

УДК 630*812

DOI:10.37128/2707-5826-2025-4-3

**ОСОБЛИВОСТІ
ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ
CARPINUS BETULA L.**

І.М. СОПУШИНСЬКИЙ, доктор с.-г.
наук, професор

Р.Т. МАКСИМЧУК, доктор філософії,
доцент, Черкаський державний
технологічний університет

Я.М. КОПОЛОВЕЦЬ, доктор філософії,
доцент, Ужгородський національний
університет

У роботі подано результати комплексного дослідження фізичних властивостей стовбурної деревини граба звичайного (*Carpinus betula* L.) у грабово-букових деревостанах Українських Карпат. Визначено структурні та якісні відмінності деревини між домінантними й пригніченими деревами, що зростають у межах одного типу лісорослинних умов. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оптимізації використання деревної сировини граба, який є важливим компонентом лісів Лісостепу та Карпатського регіону і характеризується цінною, щільною та високотеплотворною деревиною. У ході дослідження проаналізовано зміну щільності, пористості та показників анізотропії усухання деревини за висотою стовбура та категоріями дерев у насадженні.

Встановлено, що середня щільність деревини в абсолютно сухому стані у домінантних дерев становить $728^{+3,33}$ кг·м⁻³, що на 4,0 % більше, ніж у пригнічених ($702^{+2,69}$ кг·м⁻³). Аналогічна закономірність спостерігається для базисної та свіжозрубаної щільності. Отримані результати свідчать, що деревина домінантних дерев має більш щільну структуру, нижчу пористість (ПО = $51^{+0,23}$ %), але вищу вологість і децю більшу схильність до деформацій при сушінні. Для пригнічених дерев, навпаки, характерна підвищена пористість (ПО = $53^{+0,17}$ %) і менша анізотропія усухання, що робить їх деревину більш стабільною при технологічній обробці. Показники тангенціального (β_t) та радіального (β_r) усухання становлять відповідно $10,3^{+0,04}$ % і $7,0^{+0,05}$ % для домінантних дерев та $9,6^{+0,03}$ % і $6,7^{+0,05}$ % для пригнічених. Об'ємне усухання (β_v) у домінантних дерев складає 18,6 %, тоді як у пригнічених - 17,4 %. Коефіцієнт анізотропії (k_{β_t/β_r}) у середньому дорівнює 1,49 та 1,43 відповідно, що свідчить про помірну різницю в напрямках усухання. Виявлено лінійні залежності між базисною щільністю деревини та її тангенціальним усуханням, а також між базисною щільністю й абсолютною пористістю. Для домінантних дерев рівняння залежності має вигляд $\beta_t = 0,01\rho_6 + 1,10$, а для пригнічених — $\beta_t = 0,01\rho_6 + 4,70$, що підтверджує різну інтенсивність зміни розмірів деревини під час сушіння.

Результати дослідження свідчать, що домінантні дерева формують більш щільну, менш пористу, проте анізотропну деревину, тоді як пригнічені — менш щільну, з вищою пористістю та більш рівномірним усуханням. Встановлені закономірності є основою для подальшої диференціації деревини граба за технологічним призначенням, що потребують стабільності розмірів або для енергетичних цілей. Отримані результати мають важливе практичне значення для оптимізації технологічних процесів сушіння та обробки деревини граба, а також для оцінювання її якості, структури та депонованого вуглецю в різних типах деревостанів.

Ключові слова: *Carpinus betula* L., фізичні властивості деревини, щільність, пористість, усухання, анізотропія, домінантні та пригнічені дерева, Українські Карпати.

Табл. 2. Рис. 4. Літ. 8.



FEATURES OF THE FORMATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF CARPINUS BETULA L. WOOD
© 2025 by Sopushynskyi I.M., Maksymchuk R.T., Kopolovets Y.M. is licensed under CC BY 4.0

Постановка проблеми. В Україні граб звичайний (надалі граб) зазвичай досягає 20–25 м і поширений переважно в лісостеповій і поліській зонах, а також у передгір'ях Карпат і на північному сході Поділля [1].

Ареал охоплює південну та центральну частини Європи (за винятком Піренейського півострова) і простягається до південної Англії та південної Швеції. На схід його поширення простягається через басейн Чорного моря до Кавказу та північних районів Ірану. Висотна амплітуда виду становить від рівня моря до приблизно 700 м у Центральній Європі, близько 1000 м у Західних Альпах і сягає 1800 м у гірських районах Ірану (рис. 1) [7, 8].

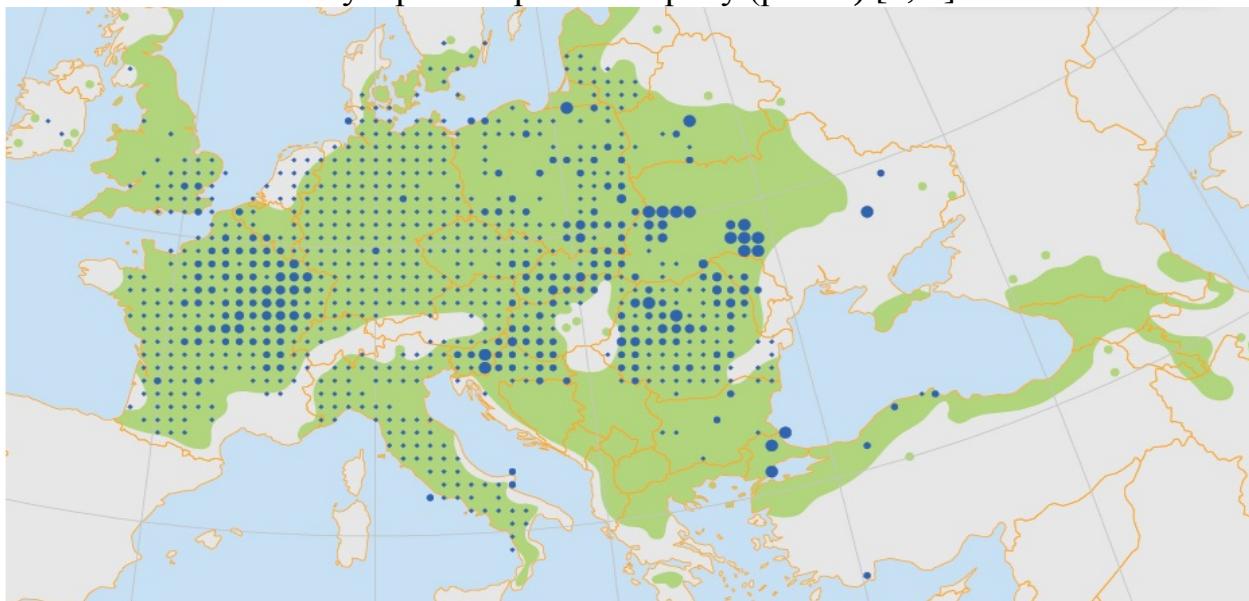


Рис. 1. Ареал *Carpinus betula* L. [8]

Carpinus betula L. найчастіше трапляється у складі грабово-дубових і грабово-букових лісів. Віддає перевагу свіжим і вологим родючим ґрунтам, особливо сірим лісовим і бурим ґрунтам на схилах. Деревина граба високо цінується як у деревообробній промисловості так і як паливо через високу теплотворну здатність [3, 5].

Ряд досліджень свідчать про те, що форма стовбура граба має значний вплив на його механічні властивості. Так результати випробувань М. Cziczor та М. Báder (2024) показали, що циліндричний граб має кращу середню ударну в'язкість (27,91%), модуль пружності (18,25%) та модуль розриву (14,01%), ніж граби з глибокою ребристою формою. Водночас доцільно зазначити, що автори не взяли до уваги відмінності лісорослинних умов, які суттєво визначають якісні показники деревини [1, 2]. Фізичні та механічні властивості є важливими факторами у визначенні подальшого використання деревної сировини як матеріалу [3, 4].

Метою дослідження структурних особливостей формування якості стовбурної деревини *Carpinus betula* L. було розкрити відмінності фізичних властивостей деревини домінантних та пригнічених деревах. Дослідженнями охоплено всебічне вивчення щільності деревини, її пористості та показників усихання деревини як інтегральних показників її якості.

Об'єкт та методи дослідження. У дослідженнях було охоплено грабово-букові деревостани Українських Карпат, розташовані на висотах 300–500 м над рівнем моря (географічні координати: $48^{\circ}45'51''$ пн.ш., $22^{\circ}26'16''$ сх.д.). У складі деревостанів граб займав 30–40%. На двох пробних ділянках було визначено 6 модельних дерев для кожної категорії: домінантних і пригнічених. Домінантні дерева займали лідируючу позицію в деревостані, належали до першого ярусу насадження і відзначалися високим ростом та потужним розвитком. Пригнічені дерева відносилися до другого та третього ярусів насадження і характеризувалися меншим розміром та більш низьким темпом росту, що пов'язано з конкуренцією за світло та ресурси. Діаметр модельних дерев варіювався від 20 до 40 см, а висота – від 12 до 21 м.

Для визначення властивостей деревини з кожного модельного дерева було відібрано не менше 10 зразків. Кількість зразків залежала від висоти зрізу, але не була меншою за 10 одиниць з одної висоти зрізу. Для дослідження фізичних властивостей деревини було вирізано три зразки кряжів з кожного дерева: на висоті 1,3 м від землі ($D_{1,3\text{м}}$), на двох третинах довжини стовбура ($L_{\text{стовб.}}$) та на відстані 1 м від початку крони (рис. 2).

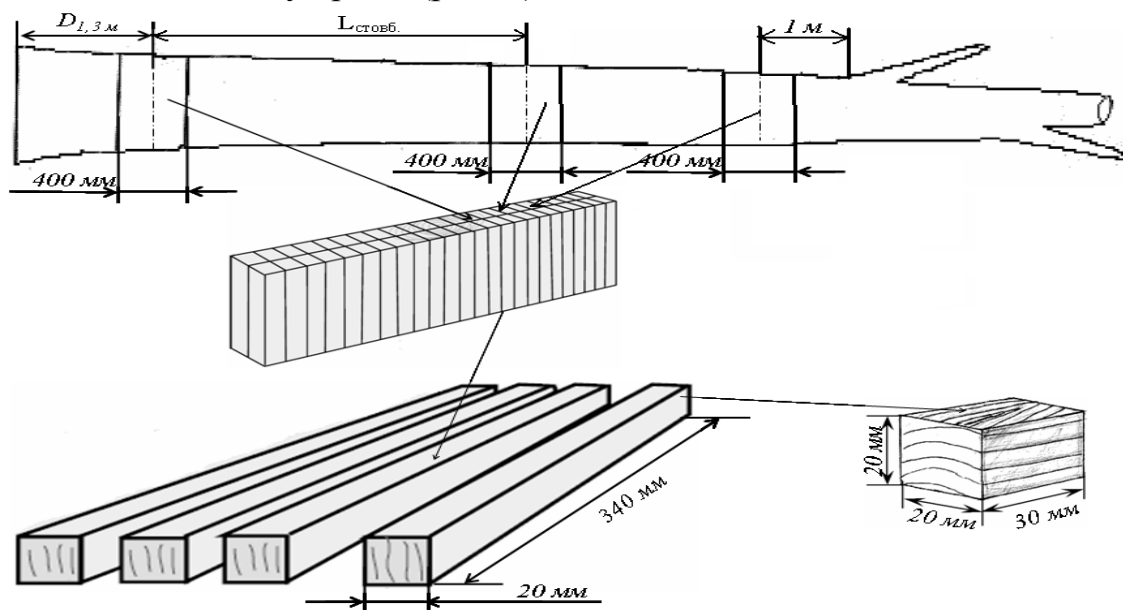


Рис. 2. Схема відбору взірців деревини граба

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

З кожного взятого для дослідження стовбура граба відібрано три кряжі довжиною 0,6 м, з яких виготовлено стандартні взірці розмірами $20 \times 20 \times 30 \text{ мм}^3$ з точністю $\pm 1 \text{ мм}$. Встановлені середні значення показників фізичних властивостей деревини відображали зміну властивостей деревини між відібраними модельними деревами та відповідно за їх висотою та радіусом. в межах стовбура деревини проведено за висотою та радіусом стовбура. Загальна кількість взірців для кожного виду дослідження становила 105 шт. Статистичний аналіз отриманих результатів дослідження виконано за допомогою програмного забезпечення SPSS 17.0, та Excel.

Фізичні властивості деревини визначено згідно визнаних вітчизняних та міжнародних методик і чинних стандартів [1, 6].

Результати дослідження та обговорення. Знання фізичних властивостей деревини є необхідною передумовою для її цільового використання як енергетичної сировини або як матеріалу у деревооброблювальному виробництві [4]. Інтегральним показником якості деревини виступає її об'ємна маса, тоді як технологічні особливості відображаються через показники анізотропії всихання та коефіцієнт анізотропії [2]. Особливе значення має дослідження відмінностей у фізичній якості деревини домінантних і пригнічених дерев у межах деревостану. Такі відмінності зумовлюють раціональне та ефективне використання деревинної сировини відповідно до її призначення [3]. Результати дослідження фізичних властивостей деревини домінантних дерев граба звичайного наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні властивості деревини домінантних дерев граба

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації (%)	Показник точності, (%)
ρ_0 , кг/м ³	627	728 ^{±3,33}	797	4,7	0,5
ρ_b , кг/м ³	577	631 ^{±2,37}	677	3,8	0,4
$\rho_{с.з.с.}$, кг/м ³	937	1016 ^{±3,09}	1074	3,1	0,3
W , %	54	64 ^{±0,48}	74	7,7	0,7
P_0 , %	47	51 ^{±0,23}	58	4,6	0,5
P_b , %	55	58 ^{±0,16}	62	2,8	0,3
β_t , %	9,3	10,3 ^{±0,04}	11,5	4,3	0,4
B , %	6,3	7,0 ^{±0,05}	8,5	7,8	0,8
β_l , %	0,2	0,5 ^{±0,02}	0,9	34,4	3,4
β_v , %	17,0	18,6 ^{±0,09}	21,4	5,2	0,5
k_{β_t/β_r}	1,30	1,49 ^{±0,01}	1,71	6,4	0,6

Примітка: ρ_0 – щільність деревини в абсолютно-сухому стані; ρ_b – базисна щільність деревини; $\rho_{с.з.с.}$ – щільність свіжозрубаної деревини; $W_{абс.}$ – абсолютна вологість свіжозрубаної деревини. P_0 – абсолютна пористість деревини; P_b – базисна пористість деревини; β_t – всихання деревини в тангентальному напрямку; β_r – всихання деревини в радіальному напрямку; β_l – всихання деревини повздож волокон; β_v – об'ємне всихання деревини, k_{β_t/β_r} – коефіцієнт неоднорідності.

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Результати дослідження об'ємної маси деревини граба стверджують, що в абсолютно сухому стані (ρ_0) її значення змінюються від 627 до 797 кг·м⁻³, а середнє значення складає 728^{±3,33} кг·м⁻³. Середнє значення базисної щільності деревини (ρ_b) становить 631^{±2,37} кг·м⁻³ і також характеризується малою варіативністю. Отримані значення об'ємної маси деревин граба є ключовими показниками технічної якості стовбурної деревини та обліку депонованого вуглецю в одиниці об'єму деревинної сировини. Об'ємна маса свіжозрубаної деревини ($\rho_{с.з.с.}$) складає 1016^{±3,09} кг·м⁻³, зміна якої тісно пов'язана зі зміною абсолютної вологості деревини. Середнє значення абсолютної вологості деревини становить 64^{±0,48} %, з мінімумом 54 % та максимумом 74 %. Коефіцієнт

варіації становить 7,7 % і стверджує, що вологість деревини граба має помірну варіативність.

Абсолютна пористість деревини (Π_0) знаходиться у межах від 47 % до 58 % із середнім значенням $51^{\pm 0,23}$ %, що є одним з найменших показників для вітчизняних деревних видів. Середнє значення базисної (відносної) пористості деревини (Π_6) у ростучому дереві становить $58^{\pm 0,16}$ %. Відносно низька пористість деревини суттєво впливає на технологічні процеси сушіння деревини. Результати досліджень всихання деревини граба вказують на значну її анізотропію, що є характерною ознакою деревних видів з високою щільністю деревини. Середнє значення тангенціального всихання (β_t) становить $10,3^{\pm 0,04}$ %, що свідчить про найбільшу зміну розмірів деревини при сушінні. Це означає, що для уникнення деформацій при сушінні необхідно особливо ретельно контролювати цей процес. Радіальне всихання (β_r) змінюється від 6,3 % до 8,5 % із середнім значенням $7,0^{\pm 0,05}$ %. Об'ємне всихання (β_v) становить $18,6^{\pm 0,09}$ %. Коефіцієнт неоднорідності (k_{β_t/β_r}) в середньому дорівнює $1,49^{\pm 0,01}$, що свідчить про помірну різницю між тангенціальним та радіальним всиханням деревини. Це означає, що доцільно враховувати у технологічних процесах сушіння деревини граба.

Результати досліджень розкривають особливості формування фізичної якості деревини показники фізичної якості деревини домінантних дерев граба, що необхідно враховувати у технологічних процесах оброблення деревини. Для глибокого аналізу фізичних властивостей деревини граба визначено аналогічні показники для пригнічених дерев у грабово-букових деревостанах Українських Карпат (табл. 2)

Таблиця 2

Фізичні властивості деревини пригнічених дерев граба

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, (%)	Показник точності, (%)
ρ_0 , кг/м ³	640	$702^{\pm 2,69}$	745	3,9	0,4
ρ_6 , кг/м ³	530	$606^{\pm 2,71}$	635	4,6	0,4
$\rho_{с.з.с.}$, кг/м ³	803	$911^{\pm 4,77}$	1003	5,4	0,5
W, %	34	$57^{\pm 0,71}$	65	12,8	1,2
Π_0 , %	50	$53^{\pm 0,17}$	56	3,3	0,3
Π_6 , %	58	$60^{\pm 0,18}$	65	3,1	0,3
β_t , %	8,8	$9,6^{\pm 0,03}$	9,9	3,1	0,3
β_r , %	5,7	$6,7^{\pm 0,05}$	7,6	8,2	0,8
β_l , %	0,2	$0,4^{\pm 0,02}$	0,9	45,8	4,5
β_v , %	15,9	$17,4^{\pm 0,08}$	18,8	4,7	0,5
k_{β_t/β_r}	1,23	$1,43^{\pm 0,01}$	1,69	7,1	0,7

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Об'ємна маса деревини в абсолютно сухому стані для пригнічених дерев складає $702^{+2,69}$ кг·м⁻³, а в базисному стані – $606^{+2,71}$ кг·м⁻³, що на 4,0 % менше, ніж для домінантних дерев, де відповідні значення становлять $728^{+3,33}$ кг·м⁻³ та $631^{+2,37}$ кг/м³. Це свідчить про меншу щільність деревини у пригнічених деревах, що, в свою чергу, може впливати на механічні властивості та оброблюваність такої деревини. Ще більша різниця спостерігається у свіжозрубаному стані деревини. Щільність деревини для пригнічених дерев в цьому стані становить $911^{+4,77}$ кг·м⁻³, що на 10,3 % менше, ніж для домінантних дерев, де цей показник дорівнює $1016^{+3,09}$ кг·м⁻³. Це відображає значну різницю в структурі деревини між двома групами дерев, що може впливати на її фізичні властивості та здатність до обробки.

Середнє значення абсолютної вологості деревини для пригнічених дерев становить $57^{+0,71}$ %, що на 11,0 % менше, ніж для домінантних дерев ($64^{+0,48}$ %). Така різниця в вологості пояснюється не тільки різними умовами вирощування та зберігання дерев, але й більшою щільністю деревини у домінантних дерев, що сприяє кращому збереженню вологи. Щодо пористості деревини, то для пригнічених дерев середнє значення пористості деревини становить $53^{+0,17}$ % в абсолютно сухому стані, а в базисному стані вона варіює від 58 % до 65 %, із середнім значенням $60^{+0,18}$ %. Це на 3,9 % більше порівняно з деревиною домінантних дерев, де середнє значення пористості становить $58^{+0,16}$ % в базисному стані. Такі відмінності в пористості зумовлені меншою щільністю деревини у пригнічених дерев, що може спричиняти більшу здатність до вбирання вологи та знижувати її стабільність.

Показники анізотропії всихання деревини також вказують на важливі відмінності між двома групами дерев. Тангенціальне всихання деревини для пригнічених дерев складає $9,6^{+0,03}$ %, що на 6,8 % менше порівняно з аналогічним показником для домінантних дерев ($10,3^{+0,04}$ %). Це свідчить про меншу схильність деревини пригнічених дерев до деформацій в тангенціальному напрямку під час сушіння. Показник радіального всихання для деревини пригнічених дерев становить $6,7^{+0,05}$ %, що на 4,3 % менше, ніж для домінантних дерев ($7,0^{+0,05}$ %). Це також вказує на менші зміни в розмірах деревини в радіальному напрямку під час сушіння, що може бути важливим для стабільності матеріалу в процесі обробки. Об'ємне всихання деревини для пригнічених дерев складає $17,4^{+0,08}$ %, що на 6,5 % менше, ніж для домінантних дерев ($18,6^{+0,09}$ %). Це підкреслює, що деревина пригнічених дерев має менші зміни в об'ємі під час сушіння, що свідчить про більшу стабільність при технологічній обробці та можливість збереження її геометричних характеристик.

Такий висновок підтверджується і показниками коефіцієнта анізотропії всихання. Для деревини пригнічених дерев цей показник становить $1,43^{+0,01}$, що на 4,0 % менше, ніж для домінантних дерев, де він дорівнює $1,49^{+0,01}$. Це свідчить про меншу анізотропію всихання, що є важливим для досягнення більш рівномірного сушіння та стабільності деревини. Показники точності

вимірювань фізичних властивостей деревини для пригнічених дерев, зокрема середнє значення помилки, є меншими за гранично допустимі значення, що свідчить про високу точність і достовірність отриманих результатів. Знання якісних відмінностей є важливими при виборі деревини для конкретних цілей, зокрема для сушіння та обробки, де деревина домінантних дерев може бути більш придатною для структурних матеріалів, а деревина пригнічених дерев — для менш вимогливих застосувань.

Дослідження показників анізотропії всихання деревини є важливою складовою для глибшого розуміння процесів деформування, що відбуваються під час технологічних етапів сушіння, а також для прогнозування розмірних і якісних характеристик готових деревинних виробів (рис. 3).

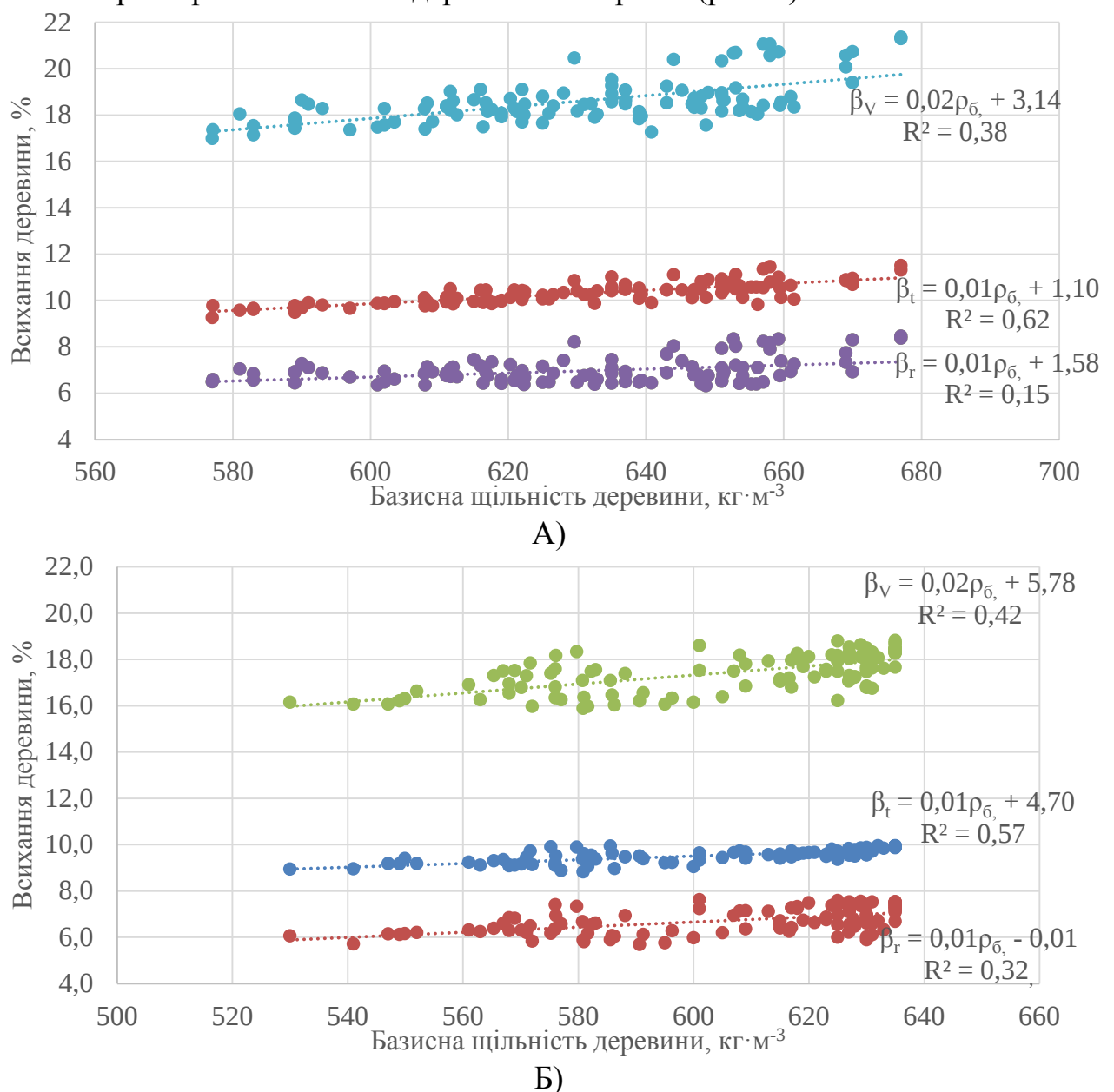


Рис. 3. Залежність між базисною щільністю та показниками анізотропії всихання деревини граба: А) для домінантних та Б) пригнічених дерев
Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Результати експериментального вивчення лінійного та об'ємного всихання деревини граба свідчать про наявність прямолінійної залежності між базисною щільністю деревини та її тангентальним всиханням

Як показано на рис. 3, залежність між базисною щільністю та тангентальним всиханням деревини граба описується лінійною функцією першого порядку для двох груп дерев: домінантних та пригнічених. Для домінантних дерев рівняння має вигляд:

$$\beta_t = 0,01\rho_6 + 1,10$$

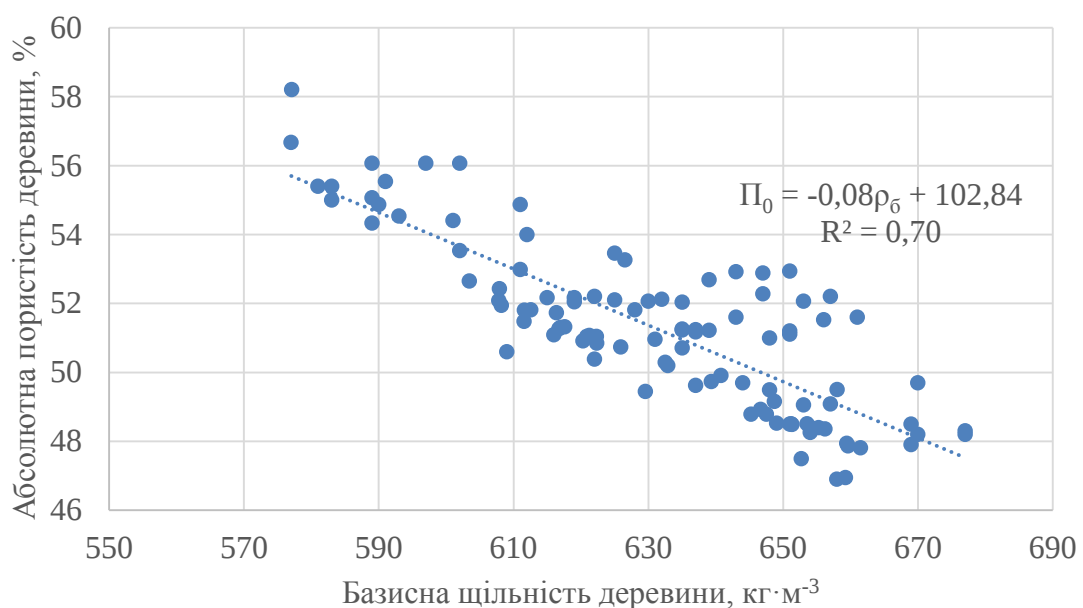
Для пригнічених дерев залежність описується рівнянням:

$$\beta_t = 0,01\rho_6 + 4,70$$

Отже, спостерігається, що у домінантних дерев коефіцієнт тангентального всихання менший порівняно з пригніченими деревами, що свідчить про різну інтенсивність всихання при однаковій зміні об'ємної маси деревини. Ці відмінності можуть бути зумовлені лісорослинними умовами та місце у структурі деревостану.

Відсутність аналогічної залежності для показників радіального всихання деревини граба доцільно пов'язати зі структурними особливостями деревини граба, зокрема, з хвилястістю річних кілець, що є характерною рисою цієї породи дерева. Така структура деревини може зумовлювати нерівномірне всихання, особливо у радіальному напрямку. Крім того, варіація коефіцієнта неоднорідності в домінантних деревах (від 1,30 до 1,71) та в пригнічених деревах (від 1,23 до 1,69) вказує на значну неоднорідність внутрішньої структури деревини, що повинно враховуватися при розробці технологічних процесів її обробки.

Аналогічно до залежності до показників анізотропії всихання встановлено лінійну залежність між базисною щільністю деревини та її абсолютною пористістю, яка описується рівнянням прямої (рис. 4).



А)

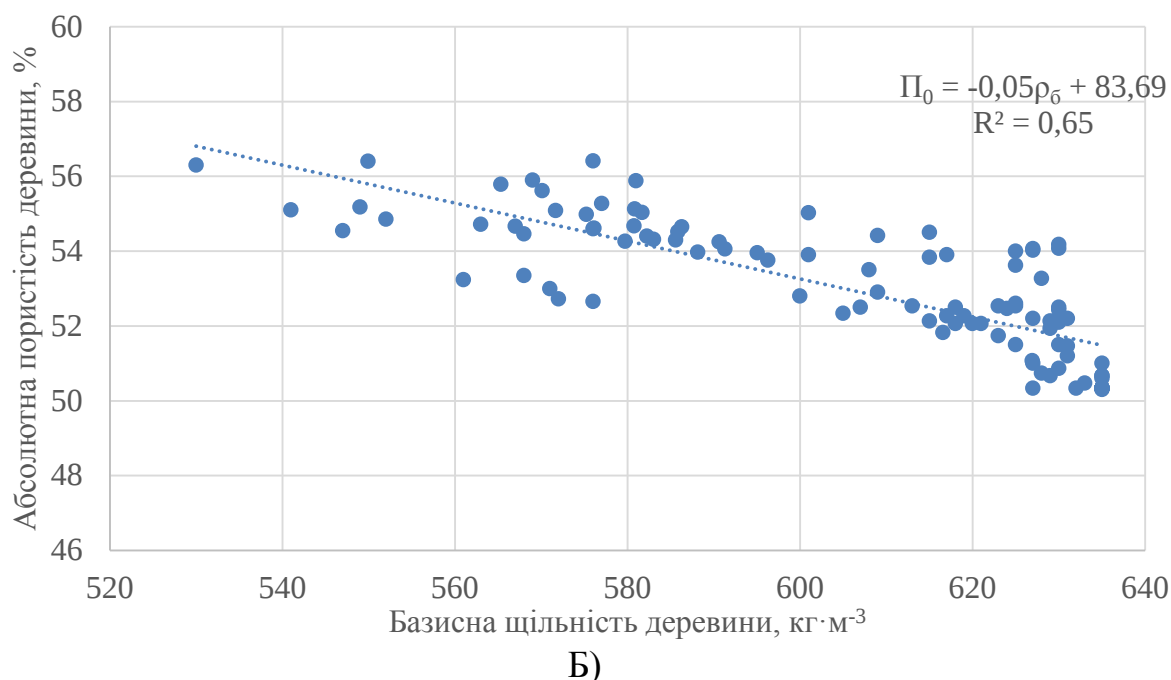


Рис. 4. Залежність базисної щільності від абсолютної пористості деревини граба: А) для домінантних та Б) пригнічених дерев

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Як видно з рис. 4, між об'ємною масою та абсолютною пористістю деревини існує прямолінійна залежність у домінантних та пригнічених дерев граба. Коефіцієнт детермінації становить відповідно 0,70 та 0,65, що дозволяє зробити припущення про адекватність одержаних лінійних рівнянь залежності досліджуваних показників. Отримані рівняння залежностей доцільно використовувати для визначення кількості депонованого вуглецю у ростучих деревах граба.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Для раціонального використання деревини як енергетичної сировини або конструкційного матеріалу в деревообробному виробництві доцільно розглядати як ключовий показник об'ємну масу та показники анізотропії всихання. Встановлено, що об'ємна маса деревини граба визначає на пористість, вологість та показники лінійного всихання. Деревина домінантних дерев характеризується вищими значеннями порівняно з деревиною пригнічених дерев, а зокрема базисної щільності та щільності в абсолютно сухому стані і відповідно визначає абсолютну вологість деревини. У пригнічених дерев щільність менша, а пористість вища, що забезпечує меншу схильність до деформацій при сушінні, проте збільшує її здатність до деформування. Встановлено, що між базисною щільністю деревини та тангентальним всиханням існує лінійна залежність, яка є відмінною для домінантних і пригнічених дерев. Відсутність аналогічної залежності для показників радіального всихання доцільно пов'язувати з хвилястою структурою річних кілець деревини граба. Встановлено також лінійну залежність між базисною щільністю та абсолютною пористістю деревини, що підтверджує взаємозв'язок між структурними та фізичними

властивостями деревини. Отримані результати мають важливе практичне значення для вдосконалення технологічних процесів сушіння та оброблення деревини граба з урахуванням її структурної неоднорідності.

Список використаної літератури

1. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинознавство: навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Львів : Апріорі, 2007. 312 с.
2. Cziczter M., Báder M. Comparative study of different hornbeams (*Carpinus betulus* L.). *Gradus*. 2024. Vol 11, № 3. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.47833/2024.3.ENG.014>.
3. Kiaei M., Abadian Z. Physical and Mechanical Properties of Hornbeam Wood from Dominant and Suppressed Trees. *Drvna Ind* 2018. 69:63–69. DOI: <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1705>.
4. Meier E. European Hornbeam. In: *Wood Database*. Accessed 22.05.2024 URL:<https://www.wooddatabase.com/european-hornbeam>.
5. Meusel H., Jager E., eds. Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäischen Flora - Band I, II, III (Gustav Fischer Verlag, Jena, 1998).
6. Normen für Holz: DIN-Taschenbuch 31: 8te Aufl. Berlin : Beuth, 2009. 604 s.
7. Paridari C.I., Jalali S.G., Sonboli A., Zarafshar M., Bruschi P. *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *Journal of Forestry Research*. 2013. 24, 301.
8. Sikkema R., Caudullo G., de Rigo D. *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-MiguelAyanz, J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. 2016. Pub l. Off. EU, Luxembourg, 2 p.

Список використаної літератури у транслітерації/Referense

1. Vintoniv I.S., Sopushynskyi I.M., Teischinger A. (2007). *Derevynoznavstvo [Wood Science]: navch. posib. Vyd. 2-he, pererobl. i dopov. Lviv : Apriori. [in Ukrainian]*.
2. Cziczter M., Báder M., (2024). Comparative study of different hornbeams (*Carpinus betulus* L.). *Gradus*. Vol 11, № 3. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.47833/2024.3.ENG.014> [in English].
3. Kiaei M., Abadian Z. (2018). Physical and Mechanical Properties of Hornbeam Wood from Dominant and Suppressed Trees. *Drvna Ind* 69:63–69. DOI: <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1705> [in English].
4. Meier E. (2024). European Hornbeam. In: *Wood Database*. Accessed 22.05.2024. DOI: <https://www.wooddatabase.com/european-hornbeam>. [in English].
5. Meusel H., Jager E., eds. (1998). Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäischen Flora - Band I, II, III (Gustav Fischer Verlag, Jena, 1998). [in English].
6. Normen für Holz (2009): DIN-Taschenbuch 31: 8te Aufl. Berlin : Beuth. 604 s. [in English].

7. Paridari C.I., Jalali S.G., Sonboli A., Zarafshar M., Bruschi P. (2013). *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *Journal of Forestry Research* 24, 301 [in English].

8. Sikkema R., Caudullo G., de Rigo D. (2016). *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayán J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, 2 p. [in English].

ANOTATION

FEATURES OF THE FORMATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF CARPINUS BETULA L. WOOD

The paper presents the results of a comprehensive study of the physical properties of the trunk wood of common hornbeam (*Carpinus betula* L.) in hornbeam-beech stands of the Ukrainian Carpathians. Structural and qualitative differences in wood between dominant and suppressed trees growing within the same type of forest-vegetation conditions were determined. The relevance of the study is due to the need to optimize the use of hornbeam wood raw materials, which is an important component of the forests of the Forest-Steppe and the Carpathian region and is characterized by valuable, dense and high-calorific wood. The study analysed the change in wood density, wood porosity and indicators of wood shrinkage anisotropy by stem height and tree categories in the stand. It was established that the average density of wood in a completely dry state in dominant trees is $728^{\pm 3.33} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, which is 4.0% higher than in suppressed trees ($702^{\pm 2.69} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). A similar pattern is observed for the basic and green wood density. The results obtained indicate that the wood of dominant trees has a denser structure, lower porosity ($\Pi = 53^{\pm 0.23} \%$), but higher humidity and a slightly greater tendency to deformation during drying. For suppressed trees, on the contrary, increased porosity ($\Pi_0 = 53^{\pm 0.17} \%$) and lower anisotropy of drying are characteristic, which makes their wood more stable during technological processing. The tangential (β_t) and radial (β_r) shrinkage rates are $10.3^{\pm 0.04} \%$ and $7.0^{\pm 0.05} \%$ for dominant trees and $9.6^{\pm 0.03} \%$ and $6.7^{\pm 0.05} \%$ for suppressed trees, respectively. Volumetric shrinkage (β_V) in dominant trees is 18.6 %, while in suppressed trees it is 17.4 %. The anisotropy coefficient ($k_{\beta t/\beta r}$) is on average 1.49 and 1.43, respectively, which indicates a moderate difference in the directions of shrinkage. Linear relationships were found between the basic density of wood and its tangential shrinkage, as well as between the basic wood density and absolute wood porosity. For dominant trees, the dependence equation has the form $\beta_t = 0.01\rho_0 + 1.10$, and for suppressed trees - $\beta_t = 0.01\rho_0 + 4.70$, which confirms the different intensity of changes in the dimensions of wood during shrinkage.

The results of the study indicate that dominant trees form denser, less porous, but anisotropic wood, while suppressed trees form less dense, with higher porosity and more uniform drying. The established patterns are the basis for further differentiation of hornbeam wood according to technological purposes, requiring dimensional stability or for energy purposes. The results obtained are of important practical importance for optimizing technological processes of drying and processing hornbeam wood, as well as for assessing its quality, structure and deposited carbon in different types of stands.

Keywords: *Carpinus betula* L., physical properties of wood, wood density, wood porosity, wood shrinkage, anisotropy, dominant and suppressed trees, Ukrainian Carpathians.

Table 2. Fig. 4. Lit. 8.

Інформація про авторів

Сопушинський Іван Миколайович, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісового господарства та раціонального природокористування Черкаського державного технологічного університету (18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460. e-mail: i.sopushynskyi@chdtu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7392-9385>).

Максимчук Руслан Тарасович, доктор філософії з напрямку лісове господарство, доцент кафедри лісового господарства та раціонального природокористування Черкаського державного технологічного університету (18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460. e-mail: maksymchuktaras@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5297-4542>).

Кополовець Ярослав Михайлович, доктор філософії напрямку лісове господарство, доцент кафедри лісівництва Ужгородського національного університету (88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46. e-mail: yaroslav.koplovets@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0006-4008-4052>).

Ivan Mykolayovych Sopushynskyi, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry and Sustainable Nature Management of Cherkasy State University of Technology (18006, Cherkasy, Shevchenko Boulevard, 460. e-mail: i.sopushynskyi@chdtu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7392-93-85>).

Ruslan Tarasovych Maksymchuk, Doctor of Philosophy in Forestry, Associate Professor of the Department of Forestry and Sustainable Nature Management of the Cherkasy State University of Technology (18006, Cherkasy, Shevchenko Boulevard, 460. e-mail: maksymchuktaras@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5297-4542>).

Yaroslav Mykhailovych Koplovets, Doctor of Philosophy in Forestry, Associate Professor of the Forestry Department of the Uzhgorod National University (88000, Uzhgorod, Pidhirna St., 46. e-mail: yaroslav.koplovets@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0006-4008-4052>).

Надходження статті 23.10.25.

Прийнято 04.12.25.

Опубліковано 25.12.25.