

УДК 691:620.1:502.131.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.8>**Ляліна Н. П.**

д.т.н., професор,

професор кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ORCID: 0000-0002-9364-0925

Огороднік І. В.

к.т.н., доцент,

доцент кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ORCID: 0000-0002-5990-8502

Бондаренко О. П.

к.т.н., доцент кафедри будівельних матеріалів,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ORCID: 0000-0002-8164-6473

ІННОВАЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КОНОПЕЛЬ: ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Анотація. У статті досліджено перспективи застосування будівельних матеріалів на основі промислових конопель у контексті забезпечення сталого розвитку будівельної галузі. Обґрунтовано актуальність переходу до використання екологічних матеріалів з урахуванням зростаючого впливу будівництва на довкілля, зокрема через викиди парникових газів, виснаження ресурсів та утворення відходів. Особливу увагу приділено проблемі втіленого вуглецю та необхідності врахування екологічних, економічних і соціальних критеріїв на всіх етапах життєвого циклу будівельних матеріалів.

У роботі проведено порівняльний аналіз технічних характеристик матеріалів на основі конопляної костри з традиційними будівельними матеріалами, зокрема екструдованим полістиролом, деревно-стружковими плитами, гіпсокартоном, МДФ та фанерою. Експериментальна частина включала випробування на стиск для теплоізоляційних матеріалів і на вигин для плит відповідно до чинних стандартів. Встановлено, що ізоляційні матеріали на основі конопель демонструють вищу міцність на стиск порівняно з екструдованим полістиролом, а плитні матеріали мають механічні характеристики, співставні з ДСП.

Результати дослідження підтверджують доцільність використання конопляної сировини для виготовлення теплоізоляційних та плитних матеріалів у будівництві. Встановлено, що за сукупністю технічних і екологічних показників вони можуть конкурувати з традиційними матеріалами та розглядатися як ефективний інструмент декарбонізації будівельної галузі. Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням технологій виробництва, підвищенням однорідності композитів та масштабуванням їх промислового застосування.

Ключові слова: сталий розвиток, будівельні матеріали, промислові коноплі, костра, теплоізоляція, будівельні матеріали, втілений вуглець, енергоефективність.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток будівельної галузі супроводжується зростаючим навантаженням на довкілля, що проявляється у значних обсягах викидів парникових газів, інтенсивному використанні природних ресурсів та накопиченні будівельних

відходів. Традиційні будівельні матеріали, зокрема полімерні теплоізоляційні вироби та деревно-похідні плити, хоча й забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики, водночас характеризуються високою енергоємністю виробництва, обмеженою можли-

вістю утилізації та негативним впливом на екологічну безпеку. У контексті глобальних кліматичних викликів і переходу до принципів сталого розвитку особливої актуальності набуває питання зниження вуглецевого сліду будівельної продукції, зокрема за рахунок використання альтернативних сировинних ресурсів.

Одним із перспективних напрямів є впровадження біобазованих матеріалів, зокрема на основі промислових конопель, які відзначаються здатністю до відновлення, акумулювання вуглецю та потенційною екологічною безпечністю. Проте, незважаючи на зростання наукового інтересу до таких матеріалів, їх широке впровадження стримується недостатньою вивченістю технічних характеристик, варіативністю властивостей залежно від технології виробництва, а також обмеженою кількістю комплексних порівняльних досліджень із традиційними аналогами.

Таким чином, існує науково-практична проблема, що полягає у необхідності об'єктивної оцінки технічних, експлуатаційних та екологічних показників будівельних матеріалів на основі конопель, а також визначення їх конкурентоспроможності на ринку будівельних матеріалів. Вирішення цієї проблеми сприятиме обґрунтуванню доцільності використання конопляної сировини у будівництві та формуванню наукових засад для розвитку інноваційних екологічно орієнтованих технологій у галузі.

Аналіз останніх досліджень. Будівельна галузь стоїть на передовій глобальних проблем сталого розвитку, роблячи значний внесок у викиди парникових газів, виснаження ресурсів та утворення відходів [1]. Як важливий фактор економічного зростання та розвитку суспільства, її вплив на навколишнє середовище залишається критичною проблемою, посилюючи кліматичну кризу та напружуючи екосистеми в усьому світі [2]. Оскільки країни рухаються до нульових викидів, втілений вуглець, викиди, що виникають під час видобутку, виробництва та використання будівельних матеріалів, стають дедалі важливішим пріоритетом [3]. Тим часом зростання населення та урбанізація продовжують стимулювати попит на будівельні матеріали, часто без належного врахування цілей сталого розвитку [4]. Вирішення цих проблем вимагає зміну підходів до вибору матеріалів протягом усього життєвого

циклу, які враховують екологічні, економічні та соціальні критерії [5].

Серед запропонованих рішень, відновлювані біорозроблені будівельні матеріали стали перспективними альтернативами [6]. Промислові коноплі (*Cannabis sativa* L.) зокрема привертають все більшу увагу завдяки швидкому виробництву біомаси та потенціалу поглинання вуглецю [7]. Коноплі – це високоврожайна культура, що створює можливості для регіонального виробництва біомаси [8, 9]. Їх деревна серцевина, або костра, все частіше використовується у виробництві ізоляційних блоків та плит, з оціночною здатністю поглинати до 1,4 тонни CO₂ на тонну сухої біомаси [10, 11]. При включенні до будівельних матеріалів цей накопичений вуглець залишається поглиненим протягом тривалого часу.

Під час експлуатації матеріали на основі конопель показують сприятливі теплові характеристики. Експериментальні дослідження показали, що конопляно-вапняний бетон демонструє високу теплову інерцію та низьку теплову продуктивність, що дозволяє йому забезпечувати помірні коливання температури в приміщенні та покращувати комфорт мешканців [12]. Ці теплові властивості конопель можуть підвищити енергоефективність та зменшити пов'язане з цим споживання енергії та викиди парникових газів [13]. Для порівняння, широко поширені традиційні ізоляційні матеріали, такі як екструдований полістирол, забезпечують термостійкість, але пов'язані з кількома екологічними та здоров'язберігаючими проблемами. Через свою синтетичну та небіорозкладну природу, ці вироби значною мірою сприяють довгостроковому накопиченню на звалищах, причому відходи з цих матеріалів становлять значну частку від загального обсягу утилізації полістиролу. Окрім проблем з утилізацією, нещодавні дослідження викликали занепокоєння щодо потенційного впливу на здоров'я мікропластику пінополістиролу, який пов'язують з окислювальним стресом та запальними реакціями в тканинах легень [14]. Натомість, матеріали на основі конопель доводять переваги після закінчення терміну служби, оскільки їх можна переробляти або компостувати, зменшуючи обсяги відходів [15].

Враховуючи складну взаємодію між технічними, екологічними, економічними та соціальними аспектами будівельних матеріалів на основі конопель, цілісні оцінки є важ-

ливими для вирішення їх багатогранної ефективності. Зокрема, технічні властивості, такі як механічні, теплові та акустичні показники, були найбільш ретельно вивчені, оскільки вони безпосередньо впливають на їх функціональну придатність [16, 17].

Матеріали на основі конопель порівнювали з широко використовуваними, комерційно доступними альтернативами, включаючи екструдований полістирол, гіпсокартон, деревно-стружкові плити (ДСП), деревоволокнисту плиту середньої щільності (МДФ) та фанеру. Інтегруючи показники технічної ефективності, це дослідження мало на меті підтримати прийняття обґрунтованих рішень для розвитку будівельної галузі.

Мета роботи. Метою дослідження є комплексна оцінка технічних та експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів на основі промислових конопель, зокрема теплоізоляційних композитів і плит, а також визначення їх конкурентоспроможності порівняно з традиційними матеріалами (екструдованим полістиролом, ДСП, МДФ, гіпсокартоном та фанерою). Дослідження спрямоване на обґрунтування доцільності використання конопляної сировини у будівництві з урахуванням механічних, теплофізичних та екологічних показників, а також на визначення потенціалу цих матеріалів як ефективного інструменту забезпечення сталого розвитку та декарбонізації будівельної галузі.

Матеріали та методи досліджень. У цьому дослідженні досліджувалися два різні композити на основі конопель: ізоляційний матеріал та плита. Обидва продукти були виготовлені з використанням

технічних конопель, а саме костри, вирощеної у Житомирській області. Конопляна костра – це внутрішня серцевина стебла, хімічно схожа на деревину, що складається переважно з целюлози (36–41 %), а також лігніну та геміцелюлози [18]. Костру отримують за допомогою механічного процесу, відомого як декорткація, який відокремлює зовнішній волокнистий шар від внутрішньої деревної серцевини.

Для забезпечення репрезентативності порівняння матеріали на основі конопель були порівняні з широко використовуваними комерційними альтернативами. Екструдований полістирол був обраний як еталон для ізоляції, тоді як гіпсокартон, ДСП, МДФ та фанера використовувалися як еталони для плит. Ці традиційні матеріали були обрані через їх широку доступність на ринку та тому, що вони використовуються для тих самих цілей, що й вироби на основі конопель, і були придбані у найбільшого австралійського роздрібного продавця будівельних матеріалів та обладнання [19].

Технічна оцінка включала випробування на міцність на стиск ізоляційних матеріалів та випробування на міцність на вигин плит. У табл. 1 наведено матеріали, відповідні випробування, стандарти та розміри зразків. Значення товщини (t) є номінальними та відображають розміри, зазначені виробником.

Ізоляційні матеріали та плити були нарізані за розмірами, визначеними стандартом EN 826:2013. Під час підготовки зразків деякі залишки відокремилися від сполучного матеріалу в ізоляції на основі конопель, що свідчить про неповне зчеплення всере-

Таблиця 1. Досліджувані будівельні матеріали та проведені випробування

Матеріал	Номінальна товщина (<i>t</i>), мм	Основний тест	Стандарт	Розмір зразка, мм
Ізоляційні матеріали				
Композит на основі конопель	50	Міцність на стиск	EN 826:2013	100 × 100
Екструдована полістирольна плита	50			
Листові матеріали				
Дошка на основі конопель	16	Міцність на згин	ДСТУ EN 310	290 × 50
ДСП	16			
Гіпсокартон	16 мм		ДСТУ EN 520:2018	
МДФ	16 мм		EN 314-2	
Фанера	16 мм			

дині композиту. Це може свідчити про зміни в однорідності, що може вплинути на технічні характеристики матеріалу [20]. Для випробування було підготовлено по п'ять зразків з кожного матеріалу, для яких було визначено густину, ширину, довжину.

Для низькоміцних неструктурних матеріалів, таких як ізоляційні матеріали на основі конопель, міцність на стиск дає уявлення про цілісність матеріалу, зокрема з точки зору довговічності, обробки, транспортування та монтажу [21]. За відсутності спеціальних стандартів для оцінки поведінки композитів на основі конопель при стисканні використовувався стандарт EN 826. Цей стандарт застосовувався в попередніх дослідженнях матеріалів на основі конопель, що піддавалися короточасним навантаженням, для оцінки міцності на стиск теплоізоляційних виробів [22].

П'ять зразків з номінальними розмірами $100 \times 100 \times t$ мм³ були піддані осьовому стиску за допомогою універсальної випробувальної машини (вантажопідйомність 50 кН) за умов навколишнього середовища з температурою

23 ± 5 °C та відотною вологістю 50 ± 5 %. Випробування проводилися з постійною швидкістю зміщення 5 мм/хв (визначеною за t), доки не було досягнуто одного з наступних критеріїв: зразок піддавався пружності або майже не було досягнуто максимальної вантажопідйомності машини (49 ± 1 кН). Якщо зразок не піддавався пружності до досягнення 10 % відносної деформації, міцність на стиск реєструвалася при цьому порозі деформації. На рис. 1 зображено зразки на основі конопель до, під час та після випробувань.

Окрім міцності на стиск, в результаті цих випробувань на стиск також були отримані такі пов'язані параметри: модуль пружності та стискальне напруження при деформації.

Модуль пружності, також відомий як «модуль Юнга», є мірою жорсткості матеріалу, тобто його опору деформації при будь-якому заданому навантаженні. Для більшості застосувань зазвичай перевага надається вищому модулю пружності, оскільки це вказує на те, що компонент збереже свій початковий розмір і геометричні параметри під навантаженням.



Рис. 1. Міцність на стиск зразків ізоляційних матеріалів на основі конопель: (а) до випробувань, (б) під стиском та (с) після дії навантаження 49 ± 1 кН



Рис. 2. Міцність на згин зразків ізоляційних матеріалів на основі конопель:
(а) випробувальна установка, (б) після випробування

Робота при 10 % деформації – цей параметр є корисним показником «в'язкості» матеріалу та отримується шляхом інтегрування даних сили відносно переміщення до 10 % деформації. Вищі значення цього параметра зазвичай є кращими, оскільки вони вказують на те, що зразок здатний поглинати більшу кількість енергії, доки не буде досягнуто деформації 10 %.

Крім того, у багатьох будівельних та інженерних дослідженнях для матеріалів з однаковими механічними властивостями зазвичай перевагу надають вибору матеріалу з найнижчою густиною. Тому кілька показників випробувань на стиск були поділені за густиною матеріалу, щоб отримати «специфічні» властивості.

Міцність на згин є основною механічною властивістю, що оцінюється для плит. П'ять випробувальних зразків розміром $290 \times 50 \times t$ мм³ піддавалися випробуванню на триточковий згин. Навантаження прикладалися з постійною швидкістю зміщення 10 мм/хв (рис. 2).

Результати досліджень. Результати середньої густини та міцності на стиск для ізоляційних матеріалів представлені в табл. 2, які свідчать, що ізоляційні матеріали на основі конопель демонстрували лінійну та пружну реакцію приблизно до 4 % деформації стиску, при цьому стискаюча напруга потім зростала повільніше до 10 % деформації стиску. Ця тен-

денція підтверджує, що ізоляційний матеріал на основі конопель залишався структурно цілісним в усьому діапазоні випробувань.

Композит на основі конопель продемонстрував міцність на стиск 1,597 МПа при 10 % деформації, що більше ніж утричі вище, ніж у екструдованого полістиролу, який досяг 0,459 МПа. Його модуль пружності (33,47 МПа) також вказують на значно жорсткішу та механічно стійкішу структуру, ніж у екструдованого полістиролу. Цей показник можна пояснити його більшою густиною (0,383 г/см³) та узгоджується з попередніми висновками, які показують позитивну кореляцію між густиною та механічною міцністю в ізоляції на основі конопель [23, 24]. Однак слід зазначити, що значно нижча густина екструдованого полістиролу призвела до значно вищих питомих властивостей на стиск порівняно з матеріалом на основі конопель.

Попередні дослідження [25], показали аналогічні результати для ізоляційних матеріалів на основі конопель та виявили, що композити на основі конопляної сировини з густиною від 0,351 до 0,480 г/см³ демонструють міцність на стиск від 1,424 до 1,913 МПа.

Хоча екструдований полістирол розроблений для легкої ізоляції (що підтверджується його вищими питомими властивостями), його механічна міцність обмежена, що робить його

Таблиця 2. Властивості ізоляційних матеріалів, пов'язані з густиною та міцністю на стиск

Матеріал		Густина (г/см ³)	Міцність на стиск при 10 % деформації (МПа)	Модуль пружності (МПа)	Міцність на стиск (питоме) (МПа/г · см ³)	Модуль пружності (питомий) (ГПа/г · см ³)
На основі конопель	Середнє значення	0,383	1.597	33.47	4.159	86.679
	Стандартне значення	0,007	0,072	3.774	0,118	8.234
Екструдований полістирол	Середнє значення	0,027	0,459	11.903	16.794	434.964
	Стандартне значення	0,000	0,024	1.790	0,710	63.885

Таблиця 3. Показники густини та згинальних характеристик матеріалів на основі конопель та звичайних плит.

Матеріал		Густина (г/см ³)	Міцність на згин (МПа)	Деформація при міцності на згин	Модуль пружності (ГПа)	Міцність на згин (питома) (МПа/г × см ³)	Модуль пружності (питомий) (ГПа/г × см ³)
Дошка на основі конопель	Середнє значення	0,630	12.404	0,007	2.102	19.614	3.324
	Стандартне значення	0,012	0,778	0,000	0,124	0,913	0,140
ДСП	Середнє значення	0,639	12.471	0,008	1.865	19.505	2.917
	Стандартне значення	0,003	0,477	0,000	0,046	0,709	0,063
Гпсокартон	Середнє значення	0,781	2.087	0,016	1.578	2.673	2.020
	Стандартне значення	0,002	0,086	0,001	0,045	0,115	0,060
МДФ	Середнє значення	0,742	30.486	0,013	2.877	41.071	3.876
	Стандартне значення	0,001	0,303	0,000	0,016	0,380	0,019
Фанера	Середнє значення	0,538	45.304	0,011	5.129	84.257	9.540
	Стандартне значення	0,002	1.480	0,001	0,031	2.752	0,085

менш придатним для застосувань, що потребують помірної структурної підтримки. Однак ця властивість робить його особливо придатним для застосувань, де низька вага є пріоритетом над структурними характеристиками, наприклад, для ізоляційних елементів, які не несуть значних навантажень. І навпаки, композит на

основі конопель забезпечує вищу міцність на стиск, що робить його кращим для застосувань, що потребують помірної структурної підтримки, або де ізоляційні матеріали повинні витримувати стискальні навантаження.

У табл. 3 представлено порівняльний аналіз густини та міцності на вигин плити на основі

конопель та традиційних плитних матеріалів, включаючи ДСП, гіпсокартон, МДФ та фанеру. Плита на основі конопель продемонструвала середню густину $0,630 \text{ г/см}^3$ та міцність на вигин $12,404 \text{ МПа}$, що майже ідентично ДСП ($12,471 \text{ МПа}$ при $0,639 \text{ г/см}^3$). Це свідчить про те, що конопляна костра, у поєднанні з відповідною зв'язуючою речовиною та за умов належних умов пресування, може досягти механічних характеристик, порівнянних з традиційними деревно-стружковими плитами.

Питома міцність на вигин плити з конопель ($19,614 \text{ МПа/г} \cdot \text{см}^3$) та модуль пружності ($3,324 \text{ ГПа/г} \cdot \text{см}^3$) підтвердили її конкурентне співвідношення міцності до ваги. Проте, МДФ продемонстрував значно вищу міцність на вигин ($30,486 \text{ МПа}$), що відображає його високу щільність та сильно стиснуту волокнисту структуру. Фанера перевершила всі протестовані матеріали, забезпечивши міцність $45,304 \text{ МПа}$ при міцності всього $0,538 \text{ г/см}^3$ завдяки своїй шаруватій текстурі. Гіпсокартон, хоча й має найбільшу густину ($0,781 \text{ г/см}^3$), показав найслабшу міцність на вигин ($2,087 \text{ МПа}$), демонструючи, що сама по собі густина не визначає механічні характеристики матеріалу. Ці результати підтверджують, що хоча підвищена густина часто підвищує міцність завдяки покращеному ущільненню та склеюванню [26], інші фактори, такі як орієнтація волокон, міжфазне склеювання та ламінування, відіграють вирішальну роль, як показано на прикладі МДФ та фанери. Загалом, можна зробити висновок, що властивості згинання плити на основі конопель надзвичайно конкурентоспроможні з властивостями

деревно-стружкових плит, які зараз використовуються в житловому будівництві.

Висновки. Технічно, обидва продукти на основі конопель продемонстрували можливість їх застосування у будівництві. Ізоляційні матеріали на основі конопель продемонстрували більш ніж утричі кращу міцність на стиск, ніж екструдований полістирол, що свідчить про покращену несучу здатність, тоді як плита відповідала характеристикам згинання ДСП і перевершувала гіпсокартон за співвідношенням міцності до ваги. Ці результати підтвердили можливість використання конопляної костри як життєздатної сировини для ненесучих застосувань у будівництві.

За всіма технічними характеристиками ізоляційний матеріал на основі конопель не набагато поступається екструдованому полістиролу, проте показує кращі результати за екологічними та економічними показниками. Аналогічно, плита на основі конопель перевершила гіпсокартон та фанеру і продемонструвала найкращі екологічні показники щодо глобального потепління, використання енергії, землекористування та органічного вуглецю ґрунту.

Загалом, ці дослідження підтвердили, що ізоляційні та плитні вироби на основі конопель можуть конкурувати з сучасними будівельними матеріалами завдяки своїй екологічності. Завдяки скоординованим зусиллям в галузі інновацій, політики та інтеграції ланцюга створення вартості, матеріали на основі конопель можуть перетворитися з перспективних альтернатив на основні рішення для сталого будівництва.

Література

1. Calle Müller C., Pradhananga P., ElZomor M. Pathways to decarbonization, circular construction, and sustainability in the built environment. *Int. J. Sustain. High Educ.* 2024. 25(6). DOI: 10.1108/IJSHE-09-2023-0400
2. Kemarau R. A., Sakawi Z., Eboy O. V., Suab S. A., Brahim M. F., Binti Rosli N. N., Nor F. M. Planetary boundaries transgressions: a review on the implications to public health *Environ. Res.* 2024, Article 119668. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119668>
3. UNEP Building materials and the climate: constructing a new future. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293>. 2023
4. Amarasinghe I., Liu T., Stewart R. A., Mostafa S. Paving the way for lowering embodied carbon emissions in the building and construction sector. *Clean Technol. Environ. Policy.* 2024, pp. 1-19. DOI: 10.1007/s10098-024-03023-6
5. Soonsawad N., Martinez R. M., Schandl H. Material demand, and environmental and climate implications of Australia's building stock: current status and outlook to 2060. *Resour. Conserv. Recycl.* 180. 2022, Article 106143. DOI <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106143>
6. Budhathoki R., Maraseni T., Apan A. Enviro-economic and feasibility analysis of industrial hemp value chain: a systematic literature review. *GCB Bioenergy*, 16 (6). 2024, Article 13141. DOI 10.1111/gcbb.13141
7. Le D.L., Salomone R., Nguyen Q.T. Circular bio-based building materials: a literature review of case studies and sustainability assessment methods. *Build. Environ.* 2023, Article 110774. DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110774
8. Rivas-Aybar D., John M., Biswas W. Can the hemp industry improve the sustainability performance of the Australian construction sector? *Buildings*, 13 (6). 2023, p. 1504. DOI 10.3390/buildings13061504

9. Muttill N., Sadath S., Coughlan D., Paresi P., Singh S.K. Hemp as A sustainable carbon negative plant: a review of its properties, applications, challenges and future directions. *International Journal of Integrated Engineering*, 16 (2). 2024, pp. 1–12. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie>
10. Papadopoulou E., Chrysafi I., Karidi K., Mitani A., Bikiaris D.N. Particleboards with recycled material from hemp-based panels *Materials*, 17 (1). 2023, p. 139. DOI 10.3390/ma17010139
11. Rivas-Aybar D., John M., Biswas W. Environmental Life Cycle Assessment of A Novel Hemp-based Building Material. *Materials* 16(22):7208. 2023. DOI10.3390/ma16227208
12. Essaghouri L., Mao R., Li X. Environmental benefits of using hempcrete walls in residential construction: an LCA-based comparative case study in Morocco. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 100. 2023, Article 107085. DOI10.1016/j.eiar.2023.107085
13. Proaño C., Rivas Aybar D. Rehabilitación De Suelos Contaminados Por Derrame De Hidrocarburos Mediante Biorremediación Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. 2010
14. Muhit I. B., Omairey E.L., Pashakolaie V.G. A holistic sustainability overview of hemp as building and highway construction materials. *Build. Environ.* 2024, Article 111470. DOI 10.1016/j.buildenv.2024.111470
15. Kytinou V. K., Metaxa Z. S., Zapis A. G., Kosheleva R. I., Prokopiou V. D., Alexopoulos N. D. Exploitation of extruded polystyrene (XPS) waste for lightweight, thermal insulation and rehabilitation building applications. *Developments in the Built Environment*, 20. 2024, Article 100580. DOI10.1016/j.dibe.2024.100580
16. Troya M.D.C., Power O.-P., Kopke K. Is it all about the data? How extruded polystyrene escaped single-use plastic directive market restrictions. *Front. Mar. Sci.*, 8. 2022, Article 817707. DOI 10.3389/fmars.2021.817707
17. Yadav M., Saini A. Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: an overview. *Mater. Today Proc.*, 65. 2022, pp. 2021–2028. DOI 10.1016/j.matpr.2022.05.576
18. Arehart J. H., Nelson W. S., Srubar I. I. W. V. On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *J. Clean. Prod.*, 266. 2020, Article 121846. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121846
19. Bošković I., Radivojević A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: the impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission. *J. Build. Eng.*, 66. 2023, Article 105908. DOI10.1016/j.job.2023.105908
20. John M. *The Routledge Handbook of Global Sustainability Education and Thinking for the 21st Century*. Taylor & Francis. 2025. <https://doi.org/10.4324/9781003171577>
21. Mark T. B., Will S. Economic issues and perspectives for industrial hemp. *Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop*. 2019, pp. 107–118. <https://doi.org/10.2134/industrialhemp>
22. Donoghoe G. Market opportunity analysis: what market factors influence and determine hemp-lime composites becoming a mainstream building product? *Electron. J. Struct. Eng.*, 24.2024, pp. 1-6. <https://doi.org/10.56748/ejse.24528>
23. Capua S. E. Di., Paolotti L., Moretti E., Rocchi L., Boggia A. Evaluation of the environmental sustainability of hemp as a building material, through life cycle assessment. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 25(1). 2021, pp. 1215–1228. DOI10.2478/rtuct-2021-0092
24. Ansari H., Tabish M., Zaheer M. M. A comprehensive review on the properties of hemp incorporated concrete: an approach to low carbon footprint construction. *Sustainability*, 5, 2025, Article 100075. DOI10.1016/j.nxsust.2024.100075
25. Asghari N., Memari A. M. State of the art review of attributes and mechanical properties of hempcrete. *Biomass*, 4(1). 2024, pp. 65–91. <https://doi.org/10.3390/biomass4010004>
26. Colli C., Bataille A., Antczak E. Investigating eco-efficiency procedure to compare refurbishment scenarios with different insulating materials. *Proced. CIRP*, 90, 2020, pp. 322-327. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.002

References

1. Calle Müller, C., Pradhananga, P., ElZomor, M. (2024). Pathways to decarbonization, circular construction, and sustainability in the built environment. *Int. J. Sustain. High Educ.* 25(6). DOI: 10.1108/IJSHE-09-2023-0400
2. Kemarau, R. A., Sakawi, Z., Eboy, O. V., Suab, S. A., Brahim, M. F., Binti Rosli, N. N., Nor, F. M. (2024). Planetary boundaries transgressions: a review on the implications to public health *Environ. Res.* 2024, Article 119668. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119668>
3. UNEP Building materials and the climate: constructing a new future. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293>. 2023
4. Amarasinghe, T., Liu, I., Stewart, R.A., Mostafa, S. (2024). Paving the way for lowering embodied carbon emissions in the building and construction sector. *Clean Technol. Environ. Policy*. pp. 1-19. DOI 10.1007/s10098-024-03023-6
5. Soonsawad, N., Martinez, R. M., Schandl, H. (2022). Material demand, and environmental and climate implications of Australia's building stock: current status and outlook to 2060. *Resour. Conserv. Recycl.*, 180. Article 106143. DOI <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106143>
6. Budhathoki, R., Maraseni, T., Apan, A. (2024). Enviro-economic and feasibility analysis of industrial hemp value chain: a systematic literature review. *GCB Bioenergy*, 16 (6). Article 13141. DOI 10.1111/gcbb.13141
7. Le, D. L., Salomone, R., Nguyen, Q. T. (2023). Circular bio-based building materials: a literature review of case studies and sustainability assessment methods. *Build. Environ.* Article 110774. DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110774
8. Rivas-Aybar, D., John, M., Biswas, W. (2023). Can the hemp industry improve the sustainability performance of the Australian construction sector? *Buildings*, 13 (6). p. 1504. DOI 10.3390/buildings13061504
9. Muttill, N., Sadath, S., Coughlan, D., Paresi, P., Singh, S.K. (2024). Hemp as A sustainable carbon negative plant: a review of its properties, applications, challenges and future directions. *International Journal of Integrated Engineering*, 16 (2). pp. 1–12. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie>
10. Papadopoulou, E., Chrysafi, I., Karidi, K., Mitani, A., Bikiaris, D.N. (2023). Particleboards with recycled material from hemp-based panels *Materials*, 17 (1). p. 139. DOI 10.3390/ma17010139

11. Rivas-Aybar, D., John, M., Biswas, W. (2023). Environmental Life Cycle Assessment of A Novel Hemp-based Building Material. DOI10.3390/ma16227208
12. Essaghouri, L., Mao, R., Li, X. (2023). Environmental benefits of using hempcrete walls in residential construction: an LCA-based comparative case study in Morocco. Environ. Impact Assess. Rev., 100. Article 107085. DOI10.1016/j.eiar.2023.107085
13. Proaño, C., Rivas Aybar, D. (2010). Rehabilitación De Suelos Contaminados Por Derrame De Hidrocarburos Mediante Biorremediación Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
14. Muhit, I. B., Omairey, E. L., Pashakolaie, V. G. (2024). A holistic sustainability overview of hemp as building and highway construction materials. Build. Environ. Article 111470. DOI 10.1016/j.buildenv.2024.111470
15. Kytinou, V. K., Metaxa, Z. S., Zapris, A. G., Kosheleva, R. I., Prokopiou, V. D., Alexopoulos, N. D. (2024). Exploitation of extruded polystyrene (XPS) waste for lightweight, thermal insulation and rehabilitation building applications. Developments in the Built Environment, 20. Article 100580. DOI10.1016/j.dibe.2024.100580
16. Troya, M. D.C., Power, O.-P., Kopke, K. (2022). Is it all about the data? How extruded polystyrene escaped single-use plastic directive market restrictions. Front. Mar. Sci., 8. Article 817707. DOI 10.3389/fmars.2021.817707
17. Yadav, M., Saini, A. (2022). Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: an overview. Mater. Today Proc., 65. pp. 2021-2028. DOI 10.1016/j.matpr.2022.05.576
18. Arehart, J. H., Nelson, W. S., Srubar, I. I. W. V. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. J. Clean. Prod., 266. Article 121846. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121846
19. Bošković, I., Radivojević, A. (2023). Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: the impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission. J. Build. Eng., 66. Article 105908. DOI10.1016/j.job.2023.105908
20. John, M. (2025). The Routledge Handbook of Global Sustainability Education and Thinking for the 21st Century. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9781003171577>
21. Mark, T. B., Will, S. (2019). Economic issues and perspectives for industrial hemp. Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop. pp. 107-118. <https://doi.org/10.2134/industrialhemp>
22. Donoghoe, G. (2024). Market opportunity analysis: what market factors influence and determine hemp-lime composites becoming a mainstream building product? Electron. J. Struct. Eng., 24. pp. 1–6. <https://doi.org/10.56748/ejse.24528>
23. Capua, S. E. Di., Paolotti, L., Moretti, E., Rocchi, L., Boggia, A. (2021). Evaluation of the environmental sustainability of hemp as a building material, through life cycle assessment. Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti, 25(1). pp. 1215–1228. DOI10.2478/rtuct-2021-0092
24. Ansari, H., Tabish, M., Zaheer, M. M. (2025). A comprehensive review on the properties of hemp incorporated concrete: an approach to low carbon footprint construction. Sustainability, 5. Article 100075. DOI10.1016/j.nxsust.2024.100075
25. Asghari, N., Memari, A. M. (2024). State of the art review of attributes and mechanical properties of hempcrete. Biomass, 4(1). pp. 65–91. <https://doi.org/10.3390/biomass4010004>
26. Colli, C., Bataille, A., Antczak, E. (2020). Investigating eco-efficiency procedure to compare refurbishment scenarios with different insulating materials. Proced. CIRP, 90. pp. 322-327. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.002

INNOVATIVE HEMP-BASED BUILDING MATERIALS: TECHNICAL PROPERTIES AND ECOLOGICAL POTENTIAL

Abstract. *The article explores the prospects for the use of building materials based on industrial hemp in the context of ensuring sustainable development of the construction industry. The relevance of the transition to the use of ecological materials is substantiated, taking into account the growing impact of construction on the environment, in particular through greenhouse gas emissions, resource depletion and waste generation. Particular attention is paid to the problem of embodied carbon and the need to take into account environmental, economic and social criteria at all stages of the life cycle of building materials.*

The paper provides a comparative analysis of the technical characteristics of materials based on hemp firewood with traditional building materials, in particular extruded polystyrene, chipboard, plasterboard, MDF and plywood. The experimental part included compression tests for thermal insulation materials and bending tests for boards in accordance with current standards. It was found that hemp-based insulation materials demonstrate higher compressive strength compared to extruded polystyrene, and board materials have mechanical characteristics comparable to chipboard.

The results of the study confirm the feasibility of using hemp raw materials for the production of thermal insulation and board materials in construction. It was found that in terms of technical and environmental indicators, they can compete with traditional materials and be considered as an effective tool for decarbonization of the construction industry. Prospects for further research are related to improving production technologies, increasing the homogeneity of composites and scaling up their industrial application.

Key words: *sustainable development, building materials, industrial hemp, bonfire, thermal insulation, building materials, embodied carbon, energy efficiency.*

N. P. Lialina

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Commodity Studies and Commercial Activities in Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

I. V. Ogorodnik

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Commodity Studies and Commercial Activities in
Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

O. P. Bondarenko

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Building Materials,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv



Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

**Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)**