

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
конструювання, технічної естетики і дизайну
(повна назва)
Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО.
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню _____ бакалавра _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Міхесвої Катерини Олександрівни академічної групи 132-21з-2 ММФ
спеціальності 132 Матеріалознавство
спеціалізації _____
за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»
на тему Розробка прототипу меблі змінної геометрії з урахуванням ергономічних показників
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 14.05.2025 р. № 370-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз матеріалів та технологій для виготовлення корпусу паркової лавки для міського середовища	20.05.2025
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Функціональний аналіз, моделювання 3D об'єкту, розрахунок на навантаження	05.06.2025
Інженерно-технологічний	Вибір технології та матеріалів	15.06.2025
Експлуатаційний	Експлуатація виробу, порівняння з аналогами та подальший розвиток проєкту	20.06.2025

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Ганна КОНОНЕНКО
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 14.05.2025.

Дата подання до екзаменаційної комісії 27.06.2025

Прийнято до виконання _____

Катерина МІХЕСВА

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 63 сторінки основного тексту, 20 рисунків, 11 таблиць, 5 додатків та 31 джерело згідно з переліком посилань.

ЛАВА, ПАРАМЕТРИЧНИЙ ДИЗАЙН, МІСЬКИЙ ПРОСТІР, МОДУЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ, 3D-ДРУК, ПРОТОТИПУВАННЯ, ЕРГОНОМІКА, ДЕРЕВО, МЕТАЛ

Об'єкт розроблення – дизайн-проекування конструкції міської лавки зі змінною геометрією для індивідуального та групового використання, виготовлення з дерева та металу, з урахуванням сучасних вимог до ергономіки та модульності.

Мета роботи – спроектувати та прототипувати універсальну лаву для громадського простору, яка адаптується під користувачів з різною ведучою рукою, та може легко комбінуватися у більші секції. Прототип створюється методом 3D-друку для попереднього тестування форми і конструкції.

Запропоновано параметричну конструкцію лавки з індивідуальними функціональними зонами (підставка, поручні). Новизна полягає у поєднанні модульності, зручності для шульги і правшів, а також застосуванні технологій цифрового прототипування.

Основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики та показники. Основна конструкція – з дерев'яних ламелей та металевих з'єднувальних елементів, можливість адаптації під користувача, проектування здійснено з урахуванням масового виробництва, вага одного модуля – до 25 кг.

Виготовлено фізичний прототип окремих елементів конструкції за допомогою 3D-друку з пластика. Це дозволяє оцінити ергономіку, масштаб, функціональність та зручність форми перед виготовленням фінального виробу з дерева та металу.

Проект відповідає актуальним тенденціям в галузі урбаністики, промислового дизайну, параметричного моделювання, та інклюзивного середовища.

Результати можуть бути використані при створенні меблів для парків, вуличних освітніх просторів, коворкінгів, шкільних територій або університетських кампусів.

Сфера застосування – дизайн міського середовища, архітектура малих форм, промислове проектування, урбаністичні рішення.

Економічна чи соціально-економічна ефективність роботи. Використання прототипування дозволяє скоротити витрати на розробку та уникнути помилок на етапі серійного виробництва, забезпечуючи вищу точність та ефективність виготовлення.

Робота демонструє практичне застосування сучасних цифрових технологій у сфері дизайну та формує підґрунтя для серійного виробництва об'єктів, які відповідають соціальним і функціональним запитам користувачів.

Проект може бути розширений до повноцінної системи меблювання міського простору з можливістю додавання додаткових функцій, таких як навіси, освітлення або інтерактивні елементи.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. РОЗДІЛ 1. Аналіз стану питання та постановка задачі.....	8
2.1. Аналіз існуючих конструкцій міських лавок.....	8
2.2. Проблеми ергономіки та модульності вуличних меблів.....	13
2.3. Постановка задачі дослідження.....	17
3. РОЗДІЛ 2. Функціональний аналіз та моделювання об'єкта.....	20
3.1. Антропометричні параметри та ергономічна посадка.....	20
3.2. Модульність і трансформація.....	26
3.3. Конструктивна схема модуля.....	30
4. РОЗДІЛ 3. Інженерно-технологічний розділ.....	35
4.1. Обґрунтування вибору матеріалів.....	35
4.2. Особливості виготовлення конструктивних елементів.....	37
4.3. Використання 3D-друку для створення прототипу.....	49
5. РОЗДІЛ 4. Експлуатаційний розділ.....	53
5.1. Аналіз безпечних умов експлуатації.....	53
5.2. Потенційна сертифікація виробу.....	55
5.3. Варіанти застосування у міському середовищі.....	59
6. Висновки.....	64
7. Список використаних джерел.....	67
8. Додатки.....	70
А. 3D-модель полички	
Б. Креслення полички	
В. Загальне креслення	
Г. Фрагменти технічної документації	

ВСТУП

У сучасному міських умовах життя зростає потреба у функціональних, ергономічних та гнучких елементах благоустрою, які не лише виконують базові задачі, а й відповідають за зміну способу життя містян. Одним із таких елементів є міська лавка – звичний об'єкт, який, набуває нових сенсів, від естетики та зручності до доступності, інклюзивності, технологічності та взаємодії з простором.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено модульну лавку зі змінною геометрією, яку можна адаптувати під потреби однієї або кількох осіб, із врахуванням домінантної руки (шульга/правша), потреб у підтримці (через підлокітник), а також додаткових функцій, таких наприклад, як розкладна поличка для гаджетів або ноутбука. Основою конструкції є прихований сталевий каркас, який забезпечує жорсткість і витримує доволі високе навантаження, при цьому зовнішній вигляд формується дерев'яними ламелями з модрина, обробленими для зовнішнього використання на відкритому повітрі.

Для прототипування ключових елементів, механізму висувно-поворотної полички, застосовано 3D-друк із PLA-пластику, що дозволяє швидко перевірити функціональність вузлів до їх серійного виготовлення в металі. У якості основного інструменту 3D-моделювання використано Fusion 360, у якому побудовано всю збірку та виконано ергономічний аналіз.

Проект також враховує стандарти, що стосуються безпечності, заокруглень, допустимих навантажень і стійкості вуличних меблів. Окрему увагу приділено аналізу потенційних ризиків експлуатації, інклюзивності, варіативності та модульності конструкції.

Таким чином, у роботі розглядається не лише процес формоутворення, а й повний цикл – від ідеї до технічного рішення, з врахуванням виробничих можливостей та подальшого масштабування. Отриманий результат може бути

використаний як основа для виробництва міських лавок нового покоління, що поєднують адаптивність, довговічність і дизайнерську виразність.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОБОТИ

1.1. Аналіз існуючих конструкцій міських лавок

Кінцева мета мого проекту, це можливість виявити та прослідкувати актуальність обраного виробу від ідеї до прототипу, порівняти його з аналогічними або схожими розробками. Предметом дослідження я обрала досить недооцінений у нашому суспільстві виріб. У випадку цього дослідження, місце для відпочинку (паркова лавка), це важлива частина міського простору, яка має виконувати кілька функцій водночас – бути зручною, привабливою, відповідати ергономічним показникам і при цьому мати відмінні технічні характеристики. На сьогодні, виробників, що випускають схожу продукцію дуже велика кількість на ринку України, та зазвичай це більш прості форми, але бувають і цікаві роботи. Важливо, щоб лавка поліпшувала відчуття людей у середовищі, де вона знаходиться, незалежно від цілей навколишнього простору, будь то зона відпочинку у парку чи майданчик для студентів. Її форма, матеріали та функціональність – впливають на якість відпочинку, роботи та взаємодію людини з простором. Це принципи, що є одними з основних для нашого напрямку навчання. Дисципліна промислового дизайну, у моєму розумінні, це процес проектування товарів, які повинні у подальшому бути виготовлені за допомогою технології масового виробництва, більш або менш унікальною серією та бути орієнтованими на задоволення потреб людини.

На сьогодні більшість міських лавок відносяться до типових виробів, які можна характеризувати, як вироби з простими конструкційними рішеннями, схожі за дизайном та з відсутністю більш орієнтованого на різні людські потреби підходу [5] (ADA Compliance Standards for Benches – ada-compliance.com):

- горизонтальна поверхня сидіння;
- вертикальна або похила спинка;

- часто фіксована довжина (як правило 1200 – 2000 мм);

- часто застосовані матеріали – дешева деревина хвойних порід, бетон, металеві опори або суцільні литі форми, що не завжди добре оброблені від елементів, що можуть травмувати.

Ці моделі зазвичай одноманітні, обрані для масового виробництва, мають низьку собівартість та часто зовсім не враховують індивідуальні потреби користувача. Крім того, фіксовані параметри посадки, кутів нахилу та відстані між опорами часто не відповідають ергономічним стандартам для людей різного зросту, віку чи фізичних особливостей.

У XXI сторіччі, звичайна міська лавка стала не просто функціональним об'єктом, а і носієм ідеї міського комфорту, бо без неї не обходиться ніякий населений пункт, парк, сквер, двір навчального закладу та під'їзд звичайного житлового будинку. Місця використання цього архітектурного об'єкту можна перелічувати безкінечно. Відтак, за затребуваністю зробити форму унікальною, з'явилися такі напрямки розробки:

1.1.1 Параметричний дизайн

Використання алгоритмічного моделювання (наприклад, програма Rhino 3D + плагін Grasshopper) дозволяють створювати складні форми безлічі архітектурних форм, які адаптуються до анатомії людини та враховують контекст і сенс сучасного навколишнього середовища. Приклад – лавки, що нагадують «хвилі» або «листя», які є не лише зручними, а й архітектурно цікавими об'єктами.



Рисунок 1.1 – Об'єкт у параметричному дизайні

1.1.2 Інтерактивні конструкції

Деякі лавки оснащують елементами комфорту, додатками у вигляді зарядки, підсвіткою, сенсорами або системами збору енергії (сонячні панелі). Це виводить об'єкт на рівень smart city.



Рисунок 1.2 – Об'єкт з елементами збору сонячної енергії

1.1.3 Модульність та можливість трансформувати

Частина дизайнерських рішень передбачає комбінування окремих елементів, таких як сидіння, підлокітники, спинки, столики. Це дозволяє створювати комфортні місця у міському просторі з гнучким функціоналом, від індивідуального робочого місця на відкритому повітрі до зони для спілкування. Величезний діапазон ідей, які можна реалізувати лише у одному виробі, щоб зробити його максимально корисним.



Рисунок 1.3 – Об’єкт з модульною складною конструкцією

1.1.4 Інклюзивний дизайн

Передові студії (наприклад, Landscape Forms або Vestre) розробляють лавки, які враховують потреби людей з лівою ведучою стороною тіла, людей з інвалідністю, а також забезпечують простір для дитячих візків або ходунків.

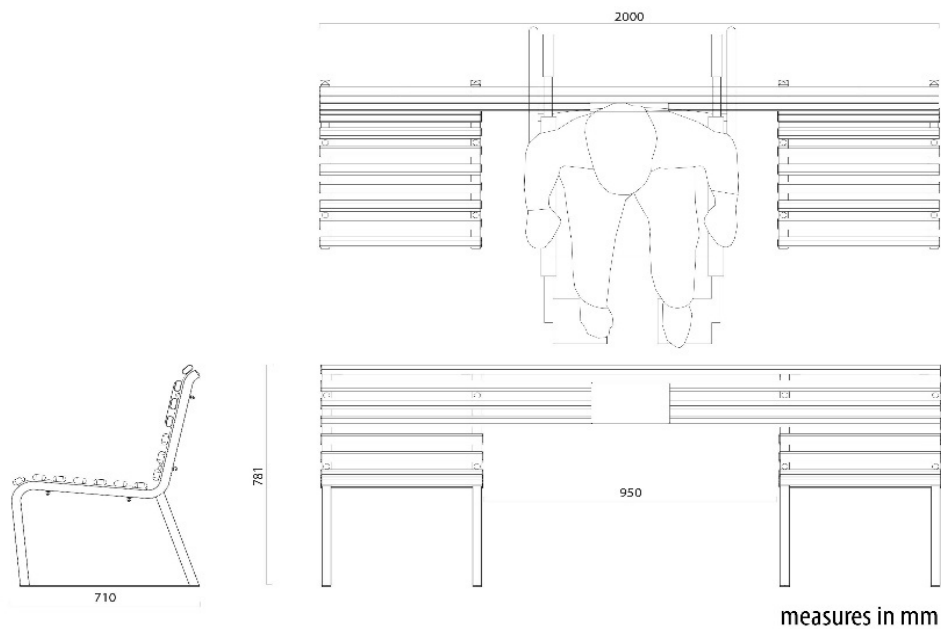


Рисунок 1.4 – Об’єкт з простором для візка

Попри еволюцію підходів у світі, у нашій країні нажаль, залишаються низка невирішених питань, які можна виділити:

1. Брак конструкцій, адаптованих під індивідуальні позиції тіла (письмо, робота з ноутбуком).
2. Недостатня гнучкість у компоновці модулів — типові лавки або занадто довгі, або лише для двох-трьох осіб, що не завжди зручно.
3. Відсутність варіантів з підставками та поручнями, які одночасно б виконували роль функціональних зон для роботи чи підтримки людей з особливими потребами.
4. Переважна більшість лавок створені без урахування ліво-/праворуких користувачів, що особливо актуально в освітньому чи коворкінговому середовищі, де людина може залишитись на свіжому повітрі, щоб попрацювати не тримаючи ноутбук на колінах, або просто попиту кави маючи зручну підставку, яку за потреби можна сховати.

Таким чином, проаналізувавши усе перелічене вище, можна зробити висновок про потребу у нових промислових рішеннях, які б змогли:

1. Поєднати ергономічну посадку з можливістю роботи/відпочинку
2. Мали б адаптивну, комфортну для посадки, модульну структуру
3. Врахували індивідуальні особливості користувача (наприклад, можливість обрати сторону підлокітника з підставкою)
4. Дозволили тестувати форму перед запуском у серійне виробництво за допомогою цифрового прототипування, зокрема 3D-друку

На цьому етапі вже можна визначити актуальність обраної теми та поставити завдання з проектування виробу з новими споживчими якостями.

1.2. Проблеми ергономіки та модульності вуличних меблів

У промисловому дизайні – ергономіка є однією з ключових дисциплін, що поліпшує взаємодію між виробом і користувачем у фізичному, емоційному та соціальному контекстах. Міські лавки, це об'єкт тривалого та багаторазового використання, тому вони повинні відповідати ергономічним принципам, забезпечуючи зручність, безпеку та функціональність для користувачів різного віку, статі, фізичної форми та цілей перебування в просторі.

Аналіз типових міських паркових лавок дозволяє виявити низку частих ергономічних порушень, які негативно впливають на якість використання:

- Висота сидіння у більшості стандартних лавок має висоту в межах 400 – 450 мм, що не враховує фізіологічні особливості користувачів (особливо дітей, літніх людей або людей із порушеннями опорно-рухового апарату). Це спричиняє надмірне навантаження на колінні суглоби та попереk.

- Недостатня глибина сидіння, до 450 мм ускладнює опору спини або змушує сидіти в незбалансованій позі. Це особливо критично, якщо лава не має спинки або має незручний кут її нахилу [4] (4Wheels for Wellbeing – wheelsforwellbeing.org.uk).

- Відсутність підлокітників або поручнів, які могли б полегшити посадку та вставання. Їх відсутність робить лаву недоступною у самостійному використанні для літніх людей та осіб з обмеженою мобільністю.

- Немає опцій для адаптації положення рук чи корпусу. Люди, які працюють на відкритому повітрі (наприклад, читають, пишуть, працюють на ноутбуці), не мають змоги використати підставку або опертися рукою, що призводить до напруження плечового пояса.

- Більшість лавок не розраховані на індивідуальне використання, що створює дискомфорт у публічному просторі. Незручність при сидінні поруч з незнайомими людьми, брак особистого простору, особливо у жінок, людей похилого віку або підлітків. Багато людей відчувають себе незахищеними перед незнайомою людиною та мають право на особистий простір навіть у доволі людних місцях. Водночас, форма виробу дає можливість комбінувати комплекси із кількох індивідуальних сидінь поруч для невеликих компаній з двох чи трьох осіб.

Модульна форма, це здатність об'єкта складатися з функціональних блоків, які можуть бути комбіновані, замінені або трансформовані відповідно до необхідних вимог, а тому можуть бути скореговані необхідні ергономічні характеристики залежно від місця встановлення виробу. У випадку з лавками ця якість майже не реалізується:

- Відсутність універсальних з'єднувальних елементів у більшості моделей робить їх несумісними для створення композицій або сценаріїв використання (зони для спілкування, відпочинку, навчання). Вироби для однієї людини або декількох.

- При масовому виробництві зазвичай використовують однакові прес-форми або стандартні розміри деревини/металу, що ускладнює адаптацію конструкції під конкретну ситуацію.

З точки зору ергономіки, варто враховувати індивідуальні особливості користувача, які часто ігноруються в базових моделях.

Переважання праворуких рішень лавки, де розташовані додаткові елементи (наприклад, столики), майже завжди орієнтовані під праву руку. Ігнорування потреб ліворуких людей або людей з особливими формами тіла, що не відповідають «середньостатистичному» користувачу, – порушення принципу універсального дизайну. Людина має право використовувати комфортне саме для неї місце відпочинку або роботи. Лавки, які можуть бути обладнані міні-перегородками, окремими зонами, підставками чи поручнями, все ще залишаються виключенням, а не нормою.

Промисловий дизайнер має не просто створити візуально привабливий виріб, а врахувати реальні потреби користувача, адаптуючи форму, матеріал і функціонал до різних сценаріїв використання. Вирішення зазначених проблем через модульність, параметричний дизайн, та адаптацію під фізіологію, домінуючу руку та соціальну ситуацію, є завданням цієї кваліфікаційної роботи. Вона також дозволить зробити вагомий внесок у розвиток середовища міста.

Нижче додаємо рекомендовані параметри для міських лавок:

- Висота сидіння – 430 – 460 мм від рівня землі. Цей діапазон забезпечує зручну посадку для більшості дорослих користувачів. (посилання [angis.blog](#))
- Глибина сидіння – 380 – 450 мм. Глибина понад 450 мм може бути незручною для людей меншого зросту, оскільки ускладнює використання спинки. (посилання [Premier Polysteel+4Wheels for Wellbeing+4angis.blog+4](#))
- Кут нахилу спинки – 100 – 110°. Цей кут сприяє природному положенню тіла та зменшує навантаження на хребет. [6] (посилання [dimensions.com+6This Makes That+6ergo.human.cornell.edu+6](#))
- Висота спинки – 455 – 610 мм від сидіння. Цей діапазон забезпечує підтримку спини для більшості користувачів. [5] (посилання [ada-compliance.com](#))

- Ширина сидіння на одну особу – мінімум 500 мм. Це забезпечує достатній простір для комфортного сидіння. [4] (посилання [Wheels for Wellbeing](#))
- Підлокітники – висота 200 – 250 мм від сидіння. Підлокітники полегшують посадку та вставання, особливо для літніх людей.

Таблиця 1.1 – Порівняння типової та ергономічної лавки

Модульність	Фіксована конструкція	Можливість комбінування модулів
Висота сидіння	400–420 мм	430–460 мм
Глибина сидіння	500–600 мм	380–450 мм
Кут нахилу спинки	90° або відсутня спинка	100–110°
Висота спинки	300–400 мм	455–610 мм
Підлокітники	Відсутні	Наявні, 200–250 мм
Ширина на особу	400–450 мм	≥500 мм
Адаптація під ліворуких	Відсутня	Симетричний або змінний дизайн
Модульність	Фіксована конструкція	Можливість комбінування модулів

Таблиця 1.2 – Приклади модульних лавок з інноваційним дизайном

Назва / Виробник	Матеріали	Особливості
Domino / ZANO	Нержавіюча сталь, дерево	Модульна система з можливістю створення різних форм; поєднання прямих та криволінійних елементів.
COCO / LAB23	Композитний матеріал	Модульний дизайн без спинки; адаптація до різних публічних просторів; сучасний вигляд.
Multiplicity / Landscape Forms	Алюміній, дерево	Модульна система з можливістю локальної адаптації; додаткові елементи для зручності користувачів.

Відповідно до чинних нормативів України, облаштування об'єктів благоустрою має відповідати вимогам ДБН В.2.2-5:2023 «Благоустрій територій»,

що визначає основні параметри доступності, безпечності та функціональності елементів вуличного простору [3].

Крім того, для конструктивних рішень лавок варто орієнтуватися на положення ГОСТ 26887-86 «Елементи благоустрою [2] . Загальні технічні умови», який визначає вимоги до міцності, стійкості, матеріалів та зручності посадки.

Таким чином, сучасні вимоги до міських меблів потребують одночасного врахування ергономіки, адаптивності до простору, візуальної привабливості та інклюзивності.

У межах цієї кваліфікаційної роботи поставлено завдання – спроектувати універсальний модуль лавки, що поєднує функціональність, адаптацію під користувача та можливість трансформації згідно вимог сучасного міського середовища.

1.3. Постановка задачі дослідження

Аналіз вище перелічених характеристик сучасного стану вуличних меблів, виявив низку системних проблем, пов'язаних із ергономікою, типовістю та схожістю форм, обмеженою адаптивністю під потреби користувачів та недостатній рівень інклюзивності. У той самий час технології цифрового моделювання та прототипування, зокрема 3D-друк, відкривають можливості для створення адаптивних, параметричних конструкцій, здатних гнучко інтегруватися в різні архітектурні об'єкти, а головне, можливість тестувати будь-які форми до початку масового виробництва. Враховуючи це, в межах даної кваліфікаційної роботи сформульовано наступні задачі дослідження.

1) Проаналізувати існуючі приклади міських лавок з точки зору ергономіки, інклюзивності, функціональності та модульності, виокремити недоліки та обмеження поширених конструкцій.

2) Сформулювати вимоги до нової конструкції лавки на основі принципів промислового дизайну, які враховують:

- потребу в індивідуальному використанні з підвищеним комфортом;

- варіанти посадки для користувачів із правою та лівою провідною рукою наявність функціональних елементів – підставки, поручня, можливість трансформації та збільшення площі сидіння для декількох людей одночасно, або для людей різної фізичної статури у закладах, де це може бути важливим запитом.

Розробити параметричну модульну конструкцію міської лавки, яка може масштабуватись: від одиночного місця до комбінації у секції на 2 – 3 особи. Виконати 3D-моделювання конструкції із застосуванням САD-програмного забезпечення, яке дозволяє інтегрувати естетичні, функціональні та технологічні елементи у виріб. Виготовити прототип лавки за допомогою 3D-друку в зменшеному масштабі, який дозволить перевірити геометрію, розташування функціональних елементів і принципи компонування модулів. Провести попередню технологічну оцінку можливості реалізації конструкції з деревини та металу для серійного виробництва, враховуючи вимоги до зовнішнього середовища, експлуатаційної надійності, стійкості та антивандального захисту.

Надати рекомендації щодо впровадження розробленого рішення у громадські простори. Це можуть бути освітні заклади, парки, коворкінги, університетські кампуси тощо.

З огляду на вищезазначене, у межах кваліфікаційної роботи ставляться наступні задачі:

1. Проаналізувати існуючі зразки вуличних меблів, визначити їхні недоліки з точки зору ергономіки та універсальності.

2. Розробити конструкцію модульної лавки зі змінною геометрією, яка передбачає персоналізоване місце для сидіння, зручну підставку з одного боку (для письма чи роботи з ноутбуком), поручень з іншого боку – для опори, варіативність під праву або ліву руку, можливість з'єднання в більші блоки (на 2 – 3 особи).

3. Виконати 3D-моделювання конструкції з урахуванням матеріалів (дерево, метал).

4. Застосувати технологію 3D-друку для виготовлення прототипу в зменшеному масштабі.

5. Провести попередню оцінку ергономічності, стабільності та потенційної серійності виробництва.

6. Надати рекомендації щодо застосування конструкції у міському просторі (парки, університети, коворкінги тощо).

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1. Опис функцій лавки зі змінною геометрією

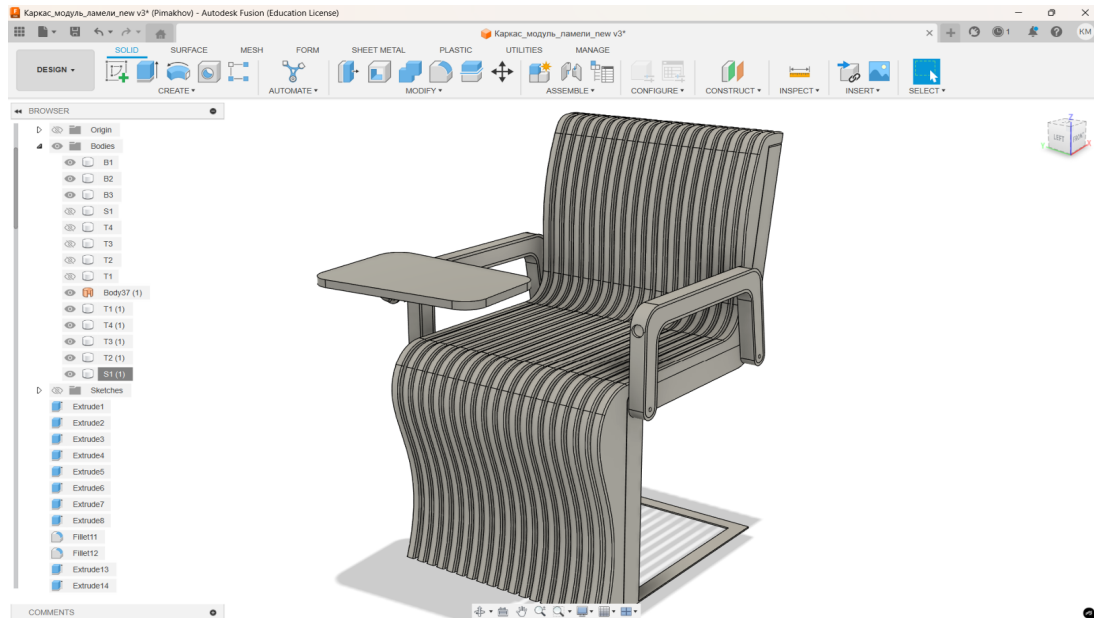


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд виробу

Спроектована лавка зі змінною геометрією виступає адаптивним об'єктом взаємодії між людиною та середовищем. У процесі аналізу виробу було визначено такі ключові характеристики, які визначають її унікальність та практичне призначення.

1. Основна функція – забезпечення комфортного сидіння

Лавка виконує свою головну функцію, надає можливість зручно розміститися одній або кільком особам. Висота сидіння, глибина посадки, наявність опори для спини, плавний перехід у модулі забезпечують фізіологічно правильну позу користувача.

2. Інноваційна функція – змінна геометрія

Конструкція лавки передбачає можливість модифікації її складових частин (спинки, підставки, поручня), що дає можливість:

- адаптувати лавку під праву або ліву руку користувача (за рахунок дзеркального компонування)
- встановити індивідуальну зону з підставкою для письма, ноутбука або планшета використовувати поручень для додаткової підтримки при посадці/вставанні, що особливо актуально для літніх людей або людей з порушеннями опорно-рухового апарату.

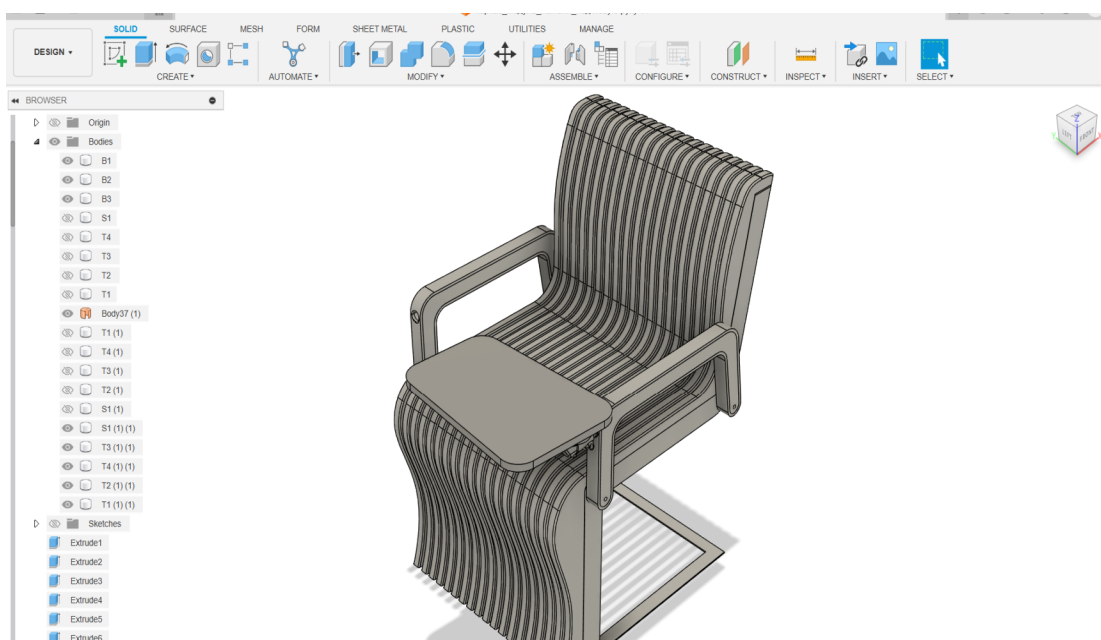


Рисунок 2.2 – Адаптація виробу під ліву руку

3. Модульна функція – комбінування секцій

Кожен модуль лавки спроектовано як структурно незалежну одиницю, яка може бути з'єднана з іншими модулями для формування:

- подвійних або потрійних сидінь;
- хвилеподібних або лінійних композицій у просторі;
- зон для індивідуального, парного або групового користування.

Ця функція дозволяє легко змінювати конфігурацію залежно від контексту: парк, університет, коворкінг, зона очікування тощо.

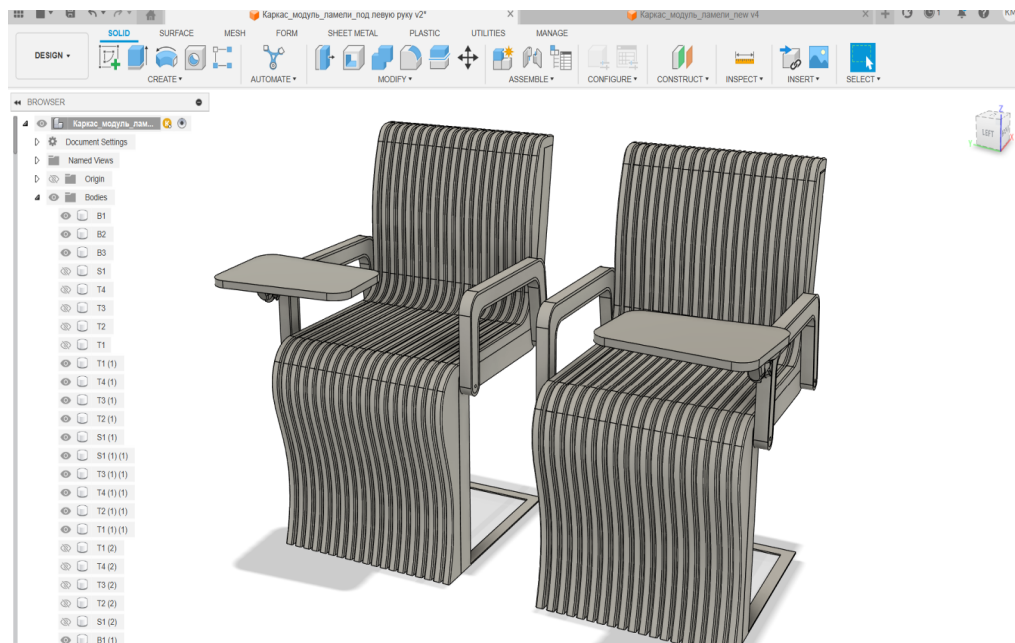


Рисунок 2.3 – Конфігурація виробу під ліву та праву руку, можливість індивідуальних комбінацій з декількох модулів

4. Естетична функція – формування візуального образу середовища

Завдяки плавним лініям, повторюваним ламелям та асиметрії конструкції, лавка має скульптурну форму, яка доповнює архітектуру середовища. Вона слугує естетичним акцентом, формуючи сучасний образ простору у якому знаходиться.

5. Соціальна функція – адаптивність до потреб користувачів

Різноманітність положень, дзеркальність конфігурацій, наявність особистих зон і можливість працювати або відпочивати роблять лавку інклюзивною:

- для людей з різними фізичними можливостями;
- з урахуванням особливостей анатомії, домінантної руки;
- для різних сценаріїв: навчання, спілкування, відпочинку, використання гаджетів.

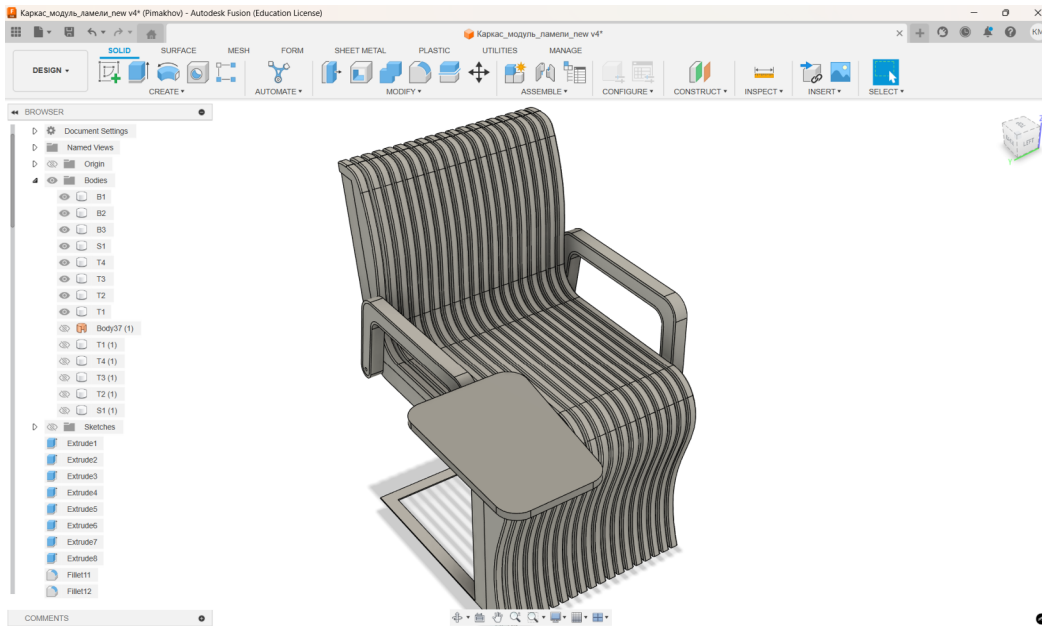


Рисунок 2.4 – Поворот підставки у пряме положення

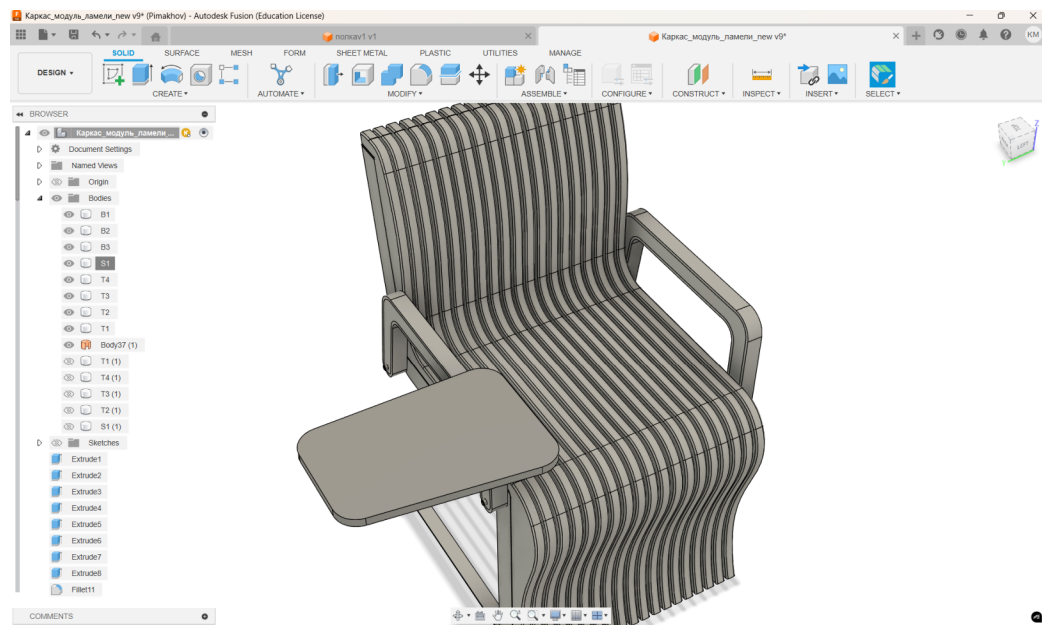


Рисунок 2.5 – Поворот підставки від себе

6. Технологічна функція – відповідність методам цифрового моделювання та прототипування

Конструкція лавки розроблена з урахуванням можливості її фізичного прототипування за допомогою 3D-друку. Це дає змогу:

- швидко створити зменшену фізичну модель для перевірки пропорцій;
- протестувати функціональні вузли (з'єднання, нахили, опори);
- представити дизайн замовнику або у виставковому форматі надрукувати модель з пластику ще до початку серійного виробництва з дерева та металу.

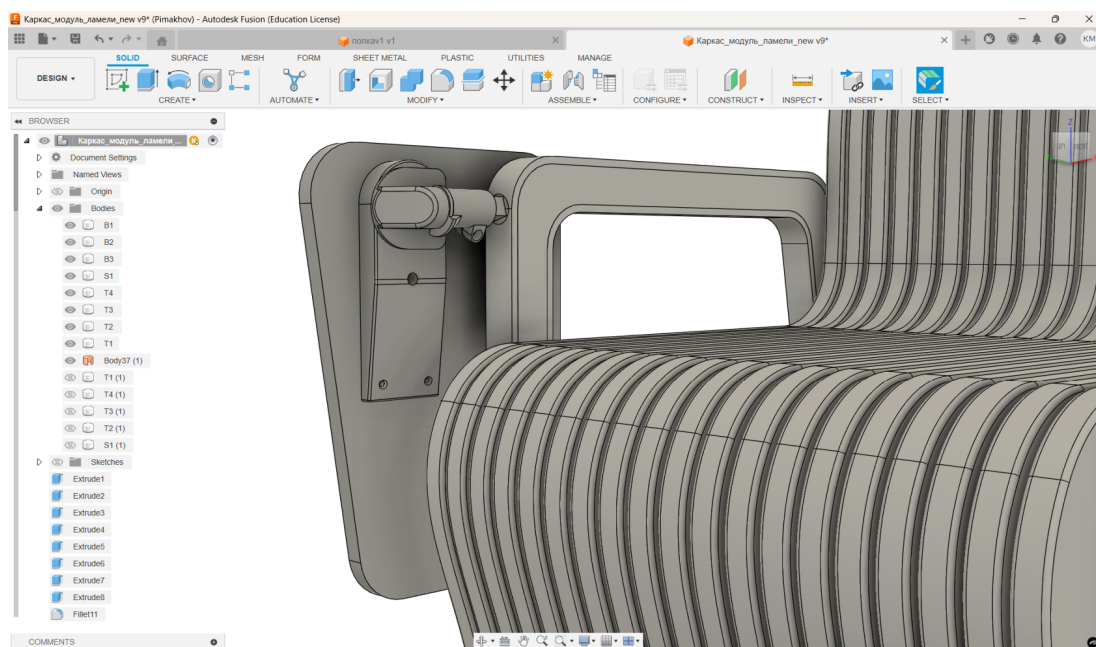


Рисунок 2.6 – Частина з необхідністю тестування, механізм складання підставки

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) – дуже важливий процес, що дозволяє показати, що конструкція лавки не лише технічно ефективна, а й раціональна з точки зору витрат.

- функціональні – «забезпечити сидіння», «утримувати навантаження», «дозволяти трансформацію»

- допоміжні – «захист від погодних умов», «візуальна естетика», «інклюзивний доступ».

Таблиця 2.1 – Таблиця функцій з коефіцієнтами важливості

Функція	Тип функції	Важливість (0–10)	Можливі варіанти реалізації
Забезпечити зручне сидіння	Основна	10	Оптимальна висота та кут сидіння згідно антропометрії
Забезпечити стійкість конструкції	Основна	10	Сталевий каркас із труб 50×30×3 мм, анкерування
Можливість трансформації	Основна	9	Висувно-поворотний механізм для полички, змінні модулі
Естетичність дизайну	Додаткова	8	Вертикальні дерев'яні ламелі, натуральне оздоблення
Атмосферостійкість	Додаткова	7	Лакування дерева, порошок фарбування сталі
Багаторазове складання/збірка	Додаткова	6	Гвинтові з'єднання, приховані кріплення
Інклюзивний доступ	Додаткова	7	Симетричне розміщення підлокітників і столика, універсальний модуль

Таблиця 2.2 – Таблиця функцій з коефіцієнтами важливості

Функція	Коеф. важливості	Частка у вартості (%)	Співвідношення «цінність/витрати»
Сидіння	10	25	0.40
Стійкість	10	30	0.33
Трансформація	9	20	0.45
Естетика	8	10	0.80
Атмосферна стійкість	7	5	1.40
Збирання/розбирання	6	4	1.50
Інклюзивність	7	6	1.17

Функціональність лавки зі змінною геометрією полягає у поєднанні базових та інноваційних функцій, які забезпечують не лише зручність, а й адаптацію під потреби користувача, естетичне наповнення простору та технологічну готовність до виробництва. Це відповідає сучасним вимогам промислового дизайну у сфері міського середовища.

2.2. Ергономічні, естетичні та функціональні характеристики

Проектована лавка є результатом комплексного підходу до промислового дизайну, де взаємопов'язані ергономічність, естетичне сприйняття та функціональність виробу. Оцінка цих характеристик є необхідною для перевірки відповідності конструкції сучасним вимогам до об'єктів міського середовища.

Ергономічні характеристики. У процесі проектування форми лавки одним із ключових параметрів виступала ергономіка посадки. Враховуючи, що розробка виконувалась у межах навчального проєкту, базові антропометричні дані були отримані на основі власних вимірювань (при зрості 176 см), що відповідає методичному підходу до ергономічного моделювання, викладеному в [1] (Методичні рекомендації з дисципліни «Ергономіка та технічна естетика»).

Основними параметрами, які вплинули на побудову цифрової моделі, стали:

- висота від підлоги до підколінної ямки – 460 мм (визначає висоту сидіння),
- глибина сидіння (довжина стегна) – 420 мм,
- висота до ліктя сидячи – 200 мм (визначає рівень підставки для руки),
- ширина тіла в плечовому поясі – 470 мм (визначає мінімальну ширину одного посадкового модуля).

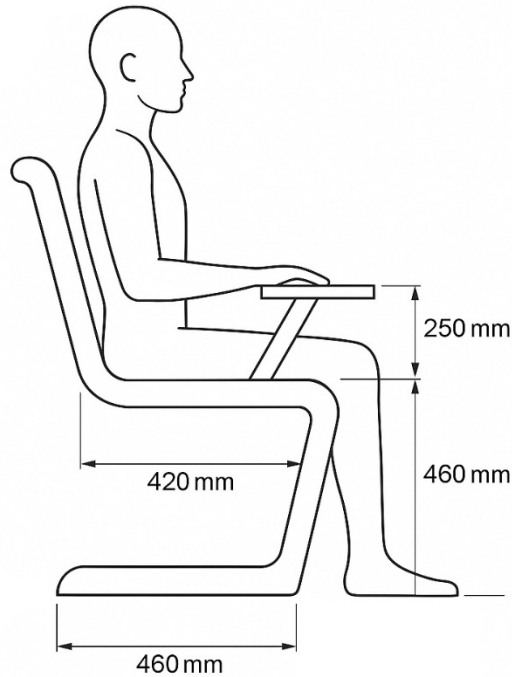


Рисунок 2.7 – Профіль сидячої людини на лавці

Ці дані були використані як базові для моделювання одиночного елемента лавки, що дозволило оптимізувати кут нахилу спинки ($\approx 100^\circ$ до горизонталі), висоту опори для передпліччя (на рівні ± 200 мм від сидіння) та висоту загального модуля (приблизно 850 мм разом з ламелями).

Таким чином, лавка проєктувалась не абстрактно, а з урахуванням реального досвіду потенційного користувача. Це дозволило не тільки забезпечити комфорт, а й перевірити геометрію форми вже на етапі 3D-моделі та макетування.

Наявність поручня – сприяє зручному вставанню та підвищує безпеку, для людей, що потребують додаткової підтримки при вставанні.

Підставка для руки або ноутбука – розташована з урахуванням анатомії руки під час письма або роботи на гаджетах.

Варіантність компоновання (дзеркальність) – дозволяє створювати модулі як під праву, так і під ліву руку, що робить конструкцію інклюзивною.

Всі параметри обґрунтовані аналізом існуючих стандартів (ADA, DIN 33402), а також результатами польових спостережень за використанням типових лавок.

Основні естетичні особливості:

- Параметрична форма – базується на повторенні ламелей із заданою змінною кривизною, що створює візуальний ефект «хвилі» або «течії»
- Матеріали – комбінація натурального дерева з металевими опорами створює контраст текстур і надає конструкції теплий, природний вигляд
- Візуальна легкість – хоча лавка достатньо міцна, її форма виглядає легкою, відкритою, не масивною
- Асиметрія та дзеркальність модулів – створюють динаміку, уникаючи монотонності
- Завдяки таким рисам, лавка може бути не лише утилітарним об'єктом, але й декоративним елементом у парку чи кампусі.

Функціональні можливості лавки дозволяють адаптувати її до різних сценаріїв використання:

- Індивідуальне місце для сидіння – зі зручною підтримкою
- Місце для роботи – завдяки підставці з одного боку
- Групова конфігурація – можливість комбонування модулів для створення лав на 2 або 3 особи або комплексів з декількох лав поруч
- Мобільність компонентів (у концепті) – за рахунок модульності можливе транспортування окремих секцій

Стійкість до зовнішніх впливів – проектування під використання матеріалів, придатних до експлуатації на відкритому повітрі (просочене дерево, порошково-пофарбована сталь).

Додатково конструкція передбачає максимально можливу відсутність гострих кутів, плавність форм, що важливо для безпеки у відкритих зонах, а також можливість фіксації до основи, що запобігає крадіжкам чи переміщенню.

Сукупність ергономічних, естетичних і функціональних характеристик дозволяє охарактеризувати розроблену лаву, як універсальний адаптивний виріб, що відповідає принципам сучасного промислового дизайну. Вона орієнтована на задоволення як базових потреб (посадка, підтримка), так і додаткових функцій (робота, персональний простір), формуючи якісне комфортне місце для перебування людини.

У процесі моделювання конструкції лави використовувалося програмне забезпечення, яке є доступним на навчальних комп'ютерах кафедри, а саме:

Autodesk Fusion 360 – для параметричного 3D-моделювання форми, оптимізації габаритних розмірів та опрацювання загальної геометрії. У межах доступного функціоналу було використано такі модулі:

- Solid modeling (твердотільне моделювання);
- Sketch environment (ескізна побудова профілю ламелей);
- Assemble (з'єднання модульних частин лавки);
- Render – для базової візуалізації форми виробу.

Autodesk Inventor – для оформлення технічної документації, включно з створенням проєкцій, нанесенням розмірів і штампів згідно з вимогами ЄСКД.

Використано такі модулі:

- Drawing environment (створення креслень);
- Dimensioning and annotation tools (нанесення розмірів, кутів, ліній);
- Base view / Projected view (створення фронтальної, бокової та горизонтальної проєкцій моделі).

Вибір саме цих програм обґрунтовано їх доступністю для студентів нашої кафедри, інтеграцією з хмарним середовищем, а також можливістю експорту моделей до OBJ-формату для подальшого прототипування за допомогою 3D-друку.

2.3. 3D-моделювання лавки. Варіанти конфігурацій

Проектування цієї лавки з самого початку було пов'язане з уявленням про форму як змінну, а не фіксовану величину. Це не просто сидіння, вирізане з дошки за шаблоном. Це набір елементів, які створюють форму через послідовність, ритм, дзеркальність, логіку складання. Саме тому основним інструментом Fusion 360, який дозволяє працювати з такими складними формами не тільки геометрично, але й концептуально.

Побудова базового модуля. В основі цифрової моделі – це послідовність ламелей, які разом утворюють єдину форму. Спочатку в середовищі ескізу створюється основна профільна лінія – умовний «силует» людини в положенні сидячи. Вона формує основу для побудови посадкової зони – сидіння, спинки та частини опори.

Далі створюється кілька параметричних контрольних точок, які дозволяють змінювати радіуси вигинів, висоту спинки, нахил сидіння. На їх основі будується тривимірний каркас – набір елементів, які візуально працюють як ламелі.

Кожен з елементів можна масштабувати, дублювати, дзеркалити – і саме на цьому рівні з'являється потенціал до серійності, комбінування, адаптації.

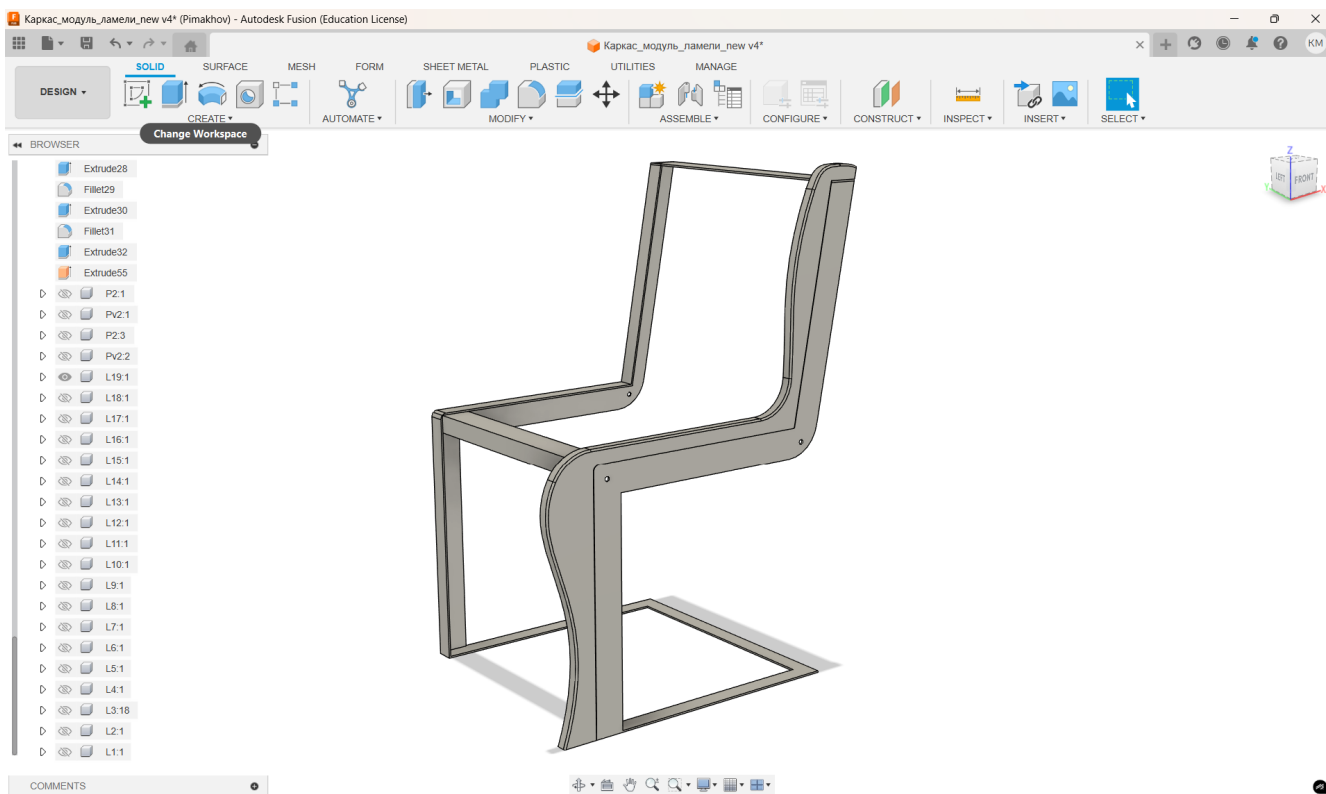


Рисунок 2.8 – Базова конструкція та моделювання ламелі

Варіанти конфігурацій:

1. Одиночна лава з правосторонньою підставкою

Це базовий варіант, розрахований на одного користувача. З правого боку — висувна або стаціонарна підставка, яка може слугувати як поверхня для блокнота, чашки або планшета. Зліва — поручень, інтегрований у лінію ламелей. Такий варіант орієнтований на праворуких людей.

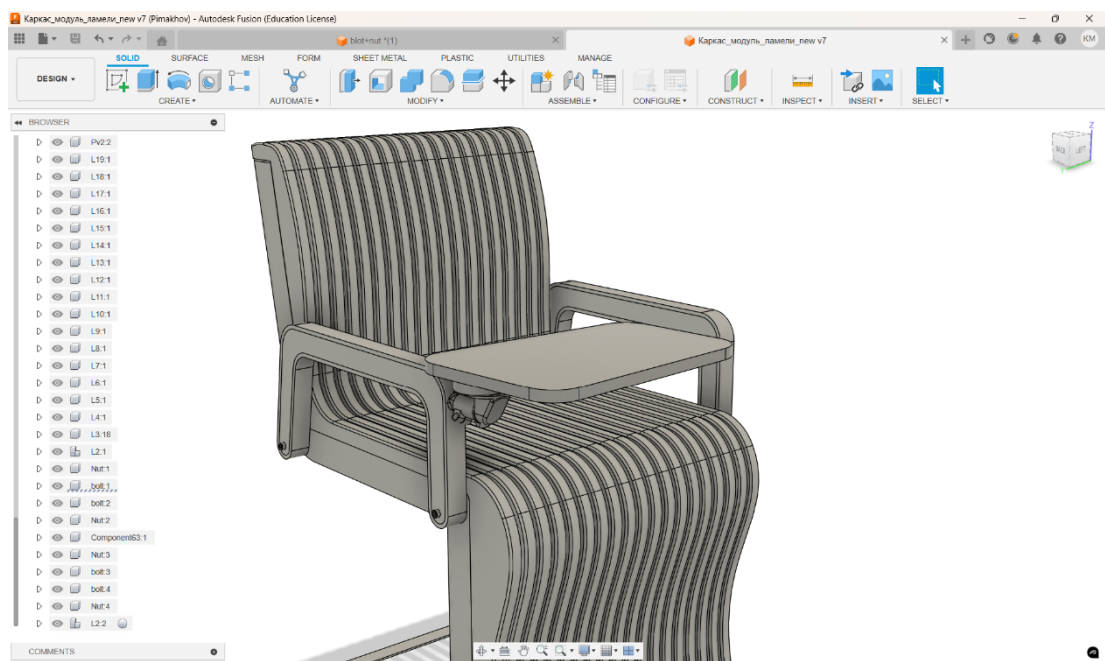


Рисунок 2.9 – Лава з правосторонньою підставкою

2. Одиночна лава з дзеркальним компонуванням (для ліворуких людей)

Ця конфігурація створена шляхом віддзеркалення основної моделі. Вона функціонально ідентична, але дозволяє комфортно користуватись підставкою лівою рукою. В реальному просторі обидві версії можна розміщувати по чергово або формувати симетричні групи.

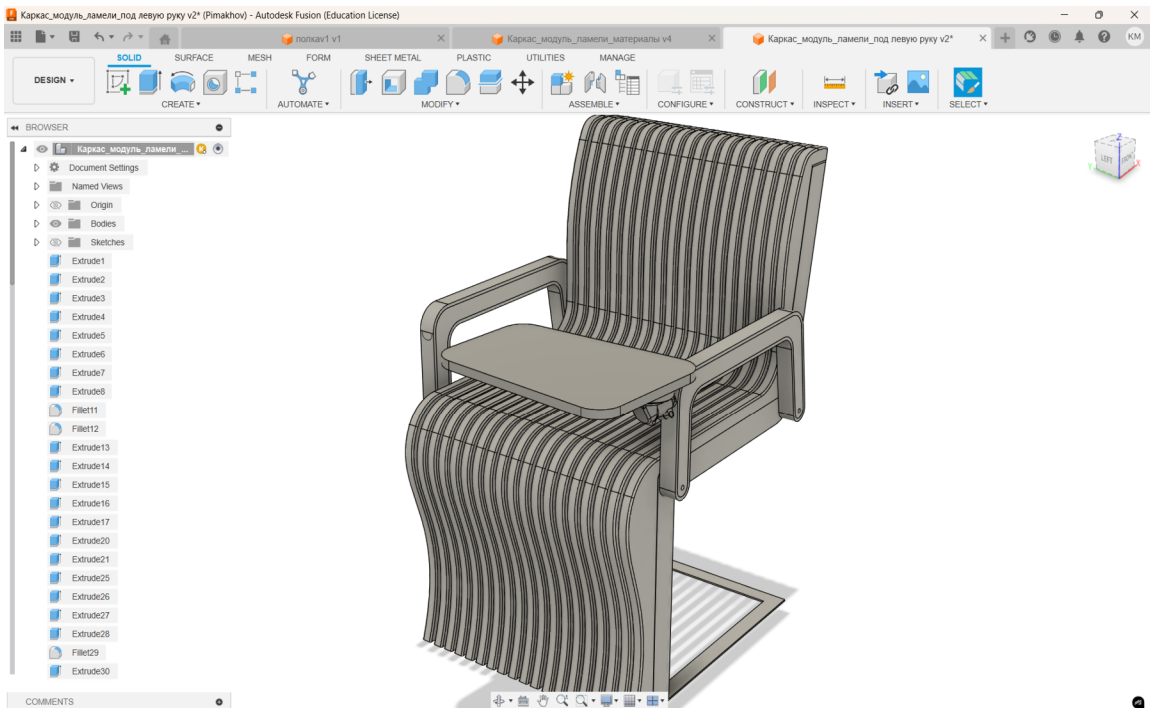


Рисунок 2.10 – Лавка з лівосторонньою підставкою

3. Парна конфігурація

Дві одиночні лавки об'єднуються спинками або опорними елементами в одну конструкцію. Це дозволяє економити простір та матеріали, одночасно зберігаючи індивідуальні зони для кожного користувача.

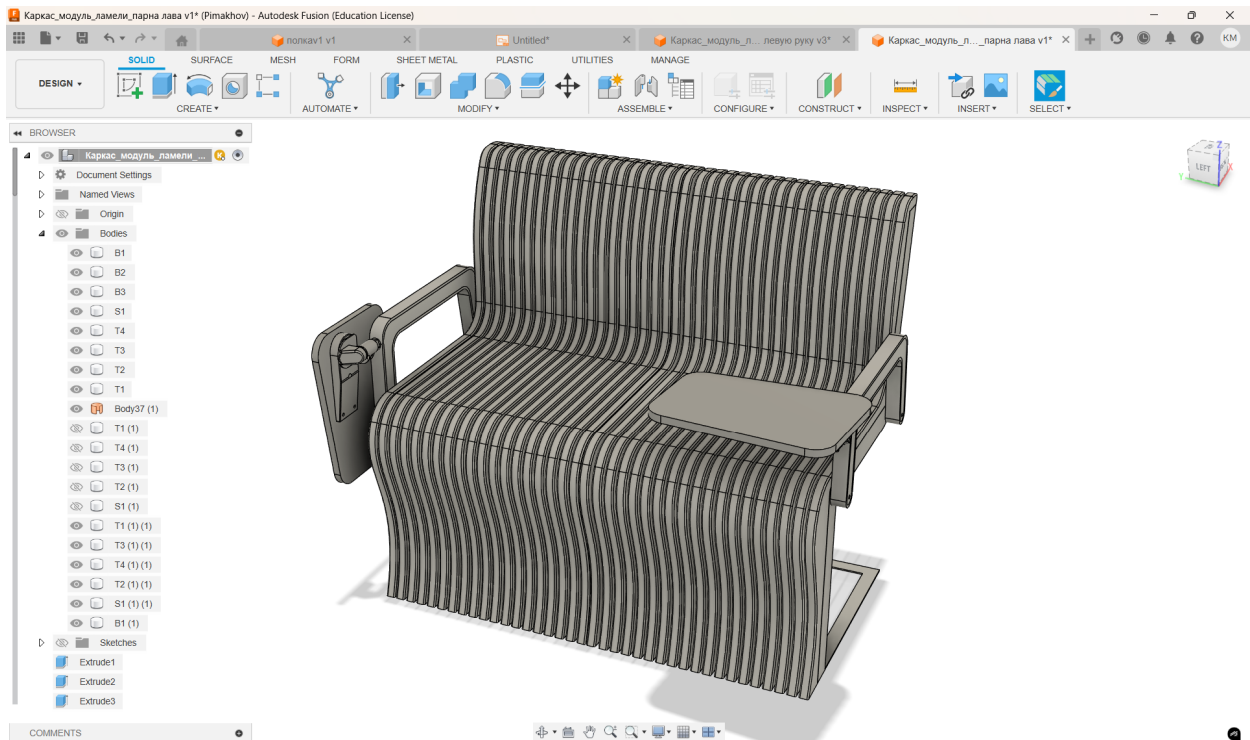


Рисунок 2.11 – Парна конфігурація

Комбінування у просторі

Завдяки однаковій базовій висоті опор і єдиній системі з'єднань, модулі легко компонуються у композиції: хвилясті, кутові, лінійні. Це дозволяє не просто створити лавку, а оформити зону відпочинку – з окремими місцями, групами, островами для навчання або неформального спілкування.

У середовищі Fusion 360 була змодельована серія з декількох базових варіантів, і кожен з них можна далі адаптувати під конкретні просторові задачі. Це робить конструкцію відкритою до розвитку і легкою для масштабування, від індивідуального модуля до елемента меблевої системи.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Обґрунтування вибору матеріалів (дерево, сталь)

Вибір матеріалів, це завжди намагання знайти компроміс між довговічністю, зручністю, зовнішнім виглядом, екологічністю та тим, як людина буде взаємодіяти з предметом. У випадку цієї лавки зі змінною геометрією, яка має і скульптурну форму, і функціональне навантаження, матеріали відіграють критично важливу роль у тому, як вона буде сприйматися й використовуватися.

Вибір деревини, як основного матеріалу для більшої частини елементів лавки не випадковий. Тому що, деревина – це теплий, тактильно приємний матеріал, який на відміну від холодної сталі або пластику, викликає позитивні тактильні асоціації. Людина сприймає дерево як щось природне, екологічне. Та у нашому міському середовищі, де багато каменю, бетону і скла, такі деталі створюють контраст, який заспокоює.

З точки зору конструкції, деревина дозволяє реалізувати ту саму змінну геометрію, яка закладена в основі її параметричного дизайну. Округлі ламелі, з яких складається форма, можуть бути виготовлені з клеєної деревини, що забезпечує і міцність, і стабільність при експлуатації на вулиці. Особливо, якщо використовувати породи з підвищеною стійкістю до вологи – наприклад, модрина або термоясен. Просочення та лакування додають ще один захисний шар і це дозволяє матеріалу «жити» на відкритому повітрі довгими роками.

Але конструкція тримається не тільки на дереві. Сталь, це скелет, який непомітно тримає форму і додає конструкції витривалості. Саме завдяки сталевим кронштейнам можна реалізувати ті підставки, що висуваються збоку, та поручень, який витримує навантаження, коли людина спирається на нього вагою всього тіла. Тут важлива точність сталевих з'єднань, які можливо виконати більш надійними на відміну від дерев'яних, особливо це важливо в таких місцях, як шарніри або з'єднання модулів між собою.

Використання сталі дозволяє досягнути потрібного балансу між вагою та міцністю. Наприклад, пофарбована порошковим методом сталь не боїться опадів. А ще цей матеріал дуже добре контрастує з деревиною візуально.

Характеристика матеріалу – не легована конструкційна сталь S235JR (EN 10025-2) [10]. У таблиці 3.1. наведено хімічний склад сталі.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі S235JR

Елемент	% (макс.)
C	≤ 0.17–0.20 %
Mn	≤ 1.40–1.50 %
P	≤ 0.035–0.045 %
S	≤ 0.035–0.045 %
N	≤ 0.012 %
Cu	≤ 0.55 %
Fe	решта

Мікроструктура та якість

S235JR належить до «живої» сталі (рухома атмосфера при прокаті), забезпечує мінімум 27 Дж ударної в'язкості при +20 °C (позначка «JR»).

Такий варіант дозволяє отримати каркас із хорошою формоутворювальною здатністю, стійкістю до вібрацій та ударів, що актуально для вуличного застосування.

Механічні властивості

- Межа плинності (R_e):
 - ≥ 235 МПа (товщина ≤ 16 мм);
 - ≥ 225 МПа (16 – 40 мм)
- Межа міцності (R_m): 360 – 510 МПа – незалежно від товщини
- Подовження при розриві (A_5): ≥ 20 –26 %

- Ударна в'язкість (Charpy KV): ≥ 27 Дж при $+20$ °C
- Модуль Юнга: ≈ 210 ГПа;
Густина: $\approx 7\,850$ кг/м³

Таким чином, сталь S235JR підходить [11] (<https://www.makeitfrom.com/material-properties/S235JR-Steel>) , для виготовлення каркасу лавки, бо:

- міцність і пластичність відповідають навантаженням до 200 кг.
- матеріал витривалий до механічних ударів та погодних умов.
- добра зварюваність – спрощує виробництво каркасу прихованої конструкції.
- легко доступний в Україні, економічно вигідний.

Отже, у парі дерево і сталь працюють як два доповнюючі одне одного матеріали. Дерево дає відчуття тепла, природності. Сталь — силу, тривкість, технологічність. І саме таке поєднання дозволяє втілити задум, лавку, що виглядає не перенавантаженою візуально та органічною, але водночас здатною витримати справжні міські умови, з усіма їхніми викликами, погодою, користувачами і часом.

3.2. Особливості виготовлення конструктивних елементів

Проект цієї лави, це історія про поєднання двох типів роботи. Один цифровий, де форма побудована з кривих, а кожна деталь існує у математичній точності на екрані. Інший, фізичний, де форма повинна триматись, не хитатися під навантаженням і при цьому залишатися красивою навіть після кількох сезонів під дощем та снігом. Щоб ці етапи розробки зійшлись, кожен елемент конструкції потребує особливого підходу до виготовлення.

Все починається з ламелей, це суть самої форми лавки. Кожна ламель має контур, а їх ритмічна послідовність формує вигин спинки, сидіння, бокових стінок. У цифровій моделі ці контури згенеровані як параметрична сітка, кожна

лінія результат математичної логіки, а не просто довільний малюнок. Щоб перенести ці лінії в матеріал, використовується технологія розкрою на ЧПК-верстаті (лазерному або фрезерному). У кожному шарі отвори для фіксації, місця під з'єднання з основним каркасом. Це дозволяє уникнути похибок навіть при повторному збиранні.

Матеріал для ламелей – клеєна деревина. Вона стійка до деформацій і не має внутрішніх напружень, які можуть «повести» форму з часом. Після вирізання кожен елемент шліфується, просочується антисептичним складом, потім – покривається лаком або олією, залежно від фінального вигляду, який хочеться отримати – матову, трохи шорстку поверхню чи глянцеvu.

Для зовнішніх елементів лавки, зокрема, ламелей сидіння, спинки та декоративного облицювання боковин - використано модрина як матеріал, що поєднує естетику, механічну міцність і довговічність при зовнішній експлуатації. Модрина має високу щільність, природну смолистість, а також біостійкість до уражень грибками, що дозволяє використовувати її без глибокого просочення, лише з поверхневим захистом (масло або лак для зовнішніх робіт).

Механічні властивості деревини модрини дають змогу впевнено експлуатувати лавку під динамічним навантаженням. При цьому можливість обробки і стабільність геометрії у порівнянні з сосною значно вища, а естетичні властивості благородніші (теплий відтінок, видима текстура волокон).

Усі пиломатеріали, які використовуються для облицювання, повинні відповідати вимогам ГОСТ 8486-86 «Пиломатеріали хвойних порід. Технічні умови», що встановлює сорти, вологість, видимі дефекти та допустимі відхилення. Для проєкту передбачено використання високосортної модрини (не нижче II сорту) з вологістю 10–14%, що гарантує стабільність під час експлуатації та зниження ризику деформацій [13] (FSC сертифікаційна база – fsc.org).

Модрина має високу щільність, твердість і природну стійкість до вологи, грибків та комах без додаткового хімічного просочення [12] (ГОСТ 8486-86, ГОСТ 15613.4-77, ГОСТ 21560.1-82).

Таблиця 3.2 – Основні механічні властивості модрина

Показник	Значення
Густина при 12% вологості	630–690 кг/м ³
Міцність на статичний згин	75–100 МПа
Міцність на стиснення вздовж волокон	46–65 МПа
Міцність на зсув вздовж волокон	8–14 МПа
Твердість по Бринеллю (перпендикулярно волокнам)	27–35 МПа
Усадка (радіальна/тангенціальна)	4–8 % / 6–12 %
Клас вогнестійкості	С3 (за ГОСТ 30244-94)
Стійкість до гниття	Висока (не менше 10 років на відкритому повітрі)

Джерела: ГОСТ 8486-86, ГОСТ 15613.4-77, ГОСТ 21560.1-82, FSC-бази.

Міцність модрина при статичному згині (до 100 МПа) дозволяє використовувати її в елементах, що сприймають навантаження від маси тіла користувача. Для порівняння, поріг згину для дуба – 110–130 МПа, для сосни – 60–80 МПа. Таким чином, модрина є досить твердою, але більш вологостійкою, що робить її збалансованим варіантом для вуличних меблів.

Додаткове лакофарбове покриття, рекомендоване для зовнішніх умов, зменшує знос верхнього шару деревини, покращує естетичні властивості та подовжує термін служби.

Каркас, це скелет, критично важливий. Він складається з сталеві рами та опор, які зварюються згідно з кресленням. Тут потрібно витримати геометрію, бо саме на каркас насаджуються всі дерев'яні елементи. Для надійності конструкції передбачено потайне кріплення, тобто так, щоб метал залишався прихованим, а дерево було візуально першочерговим. Опори я бачу виконаними зі сталі, пофарбованої порошковим методом.

Для виготовлення внутрішнього каркаса лавки, що прихований під дерев'яним облицюванням, обрано сталь марки S235JR (аналог української Ст3сп5) [14] (ДСТУ EN 10025-2:2019). Це конструкційна низьковуглецева сталь, яка широко використовується в архітектурних і меблевих металевих системах

через поєднання механічної міцності, надійної зварюваності та доступності на ринку.

У даному проєкті використано профільну трубу з товщиною стінки 3 мм, що суттєво підвищує жорсткість конструкції без значного збільшення маси. Така товщина оптимальна для каркаса, який повинен витримувати статичне навантаження до 200 кг на один модуль із урахуванням запасу міцності. Конструкція при цьому залишається достатньо легкою для транспортування й збирання. Умови зовнішньої експлуатації вимагають також атмосферостійкості матеріалу, тому труба після зварювання проходить обробку ґрунтовкою з антикорозійними властивостями та порошкове фарбування, що значно подовжує строк служби в умовах вологи, ультрафіолету та перепадів температур.

Вибір саме цієї марки сталі обумовлений її відповідністю стандарту [ДСТУ EN 10025-2:2019 «Вироби сталеві гарячекатані для загального призначення»], який регламентує хімічний склад, механічні характеристики та допустимі відхилення при виготовленні. Зварювання профілю товщиною 3 мм не потребує додаткового попереднього підігріву, що полегшує технологічний процес. Таким чином, використання сталі S235JR дозволяє забезпечити надійність, довговічність і технологічність каркаса при збереженні естетики конструкції.

Сталь S235JR [15] (Структура сталі – steel-database.com) – належить до вуглецевих конструкційних сталей і характеризується двофазною мікроструктурою, яка складається переважно з:

- фериту (світлі зони під мікроскопом) – ~80–90 %;
- перліту (темні ділянки) – ~10–20 %.

Під мікроскопом перліт має вигляд шаруватої структури з темно-сірими лініями (цементит), які чергуються зі світлими зонами (ферит). Інколи можна побачити включення MnS (сульфіди марганцю).

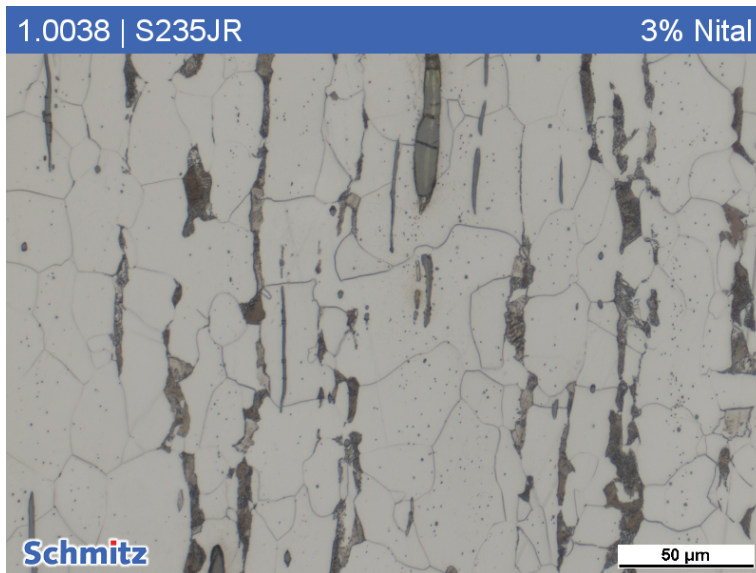


Рисунок 3.1 – Мікроструктура сталі S235JR

Висувні елементи - підставка для руки чи ноутбука, а також поручень. Тут потрібна механіка. Зсув відбувається за принципом під'йому та повороту. Щоб це працювало довго й без заїдань, важливо правильно підібрати матеріал (алюміній або армований полімер) і розрахувати люфт, мінімальний, але необхідний для легкого руху.

З'єднання модулів між собою. Оскільки лавка задумана як конструкція, яку можна нарощувати, дуже важливо передбачити систему з'єднань, яка буде швидкою, надійною і при цьому не зіпсує вигляд. У цьому проєкті це реалізується через втоплені металеві кріплення та приховані фіксатори, які фіксуються з внутрішнього боку сидіння або основи. Візуально, суцільна лава, схожа на естетичне офісне крісло, технічно, це модуль, що легко транспортується й монтується.

Все зібране тестується, перевіряється стійкість, плавність руху, сила на згин, зручність посадки. Бо це про досвід людини, яка сяде, спробує спертися, щось написати, і зробить висновок – комфортно чи ні.

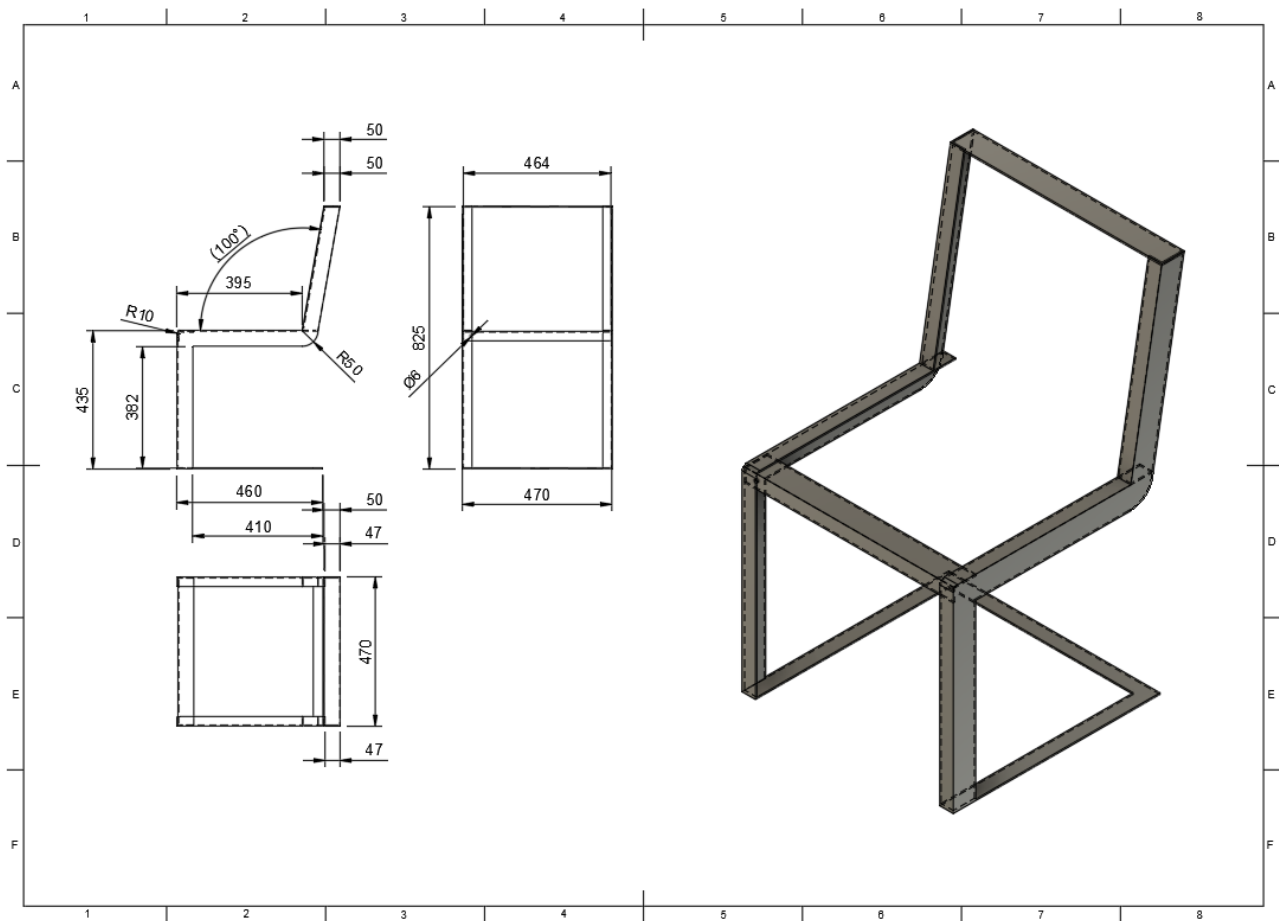


Рисунок 3.2 – Несуча конструкція виробу

3.2.1 Зносостійкість зовнішніх покриттів деревини та металу

У процесі експлуатації лавки в умовах відкритого середовища одним із важливих чинників є стійкість покриттів до зносу, атмосферних впливів і механічного стирання [26]) (EN 16139: Міцність і довговічність меблів) .

Лакофарбове покриття та термообробка деревини

Для захисту ламелей передбачається нанесення зовнішнього лакофарбового покриття на водній або поліуретановій основі. Переваги такого підходу:

- Захист від УФ-випромінювання (лаки з УФ-фільтрами попереджають посіріння деревини);
- Гідрофобний ефект, що знижує вологопоглинання та набухання;
- Зменшення стирання при постійному контакті з одягом користувачів;

- Естетичність, що підсилює структуру деревини та дозволяє обрати відтінок.

Також допустимий варіант – застосування термічно модифікованої деревини (термодерево), що обробляється при температурах 160–220 °С у безкисневому середовищі.

Така обробка покращує:

- стабільність геометрії (менше викривлення);
- стійкість до біологічного ураження;
- зниження вологопоглинання;
- довговічність (до 20 років без хімічного просочення).

Порошкове покриття сталі

Каркас лавки виготовляється з вуглецевої сталі S235JR, захищеної порошковим поліефірним покриттям, що наноситься методом електростатичного напилення [25] (ДСТУ EN 10025-2:2019 – стандарт сталей конструкційних).

Основні переваги:

- Висока адгезія до металу – стійкість до відшаровування.
- Стійкість до вологи та корозії – забезпечується товщиною шару 60–100 мкм.
- Механічна зносостійкість – покриття витримує частий контакт, подряпини.
- Стійкість до температур – до 80–100 °С без змін зовнішнього вигляду.
- Екологічна безпека – відсутність токсичних випарів після полімеризації.

Застосування якісного лакофарбового покриття або термодерева дозволяє досягти мінімального зношування дерев'яних елементів протягом 5–7 років без додаткової обробки. Порошкове покриття сталі при дотриманні технології нанесення зберігає цілісність протягом 8–10 років навіть в умовах клімату України.

Таблиця 3.3 – Експлуатаційні показники модульної лавки

Показник	Характеристика
Габаритні розміри одного модуля	Ширина: 470 мм; Висота: 850 мм; Глибина: 620 мм
Маса одного модуля	приблизно 18–25 кг
Максимальне допустиме навантаження	до 200 кг (на одне посадкове місце)

Матеріали	деревина (модрина), сталь (S235JR)
Захисне покриття	дерево – лак УФ, метал – порошкове фарбування
Термін служби (за умови обслуговування)	8–12 років
Гарантійний період (теоретично)	12–24 місяці
Обслуговування	оновлення лаку, заміна ламелей, підтягування кріплень
Умови експлуатації	вуличне середовище, температура –30 °С до +45 °С
Можливість ремонту	модульна конструкція дозволяє локальну заміну частин

3.2.2 Розрахунок на згин для центральної балки

Для аналізу міцності несучої конструкції сидіння обрано ключовий елемент – горизонтальну балку каркаса, яка сприймає навантаження від користувача . Цей елемент виготовлений із профільної сталеві труби 50×30 мм зі стінкою 3 мм, довжина прольоту - 410 мм. Матеріал - сталь S235JR, що має добру зварюваність і задовольняє вимоги ДСТУ EN 10025-2:2019 [25] .

Схема балки – двохопорна з центральним навантаженням:

$$M = (F \times l) / 4$$

Підставляючи значення:

$$F = 2000 \text{ Н}$$

$$l = 0,41 \text{ м}$$

$$M = (2000 \times 0,41) / 4 = 205 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3.2.3 Перевірка допустимих напружень

Для прямокутної труби 50×30×3 мм обчислюємо момент інерції (I_x) за формулою:

$$I = [b \times h^3 - (b - 2t) \times (h - 2t)^3] / 12$$

де:

$$b = 0,05 \text{ м}, h = 0,03 \text{ м}, t = 0,003 \text{ м}$$

$$I \approx 1,073 \times 10^{-8} \text{ м}^4$$

Максимальні напруження визначаються за формулою:

$$\sigma = (M \times y) / I$$

$$y = h / 2 = 0,015 \text{ м}$$

$$\sigma = (205 \times 0,015) / 1,073\text{e-}8 \approx 28,6 \text{ МПа}$$

3.2.4 Коефіцієнт безпеки

Коефіцієнт запасу міцності визначається як:

$$n = \sigma_{\text{тек}} / \sigma$$

$$\sigma_{\text{тек}} = 235 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 28,6 \text{ МПа}$$

$$n = 235 / 28,6 \approx 8,2$$

При навантаженні 2000 Н, труба 50×30×3 мм працює з великим запасом жорсткості. Напруження не перевищують допустимих значень, а коефіцієнт безпеки становить понад 8, що гарантує надійну роботу елемента навіть при тривалому використанні в публічному просторі.

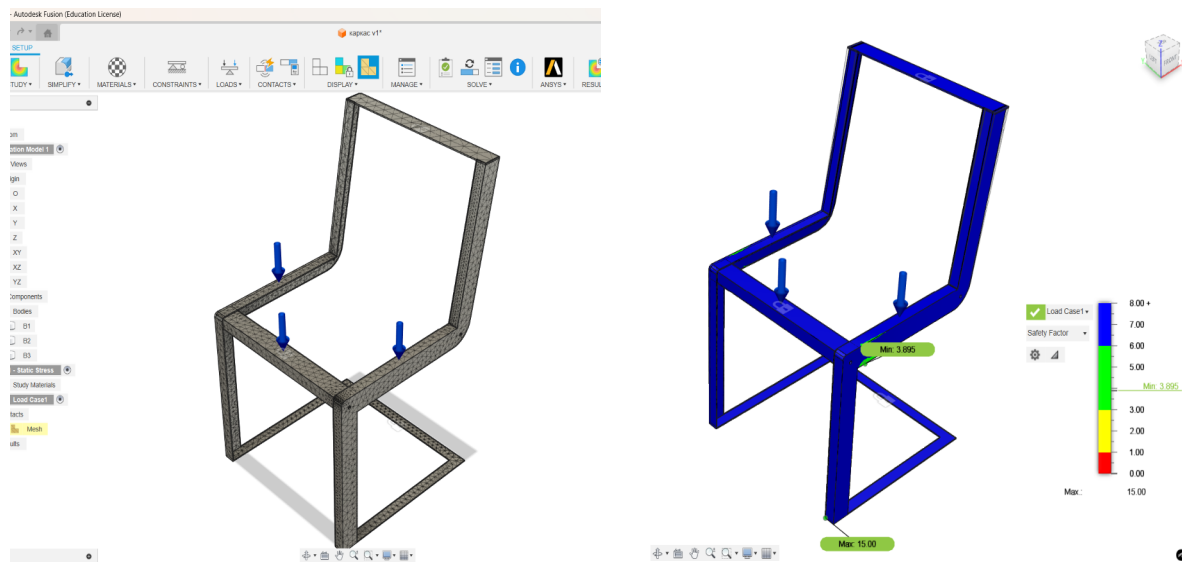


Рисунок 3.3 – Аналіз статичних навантажень у Autodesk Fusion 360

На наведених скріншотах представлено статичне моделювання конструкції лавки, виконане в середовищі Fusion 360 Simulation Workspace. Метою аналізу є

перевірка коефіцієнта запасу міцності та визначення найбільш навантажених зон каркасу при стандартному вертикальному навантаженні.

Налаштування симуляції:

- Тип дослідження: Static Stress;
- Навантаження: Три вертикальні сили, які імітують навантаження від людини вагою до 200 кг;
- Фіксація: закріплення низу ніжок (заземлення конструкції);
- Матеріал: сталь S235JR.

Результати:

- Мінімальний коефіцієнт безпеки: 3.9 (зелена зона) — ця точка знаходиться в місці з'єднання сидіння та опори;
- Максимальний коефіцієнт: 15 (темно-синя зона) — відповідає зонам з найменшим навантаженням;
- Вся конструкція перебуває в межах допустимих значень міцності, без червоних зон (коэф. Безпеки < 1).

Цей аналіз підтверджує достатній запас міцності каркасу і дозволяє зробити позитивний висновок про його безпечне використання при заявлених навантаженнях.

3.2.5 Методи з'єднання та обробки

Конструкція лавки передбачає використання зварної сталеві основи, тому критичним є вибір надійної технології з'єднання елементів. Для складання каркаса з профільної труби застосовується дугове ручне зварювання (ММА) або напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу (MAG/MIG).

У лабораторних і дрібносерійних умовах оптимальним є напівавтомат MAG, оскільки він забезпечує:

- хорошу якість шва з мінімальними деформаціями;
- високу продуктивність;
- невисоку вартість витратних матеріалів (дріт, CO₂).

Після зварювання шви проходять механічне зачищення абразивними кругами, усуваються задирки й сліди перегріву. Поверхня конструкції готується до фарбування - спочатку наноситься антикорозійна ґрунтовка, потім застосовується порошкове покриття. Це дозволяє досягти тривалого ресурсу навіть у відкритому міському середовищі.

- Монтаж дерев'яних ламелей до сталевій основі здійснюється за допомогою болтових з'єднань. У місцях кріплення передбачено різьбові отвори. Такий спосіб дозволяє:
- легко знімати ламелі для обслуговування;
- уникати наскрізного кріплення з видимої сторони (що зберігає естетику);
- зменшити ризик розщеплення деревини при експлуатації.

Усі стики та опори потрібно перевіряти на люфти перед остаточним складанням. За потреби, деталі фіксуються стопорними шайбами, а торцеві заглушки закриваються пластиковими або металевими ковпачками.

Таблиця 3.4 – Технологічний маршрут виготовлення модульної лавки

Операція	Опис / Інструменти
Розкрій металевого профілю	Порізка сталевій труби 50×30×3 мм за заданими довжинами (торцювальна пила, стрічкопилний верстат)
Зварювання каркасу	Формування рами та опор методом ручного дугового або напівавтоматичного зварювання
Очищення зварних швів	Шліфування та видалення окалини, шліфмашина / щітка
Ґрунтування та фарбування металу	Порошкове фарбування або ґрунт + фарба з термічною сушка (камера полімеризації)
Розкрій деревини	Пиляння ламелей з модрини, довжина та ширина згідно креслень (циркулярна пила)/ЧПУ
Шліфування та підготовка поверхні	Механічне шліфування деревини, обробка торців

Фарбування деревини	Лакування УФ-стійким покриттям у 2–3 шари з міжшаровою шліфовкою
Складання модуля	Монтаж дерев'яних елементів до каркасу за допомогою саморізів або болтових з'єднань
Монтаж механізму полички	Встановлення телескопічного або поворотного кронштейна
Фінальна перевірка якості	Контроль геометрії, кріплень, поверхонь, функціональних елементів

3.2.5 Оцінка трудомісткості виготовлення

Виготовлення одного модульного елемента лавки потребує орієнтовно 8–10 людино-годин роботи, з урахуванням стандартних умов майстерні та наявного інструменту. Найбільш трудомісткими є:

- розкрій і зварювання металу – ≈ 3 год;
- підготовка та обробка деревини – ≈ 3.5 год;
- фарбування деревини та металу (включно з сушінням) – ≈ 2.5 год;
- фінальне складання з перевіркою – ≈ 1 год.

У разі налагодження серійного виробництва ці показники можуть бути зменшені на 30–40% завдяки автоматизації та паралельним операціям.

Таблиця 3.5 – Приблизний кошторис на 1 модуль лавки (червень 2025)

Матеріал / послуга	Орієнтовна кількість	Ціна за одиницю	Вартість, грн
Сталева труба 50×30×3 мм	3 м	180 грн/м	540 грн
Дошка з модрина	0.0518м ² x 19 шт.	1300 грн/м²	13 017 грн
Кріплення, саморізи, анкери	КОМПЛЕКТ	≈ 250 грн	250 грн
Порошкове фарбування	1 каркас	≈ 400 грн	400 грн
Лак + шліфування деревини	≈ 1 м ²	≈ 350 грн	350 грн
Загальна орієнтовна сума		14 557 грн	

Для зниження вартості одного модульного елемента лавки, можливе використання більш доступних варіантів деревини, які все ще забезпечують достатню міцність,

естетичний вигляд та стійкість до зовнішнього середовища. Замість клеєної модрина, яка має високі декоративні та експлуатаційні характеристики, можна розглянути такі альтернативи:

- Сосна – один з найдоступніших матеріалів, легка в обробці, придатна до просочення та покриття зовнішніми лаками. За рахунок низької густини може мати менший термін служби, але дозволяє зменшити витрати майже вдвічі.
- Ялина – має схожі характеристики з сосною, але з трохи нижчою вологістю. Добре підходить для фарбування або термообробки.
- Термооброблена деревина (сосна або ясень) — дорожча за сиру деревину, але дешевша за модрину і має покращену вологостійкість.
- Комбінований варіант – використання ламелей з масиву сосни з декоративною накладкою (шпон або покриття) для збереження естетики.

Також розглядається можливість:

- зменшення кількості ламелей без втрати функціональності;
- переробка з відходів меблевого виробництва (шліфовані обрізки клеєного щита);
- використання ламелей меншої товщини у непрацюючих зонах (декоративні вставки).

Ці варіанти дають змогу зменшити загальну вартість дерев'яної частини модуля на 30–50 % залежно від обраного методу, без істотного впливу на функціональність конструкції.

3.3. Використання 3D-друку для створення прототипу

3D-друк у цьому проєкті, це цілком логічний і практичний крок, який дозволить нам перевірити ідею ще до того, як у майстерні почнуть працювати над

матеріалом та будуть зварювати конструкцію основи [6] ([Easy3DPrint – https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-druk-dlya-prototipuvannya/](https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-druk-dlya-prototipuvannya/)). Інакше кажучи, це спосіб зробити помилки один або два на пластмасі, а не в дереві та сталі, що суттєво економить час, ресурси та нерви. Тоді прототип у нашому випадку, це інструмент для розуміння, чи працює форма, чи збігаються розміри, чи не виглядає поручень надто масивно, чи зручно потрапляє підставка під руку. Завдяки 3D-друку ці речі можна побачити в об'ємі, доторкнутися до них, оцінити взаємодію частин [7] (Технології сучасного 3D-друку – КНУ – https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31729/1/EIRP-2019_Proceedings-Page279-282.pdf).

Модель лавки створюється у Fusion 360, саме там закладаються параметри форми, геометрія ламелей, принцип розміщення опор та функціональних деталей. Форма розбивається на фрагменти, які підлягають друку - сидіння, частина спинки, вузол з'єднання, модуль полички. Це ключові точки, що потребують тестування [8] (Розвиток технології 3D-друку).

Для друку обраний вузол полички, використовуємо FDM-принтер із пластиковою ниткою PLA. Цей матеріал легко друкується, достатньо точний, а головне — недорогий, що дозволяє експериментувати. Масштаб моделі полички 1:2, цього достатньо, щоб оцінити візуальні й ергономічні пропорції, розміщення отворів, характер вигину.

Одна з переваг 3D-друку, це можливість побачити складну форму без потреби в матрицях або складній обробці. Це особливо корисно для ламелей та механізмів. Ще одна цінність 3D-друку, це можливість демонстрації моделі потенційним користувачам, викладачам, фахівцям, які можуть дати зворотний зв'язок. Вони не просто читають креслення, а зможуть взяти прототип у руки та побачити, що конструкція дійсно має сенс.

Отже, у цьому проєкті 3D-друк - це частина дизайнерського мислення. Це момент, коли цифрова ідея починає ставати фізичним предметом, з усіма її

нюансами, і саме на цьому етапі видно, де рішення вдалі, а де потребують уточнення.

Таблиця 3.6 – Послідовність виготовлення прототипу лавки за допомогою 3D-друку

Етап	Опис дій
Параметричне 3D-моделювання	Створення базової моделі у Fusion 360: ламелі, підставка, опори
Розбиття на модулі	Поділ лавки на частини: сидіння, боковини, з'єднувальні елементи
Експорт у формат *.OBJ	Збереження моделі з усією геометрією і кольорами для імпорту в слайсер
Імпорт та налаштування в Ultimaker Cura	Завантаження файлу, масштаб 1:2, орієнтація деталей, підтримки
Параметризація друку	Встановлення температур, швидкості, типу заповнення
Друк на Elegoo Neptune 4 Max	Пошарове FDM-друкування з PLA-філаменту
Післяобробка	Видалення підтримок, легке шліфування, склеювання деталей
Презентаційне складання	Монтаж усіх частин полички для візуального представлення

Технічні параметри 3D-друку

- Формат моделі: OBJ
- Принтер: Elegoo Neptune 4 Max
- Слайсер: Ultimaker Cura 5.9.1
- Матеріал: PLA-пластик (1.75 мм), білий
- Температура сопла: 200 °C
- Температура платформи: 60 °C
- Ширина шару: 0.2 мм
- Тип підтримок:
- Заповнення: 15–20% (Grid)
- Масштаб моделі: 1:2
- Час друку полички: 3–10 год залежно від масштабу

- Післяобробка: Механічне очищення, можливе склеювання

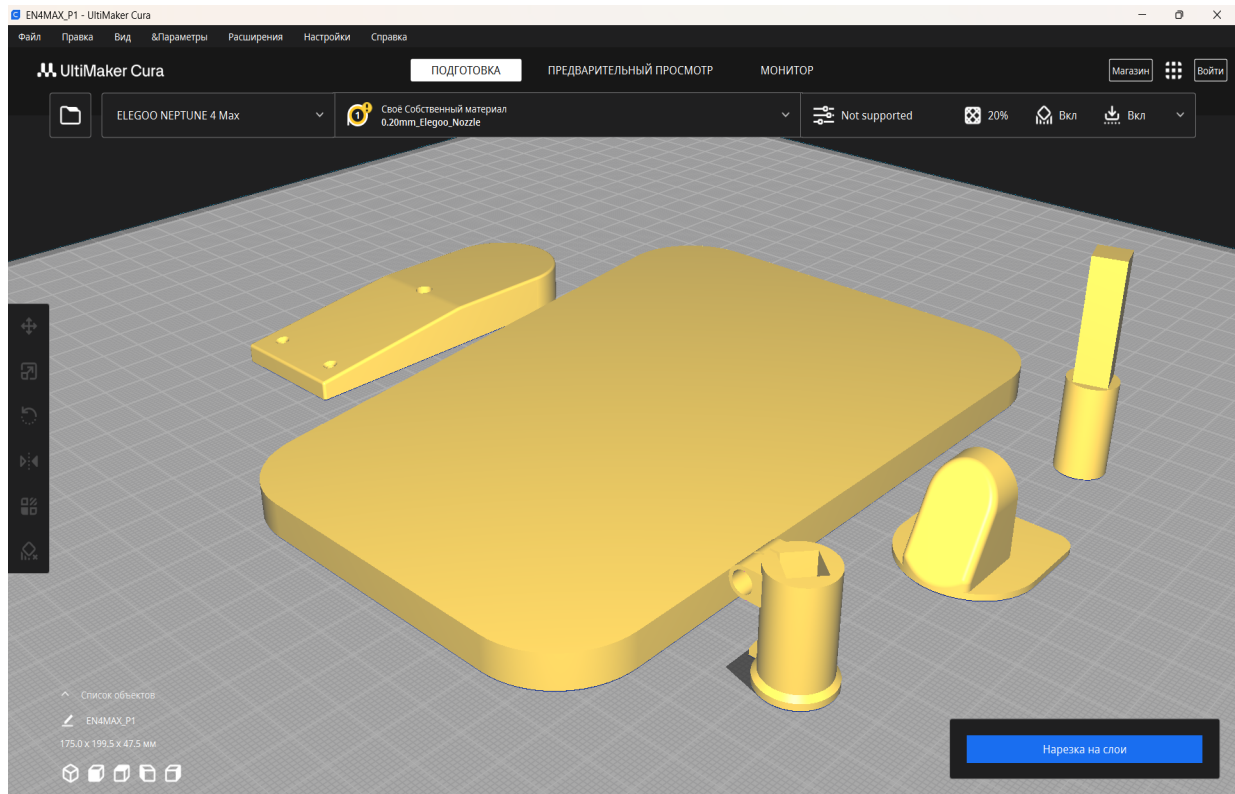


Рисунок 3.4 – Розміщення деталей у слайсері

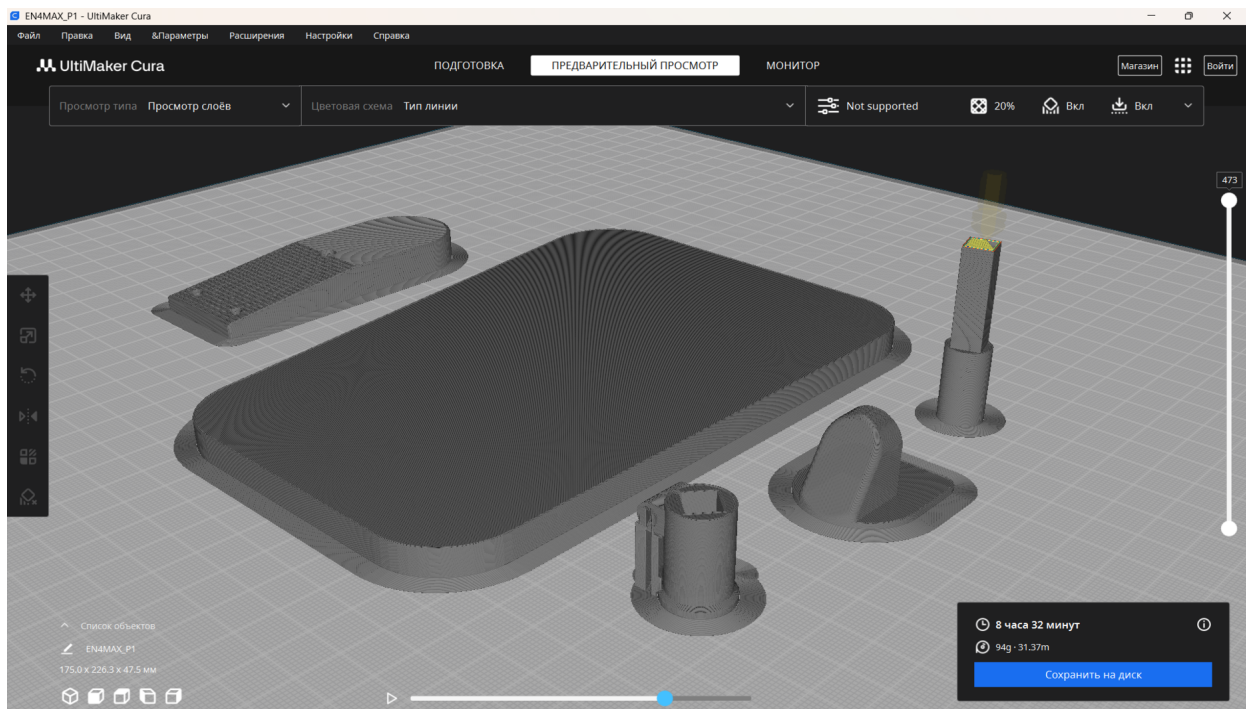


Рисунок 3.5 – Нарізка феламенту для друку

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Аналіз безпечних умов експлуатації

У реальних умовах предмет не просто функціонує, а й щодня взаємодіє з десятками, чи навіть сотнями абсолютно різних людей- діти, дорослі, літні, люди з інвалідністю. Саме тому питання безпеки – це одна з ключових вимог до проекту.

Насамперед, у конструкції повинно бути виключено все, що може травмувати. Усі краї деталей заокруглені, без гострих кутів. Це правило працює на кожному рівні, від основних ліній сидіння до маленьких деталей з'єднання. Площини стикування дерева та металу приховані або врівень, щоб уникнути ризику зачепитися чи натерти шкіру при контакті.

Згідно з вимогами EN 16139:2013 («Меблі. Міцність, довговічність і безпека [26]. Вимоги до сидінь, що не призначені для побутового використання»), всі елементи, з якими може контактувати користувач, повинні мати згладжені форми, без гострих кутів і ребер.

- Мінімальний радіус заокруглення відкритих кутів або крайок — не менше 2 мм, якщо поверхня не покрита м'яким матеріалом
- Якщо деталь виконується з листового металу чи профілю, її торець повинен бути закритий заглушкою або оброблений шліфуванням
- Спинка, сидіння, підлокітники, столики та виступаючі частини не повинні мати гострих виступів, здатних спричинити травму при випадковому контакті.

Ці вимоги забезпечують зниження ризику порізів, ударів, зачеплення одягу чи аксесуарів, особливо в умовах громадського користування.

У розробленій моделі усі торці сталевих елементів мають згладження ≥ 3 мм, а дерев'яні ламелі мають фаску та радіус 4-5 мм по зовнішньому периметру.

Кріплення заглиблені або розміщені з внутрішньої сторони каркаса, що

виключає їх випадковий контакт із тілом користувача. Таке технічне рішення дозволяє розглядати виріб як придатний для використання не лише в парках, а й поблизу шкіл, скверів і зон з підвищеним трафіком.

Враховано також стійкість виробу, кожен модуль лавки спроектовано так, щоб навіть окремо він був важким і стабільним. Це досягається за рахунок низького центру маси та металевих опор. При встановленні передбачена можливість фіксації до основи. Анкерне кріплення дозволяє прикріпити лавку до плитки, асфальту чи бетонної плити, це захистить її від перекидання, або крадіжки чи переміщення.

Окрему увагу приділено експлуатації в умовах погоди. Всі матеріали обрані з урахуванням дії вологи, сонця, перепаду температур. Дерев'яні елементи просочені захисними складами, покриті вологостійким лаком [24] (FSC сертифікація деревини – <https://ua.fsc.org/ua-ua>). Метал з нержавіючої сталі, можливе порошкове фарбування, яке створює щільну плівку, стійку до подряпин, корозії та ультрафіолету. Завдяки цьому не виникає ситуацій, коли мокра поверхня стає слизькою, або на ній з'являється іржа з гострими краями.

Також продумано умови для різних користувачів. Лавка має поручень - він підвищує безпеку. Людині з обмеженою рухливістю простіше сісти та встати, тримаючись за опору [27]) (Принципи інклюзивного дизайну – <https://mistosite.org.ua/>).

Згідно з вимогами EN 16139:2013, підлокітники в меблях громадського користування мають витримувати вертикальне зусилля не менше 1000 Н (≈ 100 кг) без руйнування або помітної деформації. У конструкції запропонованої лавки підлокітник кріплення підлокітника відбувається до прихованого металевого кронштейна, який має мінімальну прогинальність і достатню опору для спирання чи підняття користувача. Таким чином, проєктована конструкція забезпечує відповідність вимогам безпеки навіть за інтенсивного навантаження.

Висота сидіння обрана таким чином, щоб не виникало перенапруження колінного суглоба. А сам профіль спинки створює природну підтримку спини, що знижує ризик неправильного навантаження на хребет.

Завдяки відкритій конструкції без закритих пустот, лавка не провокує небажаного використання, стати смітником. Не має заглиблень, де можна щось залишити. Тож загалом, проєктована лава сприймається не лише як цікава зовнішньо, а і зручна.

Крім того, у конструкції передбачено можливість швидкої заміни пошкоджених елементів, особливо дерев'яних ламелей. Кожна з них кріпиться до металевого каркаса через стандартні гвинтові вузли, що дозволяє виконувати демонтаж окремо без потреби розбирати всю лаву. Це рішення суттєво спрощує технічне обслуговування у разі вандалізму або природного зносу, а також забезпечує нижчу вартість ремонту в порівнянні з цілісними лавами без модульності.

Після виготовлення серійного зразка можна також передбачити стандартну нумерацію або маркування деталей для спрощення логістики запасних частин. ДСТУ EN 1176-1:2014. Обладнання і покриття майданчиків для ігор. Частина 1. Загальні вимоги безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70743 – Назва з екрана. Варто зазначити, що відповідність конструкції окремим положенням вказаного регламенту була актуальною до квітня 2023 року, коли Постанова КМУ № 515 втратила чинність згідно з новими положеннями Постанови № 314. Проте, основні вимоги щодо безпечності (матеріали, гострі краї, гігієна) залишаються релевантними у практиці сертифікації вуличного обладнання.

4.2. Потенційна сертифікація виробу

Після того, як конструкція пройшла всі стадії проєктування, прототипування і візуальної оцінки, виникає запитання. Чи можна цю лавку дійсно запустити у

виробництво і використати в реальному середовищі? Наприклад, у сусідньому міському парку або на території нашого університету? Відповідь залежить не лише від естетики чи функціональності, а й від дуже важливого етапу - сертифікації виробу.

В Україні, як і в багатьох європейських країнах, предмети міської інфраструктури, зокрема, лавки, урни, навіси, не підлягають обов'язковій сертифікації, як, наприклад, електроприлади або медичне обладнання. Проте, коли йдеться про громадський простір, до таких виробів пред'являються вимоги безпеки, довговічності, ергономіки, а іноді і дизайнерської відповідності якомусь конкретному середовищу.

У нашому випадку, для лавки із поручнями, висувною підставкою, потенційна сертифікація доречна з декількох причин:

- по-перше, це доказ того, що виріб відповідає базовим критеріям безпечної експлуатації;
- по-друге, це перевага у співпраці з муніципалітетами або архітектурними бюро, які розглядають лише сертифіковану продукцію;
- і по-третє, це довіра користувачів, яка автоматично зростає, коли виріб має документальне підтвердження своєї якості.

Сертифікованими у цьому об'єкті можуть бути, умовно, три основні блоки.

1. Матеріали, деревина та сталь, з яких виготовляється лавка, повинні мати сертифікати відповідності (сертифікати ДСТУ EN 350 для деревини, відповідність ГОСТ/ДСТУ на прокат сталі та лакофарбове покриття) [24]. Це базовий пакет, який зазвичай надає постачальник.

2. Готовий виріб може пройти добровільну сертифікацію на відповідність технічним умовам, наприклад:

- стійкість до навантажень (випробування на деформацію, розрив, зсув);
- відсутність токсичних речовин у покритті (екологічна безпека);

- відповідність геометричних параметрів ергономіки.

3. Сфера використання, якщо виріб призначений для шкіл, університетів, дитячих майданчиків, то застосовуються окремі норми, де ще оцінюються радіуси кутів, відсутність гострих елементів, стійкість до вандалізму.

У конструкціях для громадського користування (у тому числі лавках, що експлуатуються на вулиці), поверхні мають бути безпечними при дотику, а також стійкими до зносу та впливу середовища. Згідно з положеннями EN 16139:2013 [26] і EN 1176-1:2017 [25], до таких поверхонь висуваються наступні вимоги:

- Відсутність гострих кутів, задирок та тріщин, які можуть призвести до травмування;
- Дерев'яні частини повинні бути ретельно шліфовані, з радіусом заокруглення не менше 2 мм, без виступаючих сучків, тріщин або відколів;
- Металеві частини не повинні мати гострих зварних швів, окалин або гострих країв. Усі зварні з'єднання обробляються механічно та покриваються антикорозійним захистом;
- Поверхні, які контактують зі шкірою або одягом, не повинні бути надмірно гарячими або холодними в умовах прямого сонячного світла чи низьких температур;
- Фарби та лакофарбові покриття повинні бути нетоксичними, стійкими до стирання, не викликати алергії або подразнення.

У запропонованій конструкції передбачено:

- шліфування всіх дерев'яних ламелей із подальшим покриттям захисним маслом для зовнішніх робіт;
- згладжування торців деревини та сталі;
- порошкове фарбування сталевих елементів з попередньою антикорозійною обробкою;
- приховане розміщення кріплень, що зменшує ризик травмування та підвищує естетику виробу.

Щодо практичної реалізації, вже на етапі створення прототипу закладено принцип модульності, що дозволяє проходити випробування частинами. Наприклад, перевірити тільки підставку або спинку. Якщо лавка стане серійним виробом, можна підготувати технічні умови (ТУ) на базі креслень та 3D-моделі, що спростить процедуру сертифікації.

Також є можливість пройти європейську сертифікацію, якщо є потреба виходу на міжнародний ринок. У цьому випадку орієнтиром є нормативи EN 1176 [25] (для безпечних конструкцій у громадських місцях) або EN 16139 (міцність і довговічність меблів для контрактного використання) [26].

Таким чином, хоча сертифікація для лавки не є обов'язковою, вона цілком реальна і що важливо, вона вже врахована у проєкті на рівні дизайну та підходів до вибору матеріалів. І саме це стає ознакою серйозного ставлення до власного продукту.

Враховуючи специфіку використання лавки у публічному просторі, вона потенційно може відповідати вимогам ДСТУ EN 1176-1:2014 [25] (Обладнання і покриття майданчиків для ігор. Загальні вимоги безпеки) та EN 16139:2013 [26] (Furniture – Strength, durability and safety – Requirements for non-domestic seating).

Вказані стандарти містять чіткі технічні критерії до стабільності конструкції, максимально допустимих зазорів, кутів, стійкості до перекидання та витривалості на стиск і згин. У випадку реалізації продукту як комерційного виробу для міського благоустрою, дотримання цих норм забезпечить як сертифікаційне підтвердження безпеки, так і підвищену довіру з боку муніципалітетів.

EN 16139:2013 [26]. Furniture – Strength, durability and safety – Requirements for non-domestic seating [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1bcacfb2-e29b-476c-bef4-9eb2a73d582f/en-16139-2013> – Назва з екрана.

4.3. Варіанти застосування у міському середовищі

У будь-якому міському просторі предмети працюють не самі по собі, вони набувають сенсу лише у момент, коли взаємодіють з людьми, контекстом та середовищем. Лавка, яку можна змінювати, обертати, комбінувати — це не просто "місце посидіти". Це вже універсальний модуль, який може адаптуватися під десятки сценаріїв: від спокійного читання книги до імпровізованого воркспейсу на відкритому повітрі [28] (Open Urban Lab – <https://openurbanlab.com.ua/>).

4.3.1 Потенційні місця встановлення:

Кампуси, школи, університети

Місце, яке найбільше імпонувало при розробці цього проєкту, це місця відпочинку в освітньому середовищі. Особливо цей виріб може бути цікавим у відкритих кампусах, внутрішніх двориках або біля бібліотек. Лавка з підставкою й поручнем одразу перетворюється на місце для самостійного навчання, перепочинку між парами, роботи з ноутбуком. Завдяки дзеркальній геометрії її можна встановити як для шульги, так і для правші, що робить її по-справжньому інклюзивною. У нашому непростому сьогоднішньому світі така необхідність може виникати також через втрату кінцівок у наших захистників, які після проходження служби можуть обрати університет для проходження навчання.

Парки та зелені зони

У парках лавка перестає бути просто функціональною. Тут вона одна з основних складових візуального ландшафту. Її пластична, «органічна» форма виглядає природно поміж дерев та вздовж алей. А можливість створювати конфігурації на 2-3 місця дозволяє формувати малі зони для спілкування - для друзів, сімейних пар, прогулянок із дітьми.

Сквери, громадські подвір'я, простори біля ОСББ

У внутрішніх дворах житлових будинків лавка виконує ще одну важливу функцію. Там, де вона стоїть, завжди збираються люди. Якщо її форма дозволяє комфортно сидіти, спертись, поставити чашку або книгу, вона оживає і стає точкою тяжіння. Тут особливо важлива наявність поручнів, літнім людям або тим, хто відновлюється після хвороби, зручно сідати та вставати.

Простори біля бібліотек, культурних центрів

Тут лавка це інтелектуальна інфраструктура. Тому що вона сприяє фокусу, спокою, можливості відсторонитися від потоку міста. Підставка стає зручною поличкою для читання, а сама форма сидіння підтримує спину в напіввертикальному положенні - не для сну, а для роздумів.

Відкриті коворкінги, тераси, громадські балкони

У містах з активним рухом з'являються гібридні простори - десь між вулицею, кафе і офісом (як, наприклад, наш Кельнський бульвар, раніше Катеринославський). Тут така лавка чудово може працювати як робоча станція під відкритим небом. Один може сидіти з ноутбуком, інший поруч пити каву. І саме завдяки змінній геометрії можна налаштувати простір під конкретну ситуацію, як "офіс на кілька хвилин".

Цінність цієї конструкції у її гнучкості. Вона не вимагає жорсткого сценарію. Навпаки, вона пристосовується до середовища. Вона може бути частиною міського життя так само органічно, як дерево чи тротуар. І коли предмет з дерева та металу перетворюється на точку контакту між людьми, тоді це вже не просто лавка, а простір, який має зміст.

Також ще дуже важливим аспектом розробки мені хочеться проговорити так звані «форс-мажори», при проектуванні об'єктів такого типу, важливо не тільки врахувати навантаження та матеріали, а й передбачити можливі нештатні ситуації,

що можуть виникнути у процесі тривалої експлуатації, вандалізму, або за недбалого використання. Такий підхід дозволяє заздалегідь передбачити засоби усунення або мінімізації ризиків.

Особливу увагу в моделі лавки слід приділити рухомим елементам (поличці, підлокітнику), а також стикам деревини з металом, які можуть змінюватися під впливом вологи й температури.

Таблиця 4.1 – Ризики при експлуатації та шляхи їх зниження

Потенційна ситуація	Можливий ризик	Запобіжні заходи
Різне навантаження на поличку	Злам шарніра або деформація	Обмеження кута обертання, механічний фіксатор
Намокання дерев'яних ламелей	Розширення, тріщини, ослаблення кріплень	Обробка маслом для зовнішніх робіт, відвід води
Пошкодження фарби на металі	Корозія, втрата естетики	Двошарове покриття, порошкове фарбування
Випадкове защемлення пальців	Травма під час обертання елементів	Згладжені краї, обмеження вільного простору в шарнірах
Втрата кріплень у результаті вандалізму	Розхитування елементів	Гвинтове з'єднання з антивандальним кріпленням
Ковзання на сидінні	Травма під час посадки	Матові масляні покриття деревини, нерівна текстура

Усі рухомі та контактні частини конструкції перевіряються на люфти, а також спроектовані з урахуванням візуальної та тактильної безпеки - заокруглені краї, скриті кріплення, обмеження ходу шарнірів. Можливість відносно швидкої заміни окремих елементів (ламельі, підставки, кріплення) також підвищує довготривалу безпечність виробу.

Окремо слід враховувати потреби особливих груп користувачів, таких як, люди з інвалідністю, діти та люди літнього віку. Для них важливою є наявність опор при посадці та вставанні, оптимальна висота сидіння (≈ 450 мм), а також стабільність і передбачуваність поведінки рухомих елементів. У конструкції передбачено асиметричні варіанти з підлокітником або столиком з обох боків, що дозволяє використовувати лавку як індивідуальне робоче місце, у тому числі для

людей з ліво- чи праворукою домінантністю. Шарнірна поличка фіксується у стабільному положенні та не створює небезпеки для пальців чи рук. Усі поверхні - з радіусом заокруглення ≥ 2 мм - відповідають стандартам безпеки EN 1176 [25] і придатні для використання поблизу шкіл, скверів або в інклюзивних просторах.

4.3.2 Види технічного обслуговування та ремонту

Конструкція модульної лавки передбачає просте технічне обслуговування. До основних видів входить періодична заміна дерев'яних ламелей у разі їх зношення чи механічного пошкодження, оновлення лакофарбового покриття не рідше ніж раз на 1–2 роки, а також перевірка й підтягування з'єднань для забезпечення надійності конструкції. Завдяки модульному принципу, обслуговування може здійснюватися окремо для кожного елемента без демонтажу всієї лавки [30] (ZANO Street Furniture – Domino Bench – <https://www.zano-streetfurniture.com/>).

4.3.3 Вплив кліматичних умов на термін служби

Умови відкритого міського середовища передбачають значні коливання температури, вологість, УФ-випромінювання, тумани та ожеледецю. Дерев'яні елементи потребують регулярного захисного покриття, оскільки саме перепади температур і волога є основними факторами, що скорочують термін служби. Для захисту металевих елементів використано порошкове фарбування, стійке до корозії та вицвітання. Орієнтовний термін збереження первинного вигляду до 5 років за умови базового догляду [31] (LAB23 Modular Urban Benches – <https://www.lab23.it/>).

4.3.4 Теоретичні гарантійні умови

У випадку серійного виробництва лавки, виробник має надавати споживачу чітко визначені умови гарантії та очікувану тривалість служби конструкції в типових умовах експлуатації [29] (Landscape Forms – Multiplicity Bench – <https://www.landscapeforms.com/>).

Гарантія поширюється, як правило, на вузли кріплення, металевий каркас, шарнірні та висувні механізми, а також цілісність несучої системи. У середньому, базовий гарантійний термін для зовнішніх меблів, встановлених у середовищі помірного клімату, становить 12–24 місяці. Він залежить від інтенсивності навантажень, правильності монтажу та частоти технічного обслуговування.

При нормальній експлуатації (навантаження не більше 200 кг на модуль, регулярне технічне обслуговування, захист від механічного вандалізму), орієнтовна тривалість служби виробу оцінюється у 8–12 років. Цей строк може змінюватися залежно від матеріалу ламелей (модрина, сосна, термооброблене дерево), якості лакофарбового покриття та умов навколишнього середовища.

Для деревини рекомендовано оновлювати лакофарбове або масляне просочення не рідше одного разу на два роки. Металеві елементи мають бути оцинковані або захищені порошковим покриттям, що зменшує ризик корозії та продовжує термін служби.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кожна інженерна ідея, яка стає реальною, починається із простого запитання: «А чи можна зробити це інакше?» У цій кваліфікаційній роботі була зроблена спроба відповісти саме на це питання – не лише як дизайнера чи майбутнього інженера, а як спостерігача міста, як людини, яка розуміє, що зручна лавка – це не дрібниця. Це простий, але потужний інструмент формування якості життя.

У результаті роботи було розроблено функціональний, параметричний виріб зі змінною геометрією, який адаптується під користувача, як фізично (через спинку, підставку, поручень), так і психологічно (через особистий простір, естетику, комфорт). Була створена цифрова модель, виготовлений 3D-прототип [8] (Еволюція 3D-друку – <https://monofilament.com.ua/>), обґрунтовано вибір матеріалів, розроблено принцип модульного компонування.

Ця конструкція не копіює існуючі рішення, вона розвиває їх, пропонуючи альтернативу традиційним лавкам та альтернативу вже існуючим параметричним моделям, бо сама ідея параметричної форми не абсолютно нова, але це можливість модернізації. Тут головною ідеєю є повага до різниці, до лівої чи правої руки, до бажання бути на самоті або поряд з іншими, до потреби сидіти зручніше, тримати спину, поставити каву чи написати щось у блокноті [1] (Методичні рекомендації з дисципліни «Ергономіка та технічна естетика» – НТУ «Дніпровська політехніка»).

Також ця робота продемонструвала, як сучасні інструменти, такі як 3D-друк [6] (Easy3DPrint – 3D-друк для прототипування) , дозволяють перевірити й «відчути» складну форму ще до того, як вона з'явиться в реальності. Це не просто про макети. Це про відповідальність, збереження часу, можливість не проектувати наосліп, а тестувати, шукати, змінювати, покращувати.

Практична цінність цього проекту - у його адаптивності. Така лавка може бути реалізована в кампусі, парку, дворі, біля бібліотеки чи навіть у внутрішньому

просторі нашого або іншого закладу освіти. Завдяки модульності вона не має одного-єдиного призначення і саме це робить її живим об'єктом.

Отже, ця кваліфікаційна робота не лише про предмет, а й про підхід. Про те, як поєднати дизайн, інженерію, людське спостереження і трохи технологій, щоб створити щось, що не буде чужим у місті.

Пропозиції щодо розвитку об'єкта розроблення

Розроблена конструкція лавки зі змінною геометрією, це не фінальна частина проекту, а скоріше, відправна точка. Її модульність, зрозумілий принцип складання і адаптивна форма відкривають великий потенціал для подальшого розвитку, як з точки зору функціоналу, так і з точки зору інтеграції у ширші дизайнерські та міські рішення.

1. Розширення серії

На базі цієї конструкції я додам свої ідеї, як створити цілу лінійку об'єктів для вуличного чи напівзакритого простору:

- подвійні або кругові композиції з лавок, які формують затишні «острови» для відпочинку;
- окремі модулі для дитячих зон з підвищеними бортиками, кольоровими акцентами;
- інклюзивні варіанти зі спеціальною висотою, відкритими зонами для візків;
- додаткові меблеві елементи: столи, тумби, квітники. У тому ж стилі, на таких самих металевих опорах.

2. Додаткові функціональні можливості

Конструкція дозволяє інтегрувати електронні та освітлювальні компоненти, зберігаючи її естетику. Можливі рішення:

- вбудовані USB-роз'єми або бездротові зарядні панелі для гаджетів (особливо актуально у студентському чи коворкінг-середовищі);
- світлодіодне підсвічування з датчиком руху або сутінковим вимикачем для зручного використання у вечірній час;
- сонячна панель невеликої потужності (наприклад, вбудована в спинку), яка забезпечує хоча б мінімальну автономну енергетику.
-

3. Інтеграція у smart-простори

Сучасні міста рухаються в бік цифрової взаємодії з простором та об'єкти вуличної інфраструктури дедалі частіше мають не лише фізичну, а й інформаційну присутність. У цю лавку можуть бути вбудовані такі інноваційні електронні пристрої:

- датчики використання (наприклад, скільки людей сідає протягом дня), для аналізу активності зон відпочинку, якщо необхідна така статистика;
- QR-код або NFC-мітка, яка веде на мікросайт з інформацією про конструкцію, її створення або карту подібних лавок у місті. Або перехід на платформу для збору зворотного зв'язку або навіть урбаністичних опитувань прямо з місця перебування користувача.

Ці напрямки не потребують радикального перероблення конструкції, оскільки вона вже з самого початку створювалась як відкрита, модульна і технологічно дружня до змін. А отже, вона може не лише вписатись у будь яке середовище, а й розвиватись разом із ним. І це, мабуть, головне: створити не просто об'єкт, а об'єкт, який не застаріє через рік, бо здатен адаптуватися до змін і нових сценаріїв використання.

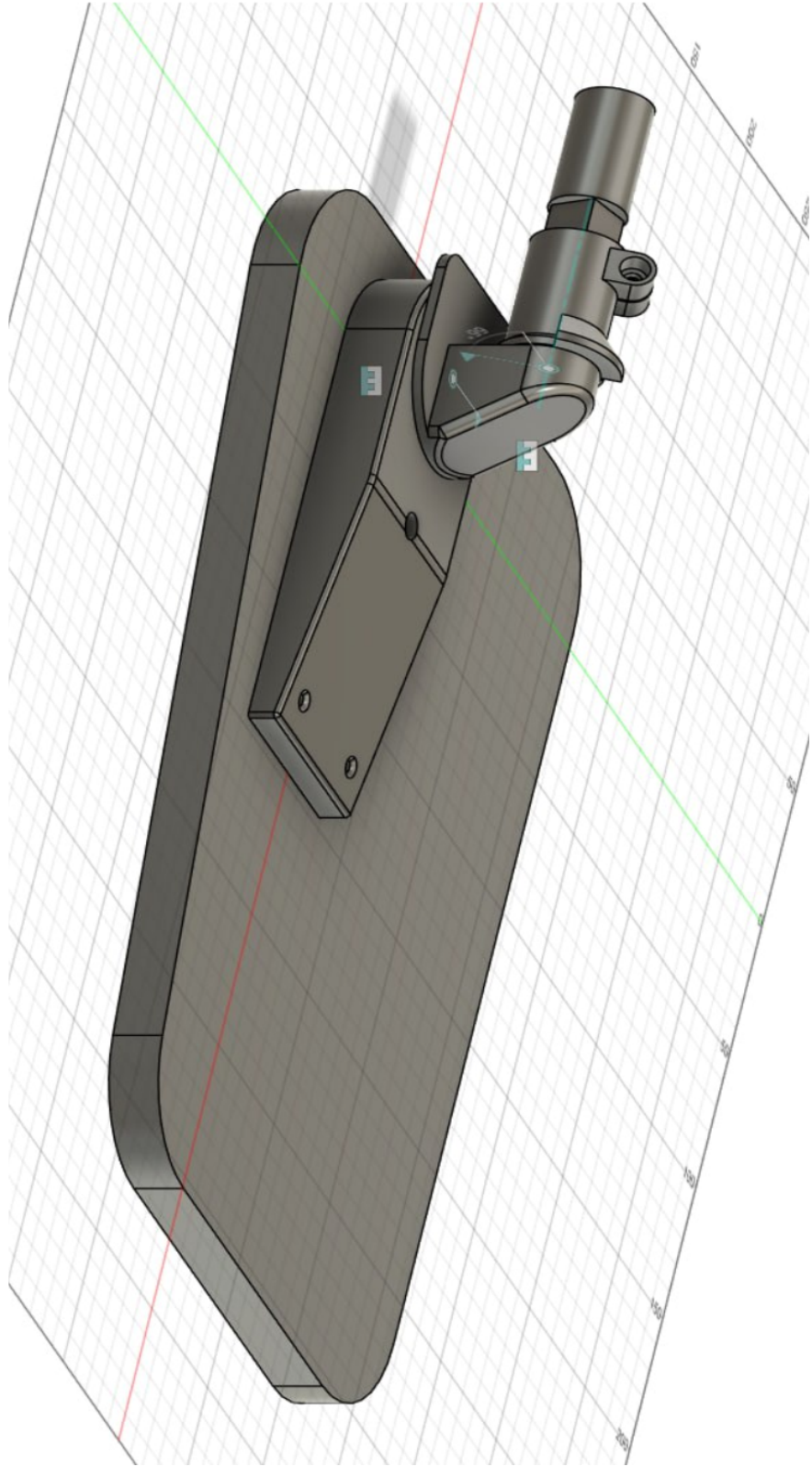
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

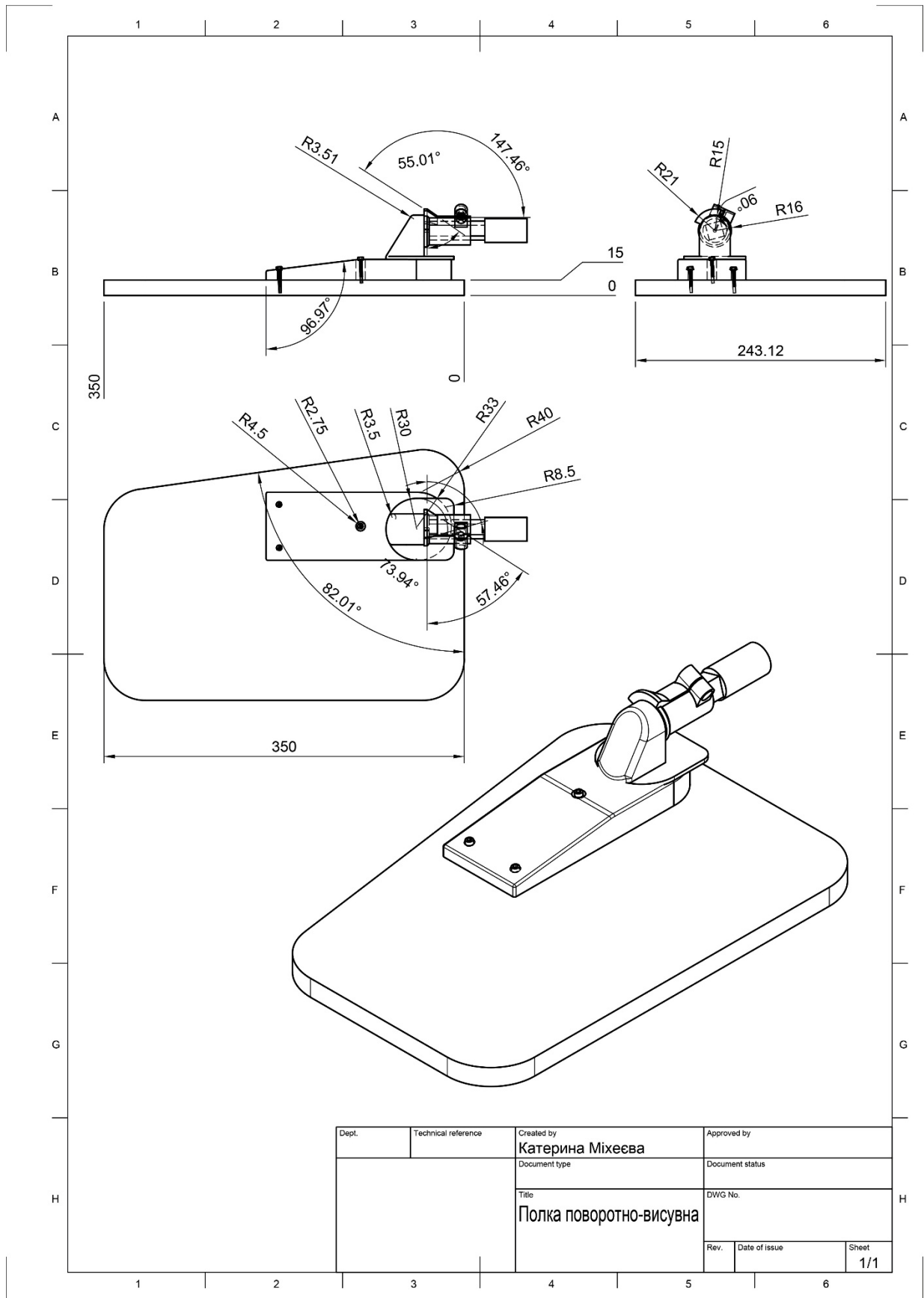
1. Методичні рекомендації з дисципліни «Ергономіка та технічна естетика» (НТУ «Дніпровська політехніка», Кафедра конструювання, технічної естетики та дизайну)
2. Autodesk Fusion 360 for Personal Use. – <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/personal>
3. Autodesk Fusion Features – Overview. – <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features>
4. Fusion 360: Програмне забезпечення для студентів. – <https://autodesk.muk.group/fusion-360.php>
5. Easy3DPrint – 3D-друк для прототипування. – <https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-druk-dlya-prototipuvannya/>
6. Технології сучасного 3D-друку – КНУ. – https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31729/1/EIRP-2019_Proceedings-Page279-282.pdf
7. Розвиток технології 3D-друку. – <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/naukovopopuliarni-publikatsii/878-rozvytok-tekhnologii-3-d-druku.html>
8. Еволюція 3D-друку – Моніфіламент Україна. – <https://monofilament.com.ua/ua/blog-novini-3d-druku-ta-additivnih-tehnologij/evoljutsija-3d-druku-vid-prototipiv-do-promislovogo-virobnitstva>
9. Ергономіка в дизайні – огляд. – <https://vash-master.com.ua/ergonomika-v-dizajni-zabezpechennya-komfortu-ta-praktichnosti-u-kozhnomu-elementi/>
10. Методичні рекомендації з ергономіки – ЧДТУ. – https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/331/1/ERGONOMIKA_metod_rekom_LR.pdf
11. Елементи ергономіки в навчальному проектуванні. – <https://subjectum.eu/textbook/technology/10klas/33.html>

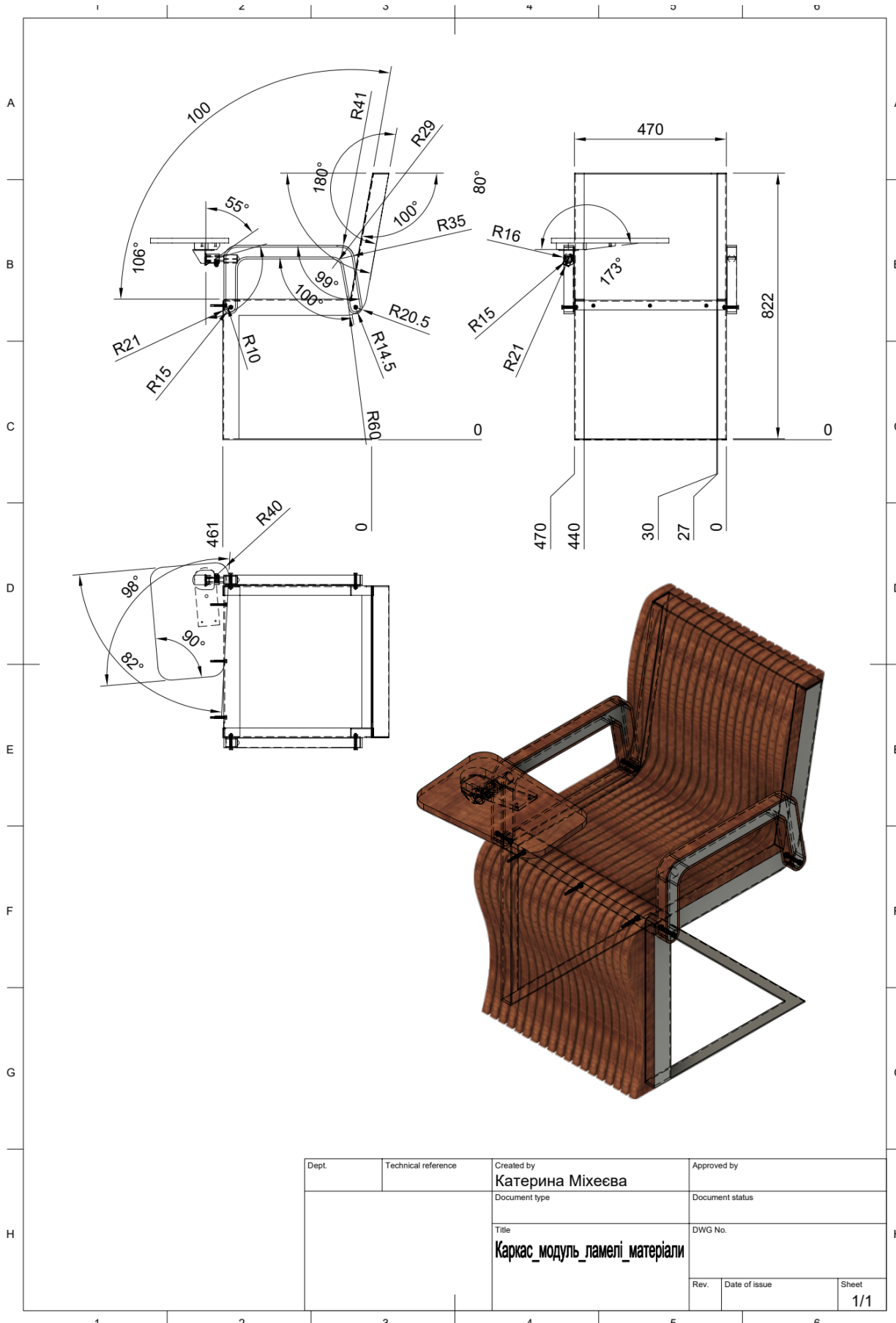
12. Вуличні лавки: ідеї дизайну. – <https://nabuduvaly.com/vulychni-lavochky-idei-dyzaynu/>
13. Лавки з дерева та металу – креслення та приклади. – <https://poradum.com.ua/remont/53523-lavki-dlya-altanki-derevo-abo-metal-kreslennya-lavok.html>
14. Як зробити лавочку своїми руками. – <https://homelights.org/uk/3072-vse-pro-te-yak-zrobyty-lavochku>
15. Як обрати лавку для вулиці. – <https://budidea.com/uk/rekomendaciyi-viboru-lavok/>
16. Які лавки обирають урбаністи? – <https://urbanism.com.ua/2025/01/28/iaki-lavku-obyraiut-urbanisty>
17. Вуличні лавки у ландшафті – Budidea. – <https://budidea.com/uk/skameyka-ulichnaya-uk/>
18. Садові лавки: види та матеріали. – <https://uk.bezzia.com/види-лавок-для-саду-переваги-і-недоліки/>
19. Як створити лавочку з піддонів або дерева. – <https://ogorodniki.com/article/stvorennia-lavochki-vlasnoruch-vibiraiemo-material-tip-konstruktsii-ta-dogliad>
20. Сучасні малі архітектурні форми (МАФи). – <https://maf-taf.com.ua/topove-vykonannya-mafu/>
21. Loza Design – виробництво вуличних меблів. – <https://lozadesign.com.ua>
22. Інститут дизайну та ергономіки – НАУ. – <https://nau.edu.ua/ua/menu/science/zagalna-informatsiya/naukovi-instituti-ta-pidrozdili/ukrainskij-naukovo-doslidnij-institut-dizajnu-ta-ergonomiki.html>
23. Довідка про сертифікацію меблів в Україні. – <https://mebli-lviv.com.ua/articles/yak-sertyfikuyut-mebli-v-ukrayini/>
24. FSC сертифікація деревини. – <https://ua.fsc.org/ua-ua>
25. ДСТУ EN 1176-1: Ігрове обладнання та поверхні. – https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70743

26. EN 16139: Міцність і довговічність меблів. – <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1bcacfb2-e29b-476c-bef4-9eb2a73d582f/en-16139-2013>
27. Принципи інклюзивного дизайну у вуличному середовищі. – <https://mistosite.org.ua/uk/articles/inklyuzyvnyj-dyzajn-na-praktytsi>
28. Open Urban Lab – аналітика публічних просторів. – <https://openurbanlab.com.ua/>
29. Landscape Forms – Multiplicity Bench. – <https://www.landscapeforms.com/en-us/products/pages/product.aspx?pid=185>
30. ZANO Street Furniture – Domino Bench. – <https://www.zano-streetfurniture.com/street-furniture/catalogue/benches/domino-seating-02-440>
31. LAB23 Modular Urban Benches. – <https://www.lab23.it/en/the-dynamic-solutions-of-lab23s-modular-benches/>

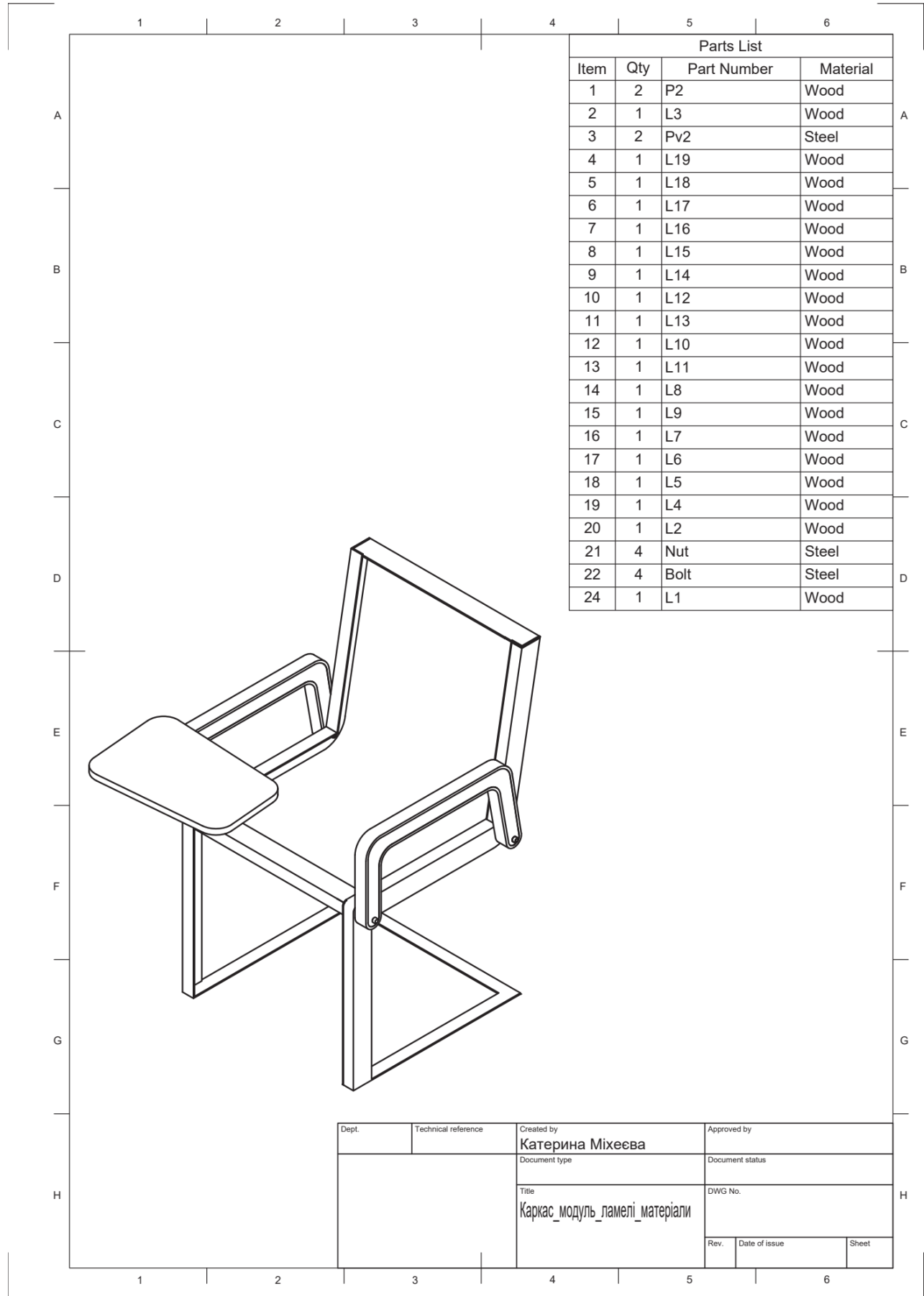
ДОДАТОК А



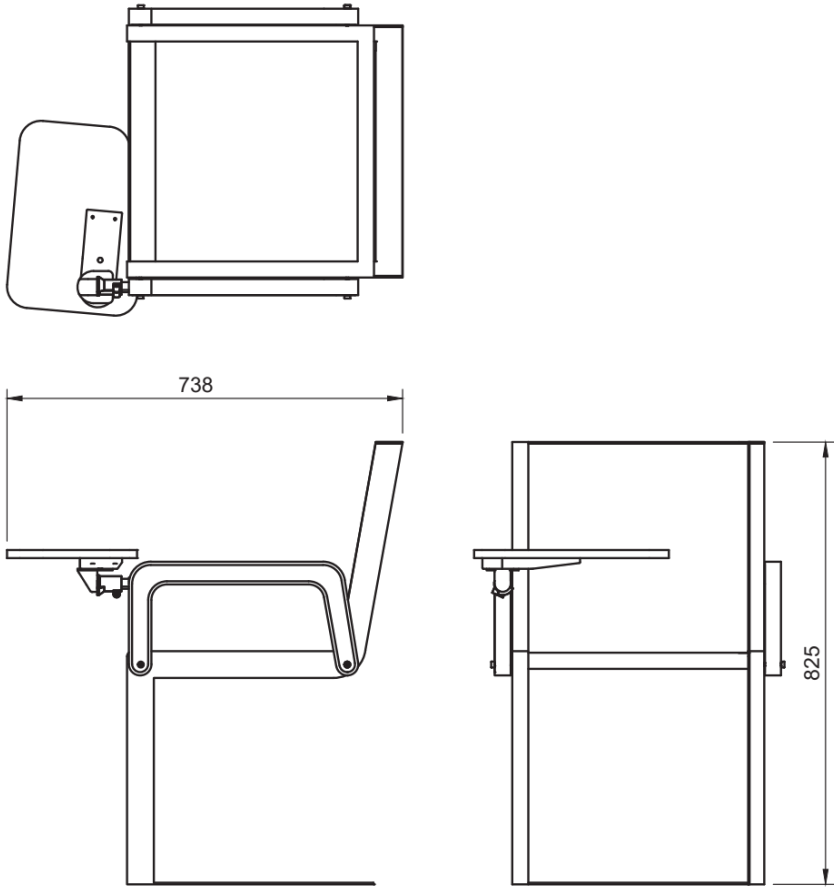




Dept.	Technical reference	Created by Катерина Міхєєва	Approved by
		Document type	Document status
		Title Каркас_модуль_ламелі_матеріали	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



ДОДАТОК Д



Dept.	Technical reference	Created by Катерина Міхєєва	Approved by
		Document type	Document status
		Title Каркас_модуль_ламелі_матеріали	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet

