

АНОТАЦІЯ

Кополовець Я. М. Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 205 – Лісове господарство (20 – Аграрні науки та продовольство). – Національний лісотехнічний університет України, Львів, 2023.

Аналіз вітчизняної та іноземної наукової літератури сфокусовано на біотичному та абіотичному впливі на біологічну стійкість лісової екосистеми та її важливої складової – деревного виду. Проаналізовано структурні відмінності деревини у різних типах лісу як природного полімеру, який складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну. Біологічне руйнування деревини у ростучому дереві пов'язано із живими організмами – грибами, бактеріями та комахами, для яких вона є потенційним джерелом живлення. Проаналізовано комплексну дію різних видів патогенів із різних екологічних груп комах фітофагів, вплив яких істотно змінює захисні функції лісової екосистеми.

Біодеградацію стовбурної деревини ялиці білої розглянуто в контексті ураження ялицевих деревостанів шкідниками (короїд, вусач тощо) та грибами (коренева губка, опеньок та інші збудники стовбурної гнилизни), що відчутно впливають на кваліметричні ознаки стовбурної деревини. Літературний огляд результатів дослідження властивостей деревини ялиці білої проведено в розрізі її структурних та фізичних відмінностей від біотичних чинників з врахуванням впливу висотно-екологічних умов та типів лісу. Встановлено, що питання вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої проти поверхневої плісняви, деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів у розрізі зміни її фізичної якості деревини та кваліметричних ознак круглих лісоматеріалів залишається малодослідженим.

Для вивчення природної стійкості деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Українських Карпат відібрано 14 ялицевих деревостанів у ДП “Перечинське лісове господарство”, ДП “Великобerezнянське лісове

господарство” та ДП “Берегометське лісомисливське господарство”. Район дослідження характерний чіткою вертикальною поясністю лісової рослинності та мішаних насаджень за участю ялиці білої від 350 до 1045 м н.р.м. Вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої та зміни її фізичних властивостей під дією біологічних пошкоджень (поверхневої плісняви; деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів, комахами) проведено у вологій буковій суяличині та яличині, вологій грабово-буковій суяличині та яличині, вологій смереково-буковій суяличині та яличині.

Дослідженнями охоплено наступні лісівничо-таксаційні показники: тип лісу, склад насадження, абсолютну висоту, вік, середній діаметр, середню висоту, клас бонітету та відносну повноту. Для вивчення природної стійкості стовбурної деревини та її фізичних властивостей нами відібрано 36 модельних дерев, з яких випиляно 108 кряжів деревини. Водночас кваліметричними дослідженнями охоплено 180 дерев ялиці білої. Природну стійкість деревини ялиці білої досліджено на взірцях у кількості 2160 шт. Кваліметричними ознаками стовбурної деревини визнано вади деревини рогівку, несправжнє ядро та біологічне пошкодження комахами і пошкодження деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами. Для оброблення результатів дослідження використано програмне забезпечення SPSS 17.0, Excel та Statistica 10.0, а для порівняння середніх значень кількості річних кілець в 1 см, показників об’ємної маси та анізотропії всихання деревини застосовано однофакторний дисперсійний аналіз.

За результатами вивчення макроскопічних особливостей стовбурної деревини виділено три класи стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 см: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині на абсолютній висоті нижче 600 м н.р.м. із $N_{р.к.} < 3 \text{ шт.}\cdot\text{см}^{-1}$; 2-й клас – у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині на абсолютній висоті від 601 до 800 м н.р.м. із $3 \text{ шт.}\cdot\text{см}^{-1} \leq N_{р.к.} \leq 5 \text{ шт.}\cdot\text{см}^{-1}$ та 3-й клас – у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині на абсолютній висоті понад 800 м н.р.м. із $N_{р.к.} > 5 \text{ шт.}\cdot\text{см}^{-1}$. Варіація кількості річних кілець в 1 см ялиці білої для

досліджуваних ялицевих деревостанів перебуває у межах від 1,0 до 9,5 $\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}$ із середнім значенням 4,2 $\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}$, яке рівне річному приросту 2,4 мм, що відповідає класу якості деревини “А” для круглих лісоматеріалів.

За об’ємною масою деревини виділено аналогічно три класи стійкості: 1-й клас має стандартну щільність деревини менше 440 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, 2-й клас – від 441 до 499 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ та 3-й клас – більше 500 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Середнє значення об’ємної маси деревини 3-го класу є на 27,2% більшим від аналогічного показника 1-го класу стійкості деревини і на 12,4% – від 2-го класу. Найбільші значення анізотропії всихання деревини ялиці білої характерні для 3-го класу стійкості деревини із кількістю річних кілець більше 5 $\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}$ та стандартною щільністю більше 500 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Показник усихання деревини за об’ємом змінюється від 11,4% до 13,5% із середнім значенням 12,7%, яке є на 11,5% більшим від аналогічного показника для 1-го класу стійкості. Коефіцієнт анізотропії стиглої деревини 1-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,27 до 2,00 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r} = 2,15$, 2-го класу – від 1,91 до 2,23 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r} = 2,05$ та 3-го класу від 2,17 до 1,89 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r} = 2,03$.

За розмірно-якісними характеристиками ялиці білої визначено, що у відземковій частині стовбура довжина вади деревини - окоренкуватість є меншою на 54,5% у дерев ялиці білої віком до 75 років порівняно з деревами віком понад 75 років. Безсучкова зона ялиці білої є приблизно на 35% більшою у дерев віком до 75 років порівняно з деревами старшими за 75 років, що частково обумовлено збільшенням абсолютної повноти у досліджуваних деревостанах. Визначено, що вада деревини - рогівка істотно впливає на клас якості деревини ялиці білої, що має більше 75 років. Ширина річного кільця у відземковій частині круглого лісоматеріалу у віковій групі понад 75 років є на 8,1% більшою порівняно з аналогічним показником для круглих лісоматеріалів у віковій групі від 59 до 75 років. Діаметр несправжнього ядра в ялиці білої віком понад 75 років є в середньому на 60,4% більшим від аналогічного показника для дерев віком менше 75 років. Встановлено, що деревина несправжнього ядра характеризується наявністю вади деревини “м’яка

гнилизна” і знижує якість деревини круглих лісоматеріалів до класу “D”.

Між довжиною серединної окружності ділового лісоматеріалу та довжиною ділової деревини в стовбурі і між діаметром лісоматеріалів без кори у нижньому торці та довжиною вади деревини окоренкуватість встановлено прямолінійну залежність. Аналогічну залежність визначено між діаметром несправжнього ядра та середнім діаметром круглого лісоматеріалу ($d_{н.я.} = 1,13d_{н.м.} - 29,45; R^2 = 0,71$), а також між діаметром несправжнього ядра та діаметром круглого лісоматеріалу у верхньому торці без кори ($d_{н.я.} = 0,83 d_{\frac{1}{2}L_{стов.}} - 19,35; R^2 = 0,69$). В уражених шкідниками ялицевих деревостанах встановлено, що зі збільшенням віку дерева збільшується кількість дерев ялиці білої із несправжнім ядром та площа пошкодження заболонної деревини, а залежність між діаметром несправжнього ядра стовбура та віком дерева описується рівнянням першого порядку ($d_{н.я.} = 1,20A - 75,29, R^2 = 0,72$).

Встановлено особливості поширення хаменерія вузьколистого у різних висотно-екологічних умовах Українських Карпат. Найбільші значення рясності хаменерія вузьколистого властиві для абсолютної висоти 1042 м н.р.м., що змінюється від 20,0 шт.·100 м⁻² до 32,0 шт.·100 м⁻² із середнім значенням 25,8 шт.·100 м⁻². Найменші значення поширення виду характерні для абсолютної висоти 365 м н.р.м. і знаходяться в межах від 0,05 шт.·100 м⁻² до 0,10 шт.·100 м⁻² із середнім значенням 0,07 шт.·100 м⁻². Встановлено, що біологічні пошкодження ялиці білої та рясність хаменерія вузьколистого збільшується експоненціально щодо абсолютної висоти і описується рівняннями $N_{біол.п.} = 13,178e^{0,001AB}$ ($R^2 = 0,96$) та $P_{зн.вуз.} = 0,0042e^{0,0083AB}$ ($R^2 = 0,99$) відповідно. Ураження іржею хвої та некрозом кори ялиці білої відбувається у лісових насадженнях по схилу від вершини до підніжжя гір.

Встановлено, що ураження деревинозафарбувальними грибами *Aspergillus sp.*, *Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж 6 місяців не надто впливають на щільність стовбурної деревини. Базисна щільність деревини на початковій стадії ураження змінюється від 331 кг·м⁻³ до 419 кг·м⁻³ із середнім значенням 361 кг·м⁻³. Біологічні

пошкодження деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців уже суттєво впливають на об'ємну масу деревини. Базисна щільність деревини, ураженої грибами впродовж періоду від 6 місяців до 2 років, зменшується на 27,8% порівняно зі щільністю біологічно непошкодженої деревини ялиці білої.

Різниця між щільністю здорової деревини в абсолютно сухому стані та щільністю деревини у середній стадії біологічного пошкодження сягає 28,5...31,8%, а зі значними грибними ураженнями – 35,2...43,7%. Аналогічна тенденція характерна для базисної щільності деревини зі значним грибним ураженням. Грибні ураження *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців істотно впливають на тангентальне та радіальне всихання деревини ялиці білої, що зумовлює їх зменшення на 19,2% та 29,7% від аналогічних показників анізотропії всихання здорової деревини.

Досліджено, що зміна фізичних властивостей стовбурної деревини ялиці білої внаслідок грибних уражень *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. упродовж більше 6 місяців зменшує якісні характеристики деревини, що потрібно враховувати у веденні лісового господарства для своєчасної заготівлі якісних круглих лісоматеріалів. За природною стійкістю стовбурної деревини ялиці білої виділено чотири класи: I) здорова деревина – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревина з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревина із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; IV) деревина зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років.

Ключові слова: ялиця біла, пошкодження деревини шкідниками, річне кільце, об'ємна маса деревини, всихання деревини, тип лісу, абсолютна висота, оцінка якості деревини.

SUMMARY

Kopolovets Ya. M. Natural resistance of *Abies alba* Mill. in the Ukrainian Carpathians. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on the acquisition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 205 – Forestry (20 – Agrarian sciences and food). Ukrainian National Forestry University, Lviv, 2023.

The analysis of domestic and foreign scientific literatures was focused on the biotic and abiotic impact on the biological resilience of the forest ecosystem and its important component such as tree species. The structural features of wood in the different forest types as a natural polymer consisting of cellulose, hemicellulose and lignin was analyzed. The biological destruction of wood in a growing tree was associated with living organisms – fungi, bacteria, insects and other pests, for which it is a potential source of nutriment. The complex action of different types of pathogens from different ecological groups of phytophagous insects, the influence of which significantly changes the protective functions of the forest ecosystem, was analyzed.

The issue of biodegradation of Silver fir stem wood was considered in the context of damage of fir stands by pests (bark beetle, woodwasp, etc.) and fungus (root sponge, honeysuckle and other pathogens of stem rot), which significantly affect the qualimetric characteristics of the stem. Literature review of the results of the study of the wood properties of Silver fir states that the structural and physical wood features influencing by biotic factors in the various altitude and forest types were studied. It has been established that the issue of studying the natural resistance of white fir stem wood against surface mould, wood-staining and wood-destroying fungi in terms of changes in its physical quality and qualimetric characteristics of round timber remains unexplored.

To study the natural wood resistance of *Abies alba* Mill. in the forest conditions of the Ukrainian Carpathians, 14 fir stands were selected in the State Enterprises “Perechynske Forestry”, “Velykoberezhnyanske Forestry” and “Berehomet

Forestry". The research area was characterized by a clear vertical zonation of forest vegetation and mixed plantations with the participation of Silver fir from 350 to 1045 *m* above sea level. The study of the natural resistance of Silver fir stemwood and changes in its physical properties under the impact of biological damages (surface mold; wood-staining and wood-destroying fungi, insects) was carried out in wet beech-fir and wet beech-hornbeam-fir forest types.

The main silvicultural and taxonomic indicators of stands with the participation of Silver fir included forest types, stand composition, altitude, age, average diameter and height of trees, quality class and relative stocking indexes. To study the natural resistance of stem wood and its physical properties, 36 model trees were selected by us, of which 108 wood logs were cut. At the same time, 180 Silver fir round timbers were covered by wood quality assessment studies. The total number of wood samples taken for studies of the natural resistance of Silver fir wood was 2160 pieces (*pcs*). The qualitative features of stem wood were represented through compression wood, false heartwood and biological damages of the insects, and damages by wood-staining and wood-destroying fungi. The results of the study were processed using the software SPSS 17.0, Excel and Statistica 10.0, and to compare the average values of the number of annual rings in 1 *cm*, wood density and wood shrinkage, the one-way analysis of variance was used.

Based on the research results of qualimetric features of stem wood density, there were identified three classes of the wood resistance according to the number of annual rings per 1 *cm*: Class 1 is characterised in the wet hornbeam-beech subfir and fir at altitude below 600 *m a.s.l.* with $N_{treerings} < 3 \text{ pcs} \cdot \text{cm}^{-1}$; Class 2 – in the wet spruce-beech fir and beech subfir at altitude from 601 to 800 *m a.s.l.* with $3 \text{ pcs} \cdot \text{cm}^{-1} \leq N_{treerings} \leq 5 \text{ pcs} \cdot \text{cm}^{-1}$, and Class 3 – in the wet spruce-beech fir and beech fir at altitude of above 800 *m a.s.l.* with $N_{treerings} > 5 \text{ pcs} \cdot \text{cm}^{-1}$. The variation of the number of annual rings per 1 *cm* of Silver fir in the studied fir stands ranges from 1.0 to 9.5 $\text{pcs} \cdot \text{cm}^{-1}$ with a mean value of 4.2 $\text{pcs} \cdot \text{cm}^{-1}$, which is equal to an annual growth of 2.4 *mm*, which corresponds to the wood quality class "A" of round timbers.

Similarly, three classes of wood resistance are distinguished through wood

density: Class 1 is characterized by wood density of less than $440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Class 2 – from 441 to $499 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, and Class 3 – more than $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. The mean value of stem wood density of 3rd Class is 27.2% higher than the similar variable of 1st Class of wood resistance and 12.4% higher than 2nd Class. The highest values of the shrinkage anisotropy of Silver fir wood are characterised by 3rd Class of wood resistance with the number of annual rings more than $5 \text{ pcs}\cdot\text{cm}^{-1}$ and the standard density of more than $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. The volumetric shrinkage of wood varies from 11.4% to 13.5% with an mean value of 12.7%, which is 11.5% higher than the same variable for 1st Class of wood resistance. The coefficient of shrinkage anisotropy of maturewood of 1st Class of wood resistance of Silver fir varies from 2.27 to 2.00 with mean value of $k_{\beta t/\beta r} = 2.15$, 2nd Class – from 1.91 to 2.23 with mean value of $k_{\beta t/\beta r} = 2.05$ and 3rd Class – from 2.17 to 1.89 with mean value of $k_{\beta t/\beta r} = 2.03$.

According to the size and quality characteristics of Silver fir, it was determined that there were wood rotundity in the lower stem length less by 54.5% in Silver fir trees under 75 years of age compared to trees older than 75 years. The knotless zone of Silver fir was approximately 35% larger in trees under 75 years of age compared to trees older than 75 years, which is partly due to increasing the absolute stocking in the researched stands. It is determined that the compression wood in the tree rings affected significantly the quality class of Silver fir in the age group older than 75 years. The width of the annual rings in the lower stem length in the age group over 75 years was 8.1% greater compared to the same indicator for round timber in the age group from 59 to 75 years. The diameter of the false heartwood in Silver fir of the age group over 75 years was on average 60.4% larger than the similar value for trees under 75 years of age. It was established that the wood of the false heartwood was characterized by wood defects "soft rot" and reduced the wood quality class of round timbers to class "D".

There was a rectilinear dependence between the length of the middle circumference of commercial timbers and the length of commercial timbers in the stem as well as between the diameter of timber without bark in the lower stem length and the length of the wood defect. A similar relationship was found between the

diameter of the false heartwood and the middle diameter of the round timbers ($d_{h.a.} = 1,13d_{h.m.} - 29,45; R^2 = 0,71$), as well as between the diameter of the false heartwood and the diameter of the round timbers at the upper stem length without bark ($d_{h.a.} = 0,83 d_{1/2L_{cmob.}} - 19,35; R^2 = 0,69$). In pest-infested fir stands it was found that with increasing the age of the trees increased the number of Silver fir trees with the false heartwood and the area of damaged sapwood, and the relationship between the diameter of the false heartwood and tree age was described by the first order equation ($d_{h.a.} = 1,20A - 75,29, R^2 = 0,72$).

There was found peculiarities of the distribution of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. in the different altitudinal and ecological conditions of Ukrainian Carpathians. The highest values of the abundance of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. are characterized at altitude of 1042 m a.s.l., they ranges from 20.0 to 32.0 units·100 m⁻²-with mean value of 25.8 units·100 m⁻². The lowest values of the species distribution are characterized at altitude of 365 m a.s.l. and they varies from 0.05 to 0.10 units·100 m⁻² with mean value of 0.07 units·100 m⁻². It was found that the biological damage of Silver fir and the abundance of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. increases exponentially with respect to altitude and is described by the equations $N_{biol.dam.} = 13,178e^{0,001AB}$ ($R^2 = 0,96$) and $P_{cham.ang.} = 0,0042e^{0,0083AB}$ ($R^2 = 0,99$), respectively. The needle rust and bark necrosis of Silver fir occur in forest stands along the slope from the top to the foot of the mountains.

It was found that the lesions of wood-staining fungi *Aspergillus sp.*, *Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz and *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. for 6 months did not significantly affect the stemwood density. The basic wood density at the initial stage of the lesion varied from 331 kg·m⁻³ to 419 kg·m⁻³ with an average value of 361 kg·m⁻³. Biological damages by wood-destroying fungi *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for 6-24 months significantly affected the stemwood density. The basic density of wood affected by fungi in the period from 6 months to 2 years decreased by 27.8% compared to the wood density of not damaged Silver fir.

The difference between the dry wood density of healthy trees and trees with the medium biological wood damages reached 28.5... 31.8%, and substantial biological wood damages – 35.2... 43.7%. A similar trend was characterized by the basic wood density with significant fungal damages. Fungal lesions of *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for 6-24 months significantly affected the tangential and radial wood shrinkage of Silver fir, which caused their reduction by 19.2% and 29.7% compared with similar indicators of shrinkage anisotropy of healthy wood.

It is investigated that the change in the physical properties of the stemwood of Silver fir as a result of fungal lesions *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for more than 6 months caused the decrease in the quality characteristics of stemwood, which must be taken into account in the forest management in order to timely harvest high-quality round timbers. According to the natural resistance of the stemwood of Silver fir, there were four classes established: I) healthy wood without any signs of fungal infection in the trunk; II) initial wood damages caused by wood-staining fungi within up to six months; III) medium wood damages caused by wood-destroying fungi within the timeframe from 0,5 to 2 years; and IV) substantial wood damages caused by wood-destroying fungi for more than 2 years.

Key words: silver fir, wood damage by pests, annual ring, wood density, wood shrinkage, forest type, altitude, wood quality assessment.