури та використовувати кілька видів полімерів для одночасного друку [15].

У сфері електротехніки 3D-друк допомагає відтворювати будь-які деталі - достатньо підготувати тривимірну модель прототипу, завантажити її у пристрій, дочекатися виконання друку пошарово і отримати готовий виріб. Для автоматизації цього процесу фабрики та заводи використовують принтери, спрямовані на

виготовлення продукції із певного матеріалу, що дозволяє зберегти час і підвищити продуктивність та якість виробництва.

Перероблений пластик перетворюється на нитку для широкоформатного принтера, який потім виробляє меблі. У даному випадку 3D принтер це величезна роботизована рука, яка оснащена екструдером. Роботизовані руки можуть здійснювати рухи під декартовими координатами як і звичайні 3D принтери, але їх додаткові осі допускають значно більші рухи, у тому числі і діагональний друк.

Діагональний ухил забезпечує більшу міцність, таким чином вага не впливатиме на надруковані лінії перпендикулярно, що, як відомо, є слабким місцем 3D друкованих виробів.

Детальний опис виготовлення.

Підготовка до друку.

Спочатку створюється тривимірний модель виробу на комп'ютері за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для 3D-моделювання. Потім ця модель перетворюється на цифровий файл, який можна передати на 3D принтер для подальшого виготовлення.

Налаштування принтера.

Величезна роботизована рука з екструдером підготовлюється до роботи, забезпечуючи правильне витікання матеріалу під час друку. Налаштовується температура екструдера та інші параметри друку відповідно до використовуваного матеріалу.

Процес друку.

Процес друку починається з руху роботизованої руки з екструдером по заданій траєкторії, шар за шаром наносячи розплавлений матеріал на платформу. Екструдер рівномірно розподіляє матеріал на підготовлену платформу, створюючи шари виробу.

Фінішний етап.

Після завершення друку матеріал охолоджується і затвердіває, утворюючи готовий виріб. Якщо виріб складається з кількох частин, роботизована рука може

перейти до друку наступних елементів, об'єднання яких дозволить отримати кінцевий виріб.



Рисунок 2.12 – Роботизована рука для 3D друку

При використанні 3D-друку, вибір правильного матеріалу може бути критичним для успішності проєкту. ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол) є термопластом, відомим своєю міцністю та універсальністю. Цей матеріал має високу міцність на розтяг, що дозволяє йому витримувати великі навантаження без ламання. Крім того, він добре згинається, не тріскається і не ламається, що робить його популярним для проєктів, які потребують еластичності.

Якщо потрібно надрукувати деталь, яка буде на відкритому повітрі, ABS може бути оптимальним вибором через його стійкість до погодних умов та ультрафіолетових променів. Також він може бути найкращим вибором завдяки його здатності згинатися, не тріскаючись і не ламаючись.

Поміж фізичними характеристиками, важливо враховувати параметри друку та вимоги для кожного матеріалу. ABS відомий своєю міцністю, довговічністю та гнучкістю.

Висока температура плавлення ABS робить його ідеальним для друку об'єктів, що вимагають міцності та довговічності, таких як автомобільні деталі, іграшки та корпуси електронних пристроїв. Однак, однією з проблем друку ABS є його схильність до деформації або усадки.

Для запобігання цьому, часто використовують стіл з підігрівом та закритий принтер для підтримки постійної температури. ABS зазвичай друкують при температурі 220-250°C, тому важливо мати 3D-принтер із підігрівом для друку ABS. Температура платформи для матеріалу знаходиться у діапазоні 80-105°C.

## **2.5 Висновки за розділом**

У другому розділі було проведено функціонально-вартісного аналізу, у результаті проведення даного аналізу, можемо зробити наступні висновки: нижня частина конструкції, сидіння та спинка по значимості є одним із найважливіших у всій конструкції, Враховуючи велику вартість сидіння конструкції її було знижено за допомогою збільшення вирізу, для цього необхідно визначити чи витримає дана конструкція необхідні навантаження.

Було розроблено 3D модель прототипу крісла для публічного простору і було запропоновано матеріал для виготовлення виробу перероблений ABS пластик виходячи з результатів дослідження.

Було обрано метод виготовлення прототипу за допомогою 3D-друку. Цей метод дозволяє досягати плавних переходів кольорів, наносити різноманітні текстури та використовувати кілька видів полімерів для одночасного друку.

## 3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Постановка задачі дослідження

Даний розділ передбачає дослідження впливу дії УФ-світла та температурного режиму 3D-друку на механічні показники ABS пластику.

Виявлено, що зразки, пошкоджені ультрафіолетовим випромінюванням, мали незначну крихкість, що призвело до того, що вони мали меншу гнучкість ніж зразки, які не піддавалися дії ультрафіолету. Для ультрафіолетового опромінення використовували Везерометр для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV.



Рисунок 3.1 – Везерометр для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV (QUV Accelerated Weathering Tester)

Везерометр для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV[24] створює умови для появи пошкоджень, що виникають під впливом сонячного світла, опадів та роси. Пошкодження, які у природних умовах на відкритому повітрі

виникають через місяці або роки експлуатації виробів, за допомогою Везерометра QUV можуть бути отримані лише за кілька днів або тижнів. Для імітації умов випробування на атмосферостійкість у Везерометрі QUV матеріали поперемінно піддаються циклам впливу ультрафіолетового випромінювання та вологою при контрольованих підвищених температурах.

Вплив сонячного світла у Везерометрі імітується за допомогою флуоресцентних ультрафіолетових ламп. Вплив роси та опадів у Везерометрі імітується за допомогою системи конденсується вологості та (або) зрошення.

Везерометр QUV для прискореного випробування на атмосферостійкість є найбільш простим, надійним і зручним у використанні для випробувань на атмосферостійкість.

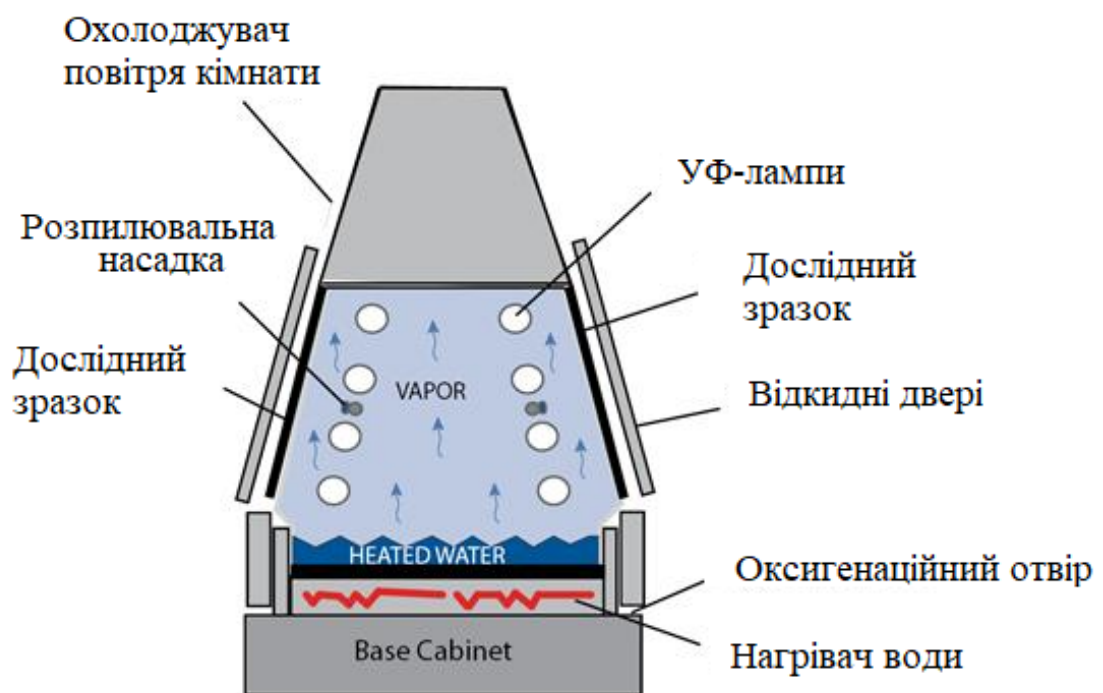


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення роботи везерометра для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV

Найпопулярніша модель QUV має систему контролю інтенсивності випромінювання SOLAR EYE, яка забезпечує точну підтримку інтенсивності УФ-

випромінювання. У везерометрі для випробувань QUV для імітації впливу вологи на свіжому повітрі використовується випробуваний механізм конденсації.

Система SOLAR EYE є високоточною системою контролю, яка автоматично підтримує інтенсивність випромінювання за допомогою контуру зворотного зв'язку. Контролер відстежує інтенсивність УФ-випромінювання та компенсує погіршення характеристик ламп у міру їх експлуатації, а також варіативність за допомогою регулювання потужності, що подається на лампи.

Система SOLAR EYE забезпечує контрольовану інтенсивність випромінювання; більш тривалий термін служби ламп; швидші результати; відтворюваність та повторюваність випробувань; калібрування відповідно до стандартів ISO.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики Везерометра для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV (QUV Accelerated Weathering Tester)

Параметр	Опис
Модель	QUV/basic, QUV/se, QUV/spray, QUV/uvc, QUV/cw
Тип ламп	Флуоресцентні УФ лампи (UVA-340, UVA-351, UVB-313EL, UVB-313EL+, UVC)
Кількість зразків	До 48 зразків розміром 75 мм x 150 мм
Діапазон температур	Від +45°C до +80°C (для світлового циклу)
Електричні характеристики	8A / 230V
Контроль освітленості	SOLAR EYE Irradiance Control (тільки для моделей QUV/se, QUV/spray, QUV/uvc, QUV/cw)
Система конденсації	Використовує звичайну водопровідну воду, яка автоматично очищується під час процесу
Система зрошування	В моделях QUV/spray додатково включає систему зрошування для термічного шоку та ерозії
Програмне забезпечення	VIRTUAL STRIPCHART для автоматичного запису та моніторингу умов експозиції

Інші функції	Автоматичний контроль температури, система самодіагностики, багатоколірний індикатор стану
--------------	--

### 3.2 Процес дослідження

Мета цього типу тестування полягає в тому, щоб краще зрозуміти, як ABS потенційно може використовуватися. Випробовуючи ABS та його здатність протистояти УФ випромінюванню, можна оцінити та спрогнозувати властивості матеріалу.

У цьому експерименті використовувалися листи ABS, що легко формуються 3D друком

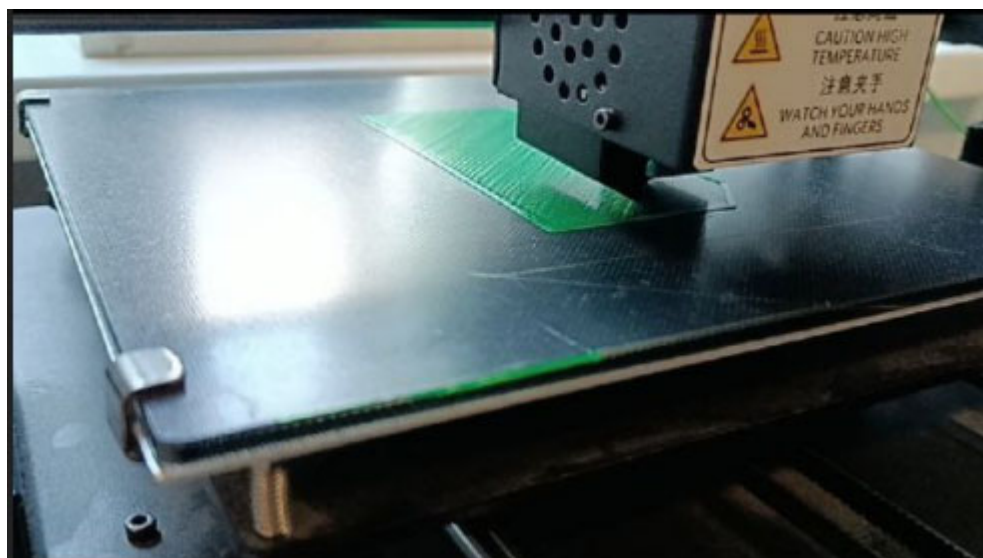


Рисунок 3.3 – зразки ABS

Було досліджено три зразки без впливу ультрафіолетового випромінювання, а також три зразки, які витримали 3-денну деградацію під впливом УФ. Зразки були деградовані в QUV Accelerated Weathering Tester.

Листи ABS було виготовлено, відповідно до рекомендацій [24], габаритними розмірами 100x200x5 міліметрів.

3 зразки було встановлено в QUV-тестер для прискореного вивітрювання на 3 дні з люмінесцентними лампами 340-350 нм з опроміненням 0,7 Вт/м; протягом 72 годин. На рисунку 3.1 показаний тестер QUV Accelerated Weathering Tester, який використовувався для попереднього формування прискореного ультрафіолетового

пошкодження зразків ABS протягом 3 днів. На рисунку 3.2 показано зразки ABS, завантажені в QUV Accelerated Weather Tester.

Стандарт ASTM.

Стандартом, який використовувався для тестування, був ASTM G154[26]. Для цього експерименту конденсаційна частина цього стандарту не запускалася. Відповідно до стандарту зразки поміщали в QUV-тестер прискореного вивітрювання з 340-350 нм люмінесцентними лампами з опроміненням 0,7 Вт/м; протягом 72 годин.

### **3.3 Метод випробування матеріалу на вигин**

Температурний режим формування має безпосередній вплив на механічні властивості ABS пластику. З цією метою виконано дослідження механічних характеристик ABS пластику в залежності від технології 3D друку.

Одним з основних видів деформації яку будуть зазнавати наші майбутні виробы – це вигин.

Випробування на вигин матеріалу дозволяють оцінити його гнучкість, міцність на вигин, здатність до руйнування та стійкість до деформацій. Ці властивості демонструють поведінку матеріалу під навантаженням. Пошкодження матеріалу під тиском може мати небажані наслідки в майбутньому. Наприклад, у будівництві використання матеріалів, які піддаються вигинальному навантаженню, завжди несе певний ризик. Якщо під час випробування матеріал ламається або руйнується, це може призвести до катастрофічних наслідків у конструкціях.

Під час випробувань на вигин[20] деформація зосереджується в центральній частині досліджуваного матеріалу, де згинальна сила створює увігнуту поверхню або вигин до руйнування. Такі випробування зазвичай проводяться для оцінки пластичності або здатності матеріалу протистояти руйнуванню. Випробовуваний матеріал формується у визначену форму, і сила прикладається до середини зразка для створення увігнутої поверхні з радіусом кривизни, який визначається базовим

стандартом. Випробування на вигин настільки ж поширені, як випробування на розтяг, стиск і втому в різних галузях.

Існують різні методи випробувань на вигин, які виконуються у передових лабораторіях. Один з таких методів - контрольований тест на кручення. В цьому тесті зразок розміщується горизонтально на двох опорах, і до середини прикладається сила, яка деформує зразок у формі U.

Для дослідження роздруковано вертикальні зразки на 3D-принтері " Anycubic i3 Mega-S " [21], які навантажено за схемою трьох точкового вигину.

Досліджувані зразки друкувалися на 3D принтері "Anycubic i3 Mega-S"[22]. Параметри друку перших трьох: сопло діаметром 1,75 мм, швидкість друку - помірна (30 мм/с), товщина шару – 0.2 мм, потужність системи обдуву – 50 відсотків (від максимальної швидкості обертання вентилятора), температура столу – 82-85 градусів, температура сопла – 245 градусів. Параметри друку інших трьох зразків такі самі, окрім охолодження (друкувалися з повним обдуванням) та температури сопла (215 градусів).



Рисунок 3.6 - 3D- принтер " Anycubic i3 Mega-S " для друку зразків дослідження

Схему трьох точкового вигину реалізували за допомогою електромеханічної одноколонної машини для випробувань матеріалів «Zwickline type TS»



Рисунок 3.7 – Електромеханічна одноколонна машина для випробувань матеріалів «Zwickline type TS»

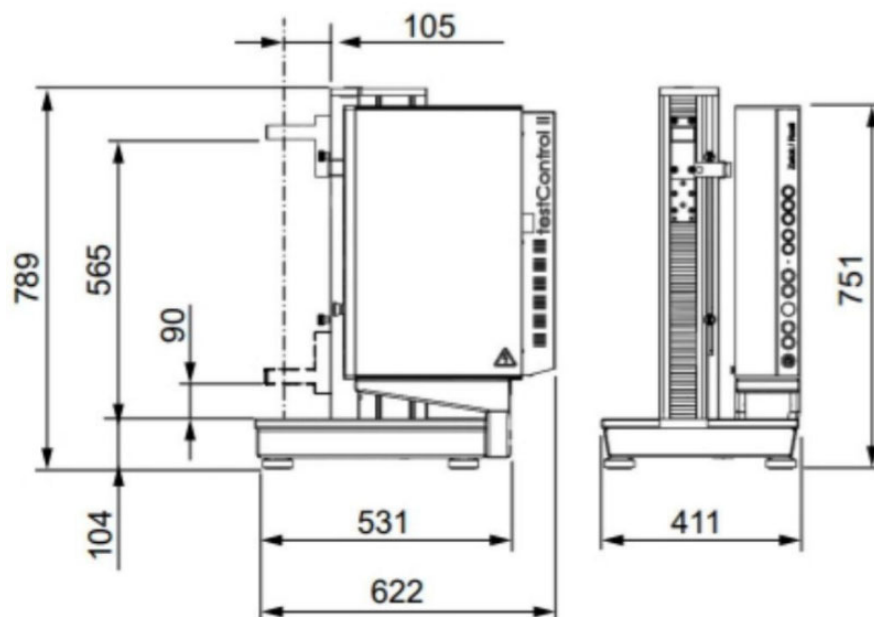


Рисунок 3.8 – Схематичне зображення електромеханічної одноколонної машини для випробувань матеріалів «Zwickline type TS»

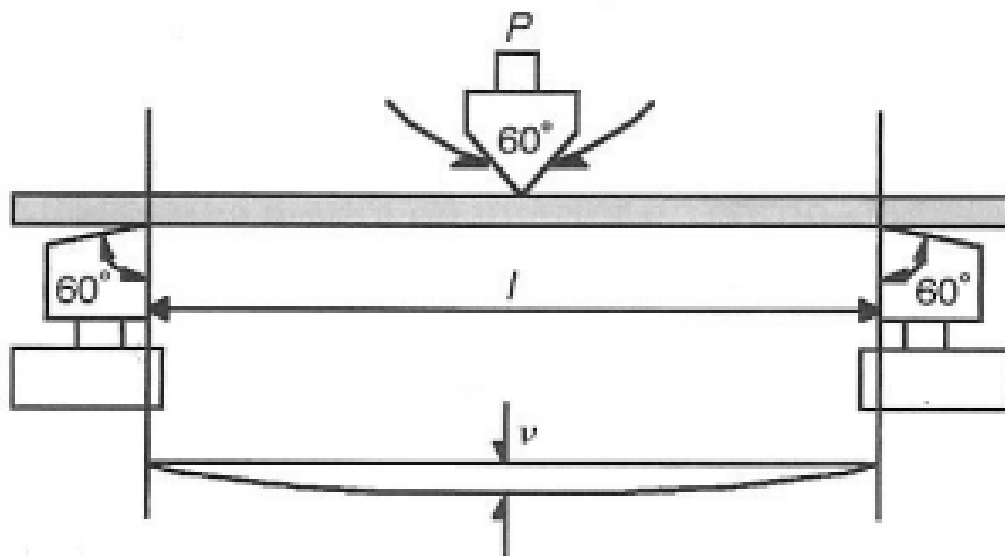


Рисунок 3.9 – Схематичне зображення 3-точкового згинання

«ZwickiLine» — це потужне, гнучке та економічно ефективне рішення для тестування широкого діапазону матеріалів і компонентів. Ця машина для випробування матеріалів ідеально підходить для досліджень і розробок, а також для стандартного тестування якості. Широкий спектр варіантів обладнання дозволяє використовувати «ZwickiLine» для тестування пластмас [23].

Модель «ZwickLine TS» є високопродуктивною, гнучкою та економічною машиною для випробувань матеріалів, яка підходить для різних сфер застосування, включаючи дослідження, розвиток та рутинний контроль якості. Машина має компактний дизайн, що дозволяє легко розміщувати її на лабораторному столі. Завдяки можливості роботи в горизонтальному або вертикальному положенні, вона забезпечує зручність та ергономічність під час проведення випробувань.

Таблиця 3.2 – Технічні дані Електромеханічної одноколонної машини для випробувань матеріалів «ZwickiLine»

Тестове навантаження $F_{max}$ , кН	Від 0.5 до 5
Рухома хрестовина, встановлена під кутом вгору, мм	Від 235 до 565
Рухома хрестовина встановлена кутом вниз, мм	Від 90 до 420
Глибина	105
Діапазон швидкостей випробувань, мм/хв	Від 0.0005 до 3000
Керування	Можливість керування через ПК або сенсорний дисплей
Розміри зразків, мм	Максимальна товщина зразків до 20
Положення тестової осі	Вертикальне або горизонтальне, з можливістю повороту на 180 градусів
Застосування	Випробування на розтяг, стиснення, згин, а також для контролю якості і навчальних цілей

Перед початком досліджу, зразки ретельно зважувалися, з метою отримання однакової маси в межах допустимої похибки.

Машина дозволяє зафіксувати зусилля, що викликає деформацію та величину цієї деформації (по переміщенню траверса нашої випробувальної машини).

Встановлено, що зразок, який друкувався при 245 градусах з помірним обдуванням має трішки вищу міцність ніж зразок, що надрукований з повним обдуванням при 215 градусах.

Отримано залежність величини деформації від прикладеного зусилля.



Рисунок 3.10 – Випробування зразка на міцність

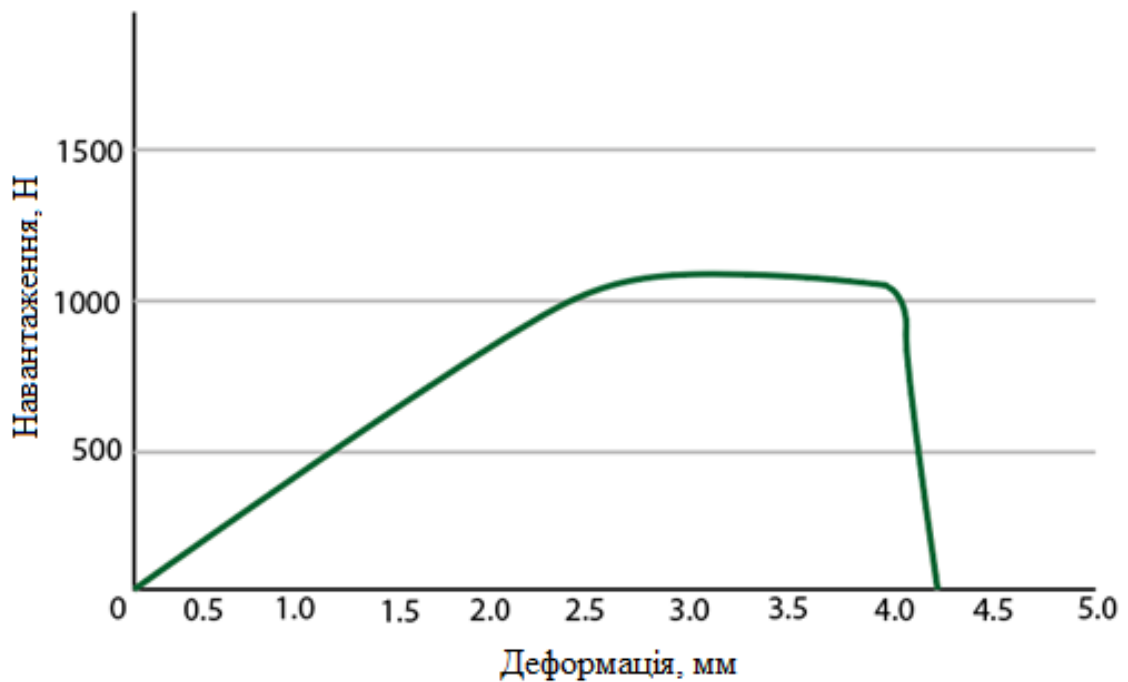


Рисунок 3.11 – Результати аналізу зразків на міцність

Таблиця 3.3 - Результати аналізу зразків на міцність

Зразок	1	2	3	4	5	6
Міцність, МПа	49,8	49,5	48,9	50,1	52,0	54,9
Вага, кг	0.0050	0.0050	0.0052	0.0050	0.0051	0.0052

### 3.4 Висновки за розділом

Виявлено, що зразок, який друкувався при 245 градусах з помірним обдуванням має трішки вищу міцність ніж зразок, що надрукований з повним обдуванням при 215 градусах.

Досліджена здатність ABS пластика протистояти УФ випромінюванню за допомогою Везерометр для прискорених випробувань на атмосферостійкість QUV.

Встановлено, що зразки, пошкоджені ультрафіолетовим випромінюванням, мають дещо меншу міцності порівняно зі зразками, які не були пошкоджені ультрафіолетом.

## 4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Характеристика якості матеріалів для продукції

Показник якості являє собою кількісний вираз однієї або декількох подібних властивостей продукції, що відповідають очікуванням споживачів щодо її призначення та умов використання. Рівень якості [17] визначається як співвідношення фактичного показника якості до нормативного. Підвищення якості продукції є ключовим для виживання підприємства на ринку, оскільки воно сприяє збільшенню обсягів виробництва при менших витратах і економії всіх видів ресурсів.

Зростання якості продукції є основою діяльності всіх підприємств, виступаючи фактором конкурентоспроможності та впливаючи на всю національну економіку. Зниження якості продукції веде до негативних наслідків: з економічного погляду це невиправдані втрати матеріальних і трудових ресурсів, пов'язані з виробництвом, транспортуванням і зберіганням продукції. Використання низькоякісної сировини та матеріалів, а також обладнання зі сумнівними характеристиками, призводить до неефективного використання ресурсів, підвищення вартості продукції, зниження її конкурентоспроможності та зменшення прибутковості підприємства.

Вибір матеріалу для виготовлення продукції є критично важливим етапом, який впливає на всі аспекти виробництва та експлуатації кінцевого виробу. При виборі матеріалу необхідно враховувати його механічні властивості, стійкість до впливу навколишнього середовища, технологічність та економічність. Правильний вибір матеріалу забезпечує не тільки високу якість продукції, але й оптимізує виробничі процеси та знижує витрати.

Характеристики матеріалів визначають їх придатність для використання в різних галузях промисловості та впливають на властивості кінцевої продукції.

Нижче описані основні характеристики, які враховуються при виборі матеріалів для виробництва [18].

**Механічні характеристики.** Механічні властивості визначають здатність матеріалу витримувати механічні навантаження.

**Міцність.** Здатність матеріалу витримувати навантаження без руйнування. Вимірюється в одиницях напруги (Па, МПа).

**Твердість.** Опір матеріалу проникненню іншого тіла. Вимірюється за шкалами (Роквелла, Брінелля, Віккерса).

**Ударна в'язкість.** Здатність матеріалу поглинати енергію при ударі. Вимірюється в Джоулях (Дж).

**Пружність.** Здатність матеріалу відновлювати свою форму після деформації. Описується модулем пружності (Па).

**Пластичність.** Здатність матеріалу деформуватися без руйнування.

**Фізичні характеристики.** Фізичні властивості визначають реакцію матеріалу на фізичні впливи, такі як температура, електричне та магнітне поле.

**Щільність.** Маса одиниці об'єму матеріалу. Вимірюється в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

**Теплопровідність.** Здатність матеріалу проводити тепло. Вимірюється в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

**Теплоємність.** Здатність матеріалу накопичувати тепло. Вимірюється в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

**Температурне розширення.** Зміна розмірів матеріалу при зміні температури. Вимірюється в  $1/^\circ\text{C}$ .

**Електропровідність.** Здатність матеріалу проводити електричний струм. Вимірюється в Сіменсах на метр (См/м).

**Хімічні характеристики.** Хімічні властивості визначають поведінку матеріалу в хімічних реакціях.

**Хімічна стійкість.** Здатність матеріалу протистояти впливу хімічних речовин.

**Корозійна стійкість.** Здатність матеріалу протистояти корозії (окисленню, гідролізу тощо).

**Реакційна здатність.** Здатність матеріалу вступати в хімічні реакції.

Технологічні характеристики. Технологічні властивості визначають придатність матеріалу до обробки різними методами.

Ливарні властивості. Здатність матеріалу заповнювати форму при литті.

Зварюваність. Здатність матеріалу до з'єднання з іншим матеріалом за допомогою зварювання.

Оброблюваність. Легкість обробки матеріалу різанням, шліфуванням та іншими механічними методами.

Пластичність. Здатність матеріалу до формування під впливом зовнішніх сил без руйнування.

Ковкість. Здатність матеріалу до пластичної деформації під дією ударного навантаження.

Екологічні характеристики.

Екологічні властивості визначають вплив матеріалу на навколишнє середовище.

Біорозкладність. Здатність матеріалу до природного розпаду без шкоди для навколишнього середовища.

Перероблюваність. Можливість повторного використання матеріалу після обробки.

Екологічна безпека. Відсутність шкідливих впливів на людину та природу під час використання матеріалу.

Основні характеристики матеріалів – це ключові властивості, які визначають їх придатність для використання в конкретних умовах та галузях промисловості. Врахування цих характеристик допомагає забезпечити високу якість, ефективність і безпеку кінцевих продуктів, а також знизити витрати на виробництво і мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

## 4.2 Сертифікація продукції і якість їх гарантії

Сертифікація тісно пов'язана зі стандартизацією. Коли виробник вперше заявив, що його продукція відповідає вимогам загальноприйнятого стандарту, це стало найпростішою формою сертифікації. До сертифікації відноситься маркування, включення до списків або похвала продукції, а також видача клейма чи сертифіката для підтвердження відповідності стандарту.

З розвитком торговельних та економічних відносин, а також науки і техніки, виникла потреба в об'єктивних випробуваннях виробів, що проводяться незалежною третьою стороною. Це гарантувало відповідність продукції певним вимогам якості і призвело до появи сертифікації у її сучасному вигляді.

Сертифікація [19] - це процедура, за допомогою якої третя сторона надає письмову гарантію, що продукція, процес чи послуга відповідають встановленим вимогам. Це підтвердження того, що виріб або товар відповідає відповідним стандартам і має необхідну якість. Предметом сертифікації є якість продукції, процесів, послуг і систем якості, а об'єктами сертифікації є продукція, процеси, послуги, системи, організації, підприємства та лабораторії.

У наш час сертифікація стала одним з ключових механізмів управління якістю, що дозволяє об'єктивно оцінити продукцію, надати споживачам підтвердження її безпеки, забезпечити контроль за дотриманням екологічних стандартів та підвищити конкурентоспроможність продукції.

Завдання сертифікації.

- контроль і технічний нагляд за виробництвом сертифікованої продукції;
- експертиза нормативних документів на сертифіковану продукцію;
- атестація і акредитація органів з сертифікації продукції, систем якості;
- визнання зарубіжних сертифікацій.

Значення сертифікації.

- сертифікація є найважливішим механізмом управління якістю;
- сертифікація забезпечує відповідність продукції вимогам екологічної чистоти;

- сертифікація гарантує безпеку виробництва продукції для людини і навколишнього середовища;

- сертифікація сприяє підвищенню конкурентоздатності продукції.

### 4.3 Аналіз отриманих результатів

Зразки ABS пластику були протестовані на атмосферостійкість. Головною метою було визначити, як змінюються ключові експлуатаційні показники зразків без ультрафіолетового випромінювання у порівнянні з зразками, що були під впливом ультрафіолетового випромінювання. Встановлено, що зразки, що зазнали впливу ультрафіолетового випромінювання, мають дещо знижені міцнісні показники та меншу здатність до пластичної деформації у порівнянні зі зразками, які не були пошкоджені ультрафіолетом. ABS пластик, який пошкоджено ультрафіолетовим випромінюванням, збільшував свою крихкість, що призвело до зменшення його пластичних властивостей у порівнянні з вихідним зразком.

Виявлено зниження загальної деформації на 15% для усіх зразків, що пошкоджені ультрафіолетовим випромінюванням, у порівнянні зі зразками, які не були пошкоджені ультрафіолетом.

Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика зразків листів ABS пластику

Параметр	Без впливу УФ променів	Під впливом УФ променів (3 дні)
Колір	Оригінальний, без змін	Зміна кольору, жовтуватий відтінок
Поверхнева структура	Гладка, без дефектів	Трохи шорстка, наявність незначних мікротріщин
Твердість (по Шору D)	80	75
Ударна в'язкість, Дж	300	250
Стійкість до вигину, МПа	65	58

Здатність до деформації, %	4	3,5
Температура плавлення	105	102

Колір та поверхнева структура. Листи ABS пластику, що перебували під впливом УФ променів, зазнали зміни кольору та стали трохи шорсткими з мікротріщинами на поверхні.

Твердість. Після впливу УФ променів твердість матеріалу знизилася.

Ударна в'язкість. Ударна в'язкість також знизилася, що вказує на підвищену крихкість матеріалу.

Маса. Невелике зниження маси вказує на можливу втрату летких компонентів або поверхневу ерозію.

Стійкість до вигину. Показники стійкості до вигину знизилися, що вказує на загальне погіршення механічних властивостей.

Здатність до деформації. Після впливу УФ променів здатність до деформації також знизилася, що свідчить про втрату еластичності.

Температура плавлення. Незначне зниження температури плавлення вказує на часткову деградацію полімерної структури.

Проведені дослідження свідчать про те, що зразки, які не були пошкоджені ультрафіолетом, є кращими для використання. А отже пріоритетним є напрямок підвищення стійкості ABS пластику до дії як УФ-випромінювання так і інших атмосферних чинників.

Такі зміни в характеристиках ABS пластику після впливу УФ випромінювання свідчать про необхідність використання додаткових стабілізаторів або захисних покриттів для збільшення стійкості матеріалу до дії ультрафіолету.

#### **4.4 Висновки за розділом**

У даному розділі було розглянуто основні поняття якості виробів, основні характеристики матеріалів та сертифікацію продукції як гарантію їх якості. Було проведено метод випробування матеріалу на вигин.

Було оцінено результати які показали, що зразки, пошкоджені ультрафіолетовим випромінюванням мають гірші функціональні характеристики у порівнянні зі зразками, які не були пошкоджені ультрафіолетом.

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У рамках дослідження та розробки ергономічних меблів для публічних просторів з використанням генеративного дизайну та переробленого ABS пластику були отримані важливі результати у даній кваліфікаційній роботі, які можна узагальнити наступним чином:

В процесі виконання дипломного проекту було вирішено наступні задачі:

Було проведено функціонально-вартісного аналіз, у результаті проведення даного аналізу, зробили висновки, що нижня частина конструкції, сидіння та спинка по значимості є одним із найважливіших у всій конструкції і враховуючи велику вартість сидіння конструкції її було знижено за допомогою збільшення вирізу;

Було розроблено 3D модель прототипу крісла для публічного простору і було запропоновано матеріал для виготовлення виробу перероблений ABS пластик виходячи з результатів дослідження; Було досліджено метод виготовлення прототипу за допомогою 3D-друку;

Було визначено показники навантаження шляхом аналізу методом кінцевих елементів, для цього було використано симуляцію у Autodesk Fusion 360 на Static Stress;

Досліджено механічні властивості матеріалу та вплив різних чинників на експлуатаційні характеристики, також визначено оптимальні властивості досліджуваного матеріалу для використання у подальшому виробництві;

Проведено визначення показників навантаження шляхом аналізу методом кінцевих елементів, експериментально визначили показники деформації згину та руйнування і провели аналіз матеріалу під впливом УФ світла.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державний стандарт України ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».
2. ДСТУ 1.5:2003 Національна система стандартизації. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів
3. ДСТУ 2327-93 Виробництво меблеве. Роботи складальні. Вимоги безпеки
4. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://comfortzoneskin.com.ua/rethinking-plastic>
5. Меблі з масиву дерева: переваги і недоліки різних порід деревини [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.mebelok.com/uk-ua/mebli-z-masivu-dereva-perevagi-i-nedoliki-riznih-porid-derevini/>
6. Плюси та мінуси меблів зі штучного ротанга [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://tisprofile.com/info/novini/pljusy-i-minusy-mebeli-iz-iskusstvennogo-rotanga>
7. Використання алюмінієвого профілю у виробництві меблів [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://alustar.net.ua/statti/vykorystannya-alyuminiyevogo-profilyu-u-vyrobnyctvi-mebliv/>
8. Пластик ABS-хімічні та фізичні характеристики [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/2-plastik-abs-khimicheskie-i-fizicheskie-kharakteristiki>
9. ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ // Конспект лекцій для здобувачів фахової передвищої освіти освітньо-професійної програми «Дизайн» галузь знань 02 Культура і мистецтво спеціальності 022 Дизайн денної форми навчання // Луцьк 2022 [Електронний ресурс] – режим доступу: [https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/18772/mod\\_resource/content/2/ергономіка\\_методичні%20вказівки\\_Борисюк.pdf](https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/18772/mod_resource/content/2/ергономіка_методичні%20вказівки_Борисюк.pdf)
10. З.Б. Литвин // Функціонально-вартісний аналіз // Навчальний посібник // Тернопіль 2007 [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/462/1/Функціонально->

вартісний%20аналіз.pdf

11. AUTODESK FUSION 360 Getting started for absolute beginners [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/courses/>

12. Product documentation [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-1C665B4D7BF7-4FDF-98B0-AA7EE12B5AC23>.

13. Static stress simulation Fusion 360 [Електронний ресурс] – режим доступу: [https://www.autodesk.com/learn/ondemand/module/fusion-static-stress-simulation?us\\_oa=forums-us&us\\_si=2881e27a-5e19-42a0-8119-af68b0d72704&us\\_st=Static%20Stress?us\\_oa=forums-us&us\\_si=2881e27a-5e19-42a0-8119-af68b0d72704&us\\_st=Static%20Stress](https://www.autodesk.com/learn/ondemand/module/fusion-static-stress-simulation?us_oa=forums-us&us_si=2881e27a-5e19-42a0-8119-af68b0d72704&us_st=Static%20Stress?us_oa=forums-us&us_si=2881e27a-5e19-42a0-8119-af68b0d72704&us_st=Static%20Stress)

14. Кербер М.Л. (2014) Полімерні композиційні матеріали: структура, властивості, технологія. / Видавництво: Професія. / 592 сторінки.

15. Технологія 3D-друку FDM (Fused Deposition Modeling) // [Електронний ресурс] – режим доступу: [https://3d.globatek/3d\\_printing\\_technologies/fdm/](https://3d.globatek/3d_printing_technologies/fdm/)

16. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-1000-titan>

17. Якість продукції: поняття і показники, методи оцінки [Електронний ресурс] – режим доступу: [https://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom\\_pidpr/22070/](https://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom_pidpr/22070/)

18. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://studfile.net/preview/9330931/page:16/>

19. СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ // В. І. Мірненко / В. І. Марчук / Г. М. Коваль / Київ 2013 [Електронний ресурс] – режим доступу:

[https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/40768/1/Станд\\_серт\\_прод\\_послуг\\_посібник.pdf](https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/40768/1/Станд_серт_прод_послуг_посібник.pdf)

20. ВИПРОБУВАННЯ НА ВИГИН ТА ПЕРЕКРУТ [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.eurolab.com.tr/uk/testler/elektriksel-guvenlik-testleri/bukme-ve-burma-testi>

21. 3D-принтер «Anycubic» [Електронний ресурс] – режим доступу:

<https://www.anycubic.com>

22. ПОСІБНИК З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРІВ: ORIGINAL PRUSA I3 MK3 (КОМПЛЕКТ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ РУЧНОГО МОНТАЖУ ПРИБОРУ) [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://blog.prusa3d.com/wp-content/uploads/2022/03/Handbook-UK-Prusa-i3-MK3S-3.15.pdf>

23. Product Information Materials Testing Machines zwickiLine Z0.5 to Z5.0

24. QUV ACCELERATED WEATHERING TESTER [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.q-lab.com/en-gb/products/quv-weathering-tester/quv>

25. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.q-lab.com/>

26. ASTM g154 standard pdf [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/114376/cf610ff774ab475a839573d56187a16f/ASTM-G154-23.pdf>