

УДК 624.01-691

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ КЛЕЄНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ БАЛОК ІЗ ЦІЛЬНОЇ ДЕРЕВИНИ

І. Буханевич

ORCID ID: 0009-0002-5362-1807

ТОВ «Мілвуд»

В. Маєвський, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0001-5820-9454

О. Удовиський, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-2234-806X

А. Манзюк, аспірант

ORCID ID: 0009-0007-2609-9036

З. Копинець, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0001-8977-6953

Національний лісотехнічний університет України

<https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.024>

Буханевич І., Маєвський В., Удовиський О., Манзюк А., Копинець З. Дослідження основних характеристик міцності клеєних конструкційних балок із цільної деревини

Обґрунтовано потребу та доцільність застосування клеєної деревини у сучасному будівництві, що визначається високими технічними й технологічними показниками її властивостей як конструкційного матеріалу, а саме природною екологічністю, достатньою міцністю, економічністю та енергоефективністю. Одним із таких рішень є дерев'яні клеєні балки, які завдяки технології склеювання поєднують природну міцність деревини та переваги інженерних матеріалів. Вони відзначаються високою жорсткістю при малій масі, простотою обробки й утилізації, екологічністю. Склеювання дає змогу усунути вади деревини та отримувати елементи різної довжини і перерізів, що забезпечує їхнє широке застосування. Клеєні конструкційні балки із цільної деревини здебільшого виготовляють на автоматизованих лініях за обов'язкових умов підтримання оптимальної температури та вологості, що гарантує стабільну високу якість такої продукції. При цьому вагомим значення має якісне сортування заготовок.

Для визначення міцності, а також для перевірки надійності шипового з'єднання клеєних дерев'яних конструкційних балок з цільної деревини, проведені лабораторні випробування.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що для класу C24 значення міцності шипового з'єднання перебувають у діапазоні 35,65–50,19 Н/мм², а відповідне значення модуля пружності – 9693–11339 кН/мм².

Підтверджено високу міцність та надійність клеєних балок і шипових з'єднань, що робить їх перспективним конструкційним матеріалом у сучасному будівництві, здатним ефективно конкурувати з іншими будівельними матеріалами. Отримані результати корисні для використання у реальних виробничих процесах та для прогнозування фізико-механічних характеристик конструкцій з клеєних конструкційних балок з цільної деревини.

Ключові слова: конструкційні балки, клеєна деревина, шипове з'єднання, модуль пружності, міцність при згині.

Bukhanevych I., Maievskiy V., Udovitskiy O., Manziuk A., Kopynets Z. Study of the main strength characteristics of glued laminated structural beams made from solid wood

The necessity and advantages of utilizing glued laminated timber in contemporary construction are supported by its superior technical and technological properties as a structural material. These include its natural environmental friendliness, adequate strength, cost-effectiveness, and energy efficiency. A notable application is in glued laminated timber beams, which, due to the gluing technology, blend the inherent strength of wood with the benefits of engineered materials. These beams exhibit high rigidity at a low weight, ease of processing and disposal, and a commitment to environmental sustainability. The gluing process allows for the elimination of wood defects and enables the production of elements in various lengths and cross-sections, which ensures their extensive applicability. Glued structural beams made from solid wood are primarily manufactured on automated lines, where maintaining optimal temperature and humidity conditions is crucial for ensuring consistently high quality. Furthermore, precise sorting of the raw materials is essential.

To evaluate the strength and reliability of finger joints in glued structural beams from solid wood, comprehensive laboratory tests were conducted.

The results from these experimental studies indicate that for class C24, the strength values of the mortise and tenon joint range from 35.65 to 50.19 N/mm², with the corresponding modulus of elasticity falling between 9693 and 11339 kN/mm².

These experimental findings confirm the high strength and reliability of both glued beams and finger joints, positioning them as a promising structural material in modern construction that can effectively compete with other building materials. The results obtained are applicable for real production processes and for predicting the physical and mechanical characteristics of structures made from glued structural beams of solid wood.

Keywords: structural beams, glued laminated timber, finger joint, modulus of elasticity, bending strength.

Постановка проблеми. Сучасне будівництво характерне зростанням вимог до несучих конструкцій, зокрема до їхньої надійності, довговічності, екологічності та економічної доцільності [4–7; 11]. Одним із перспективних матеріалів для спорудження перекриттів і покриттів є дерев'яні клеєні балки (glulam), що поєднують у собі природну міцність деревини та технологічні можливості інженерних матеріалів [5; 16–19].

Розвиток будівельної галузі потребує розроблення більш міцних, дешевших і технологічних конструкцій. Для вирішення цих завдань значна увага приділяється використанню клеєної деревини, як конструкційного матеріалу. Такі конструкції за низкою техніко-економічних показників перевершують металеві та залізобетонні, зокрема мають меншу вагу за відносно високої міцності й жорсткості, є надійними і довговічними, прості в обробці й легкі в утилізації [1–3; 8; 10; 12; 15; 23]. Операція склеювання деревини дає змогу утворювати елементи значної довжини з великими поперечними перерізами, тому клеєну деревину широко використовують для створення конструкцій великих прогонів [1–8; 10; 16–19; 26]. Завдяки цьому такі конструкції успішно конкурують із сталевими та залізобетонними аналогами у галузі мостобудування, спорудження спортивних та громадських будівель, виробничих комплексів і навіть у висотному будівництві. Висока міцність та жорсткість у поєднанні з малою об'ємною масою роблять ці конструкції незамінними в дерев'яному будівництві та в елементах зі значним навантаженням у вузлових з'єднаннях [9; 11; 22].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними [20; 24], частка клеєних дерев'яних конструкцій у нових проєктах у країнах Центральної та Північної Європи досягла 28 %, тоді як у 2015 році вона становила лише 12 %.

Деревина є одним із найстаріших і найбільш поширеним будівельним матеріалом. Останні тренди сучасного світу – це здорове та гармонійне життя людини в поєднанні з природою [11; 22].

Незважаючи на переваги і позитивні аспекти використання деревини, цей матеріал має і низку несприятливих для будівництва властивостей –

неоднорідну волокнисту структуру і недоліки, пов'язані з ростом дерева, що суттєво впливають на механічні властивості. Деревина схильна до всихання і розбухання при зміні температурно-вологісних умов експлуатації конструкцій, піддається гниттю, може бути зруйнована комахами, є горючим матеріалом [1; 11; 14]. Негативні властивості деревини вимагають ретельного аналізу умов використання дерев'яних конструкцій, особливої уваги при будівництві і зменшенні причин, що сприяють прояву цих властивостей, а в деяких випадках і обмеженню застосування таких конструкцій.

Рациональними конструкційними формами, в яких нівелюється низький модуль пружності деревини, є каркаси і арки різного типу [8; 10].

Конструкції із клеєної деревини, як не дивно, мають високу вогнестійкість [12; 13; 21]. Клеєна деревина не розтріскується, як бетон чи залізобетон, та не плавиться, як сталь чи алюміній. Елементи з клеєної деревини абсолютно герметичні та мають високі показники звуко- та теплоізоляції. Також деревина має низьку теплопровідність, що позитивно впливає на енергозбереження, тож використання нових і більш технологічних дерев'яних будівельних матеріалів і конструкцій здобуває великий інтерес у суспільства.

Попри часто скептичне ставлення до деревини як основного конструкційного чи оздоблювального матеріалу, спостерігається зростання використання деревини в будівництві [20; 24]. Архітектори та будівельники починають усе більше використовувати дерево як у несучих конструкціях, так і в елементах інтер'єру. Так, наприклад, у грудні 2015 року в Норвегії, в місті Берген, завершили будівництво житлового комплексу «Treet Bergen» (рис. 1) на 14 поверхів заввишки 51 м [25]. У Стокгольмі спроектували і побудували дерев'яний восьмиповерховий житловий будинок (рис. 2), який є однією з найвищих будівель, цілком виконаних із дерева. Висота будинку – 26 м. Дерев'яну конструкцію будинку утворює модульний каркас із масиву дерева. Загальна вага цієї дерев'яної конструкції втричі менша за аналогічну, якби вона була виконана із залізобетону [27].



Рис. 1. Житловий комплекс «Treet» у місті Берген (Норвегія) [25]



Рис. 2. Будинок у Стокгольмі (Швеція) [27]

Для реалізації таких проєктів потрібно застосовувати інноваційні технології в деревообробці. Звичайні пиломатеріали потребують переробки і трансформації, адже їхні природні властивості обмежують використання у складних і багатоповерхових спорудах, а розміри пиломатеріалів лімітують їхнє використання в будівництві. Однією з можливостей досягнення цих цілей є використання клеєної конструкційної деревини.

Серед основних переваг клеєних балок виокремимо:

- високе співвідношення міцності до маси;
 - можливість перекривати великі прольоти;
 - стабільність розмірів та мінімальні деформації при висиханні;
 - екологічність (деревина – відновлюваний ресурс);
 - архітектурна виразність.
- Водночас є і проблеми, зокрема:
- висока чутливість до умов експлуатації (вологість, температура);
 - залежність міцності від якості клею та процесу склеювання;
 - необхідність контролю якості з'єднань.

Сучасні технології каркасного будівництва з клеєних брусів – революційний крок у світі архітектури та дизайну. Зазначений підхід не лише гарантує високу міцність і стійкість конструкцій, а й створює широкі перспективи для реалізації естетично привабливих дерев'яних споруд. Застосування таких клеєних брусів значно мінімізує ризик

деформації матеріалу, забезпечуючи довговічність будівель і їхню стійкість до зовнішніх впливів.

Перевага каркасного будівництва – у його швидкості та простоті реалізації. Це особливо важливо для тих, хто прагне найближчим часом збудувати свій дім мрії. Клеєні бруси легко транспортуються і можуть бути навіть попередньо виготовленими на заводі, що дає змогу суттєво скоротити час на монтаж.

Види таких клеєних із деревини конструкційних матеріалів наведено на рис. 3 Це матеріали, які виробляють на спеціалізованих підприємствах із обов'язковим дотриманням вимог чинних нормативних документів щодо пиломатеріалів, клеїв, технологічних регламентів виробництва, відповідної міцності тощо.

KVN – клеєна конструкційна балка з цільної деревини (рис. 4), яку виготовляють із сухих відсортованих пиломатеріалів відповідно до стандарту EN 14080 [16], які з'єднують на шип за допомогою клею. Термін KVN, який використовують у Німеччині, є аббревіатурою Konstruktionsvollholz, англійською – Solid finger jointed construction timber. Його використовують переважно для будівництва каркасних та панельно-каркасних будинків, дахів та малих архітектурних форм. Сертифікація відповідності характеристик та властивостей продукту відповідає EN 15497 [17].

У цьому дослідженні розглянуто основні характеристики міцності саме KVN. Основною якісною характеристикою KVN є клас міцності згідно з EN338:2016 Конструкційна деревина –

класи міцності [18]. За цією нормою виділяють класи міцності від C14 до C50. Визначати клас міцності до C30 необхідно візуальним та автоматизованим методами, а клас міцності понад C30 – тільки автоматизованим методом із використанням спеціалізованого обладнання. Класи міцності конструкційної деревини мають велике значення при проєктуванні та визначенні несучої здатності будівельних конструкцій. При проєктуванні дерев'яних будинків найпоширеніше використання класу міцності C24. Клас міцності – це сукупність характеристичних опорів: згину, розтягу вздовж і поперек волокон, стискання вздовж і поперек волокон, сколювання паралельно волокнам; показників жорсткості: модуля пружності вздовж волокон, 5 %-го квантіля модуля

пружності, модуля пружності поперек волокон, модуля зсуву; густини і середньої густини деревини. Характерні показники для класів міцності наведено в табл. 1 [18].

Показники міцності деревини залежать від щільності, орієнтації волокон, вмісту води, температури. Технічну якість пиломатеріалів можна покращити вирізанням сучків та інших вад деревини, з подальшим зрощенням оптимізованих відрізків пиломатеріалів у ламелі за довжиною з використанням зубчастого з'єднання.

Для виробництва клеєних конструкційних балок із цільної деревини KVH використовують сучасні технології та автоматизовані виробничі лінії. Схему технологічного процесу виробництва KVH на ТОВ «Мілвуд» наведено на рис. 5.

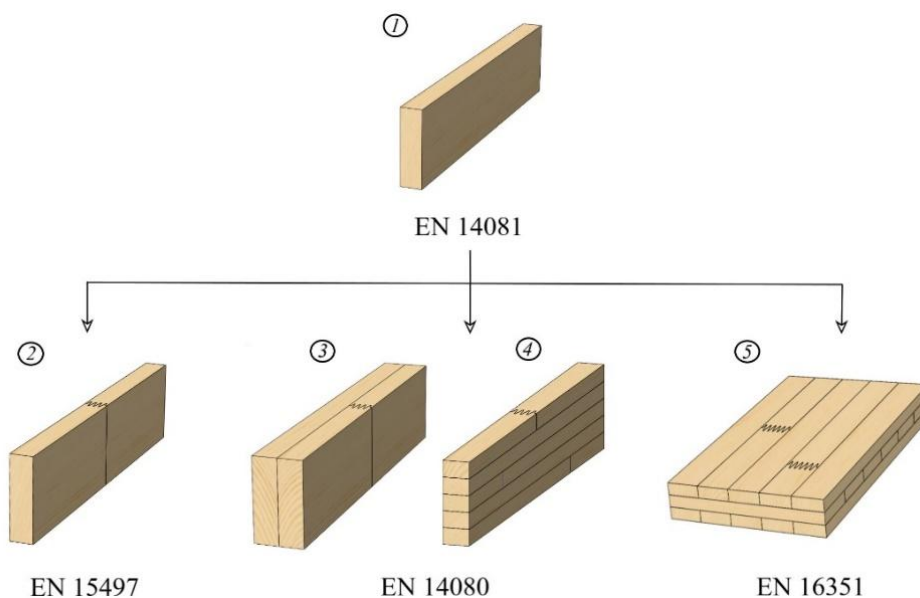


Рис. 3. Класифікація клеєних дерев'яних виробів згідно з європейськими стандартами:

- 1 – пиломатеріали, відсортовані за класами міцності;
- 2 – клеєна конструкційна балка з цільної деревини (KVH);
- 3 – клеєна по пласті дво- або тришарова деревина (DUO/TRIO);
- 4 – клеєна багатошарова деревина (BSH); 5 – поперечно клеєні багатошарові дерев'яні панелі (CLT) [16]



Рис. 4. Клеєна конструкційна балка з цільної деревини (KVH)

Таблиця 1

Характерні показники для класів міцності за 20 °C та RW 65 % [18]

Показник	Клас	C14	C24	C30	C50
Показники міцності, Н/мм²					
Міцність при навантаженні на згин	$f_{m,k}$	14	24	30	50
Розтяг паралельно волокнам	$f_{t,0,k}$	7,2	14,5	19	33,5
Розтяг перпендикулярно волокнам	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4
Стискання паралельно волокнам	$f_{c,0,k}$	16	21	24	30
Стискання перпендикулярно волокнам	$f_{c,90,k}$	2,0	2,5	2,7	3,0
Сколювання	$f_{v,k}$	3,0	4,0	4,0	4,0
Показники жорсткості, кН/мм²					
Середнє значення модуля пружності паралельно волокнам	$E_{m0,mean}$	7,0	11,0	12,0	16,0
5 % квантіля модуля пружності паралельно волокнам	$E_{m0,05}$	4,7	7,4	8,0	10,7
Середнє значення модуля пружності перпендикулярно волокнам	$E_{m90,mean}$	0,23	0,37	0,40	0,53
Середнє значення модуля пружності зсуву	G_{mean}	0,44	0,69	0,75	1,00
Щільність деревини, кг/м³					
Щільність	ρ_k	290	350	380	430
Середня щільність	ρ_{mean}	350	420	460	520

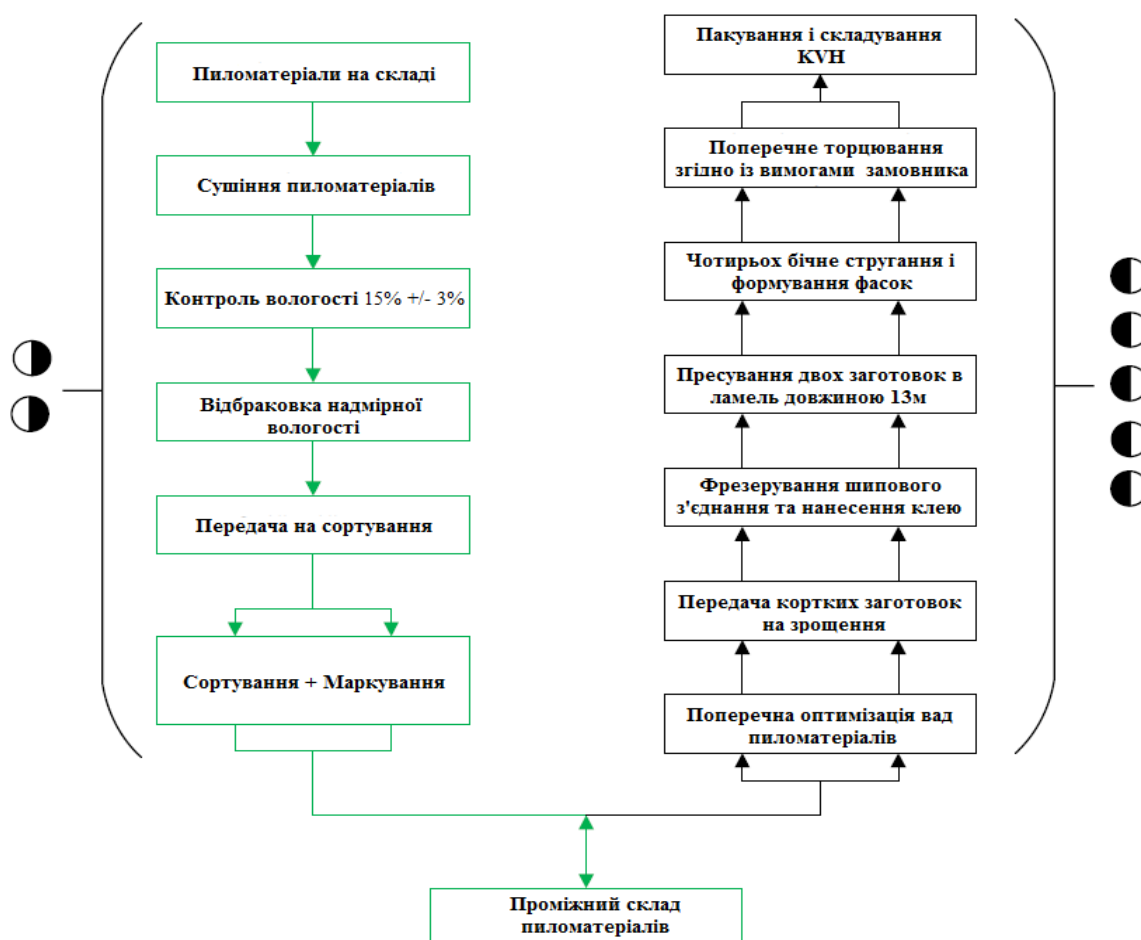


Рис. 5. Схема організації виробництва KVH на ТОВ «Мілвуд»

Для визначення міцності та жорсткості елементів, а також для тестування та перевірки надійності шипового з'єднання клеєних конструкційних балок із цільної деревини, доцільно застосовувати пружно-пластичні розрахункові моделі. Для цього застосовують лабораторне обладнання, на якому руйнівним методом визначають міцність шипового з'єднання.

Постановка завдання. Наше завдання – встановити міцність шипових з'єднань та модуля пружності клеєних конструкційних балок із цільної деревини завдяки методам дослідження експериментального і статистичного аналізу. Матеріал для дослідження: клеєні конструкційні балки з цільної деревини, виготовлені на деревообробному підприємстві ТОВ «Мілвуд».

Виклад основного матеріалу. Згідно з європейським стандартом EN 15497:2014 [17], міцність шипового з'єднання тестують за двома параметрами:

- встановлення модуля пружності при згині;
- встановлення міцності при згині поперек волокон.

Для проведення тестування здебільшого використовують послуги спеціальних сертифікованих тестувальних центрів, які забезпечені сучасним обладнанням та прогресивним програмним забезпеченням для оцінки основних характеристик матеріалу.

Завдання виробника – постійний контроль (один раз на зміну чи у випадках зміни перерізу матеріалу) міцності шипового з'єднання при згині вздовж волокон. Тому деякі виробники мають відповідне обладнання та проводять тестування самостійно. Загальна підготовка до проведення тестування складається з таких основних етапів:

- визначення та зазначення розмірів взірців;
- визначення вологості взірців;
- кондиціонування взірців;
- встановлення щільності взірців;
- підготовка та налаштування обладнання.

Розміри взірців вимірювали з точністю до 1 %, після їх кондиціонування та стругання. Кожен взірець маркували для ідентифікації. Вологість взірця визначали вологоміром.

Тестування виконували на взірцях, витриманих у приміщенні з температурою $20 \pm 2^\circ \text{C}$ та відносною вологістю $65 \pm 5\%$. Взірець вважали кондиційним, якщо він досягнув незмінної ваги. Незмінною вважається вага, коли різниця результатів двох останніх зважувань, проведених в інтервалі 6 год, не перевищує 0,1 % ваги взірця.

Щільність взірців визначали методом зважування. Після проведення тесту із взірця вирізали частину, яка є найближчою до місця зламу, але яка не містить сучків, смоляних кишень чи інших вад. Потім цей взірець зважували, перераховували його об'єм і визначали густину із розрахунку $\text{м}^3/\text{кг}$.

Перед тестуванням готували та налаштовували обладнання до процесу тестування як вказано на рис. 6, після проведення тесту і проведення аналізу складали протокол результатів тестування.

Обладнання налаштовували на кожну окрему товщину взірця (рис. 7).

Взірець для випробувань одержували випилюванням із конструкційної балки так, щоб шипове з'єднання було посередині взірця. Довжина взірця становила не менше ніж 18 його товщин. Середня частина, в якій розташоване шипове з'єднання, не містила недопустимих вад деревини, але допускалися сучки на пласті діаметром не більше ніж 10 мм.

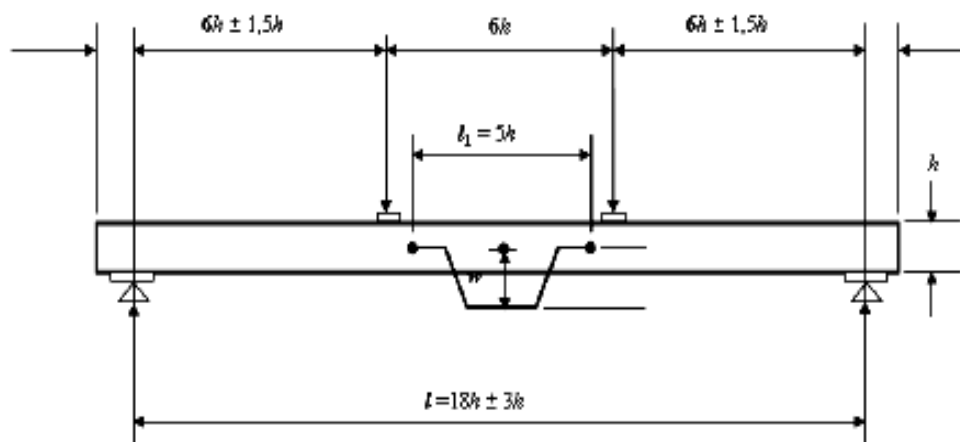


Рис. 6. Підготовка обладнання для вимірювання модуля пружності та міцності шипового з'єднання [19]

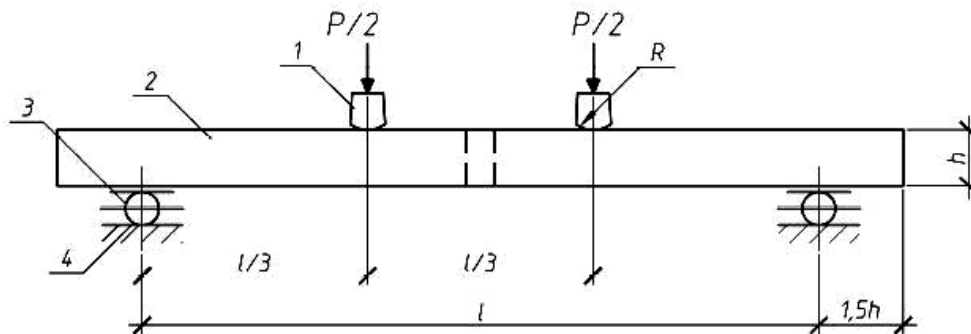


Рис. 7. Схема випробування шипового з'єднання [19]

Взірець навантажували на згин симетрично двома верхніми тягарями, відстань між якими ушестеро більша за товщину взірця. За потреби передбачали бокові прокладки, щоб уникнути викривлення та кручення взірця.

Зразок навантажували рівномірно з постійною швидкістю, що становила не більше ніж 0,003 товщини взірця ($0,003h$), при чому швидкість опускання була такою, щоб взірець був зруйнованим за 3–7 хвилин після початку навантаження. Вимірювання навантаження здійснювали з точністю 1 % від сили, що діє на взірець. Деформацію визначали як середню величину результатів вимірювання на обох бокових сторонах у нейтральній осі. Точність при вимірюванні деформації становила 1 %.

Під час випробувань фіксували значення руйнівного навантаження та характер руйнування зразка (відношення площі руйнування зразка до площі руйнування по клеєвому шиповому з'єднанню, виражене у відсотках). Показники властивостей клеєної конструкційної деревини розраховували за формулами модуля пружності і межі міцності. За потреби результати експериментальних досліджень приводили до однієї вологості 12 %.

Значення модуля пружності визначають за формулою [19]:

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \cdot \left(2 \cdot \frac{\delta_2 - \delta_1}{F_2 - F_1} \right)}, \quad (1)$$

де $F_2 - F_1$ – приріст сили навантаження, (Н); $\delta_2 - \delta_1$ – приріст деформації в міліметрах, яка відповідає $F_2 - F_1$; l – відстань (мм) між нижніми опорами, $= 18h$; a – відстань (мм) між двома верхніми опорами, $= 6h$; b і h – ширина і товщина (мм) поперечного перерізу.

Значення межі міцності шипового з'єднання визначали за формулою [19]:

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}, \quad (2)$$

де F – сила, за якої відбувся злам взірця, (Н); a – відстань (мм) між двома верхніми опорами, $= 6h$; b і h – ширина і товщина (мм) поперечного перерізу.

Значний вплив на фізико-механічні характеристики деревини мають її порода, вологість, щільність, наявність вад та стан деревини. Все це вимагає визначення цих характеристик для деревини, з якої будуть виготовляти майбутні дослідні балки.

Для виготовлення дослідних взірців використано деревину ялини і ялиці із щільністю $\rho = 370\text{--}450 \text{ кг/м}^3$. Вибрана деревина відповідає класам візуального сортування С24 і С30, ознакою яких є висока технічна якість деревини залежно від виду, розмірів і розташування природних вад у пиломатеріалах згідно з європейським стандартом EN338:2004 «Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності». Класифікація за класами міцності об'єктивна, оскільки є стала залежність міцності деревини різних порід дерев від їхньої щільності і наявності або відсутності вад.

Дослідні взірці – клеєні конструкційні балки, виготовляли на ТОВ «Мілвуд» із сухих ялинових і ялицевих пиломатеріалів товщиною 50 мм, вологість яких становила 12 %–14 %. Балки завдовжки 13 м виготовляли зрощуванням за довжиною на шип 20 мм, після цього їх фрезерували на чотирибінчному верстаті до необхідного розміру за товщиною 45 мм і торцювали за довжиною на 900 мм взірці так, щоб клеєне шипове з'єднання було посередині взірця. Зрощували отримані взірці за допомогою двокомпонентного клею типу ЕРІ. Після склеювання клеєні конструкційні балки витримували на накопичувальному транспортері для попередньої полімеризації клею, а потім переміщували їх у зону відстоювання для повного затвердіння клейового шва.

Дослідження взірців конструкційних балок із цільної деревини проводили на випробувальних

стендах науково-дослідної лабораторії Інституту деревини (м. Прага) (рис. 8).



Рис. 8. Вимірювання модуля пружності деревини за допомогою електронної лінійки на випробувальному стенді

Перед початком тестування кондиціювали взірці, тобто витримували у приміщенні науково-дослідної лабораторії. Для випробування відібрали десять взірців. Кожен взірець перевіряли на дотримання розмірів, вологості та щільності.

Випробування проводили у два етапи:

1. Визначення модуля пружності конструкційних балок із цільної деревини.
2. Визначення міцності шипового з'єднання конструкційних балок із цільної деревини при статичному згині.

Дослідні взірці випробовували як вільно обперті на двох нижніх опорах із прольотом 18h мм,

навантаження прикладали двома зосередженими силами у третирах прольоту 6h мм відповідно до схеми навантажень (див. рис. 6).

Випробування проводили в автоматичному режимі з отриманням відповідних графіків та числових показників випробування з інформацією про значення сили навантаження і час випробування.

Результати проведених випробувань засвідчили належну якість візуального сортування пиломатеріалів для клеєних конструкційних балок, склеєних шиповим з'єднанням за довжиною. Визначено показники міцності шипового з'єднання і модуль пружності, а також встановлено відхилення від нормативних параметрів [18].

У табл. 2 наведено результати експериментальних досліджень міцності шипового з'єднання клеєних конструкційних балок із цільної деревини.

Отримані дані експериментальних досліджень засвідчили, що приріст несучої здатності балок прямопропорційно залежить від модуля пружності. Прогини, деформація балок збільшувались рівномірно відповідно до збільшення навантаження, аж до початку руйнування.

Відхилення від нормативного параметра для класу C24 значень модуля пружності клеєних конструкційних балок наведено на рис. 9. Для дослідження відхилення індивідуальних значень від їхнього середнього значення розраховано коефіцієнт варіації модуля пружності десяти взірців, який становить 8 %, що свідчить про низьку мінливість модуля пружності кожного окремого взірця. Отримані результати підтверджують проведення якісного контролю за сортуванням пиломатеріалів та раціонального видалення вад деревини.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень міцності шипового з'єднання клеєних конструкційних балок з цільної деревини

№ з/п	Міцність при згині f_m , Н/мм ²	Модуль пружності $E_{m,g}$, кН/мм ²
1	36,21	9693
2	45,49	11045
3	35,65	11339
4	40,32	9885
5	47,07	10696
6	43,23	10623
7	43,12	10499
8	49,35	11244
9	42,03	10823
10	50,19	11225

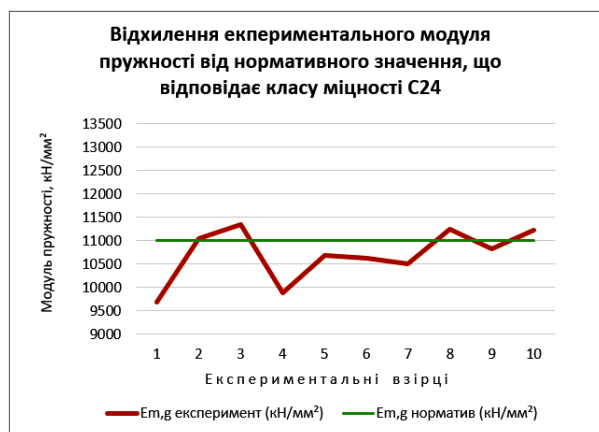


Рис. 9. Відхилення модуля пружності від нормативного значення

Відхилення від нормативного параметра для класу C24 значень міцності шипового з'єднання клеєних конструкційних балок наведено на рис. 10. Для дослідження відхилення індивідуальних значень від їх середнього значення розраховано коефіцієнт варіації міцності при згині, який становить 10 %, що свідчить про низьку мінливість міцності кожного окремого взірця. Отримані результати підтверджують проведення якісного контролю за сортуванням пиломатеріалів та раціонального видалення вад деревини.

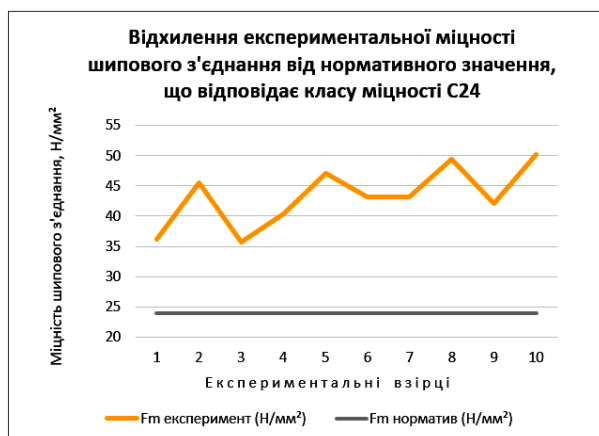


Рис. 10. Відхилення міцності шипового з'єднання від нормативного значення

Висновки

1. Доцільність застосування клеєної деревини у будівництві визначається високими технічними та технологічними показниками її властивостей як конструкційного матеріалу, а саме природною екологічністю, достатньою міцністю, економічністю та енергоефективністю.

2. Виробництво та оброблення клеєних конструкційних дерев'яних балок потребують

набагато менше витрат енергії, ніж виробництво будь-якого іншого конструкційного матеріалу. Тому використання виробів із клеєної деревини замість інших будівельних матеріалів значно зменшить шкідливі викиди в атмосферу.

3. Високої міцності конструкційної деревини досягають за рахунок процесу склеювання та видалення вад деревини.

4. Для виробництва клеєних конструкційних балок із цільної деревини КVN використовують сучасні технології та автоматизовані виробничі лінії. Для одержання якісної продукції, окрім сучасного обладнання, потрібно створити і підтримувати сталі оптимальні мікрокліматичні умови на всіх операційних процесах, а саме: проміжне зберігання пиломатеріалів, склеювання, пресування і стругання готової продукції. Такими умовами є температура в цеху 18–20 °С і відносна вологість у цеху 40–60 %.

5. Встановлено, що якість процесу сортування впливає на фізико-механічні властивості клеєних балок, що підтверджується експериментальним тестуванням відсортованих заготовок та визначенням міцності та модуля пружності.

6. Результати експериментальних досліджень міцності шипових з'єднань та модуля пружності клеєних конструкційних балок із цільної деревини свідчать, що для класу C24 значення міцності шипового з'єднання перебувають у діапазоні 35,65–50,19 Н/мм², а відповідне значення модуля пружності – 9693–11339 кН/мм². Коефіцієнт варіації модуля пружності для досліджених взірців становить 8 %, а коефіцієнт варіації міцності шипового з'єднання – 10 %. Отримані результати можна використовувати у реальних виробничих процесах та для прогнозування фізико-механічних характеристик конструкцій із клеєних конструкційних балок із цільної деревини.

Бібліографічний список

1. Барашиков А. Я., Колякова В. М. Будівельні конструкції: підручник. Київ: Слово, 2011. 255 с.
2. Гербут А. М. Сучасні дерев'яні конструкції: проєктування та розрахунок. Київ: Основа, 2020.
3. Гомон С. Ст., Гомон С. С., Сасовський Т. А. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2012. Вип. 23. С. 166–171.
4. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Укрархбудінформ, 2017. 111 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-151:2010. Конструкції дерев'яні клеєні. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 110 с.

6. ДСТУ Б В.2.6-91:2009. Конструкції будинків і споруд. *Конструкції дерев'яні клеєні*. Номенклатура показників. – Чинний від 2010-04-01. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 10 с.
7. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної та клеєної деревини. Настанова з проектування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. 158 с.
8. Кондратюк С. Я. Опір матеріалів і будівельна механіка дерев'яних конструкцій. Київ: КНУБА, 2015.
9. Савчук О. В. Використання клеєних балок у мостобудуванні. Дороги і мости, 2021.
10. Сендзюк В. І., Герасименко І. В. Будівельні конструкції з деревини та пластмас. Львів: НЛТУ України, 2017.
11. Труш В. І., та ін. Використання клеєних балок у будівництві енергоефективних споруд. *Будівельні конструкції*. 2020. Т. 87, № 2.
12. Abed J., Rayburg S., Rodwell J., Neave M. A review of the performance and benefits of mass timber as an alternative to concrete and steel for improving the sustainability of structures. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No 9. P. 5570. <https://doi.org/10.3390/su14095570>.
13. Andrew H. Buchanan, Anthony Kwabena Abu. *Structural Design for Fire Safety*. 2nd Edition Wiley, 2017. 440 p.
14. Bengtsson C. Moisture influence on glulam beams. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2019. Vol. 77, No 4.
15. Blass H. J., Görlacher R. *Timber Engineering Step 1 & Step 2*. Almere: Centrum Hout, 1991–1995.
16. EN 14080:2013. Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2013. 88 p.
17. EN 15497:2014. Structural finger jointed solid timber – Performance requirements and minimum production requirements. Brussels: CEN, 2014.
18. EN 338:2016. Structural timber – Strength classes. Determination of characteristic values of mechanical properties. Brussels: CEN, 2016. 15 p.
19. EN 408+A1:2012. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. Brussels: CEN, 2012.
20. European Commission, Directorate-General for Environment. *Impact Scan for Timber Construction in Europe 2023: Usage Rates of Engineered Wood Products in New Construction Projects*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 76 с.
21. Frangi A., Fontana M. Fire behaviour of timber structures. *Fire Safety Journal*. 2018. Vol. 91. P. 37–45.
22. Ridoutt B. G., et al. Environmental impacts of engineered wood products. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 234.
23. Thelandersson S., Larsen H. J. (Eds.). *Timber Engineering*. – Chichester: John Wiley & Sons, 2003.
24. Timber Finance. *International Mass Timber Report 2023: Market Penetration and Trends in Europe*. Zürich: Timber Finance AG, 2023. 104 с.
25. Treet: Sustainable Housing, 2015. URL: <https://urbannext.net/treet-sustainable-housing/>. (дата звернення: 01.02.2025).
26. Udovyt'ska M., Mayevskyy V., Udovyt'skyi O., Kopynets Z., Manzyuk A. Development of Mathematical Model for Predicting the Cupping of Lumber. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*. 2024. Vol. 17 (66), No 2. Pp. 111–126. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.2.7>.
27. URL: https://dominant-wood.com.ua/uk/blog/news/novi-tendencyi?srsId=AfmBOooiaLcU97gWAU0U3HkMBTT-nwcXXqDGirFTF815paFb3XkxC6_R_. (дата звернення: 01.02.2025)

Стаття надійшла 18.02.2025