

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий Інститут лісового і садово-паркового господарства

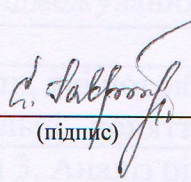
Кафедра лісової таксації та лісовпорядкування

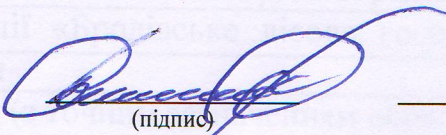
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
МАГІСТРА

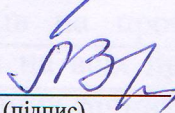
на тему: РАДІАЛЬНІ ПРИРОСТИ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В  
УМОВАХ ФІЛІЇ БРОДІВСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО  
ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ»

Спеціальність 205 Лісове господарство  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Лісове господарство  
(код і назва)

Керівник кваліфікаційної роботи  доц. Гаврилюк С.А.  
(підпис) (посада, наук. ступінь, прізвище та ініціали)

Виконав ст. гр. ЛГз-61м  Дубовий А.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент  проф. Лавний В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Львів – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут: Інститут лісового і садово-паркового господарства

Кафедра: лісової таксації та лісовпорядкування

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: 205 Лісове господарство

Освітньо-професійна програма: лісове господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Ільків І.С.

« 11 » 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

Дубовому Андрію Петровичу

(прізвище, ім'я та по-батькові студента)

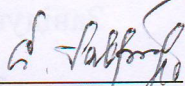
- Тема роботи: I.12 «Радіальні прирости дерев сосни звичайної в умовах філії Бродівське лісове господарство ДП «Ліси України»»  
керівник роботи Гаврилук С.А., к. с.-г. н., доцент  
затверджені наказом по університету від « 25 » жовтня 2024 р. № С – 840.
- Термін подання студентом роботи: 06.12.2024 р.
- Вихідні дані до роботи: пояснювальна записка до проекту організації і розвитку лісового господарства ДП «Бродівське лісове господарство», літературні джерела, результати польових досліджень з відмежування пробних площ; лісотаксаційні нормативи.
- Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити):  
Розділ 1. Радіальні прирости – загальні поняття. Розділ 2. Програма, об'єкт, методика та обсяг дослідження. Розділ 3. Аналіз річних радіальних приростів дерев сосни звичайної в умовах філії «Бродівське лісове господарство». Висновки. Список використаної літератури
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
таксаційна характеристика деревостанів на пробних площах; фактичні річні радіальні прирости; радіальні прирости на всіх пробних площах; детрендування даних річних приростів; хронологізація даних річних приростів; індекси радіальних приростів.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 11.09.24 р.

Керівник роботи

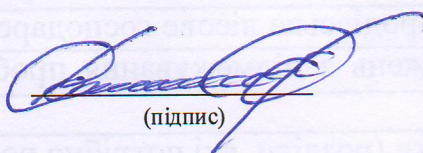
  
(підпис)

доц. Гаврилук С.А.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

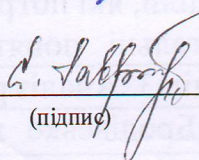
Номер	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання вихідного завдання	11.09.24	виконано
2	Збір матеріалу для загальної частини роботи	16.09 – 29.09.24	виконано
3	Виконання польових робіт	30.09 – 27.10.24	виконано
4	Опрацювання зібраного фактичного матеріалу	28.10 – 03.11.24	виконано
5	Опрацювання літературних джерел	04.11 – 10.11.24	виконано
6	Написання загальних розділів роботи	11.11 – 17.11.24	виконано
7	Написання спеціальної частини	18.11 – 26.11.24	виконано
8	Оформлення ілюстрацій	27.11 – 29.11.24	виконано
9	Завершення роботи	30.11 – 06.12.24	виконано
10	Написання доповіді, рецензування роботи	06.12.24	виконано

Студент

  
(підпис)

Дубовий А.П..

Керівник роботи

  
(підпис)

Гаврилук С.А.

Примітка:

1. Форму призначено для видачі завдання студенту на виконання кваліфікаційної роботи і контролю за ходом роботи з боку кафедри і директора інституту.
2. Розробляється керівником кваліфікаційної роботи. Видається кафедрою.
3. Формат бланка А4 (210 × 297 мм), 2 сторінки на одному аркуші з двох сторін.

### УДК 630\*5

**Дубовий А.П.** (2024). *Радіальні прирости дерев сосни звичайної в умовах філії Бродівське лісове господарство ДП «Ліси України»* (Кваліфікаційна робота магістра). НЛТУ України, Львів, Україна.

У кваліфікаційній роботі магістра досліджувалося питання вивчення радіальних приростів сосни звичайної в умовах філії «Бродівське лісове господарство». Дослідження проведено на 4 пробних площах штучних соснових деревостанів різного віку, де взято зразки кернів з 20 облікових дерев. Проаналізовано методику взяття зразків кернів, їх обробку та вимірювання ширини річних кілець. За даними вимірювань радіальних приростів проведено аналіз зміни радіальних приростів за період від 1913 по 2023 роки. Для кращого узгодження даних проведено синхронізацію, хронолізацію та детрендування даних фактичних радіальних приростів та індексів радіальних приростів у підготовлених скриптах у середовищі R Studio.

**Ключові слова:** приріст, сосна звичайна, ширина річного кільця, синхронізація, хронолізація, детрендування

Всі закономірності проілюстровано.

Табл. 4. Іл. 13. Бібліограф.: 51.

### UDC 630\*5

**Dubovyi A.P.** (2024). *Radial increments of the pine trees in the conditions of the branch Brody Forestry State Enterprise «Forests of Ukraine»* (Master's thesis). UNFU, Lviv, Ukraine.

In the master's qualification thesis, there were investigated the issue of studying the radial increments of Scots pine in the conditions of branch Brody Forestry. The research was conducted on 4 temporary sample plots of artificial pine stands of different ages, where the core samples were taken from 20 average trees. The method of taking core samples, their processing and measuring the width of annual rings was analyzed. According to the measured radial increments, an analysis of the change in radial increments for the period from 1913 to 2023 was carried out. For better data coordination, the synchronization, chronolization and detrending of the data of actual radial increments and tree ring width data were carried out in prepared scripts in the R Studio environment.

**Keywords:** increment, Scots pine, annual ring width, synchronization, chronolization, detrending

All patterns illustrated.

Tab. 4. Il. 13. Ref.: 51

## ЗМІСТ

	стор.
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. РАДІАЛЬНІ ПРИРОСТИ – ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ</b> .....	10
1.1. Поняття про річні кільця .....	10
1.2. Вивчення радіальних приростів деревних видів.....	14
<b>РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ’ЄКТ, МЕТОДИКА ТА ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	20
2.1. Програма робіт .....	20
2.2. Методика закладання пробних площ та їх камерального опрацювання .....	21
2.3. Методика взяття кернів та їх підготовки до використання .....	24
<b>РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РІЧНИХ РАДІАЛЬНИХ ПРИРОСТІВ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ ФІЛІЇ «БРОДІВСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»</b> .....	30
3.1. Особливості вимірювання ширини річних кілець .....	30
3.2. Аналіз фактичних даних величини радіального приросту .....	32
3.3. Синхронізація даних радіальних приростів .....	36
3.4. Хронологізація та детрендування даних радіального приросту .....	39
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	47
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	50

## ВСТУП

Суспільство має надзвичайно інтенсивний та багатогранний вплив на навколишнє середовище, яке під їх впливом в останні десятиріччя значно змінюється. Цього впливу зазнають і біоценози, які по-різному реагують на такі зміни і є досить чутливими до них. Рослинні угруповання, які серед іншого визначають стійкість навколишнього середовища, є досить чутливими до змін, зокрема до температурного та водного режимів.

Одним із проявів впливу людини на навколишнє середовище стала зміна температурних показників у результаті глобальних змін клімату. Глобальні та локальні зміни клімату мають значний вплив і на лісове господарство. В останні десятиліття вплив людини на зміну температури і показників водного балансу особливо інтенсивний. Деревні рослини найбільш вразливі до зміни клімату та водного режиму, оскільки багаторічні лісові насадження змушені пристосовуватися до нових умов або вони гинуть. Ліси та лісове господарство можуть відігравати значну роль у досягненні та реалізації програм кліматичної політики щодо зниження концентрації вуглекислого газу в атмосфері, зменшення парникового ефекту, прискорення декарбонізації світової економіки, покращення якості ґрунту та водообміну в біоценозів, поліпшення соціально-економічних умов сільського населення та охорони навколишнього середовища. Таким чином, окрім пом'якшення наслідків зміни клімату, існує потреба адаптуватися до її наслідків. Тому особливо актуальним є вивчення впливу основних факторів на продуктивність і радіальний приріст деревних рослин.

Річний радіальний приріст дерев є складним біологічним процесом, який залежить від багатьох екзогенних та ендогенних факторів. Закономірності мінливості радіального росту зумовлені біологічними особливостями деревних видів, екологічними проблемами місця зростання та мінливістю умов виникнення кліматичних факторів. Радіальні особливості росту дерев різних деревних видів свідчать про вплив різноманітних антропогенних, біотичних та абіотичних факторів. Під час сезонного зростання проявляються генетичні

особливості різних видів деревних рослин і їх вік; узгоджені процеси виробництва і диференціації клітин в апікальній і вторинній меристемах. На інтенсивність цих процесів впливає як комплекс постійних факторів (географічне положення, клімат, ґрунт), так і змінних (погодні умови, вміст вологи в ґрунті, мінеральне живлення). Процес росту рослин суттєво залежить від стану зовнішнього середовища, що визначається, в тому числі, кліматичними умовами. Сезонні та річні коливання опадів і температури є найпоширенішими факторами, що обмежують ріст чутливих дерев. Багатьма дослідниками встановлено залежність між зміною радіального росту деревних рослин і кліматичними факторами, зокрема температурою і вологістю ґрунту (Babushkina, E.A., Knorre, A.A., Vaganov, E.A., & Bryukhanova, M.V., 2011; Demina, A.V., Belokopytova, L.V., Andreev, S.G., Kostyakova, T.V., & Babushkina, E.A., 2017; Czyżyk, K., 2021; Koval I., Bräuning A., Melnik E., & Voronin V. O., 2017). Однак, як наголошують вказані вчені, кореляція між закономірностями росту деревних рослин і значеннями метеорологічних і гідродинамічних змінних наразі вивчена недостатньо.

Річні радіальні прирости у всьому світі використовується для дослідження впливу факторів навколишнього середовища на динаміку росту деревних рослин, зокрема підвищення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері забруднення повітря різними хімічними елементами у зв'язку із викидами та інше.

Дослідження ширини річних кілець та їх щільності у останні десятиріччя дозволило суттєво розширити уявлення людини про кліматичні зміни, які відбувалися у далекому минулому. Дослідження зразків викопної деревини із минулих тисячоліть дозволяє оцінити кліматичні показники, які були станом на той час, а ізотопний аналіз цих зразків дає уявлення про період росту таких зразків. Проте через недостатність таких даних, яких збереглося дуже мало, результати отриманих закономірностей важко апроксимувати на значні території для вивчення кліматичних змін у минулому. Тому є значна потреба у додаткових даних про деревні прирости на різні регіони землі для оцінки

регіональних змін клімату з метою апроксимації результатів у глобальному масштабі. Цей напрям у науці отримав назву дендрокліматологія.

Сучасні дослідження радіальних приростів існуючих (ростучих) дерев дає інформацію про зміни кліматичних показників тільки на протязі максимум кількох століть, оскільки дерева мають обмежений вік росту. Сьогодні виділяють 4 основні напрямки досліджень. Перший напрям – це дослідження значних змін у температурному режимі регіонального масштабу на основі вимірювань ширини річних кілець. Другий – це розширення географії досліджень для створення бази даних приростів у ширшому масштабі із врахуванням умов внутрішньої мінливості. Третій – це розширення методів, підходів, що базуються на статистичній оцінці величини радіальних приростів. Останній – це перехід від суто температурних показників до ширшого кола кліматичних показників, які можна вивчати на основі аналізу річних кілець.

Наші дослідження проводяться на локальному рівні для оцінки величини радіальних приростів в масштабах одного деревного виду для вивчення потенційних умов для збільшення продуктивності деревостанів. Метою наших досліджень є виявлення закономірностей зміни річних радіальних приростів в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України» та виявлення чинників, які впливають на величину радіальних приростів.

Тому об'єктом наших досліджень є зміна радіальних приростів дерев сосни звичайної різного віку в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України».

Предметом дослідження є виявлення закономірностей зміни радіальних приростів дерев сосни звичайної різного віку в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України».

## РОЗДІЛ 1. РАДІАЛЬНІ ПРИРОСТИ – ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ

### 1.1. Поняття про річні кільця

Радіальний приріст рослин зумовлений тим, що внаслідок зміни пір року, що зумовлено обертанням Землі навколо Сонця, виникають ритмічні періоди змін температурного режиму. У певні сезонні періоди виникають умови, коли ріст деревних рослин призупиняється або припиняється взагалі внаслідок таких температурних умов, коли проходження хімічних реакцій поділу клітин не відбувається взагалі або відбуваються дуже незначні зміни. Така щорічна зміна вегетаційних і невегетаційних періодів часто пов'язана зі змінами в типах і характеристиках нових деревних клітин, що розвиваються протягом року. Ці зміни пов'язані з видимими як неозброєним оком, так і на мікроскопічному рівні, контурами річних кілець (рис. 1.1).

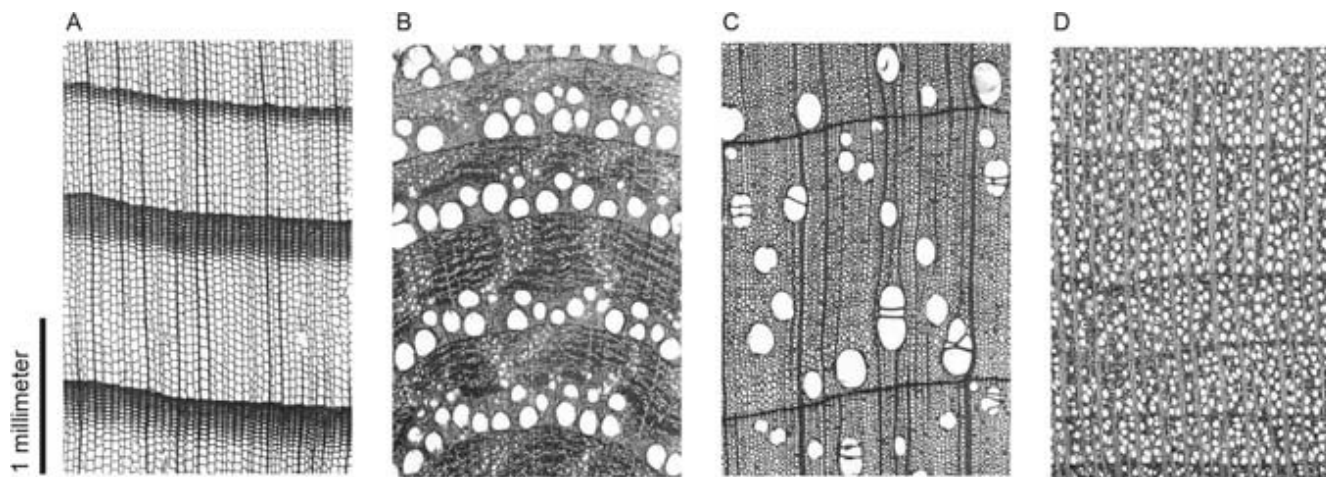
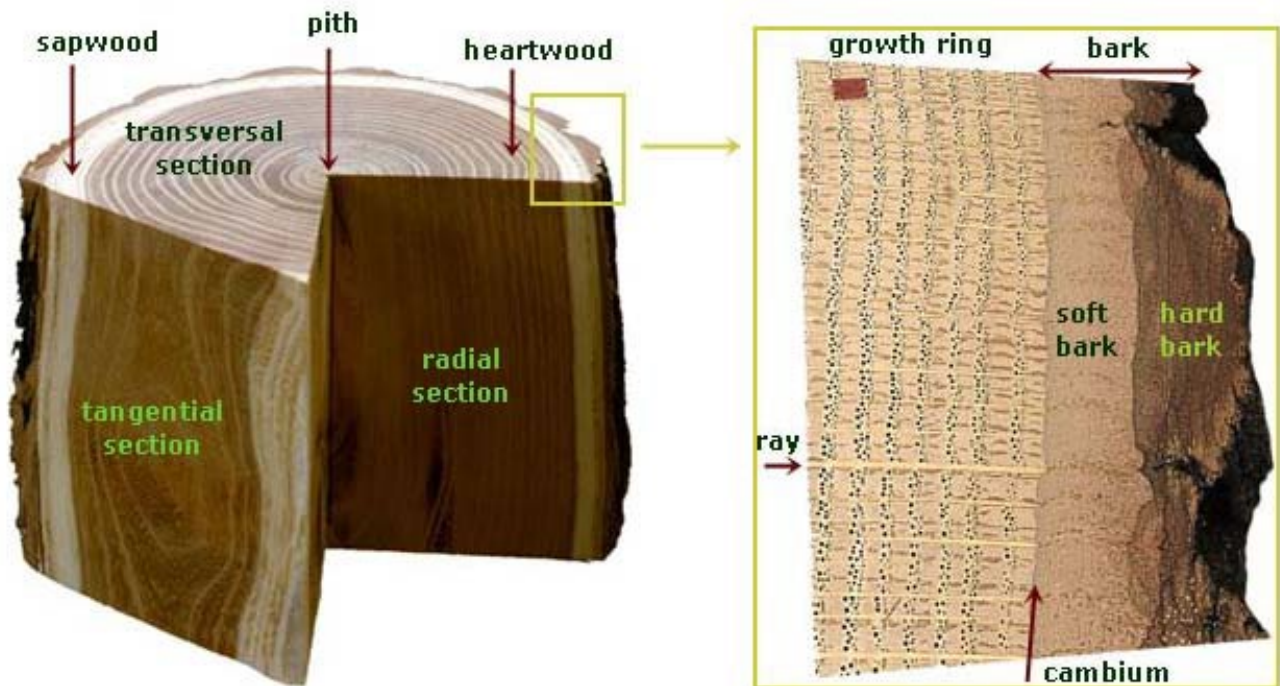


Рис. 1.1. Приклади деревної анатомічної та деревно-кільцевої структури для А - голонасінних (*Abies alba*), В – кільчастих пористих покритонасінних рослин (*Quercus pubescens*); С – дифузно-напівкільцевих пористих покритонасінних рослин (*Juglans regia*) та D – дифузно-напівкільцевих пористих покритонасінних рослин (*Malus domestica*) (за Siegwolf, 2021)

У хвойних (голонасінних) трахеїдні клітини, що утворюються на початку вегетаційного періоду, як правило, збільшуються до значних розмірів, але мають

тонкі клітинні стінки. У міру прогресування та завершення вегетаційного періоду клітини трахеїд хвойних, як правило, стають меншими, особливо в радіальному напрямку, і мають товщі клітинні стінки. У листяних порід (покритонасінних) кількість меж деревних клітин також можна диференціювати на основі характеристик судин (часто більших і переважно розподілених у першій частині кільця) і більш щільних волокон наприкінці вегетаційного періоду. Саме ці річні прирости та можливість їх розрізняти та ідентифікувати, тобто відносити до певного року, є основою для дендрохронології.

Деревина складається із клітин різної форми і розмірів. У радіальному перерізі стовбура виділяють різні частини деревини: кора, луб, камбіальна частина, деревина та серцевина (рис. 1.2).



**Рис. 1.2. Будова деревини (за Schoch, W., Heller, I., Schweingruber, F.H., & Kienast, F., 2004)**

Кора має два шари. Зовнішній шар, або власне кора (hard bark) – це частина, що покликана захищати дерево від впливу зовнішніх чинників, зокрема механічних пошкоджень. Внутрішня частина кори (soft bark) у вітчизняній

літературі носить назву лубу і виконує переважно механічні функції перенесення поживних речовин від крони до низу дерева. Кору від деревини відділяє шар камбію, який покликаний власне для формування клітин деревини, тобто річних кілець.

Річні кільця або річні шари – це частина деревини, що приростає за вегетаційний період. На поперечному зрізі деревини річні кільця мають форму концентричних кіл. Річні кільця мають дві основних частини – це т.з. рання та пізня деревина. Рання деревина, яка зазвичай на поперечному зрізі має світліший відтінок, переважно формується навесні. Пізня частина кільця – це результат формування деревини влітку і вона має більш темний відтінок. Таке формування деревини сформувалося під впливом умов зовнішнього середовища. Навесні, коли іде інтенсивний сокорух у деревині і формується рання деревина, ця частина деревини мусить мати більші фізичні параметри для транспортування води та поживних речовин. Тому рання деревина зазвичай має більші розміри клітин, стінки таких клітин тонші. Тому з механічної точки зору ця частина деревини є менш щільна, порівняно із пізньою деревиною.

Пізня деревина формується у другій частині вегетаційного періоду, коли дерево сформувало крону з листям, які в силу збільшення своєї маси створюють тиск на дерево. Відповідно в цей час формуються менші за розмірами, більш товстостінні клітини, які на поперечному зрізі видно як пізня, більш темніша, деревина. Тому пізня деревина за механічними властивостями більш щільніша та міцна.

В результаті таких процесів за календарний рік формуються два шари, які носять назву річних шарів або кільце. На формування таких річних кілець впливають багато чинників переважно зовнішнього впливу. У зв'язку із тимчасовими різкими температурними перепадами, або внаслідок припинення деревом асиміляційних процесів, у річному кільці можуть формуватися т.з. «псевдокільця». Ці псевдокільця формуються, як правило, як пізня деревина,

тобто більш щільна, але з настанням сприятливих умов, дерево повертається до нормального камбіального поділу і знову формується рання деревина. На поперечних зрізах псевдокільця можна часто помітити як такі, що не повністю сформувалися (не мають замкнутого кільця), вони нечіткі, межі їх нерівні тощо. Тому у таких випадках слід детально аналізувати наявність псевдокільця для уникнення неправильних вимірів.

Річні кільця, які видно неозброєним оком або в мікроскопі, можливо аналізувати тільки на деревині тих деревних видів, які зростають в умовах змін сезонів. Наприклад, деревні види тропічного поясу зазвичай не формують чітко виражених ранньої та пізньої деревини внаслідок того, що тут немає зміни пір року із значними перепадами температур. Наприклад, деревні види мангрових лісів не формують річні кільця, а датування таких зразків базується виключно на вимірюваннях товщини клітинних стінок, де за певними алгоритмами можна із певною точністю визначити приблизну межу між річними кільцями і відповідно оцінити вік дерева.

Форма, розміри, чіткість та ширина ранньої та пізньої деревини, що формують річні кільця, залежать від багатьох факторів. Зокрема кожен деревний вид має специфічні річні кільця, які більшою чи меншою мірою видно на поперечному зрізі. Наприклад, хвойні деревні види наших лісів, такі як сосна звичайна, ялиця біла, ялина європейська дуже добре видно навіть неозброєним оком. Окремі деревні види, такі як дуб звичайний, ясен звичайний та інші також мають чітко видимі річні кільця, тоді як бук лісовий – це приклад деревного виду, де річні кільця важко оцінити навіть під мікроскопом. Окрім деревного виду, на якість річних кілець впливають і погодні умови. За сприятливих погодних умов річні кільця формуються більшими. Також у багатих типах лісу, де є достатня кількість поживних речовин, нормальний гідрологічний режим, річні кільця також формуються ширшими, чіткішими, рівнішими тощо. Саме тому прирости дерев у багатших умовах дають кращі прирости за діаметром. Закономірності приросту

деревини використовують для оцінки тих факторів, які впливали на ріст та розвиток окремих дерев. Наявність вузьких, нечітко виражених річних кілець, вказує на несприятливі умови зростання. Такі річні кільця можуть формуватися у випадку затінення дерева або впливу несприятливих температурних чи гідрологічних умов. Тому за шириною річних кілець можна оцінити не тільки вік дерева, але й закономірності росту дерева залежно від впливу умов зовнішнього середовища. Наука, що займається такими питаннями, називається дендрохронологією. Окремим випадком використання підходів у дендрохронології є вивчення питання датування деревини, її походження та ідентифікацію, що є предметом криміналістики, наголошують Bobiec, et al. (2017). Згадувана у роботі дендрокліматологія вивчає закономірності зміни ширини річних кілець залежно від кліматичних показників на території досліджень. Окремим випадком використання залежностей ширини річних кілець є вивчення їх зміни на зразках деревини, що збереглася з прадавніх часів. Наука, що займається такими питаннями, називається дендропалеонтологія.

## **1.2. Вивчення радіальних приростів деревних видів**

На величину радіальних приростів дерев можуть впливати найрізноманітніші чинники, серед яких найбільш значимими можуть бути конкуренція дерев у деревостанах – як внутрішньовидова, так і міжвидова, ґрунтово-гідрологічні умови, багатство ґрунту, наявність забруднень та кліматичні чинники, які сьогодні набувають особливого значення у зв'язку із впливом змін клімату. Тому багато досліджень як вітчизняних, так і закордонних дослідників, динаміки радіальних приростів присвячено вивченню впливу різних чинників на радіальні прирости.

Матусевич, (2024) аналізував радіальні прирости дерев ялини європейської на північно-східному макросхилі Українських Карпат. За даними автора річні радіальні прирости дерев ялини європейської мають значні розмахи варіації. Автор пов'язує це з тим, що на приріст дерев за діаметром впливають багато

чинників. Так, на основі даних контрольних років, коли були виявлені сприятливі та несприятливі роки для радіальних приростів, та порівняння фактичних даних радіальних приростів, виявлено, що у 1947 та 2004 році було суттєве зменшення радіального приросту. Загалом у 1980-их роках автор спостерігає значне зменшення радіальних приростів, тоді як у 2000-их роках відбувається певне збільшення радіального приросту порівняно із приростами у ХХ столітті. Значні зниження радіальних приростів у 2004, 1982, 1980, 1974, 1949 та 1948 роках автор пов'язує із гідрологічним режимом, зокрема це були порівняно посушливі роки. Проте кореляційний аналіз показав, що кількість опадів має незначний вплив на величину радіальних приростів, тоді як вага його за останні 30-40 років зростає в зв'язку із значним дефіцитом води, коли водоносні горизонти, що живлять деревну рослинність, значно знизилися. Температура навколишнього середовища за даними автора не має визначального впливу на величину радіального приросту.

Зв'язок радіальних приростів та кліматичних показників встановили Мазепа & Шишканинець (2014) та Шишканинець & Мазепа (2018). Радіальні прирости в гірських умовах залежать від експозиції схилу, де інші кліматичні умови. Так, автори відзначають, що в межах деревного зрізу радіальні прирости з південного боку на південних схилах та з північного боку на північних схилах є більшими порівняно із протилежною стороною. На загал, річні прирости дерев на північних схилах є більшими, ніж на південних. У найтепліші роки, коли сонячна активність є найвищою, автори відзначають найнижчі радіальні прирости. Проте, річні прирости дерев бука лісового, що зростають на північних схилах, більше піддаються впливу кліматичних факторів. Найсуттєвіший серед кліматичних показників вплив на величину радіальних приростів виявлено для вологості та температури повітря, тоді як кількість опадів не має значного впливу на радіальні прирости. Тому автори відзначають, що якщо буде тривати підвищення середньої температури повітря поряд із зменшенням вологості, річні прирости бука лісового в умовах Українських Карпат будуть зменшуватися.

Радіальний приріст також залежить і від складу деревостану (Мазепа & Шишканинець, 2014). Так, чисті за складом букові деревостани більше піддаються впливу зміни кліматичних показників, порівняно із мішаними деревостанами. Чисті букові деревостани формують мінімальні радіальні прирости за підвищених середніх температур повітря та підвищеної кількості опадів, тоді як максимальні радіальні прирости збільшуються із збільшенням вологості повітря та оптимальних для регіону температурних показників. У мішаних букових деревостанах мінімальні радіальні прирости спостерігаються за максимальної кількості опадів та максимальної температури повітря, а максимальні прирости дерев бука лісового у змішаних деревостанах виявлено за мінімальної кількості опадів та мінімальних температур.

Дослідженнями радіального приросту дерев дуба лісового займалися Андрущенко, & Коваль, (2014), Коваль, Бологов, Нусбаум, & Юзвінський, (2015), Коваль, (2006), Вакулюк, (2009). Авторами встановлено, що деревостани дуба звичайного добре адаптовуються до зміни рівня ґрунтових вод в межах Новоград-Волинського фізико-географічного району. Насамперед автори пов'язують це з тим, що дерева дуба звичайного формують стрижневу кореневу систему, яка здатна пробивати низькі горизонти для досягнення води для свого живлення. Радіальні прирости дерев дуба звичайного із зниженням рівня ґрунтових води практично не змінилися, тоді як ясена звичайного, що зростає разом із дубом звичайним, радіальний приріст суттєво знизився. Більше того, значні посухи та теплі зими негативно позначилися на санітарному стані дерев ясена звичайного, тоді як для дуба звичайного такої закономірності не виявлено. Найбільшими лімітуючими чинниками зменшення радіальних приростів як дуба звичайного, так і ясена звичайного, є підвищення середніх температур у вегетаційний період та збільшення кількості опадів взимку.

Moir (2012) досліджуючи старовікові дубові дерева в Англії, встановив, що середній радіальний приріст дерев становить 3,15 мм/рік за перші сто років життя

дерева. Окремі зразки дерев показували значно нижчі радіальні прирости, ніж суміжні з ними. Так, окремі екземпляри дерев у період з 1952 по 1980 роки мали середній радіальні прирости менше 0,2 мм/рік. Тоді як з 1981 по 2011 роки ці дерева досягали нормального приросту за діаметром. Автор пов'язує це з тим, що у період найнижчих радіальних приростів дерева дуба звичайного інтенсивно формували потужну крону, яка розвивається в умовах паркових насаджень. Основним посилом у даному дослідженні є те, що радіальний приріст дерев дуба звичайного залежить від параметрів крони. Формування потужної крони дозволяє у наступні роки значно збільшити радіальний приріст стовбура до 2,0 мм/рік порівняно із 0,2 мм/рік у період формування крони. У паркових насадженнях навіть зрілі дерева, які сформували потужну крону, здатні давати значні радіальні прирости за діаметром.

Дослідженнями радіальних приростів дерев сосни звичайної залежно від різних чинників займалися багато вчених. Так, Коваль, Токарева, Невмивака, & Воронін (2016) встановили, що пошкоджені внаслідок пожежі дерева сосни звичайної значно знижують свій радіальний приріст. Ті особини, які займають верхній ярус деревостану і мають кращий санітарний стан, здатні відновити радіальний приріст вже за 2-3 роки після пожежі. Протилежні результати отримав Мельник, (2018), досліджуючи соснові деревостани після низової пожежі для умов міста Харків. Після пошкодження соснового деревостану пожежею значно погіршується санітарний стан цих деревостанів, а після пожежі відмічено значне спадання радіальних приростів дерев. Цю тенденцію автор пов'язує із несприятливими погодними умовами, зокрема на радіальний приріст значний вплив мали збільшення середньорічної температури та зменшення кількості опадів у аномально жаркі роки. Крім того, аналізуючи ширину не тільки річних приростів, але й ранньої та пізньої деревини, автор вказує на те, що після пожежі рання деревина зменшила приріст у 2,2-2,7 рази, тоді як пізня деревина – у 3,2-4,1 рази. Окрім впливу пожежі, на таке різке зменшення приростів ранньої та пізньої

деревини значний вплив мали аномальні температури у 2009 році. Віковий період після пожежі у 4 роки показав, що дерева сосни звичайної за цей період ще не досягли рівня радіального приросту до виникнення пожежі.

Найбільший вплив на зменшення радіального приросту дерев сосни звичайної в умовах повітряного забруднення виявив Мазепа, (2009). Так, радіальний приріст сосни звичайної в районі інтенсивних викидів в повітря забруднюючих речовин ВАТ «Азот» зменшує свої абсолютні значення під впливом цих викидів та кліматичних показників. Для окремих кліматичних показників виявлено слабкі, помірні та значні показники кореляції із радіальними приростами.

Основними кліматичними чинниками, що впливають на зменшення радіального приросту дерев сосни звичайної, є кількість опадів та середня температура повітря (Babushkina, Knorre, Vaganov, & Bryukhanova, 2011; Demina, Belokopytova, Andreev, Kostyakova, & Babushkina, 2017; Czyżyk, 2021; Koval, Bräuning, Melnik, & Voronin, 2017; Lesnik, Blyshchuk, Odruzhenko, & Behal, 2022; Коваль, & Воронин, 2019).

Дещо з іншої сторони соснові деревостани досліджували Мельник, & Зборовська, (2018), які за основу взяли соснові деревостани в однакових лісорослинних умовах, проте різняться рівнем лісогосподарських заходів. У соснових деревостанах, де проводяться регулярні господарські заходи, середня ширина річних кілець становить 1,50 мм, тоді як у деревостанах, забруднених радіоактивними відходами та у яких не проводять жодних лісогосподарських заходів останні 30 років, такий середній приріст становить меншу величину, а саме 1,16 мм/рік. Проте, експлуатаційні соснові деревостани мали вищі показники радіальних приростів і до забруднення радіонуклідами. Так, до 1982 року річні кільця дерев сосни звичайної були на 2-57 % більші, ніж на подібних ділянках без господарського втручання. Після 1982 року радіальні прирости за абсолютними показниками цих деревостанів зрівнюються. Тому автори на основі аналізу

хронограм констатують, що забруднені радіонуклідами соснові деревостани піддаються значним фізіологічним стресам, чого не відмічено для деревостанів у чистих умовах, і у яких продовжують вести лісогосподарську діяльність.

Хомюк, & Максимов, (2015) встановили зв'язок між радіальними приростами та осушенням земель на Рівненщині. Так, у період інтенсивного осушування земель насадження сосни звичайної практично відразу реагували збільшенням радіального приросту. Проте із часом вплив меліорації спадає, дерева входять до стадії відновлення і формують середній для даного регіону середній радіальний приріст. Подібні закономірності відмічено у роботі Усцький, Михайліченко, & Румянцев, (2016) для соснових та дубових деревостанів.

Як видно із наведеного вище, вивчення радіальних приростів дерев різних деревних видів є актуальним питанням дослідження у сучасній науці. Різноманіття чинників, які можуть мати вплив на радіальний приріст, є надзвичайно багато. Тому доцільно такі дослідження проводити на локальних об'єктах, які внесуть свій вклад в розуміння значимих чинників, що впливають на радіальний приріст дерев. Особливої актуальності вивчення цього питання набуває в умовах різких змін клімату, яке ми спостерігаємо сьогодні, а також визначення потенційного виживання наших аборигенних деревних видів та збільшення їх продуктивності.

## **РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИКА ТА ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для дослідження закономірностей зміни радіальних приростів дерев сосни звичайної в умовах філії «Бродівське лісове господарство» слід провести польові дослідження на пробних площах, відібрати зразки кернів, опрацювати матеріали польових досліджень у камеральних умовах для визначення основних таксаційних показників, підготувати зразки кернів для вимірювань, здійснити вимірювання та провести аналіз зміни радіальних приростів.

### **2.1. Програма робіт**

Для дослідження закономірностей зміни радіальних приростів дерев сосни звичайної слід виконати наступні види робіт:

- проаналізувати лісовий фонд філії «Бродівське лісове господарство»;
- підібрати потенційні ділянки для проведення польових вимірювань, здійснити їх натурне обстеження для визначення потенційної придатності згідно методики дослідження;
- здійснити польові вимірювання дерев у деревостанах;
- відібрати зразки кернів не менше як з 5-ти дерев на кожній пробній площі для вимірювань ширини річних кілець;
- провести камеральне опрацювання даних польових вимірювань для визначення основних таксаційних показників на пробних площах;
- підготувати зразки кернів для вимірювань з допомогою устаткування TSAPWin;
- провести вимірювання ширини річних кілець на підготовлених зразках кернів;
- провести попередній аналіз зразків, уточнення якості їх вимірювання;
- здійснити аналіз річних приростів з використанням підготовлених алгоритмів аналізу даних вимірювань;
- сформулювати висновки на основі проведених досліджень.

Метою наших досліджень є виявлення закономірностей зміни річних радіальних приростів в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України» та виявлення чинників, які впливають на величину радіальних приростів.

Об'єктом досліджень є зміна радіальних приростів дерев сосни звичайної різного віку в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України».

Предметом дослідження є виявлення закономірностей зміни радіальних приростів дерев сосни звичайної різного віку в умовах філії «Бродівське лісове господарство» ДП «Ліси України».

## **2.2. Методика закладання пробних площ та їх камерального опрацювання**

Для проведення досліджень у лісовій науці прийнято закладати пробні площі з метою визначення перш за все основних таксаційних показників деревостанів. Для проведення таких польових досліджень зазвичай слід сформулювати програму досліджень, зокрема визначитися із деревостанами, які необхідно досліджувати, проаналізувати достатню кількість таких деревостанів, визначитися із методикою проведення польових досліджень та пізнішого опрацювання даних польових досліджень.

Для підбору ділянок для закладання пробних площ зазвичай спочатку наявними на підприємстві матеріалами лісовпорядкування (таксаційними описами та планово-картографічними матеріалами) підбирають потенційні ділянки для проведення польових досліджень.

Оскільки згідно з програмою робіт ми запланували оцінити соснові деревостани в умовах філії «Бродівське лісове господарство», ми проаналізували особливості поширення таких соснових ділянок та намітили потенційно можливі соснові деревостани з розрахунку охоплення різних вікових градацій та порівняно компактного їх розміщення. На основі таксаційних описів та планів лісонасаджень нами були підібрані 10

потенційних ділянок, які пізніше в натурі оглядали на предмет відповідності їх даним таксаційного опису та доцільності проведення польових вимірів у таких деревостанах. За результатами рекогносцирувального обстеження із підібраних ділянок були залишені тільки 4 ділянки, які відповідали нашим вимогам, зокрема штучне походження деревостанів сосни звичайної, тип лісу – вологий грабово-дубово-сосновий сугруд, що є одним із найпоширеніших типів лісу, де зростає сосна звичайна в умовах філії. Окремо під час огляду ділянки аналізували особливості таксаційного виділу, тип розміщення дерев на площі.

У підібраних для проведення польових досліджень виділах намічали ділянку, де проводити вимірювання дерев. Для цього за допомогою бусолі, мірної стрічки та GPS-приймача зафіксували першу точку. Намічення ліній меж ділянки проводили із розрахунку, щоб відступати від доріг чи узлісь не менше 30-ти метрів та не виходити за межі ділянки. Для кращої проглядуваності прорубували візири шириною до 0,5 м. За допомогою бусолі визначали азимут лінії, а мірною стрічкою виміряли відстані. Оскільки тимчасові пробні площі зазвичай відкладають правильної квадратної або прямокутної форми, після замикання першої лінії, переходили на наступну точку та проводили ті ж самі виміри, тобто азимут наступної лінії із врахуванням внутрішнього кута рівного  $90^\circ$  та вимірювання відстаней. В умовах, де проводили дослідження, у зв'язку із наявністю підліску, була необхідність прорубувати візири. Вимірювання довжин ліній також проводили за допомогою мірної стрічки. За описаною технологією була відмежована пробна площа, по кутах якої були встановлені тимчасові межові стовпи. Для кращої орієнтації під час вимірювань дерев і уникнення вимірів за межами пробної площі, всі дерева, що стоять на межі візирів і не попадають всередину пробної площі, були відмарковані білою крейдою.

Після відмежування пробної площі у натурі, починаючи від однієї візирної лінії човниковим способом проводили перелік дерев, що передбачає вимірювання діаметрів дерев (ступеней товщини) та занесення цих даних до

перелікової відомості закладання пробних площ. Додатково для кожного дерева вказувалася категорія технічної придатності з розподілом дерев на ділові, напівділові, дров'яні та окремо фіксували сухостій. Після проведення суцільного точкування дерев на пробній площі, для визначення середньої висоти деревостану за елементами лісу проводили вимірювання висот не менше 15-ти облікових дерев із розрахунку їх пропорційного представлення за ступенями товщини. Пропорційне представлення передбачає відбір такої кількості дерев, коли у ступенях із більшою кількістю заточкованих дерев кількість облікових дерев також слід брати більше. Окремі того, важливо виміряти висоти дерев також крайніх ступеней товщини, зокрема найтонших та найгрубших дерев.

Після проведення вимірювань висот облікових дерев приступали до відбору потенційних дерев для взяття зразків кернів. Після взяття кернів польові вимірювання на пробній площі завершені.

У камеральних умовах опрацювання даних польових вимірів проводили за загальноприйнятою у лісовій таксації методикою (Горошко, Миклуш, & Хомюк, 2004; Лакида, 2001) та використанням загальноприйнятих у лісовій практиці нормативів (Строчинський, & Кашпор, 2010; Швиденко, 1987). Зокрема, згруповані дані кількості дерев за ступенями товщини слугували основою для визначення середнього діаметра, абсолютної та відносної повноти, запасу деревостану, а графік висот за результатами обміру облікових дерев – для визначення середньої висоти деревостану за значенням середнього діаметра.

В результаті опрацювання матеріалів польових досліджень отримали основні таксаційні показники соснових деревостанів на пробних площах, що наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Основні таксаційні показники соснових деревостанів  
на пробних площах**

№ п/п	Склад	Тип лісу	Середні			G, м <sup>2</sup> ·га <sup>-1</sup>	M, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>	Клас бонітету
			вік, роки	d, м	h, м			
1	9Сз1Гз+Дз	Сз-гдС	125	42,2	33,1	35,2	529	I <sup>a</sup>
2	8Сз2Дчер+Гз	Сз-гдС	49	23,5	22,7	36,1	362	I <sup>a</sup>
3	10Сз+Дз,Дчер	Сз-гдС	72	31,7	28,4	44,1	542	I <sup>a</sup>
4	10Сз+Бп	Сз-гдС	34	19,2	16,7	33,4	221	I <sup>a</sup>

Як видно з табл. 2.1, всі соснові деревостани закладено у вологому грабово-дубово-сосновому сугруді. Соснові деревостани, що тут відтворені штучним шляхом, практично чисті із домішкою берези повислої, дуба звичайного, дуба червоного та граба звичайного. За віком ці деревостани від молодняків 34 роки до перестійних соснових деревостанів віком 125 років. Середні таксаційні показники є типовими для даних умов та віку деревостану, про що свідчить клас бонітету I<sup>a</sup>, тобто це високопродуктивні деревостани.

### 2.3. Методика взяття кернів та їх підготовки до використання

Для взяття зразків кернів, як зазначалося у розділі 2.1, необхідно підібрати не менше як 5 середніх за розмірами дерев, із яких будуть братися такі зразки. Для підібраних дерев виміряють висоту та діаметр.

Зразки кернів дерев відбирають за допомогою спеціального інструменту - приросного бурава. Приросні бурави виготовляють різні виробники, нами використаний один фірми Naglof (рис. 2.1). Приросний бурав складається із основи або тубуса, в який поміщаються свердло та екстрактор.



**Рис. 2.1. Приросний бурав фірми Naglof**

Приросні бурави можуть бути різних конструкцій та параметрів. Свердла буравів можуть бути різної довжини – від 4 до 28 дюймів (від 10 до понад 70 см). Діаметр свердл також різний і може бути трьох основних типів: 0,169, 0,2 і 0,5 дюйма (0,429, 0,508 та 1,27 см). Найменший діаметр свердла зазвичай використовується для загального застосування в лісовому господарстві, а найбільший діаметр використовується у випадках, коли потрібно велика кількість зразка деревини. Найчастіше для лісових досліджень використовують приросні бурави, у яких свердло має діаметр 0,169 або 0,2 дюйма. Свердла мають бути достатньо гострими, щоб легко вкручуватися у деревину.

Для підібраних для взяття кернів дерев слід виміряти наступні параметри: діаметр, висоту, параметри крони (у чотирьох напрямках) та провести вимірювання висоти 1,3 метра і замаркувати на стовбурі. Додатково можна брати координати дерева, якщо необхідно мати просторове їх розміщення. Після цих вимірювань приступають до взяття зразків. Зразки кернів слід брати завжди з одного боку дерева (наприклад із північної

сторони) для уніфікації подальших досліджень. Часто для певних досліджень зразки кернів можуть брати і на висоті кореневої шийки, проте тут слід мати іншого типу приросні бурави.

Для взяття зразків приросний бурав відповідним чином складають. Для цього викручують екстрактор із тубуса та ставлять його біля стовбура дерева, щоб в процесі роботи не пошкодити його. Із тубуса виймають свердло і вставляють у середній отвір тубуса та фіксують спеціальним фіксатором. Пристій готовий до використання.

На висоті 1,3 м приросний бурав свердлом приставляють до дерева із розрахунку приблизного проектування особливостей форми стовбура на ядро. Для цього слід мати певний досвід і слід також звертати увагу на форму крони, яка може дати додаткову інформацію про ексцентриситет поперечного розрізу стовбура. Поступовим круговим рухом тубуса, притискаючи свердло до стовбура, починають обертати тубус за годинниковою стрілкою, внаслідок чого свердло починає врзатися в деревину. Залежно від особливостей деревного виду (чим грубша товщина кори, тим більше) притримування та орієнтацію приросного бурава потрібно робити до тих пір, доки він міцно не зафіксується в деревині стовбура, минаючи кору. Потім двома руками проводять подальші обертальні рухи для проникнення свердла всередину деревини стовбура. Глибина проникнення свердла у стовбур має бути така, щоб просвердлили на 2-3 см глибше, ніж центр стовбура дерева. Після досягнення такої глибини, обережно, без значних зусиль, вставляють екстрактор у порожнину свердла до повного його проникнення. Після цього приросний бурав разом із екстрактором обертають на 1 оборот проти годинникової стрілки, щоб відірвати kern від деревини стовбура. За допомогою наконечника екстрактора, обережно, без різких рухів, вздовж свердла, пробують виймати екстрактор. Завдяки тому, що на кінці екстрактора є спеціальні зубці, зразок деревини фіксується на екстракторі і виймається назовні. В результаті у жолобі екстрактора після його витягування із свердла, має залишитися зразок керна. Цей зразок оглядається на вади (всередині

деревини можуть бути зарослі сучки), на предмет досягнення ядра деревини, чи інших невидимих зовні елементів, які пізніше можуть впливати на процес вимірювання ширини річних кілець. У випадку задовільного результату, зразок керну поміщають у спеціальні пристрої для подальшого їх транспортування. Ми використали пластикові трубки, де один кінець трубки є закритий а зразок керну може легко поміститися всередину трубки. Після поміщення зразка у трубку, другий кінець трубки також закривають, а зразок підписують. Залишений у стовбурі бурав слід викрутити.

В окремих випадках частина керна в процесі його витягування із свердла, може пошкоджуватися – ламатися, останній фрагмент може застрягнути у кінці свердла тощо. Це виникає через затуплення свердла, пошкодження екстрактора (викривлення, затуплення зубців на кінці екстрактора тощо). Для видалення залишків керна у свердлі після його викручування з дерева, є спеціальні інструменти. Проте для того, щоб не пошкоджувати лезо свердла, для цього можна скористатися тонкими гілочками для випихання частинки, що застрягла, всередину свердла.

Після використання приросного бурава, його слід очистити від залишків деревини всередині. Для цього можна використати просту воду з милом, проте слід після цього його ретельно просушити. Найкращим підходом є використання спеціальних масел, якими змащують приросні бурави після використання і в такому випадку вони можуть зберігатися довгий час та не піддаватися корозії.

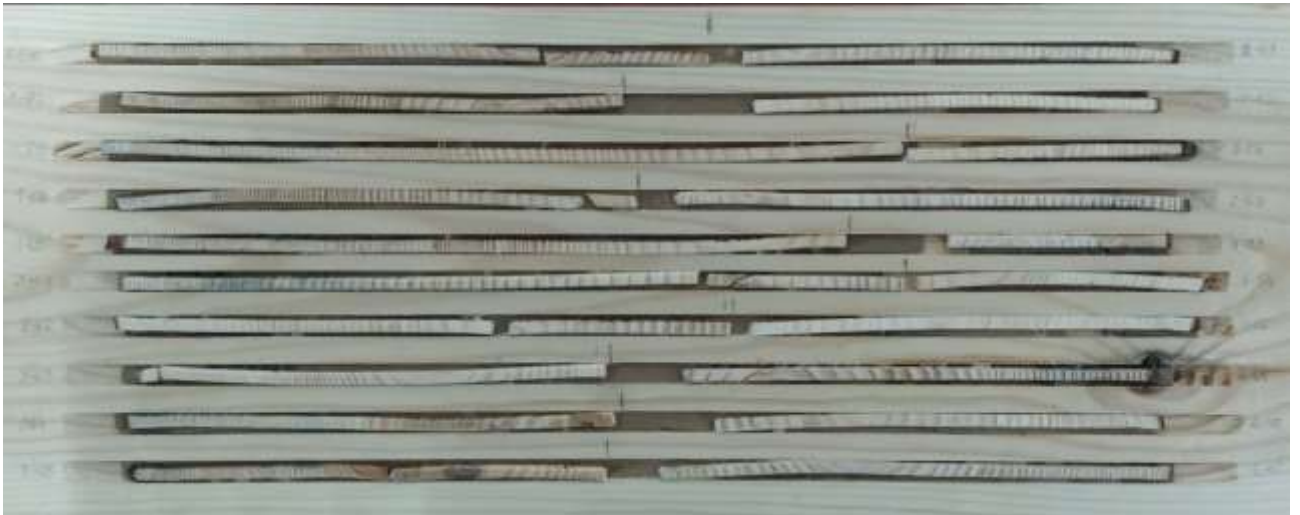
Після взяття кернів в камеральних умовах їх слід спеціально підготувати на протязі 1-3 днів. У випадку, якщо їх потрібно зберігати довший час без підготовки, то краще відібрані зразки помістити в холодне місце із постійною температурою, наприклад холодильник. Для подальшого використання зразків кернів їх слід помістити на тверду основу, зафіксувати та підписати для подальшої ідентифікації. Найпростішим випадком для підготовки кернів є дерев'яна дощечка із зробленими прорізами на площині для поміщення зразків кернів (рис. 2.2).



**Рис. 2.2.** Зразок підготовленої дерев'яної основи для приклеювання зразків кернів

У спеціальні прорізи зразки кернів акуратно кладуть на клей та залишають їх для висихання на певний термін часу, залежно від температурних умов. Доцільно для того, щоб керни міцно приклеїлися і не деформувалися, помістити їх під прес.

Після висихання, для кращої видимості ширини річних кілець, зразки кернів слід зашліфувати. Для цього можна скористатися шліфувальним папером і вручну провести шліфування. Проте сьогодні є багато електричних мобільних або стаціонарних шліфувальних машин, які з високою ефективністю дозволять зробити це набагато швидше. Під час шліфування слід підбирати шліфувальний папір різних розмірів. Починають від найгрубшого і закінчують найтоншим шліфувальним папером. Важливою умовою успішного процесу шліфування є те, що зразок керна має бути відшліфований на всій довжині та на всій ширині зразка. Для цього візуально слід контролювати якість шліфування. Наші зразки після процесу шліфування наведені на рис. 2.3.



**Рис. 2.3. Зашліфовані зразки кернів для проведення вимірювань**

Підготовлені таким чином зразки ми обмірювали на спеціальному устаткуванні LINTAB 6 та програмне забезпечення TSAP-Win лабораторії дендроекології кафедри лісівництва НЛТУ України під керівництвом професора Лавного В.В.

### **РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РІЧНИХ РАДІАЛЬНИХ ПРИРОСТІВ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ ФІЛІЇ «БРОДІВСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»**

#### **3.1. Особливості вимірювання ширини річних кілець**

Для вимірювання радіальних приростів на зразках кернів нами використане устаткування лабораторії дендроекології кафедри лісівництва під назвою LINTAB 6 від фірми «RINNTECH», яке включає спеціальний стіл із механічним рухомим механізмом для переміщення столика із кернами. То стола прикріплено мікроскоп фірми Leica Geosystems. Всі ці елементи поєднуються в одну систему за допомогою процесора, який передає сигнали на комп'ютер.

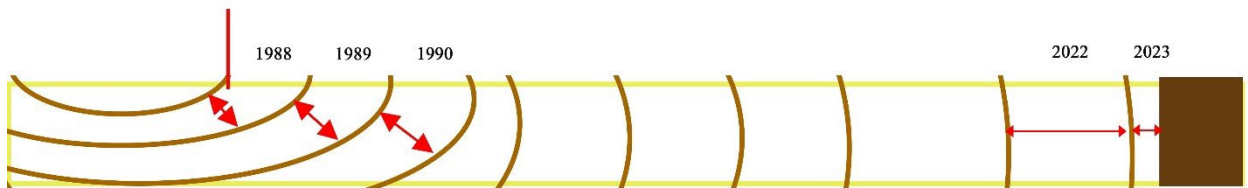
Для керування всією системою використано ліцензоване програмне забезпечення TSAP-Win, яке забезпечує не тільки сам процес вимірювання ширини річних приростів, але й аналізувати дані за певними алгоритмами.

Програмне забезпечення дозволяє здійснювати прямий контроль вимірювань, що відображаються на моніторі комп'ютера, проводити графічний аналіз приростів та опрацювання даних вимірювань, долучати додаткову інформацію про зразки кернів. У розширеній версії доступні також функції синхронізації даних за різними математичними моделями, графічні побудови рядів приростів, графічну синхронізацію даних вимірів на екрані комп'ютера, складання хронологічних рядів, формування графічних побудов за допомогою лінійних, стовпчастих діаграм, візуалізацію даних як одиничного зразка, так і цілого набору даних. У програмному забезпеченні TSAP-Win реалізовано різні математичні бібліотеки постобробки даних, які включають сегментно-орієнтовану перевірку даних (аналог алгоритму COFESHA), процедури стандартизації та індексування даних, виявлення кореляційних та регресійних залежностей тощо.

Як видно, програмне забезпечення TSAP-Win – це потужний апарат

для дендрохронологічного аналізу даних зразків кернів. Точність, з якою можна вимірювати ширину радіальних приростів на зразках кернів, становить 0,01 мм.

Процес вимірювання ширини річних кілець здійснювали за наступним алгоритмом. Дощечка із підготовленими даними кладеться під мікроскопом таким чином, щоб сітка ниток мікроскопа співпадала із початковим вимірюванням. Програмне забезпечення TSAP-Win дозволяє проводити вимірювання у будь-якому порядку – від центру до кори і навпаки. Оскільки приріст річних кілець формується від кори, тому доцільно проводити вимірювання саме від кори. Визначення величини ширини річного кільця потребує певної технології. Для вимірювання ширини річного кільця слід виміряти найкоротшу відстань між двома суміжними краями пізньої деревини. Тому перехрестя сітки ниток налаштовуємо на край останнього видимого біля кори краю пізньої деревини і процес вимірювання проводимо від периферії до центру зразка. Як зазначалося, для вимірювання найкоротшої відстані між суміжними річними кільцями слід відповідно в процесі вимірювань коригувати кут вимірювання за допомогою ручного обертання зразка (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Візуальна інтерпретація процесу вимірювання ширини річних кілець**

На рис. 3.1 справа – це кора, яку ми не вимірюємо. Приріст у 2023 році не враховуємо, оскільки він є неповний через те, що зразки кернів були взяті ще у 2023 році. Перший рік, за який можна отримати дані повної ширини річного кільця – це 2022 рік. Для вимірювання ширини слід встановити початкове положення пересічення сітки ниток на межі пізньої деревини між 2023 і 2022 роками, механічно за допомогою гвинта

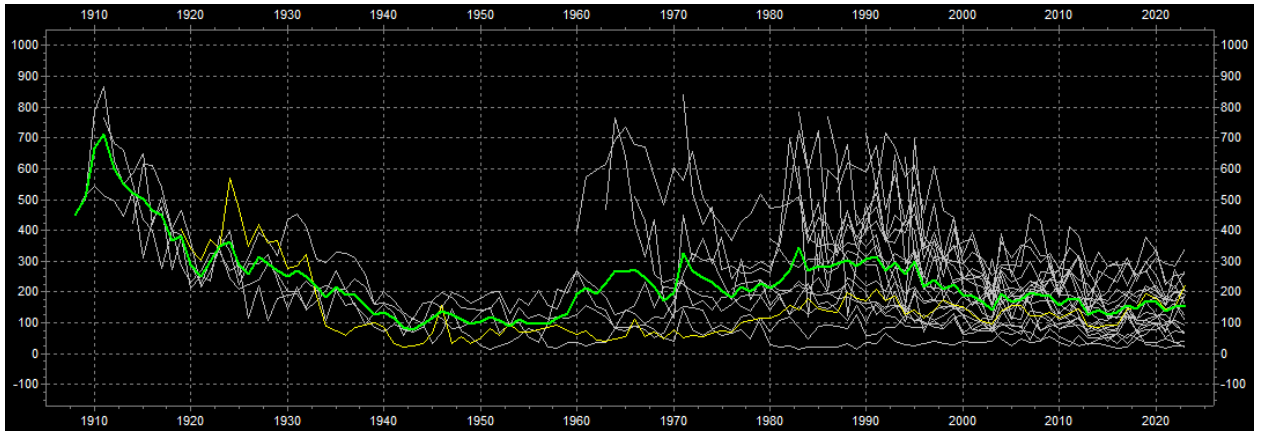
перемістити столик в напрямку до краю пізньої деревини 2022 року і нову зафіксувати вимір. Різницю між початковим положенням каретки та після другого виміру система перерахує як ширина річного кільця. Подальші виміри аналогічно проводимо, поступово рухаючись у напрямку до центру зразка керна. У випадку, якщо річні кільця нахилиються, слід механічно руками повернути зразок так, щоб вертикальний штрих сітки ниток мікроскопа був паралельним до напрямку річного кільця і проводити виміри далі. Такий випадок показано на рис. 3.1 для ширини річного кільця 1990 року. Припиняємо вимірювання тоді, коли досягаємо останнього можливого річного кільця. У випадку, якщо керн взято «ідеально» і видно серцевину – тоді вимірювання припиняємо у центрі серцевини і ми будемо знати вік дерева від моменту, коли воно досягло висоти 1,3 м. У випадку, якщо серцевини не видно, тоді віку дерева ми знати не можемо.

Після закінчення вимірювання, вносимо всю необхідну інформацію про вимірний зразок. Наприклад, область, район, місце взяття зразка, деревний вид, точність вимірювання, напрям вимірювання. Окремо слід відзначити можливість датування зразка, яке полягає у встановленні року, коли був взятий зразок. Це допомагає проводити хронологізацію даних за роками. Для наших зразків за була встановлена дата взяття зразків 2023 рік.

За описаною вище методикою були поміряні 20 зразків кернів, взяті по 5 зразків на кожній пробній площі соснових деревостанів в умовах філії «Бродівське лісове господарство».

### **3.2. Аналіз фактичних даних величини радіального приросту**

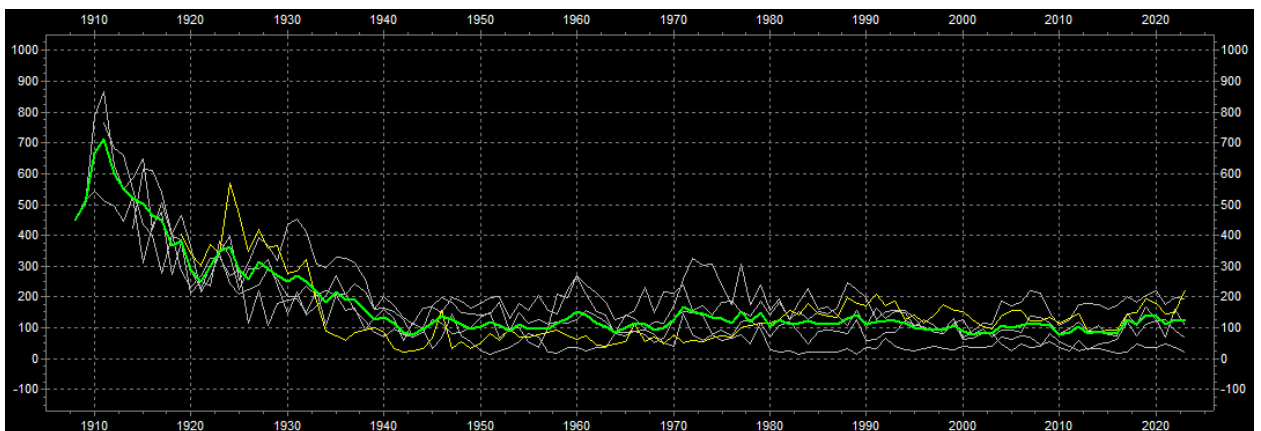
Для аналізу річних радіальних приростів на 20 зразках кернів з 4 пробних площ визначили узагальнюючі дані річних радіальних приростів зразків. Для цього в програмному продукті TSAP-Win є можливість візуалізувати дані. На рис. 3.2 наведено дані річних приростів дерев сосни звичайної в умовах філії «Бродівське лісове господарство».



**Рис. 3.2. Фактичні річні радіальні прирости дерев сосни звичайної (зеленим кольором – ламана лінія середніх річних радіальних приростів усіх зразків кернів)**

Як видно з рис. 3.2, річні радіальні прирости дерев сосни звичайної у різні роки мають різні значення. Загальна крива показує, що найбільші річні радіальні прирости були у 1910-их роках і поступово знижувалися до 1950-их років. Опісля знову незначне зростання до 1970-их років і спадання аж до теперішнього часу.

Аналізувати такі дані досить важко, оскільки тут включені всі зразки. Очевидно, що можна включити до аналізу зразки окремо за пробними площами, тоді закономірність буде дещо іншою. Наприклад, на рис. 3.3 наведено дані річних радіальних приростів для пробної площі №1, яка за даними таксаційного опису має 125 років.



**Рис. 3.3. Фактичні річні радіальні прирости дерев сосни звичайної на пробній площі № 1**

Як видно з рис. 3.3, у 1920-1940-их роках помітно аналогічну залежність максимуму річних приростів, тоді як починаючи з 1940 років усереднена крива практично немає значних відхилень у річних радіальних приростах аж до 2023 року. Такий аналіз є обмеженим і не досить точним, тому у табл. 3.1 наведено статистичну оцінку річних радіальних приростів на всіх пробних площах.

Таблиця 3.1

**Статистичні показники річних радіальних приростів**

Номер зразка	Кількість річних кілець	Радіальний приріст, 1/100 мм				
		середній	Інтервальна оцінка	К-сть річних кілець	середній	Інтервальна оцінка
BR-01-01	105	121	112↔130	112	137	124↔134
BR-01-02	110	98	87↔109			
BR-01-03	115	182	167↔197			
BR-01-04	116	134	122↔146			
BR-01-05	113	147	134↔160			
BR-02-01	41	272	251↔293	41	241	214↔299
BR-02-02	40	218	196↔240			
BR-02-03	44	323	296↔350			
BR-02-04	38	182	151↔213			
BR-02-05	41	197	169↔225			
BR-03-01	64	291	265↔317	57	198	177↔312
BR-03-02	61	179	160↔198			
BR-03-03	58	116	105↔127			
BR-03-04	53	252	229↔275			
BR-03-05	48	140	131↔149			
BR-04-01	34	282	252↔312	34	200	173↔309
BR-04-02	32	106	87↔125			
BR-04-03	37	203	176↔230			
BR-04-04	30	191	169↔213			
BR-04-05	35	210	185↔235			

Як видно з табл. 3.1, для зразків кернів кількість річних кілець, які пораховані зі зразків кернів коливається у межах від 116 років (пробна площа 1) до 30 років (пробна площа 4 віком 34 роки) (вік деревостанів наведено в табл. 2.1). Найбільший середній приріст відмічено для зразка

BR-03-01 (пробна площа 3 віком 72 роки), який становить  $291 \cdot 10^{-2}$  мм, найменший – це зразок BR-01-02 із значенням  $98 \cdot 10^{-2}$  мм. Інтервальна оцінка показує розмахи середніх приростів із врахуванням помилки середнього значення. Якщо узагальнити прирости за пробними площами, то найвищі річні радіальні прирости характерні для соснового деревостану на пробній площі 2 віком 49 років –  $241 \cdot 10^{-2}$  мм. Проте середні річні прирости для пробних площ № 3 та 4 віком 72 та 34 років відповідно не значно відрізняються. Найбільше відрізняється середній приріст на пробній площі 1, яка має середній вік 125 років, на рівні  $137 \cdot 10^{-2}$  мм. Очевидно, що у старшому віці, коли дерева переходять до віку природної стиглості, радіальний приріст зменшується, що впливає на усереднені показники.

Інтервальна оцінка показує, що для узагальнених даних на пробній площі порівняно із окремими зразками кернів розмахи є вищими. Найменшими розмахами середнього значення характеризується найстарша пробна площа № 1, тоді як розмахи у молодих деревостанах значно вищі.

Проте аналіз коефіцієнтів варіації та стандартного відхилення показує інші тенденції (табл. 3.2).

Мінімальні значення радіальних приростів показують, що у більшості зразків ширина річних кілець є дуже малою від  $1 \cdot 10^{-2}$  мм до  $25 \cdot 10^{-2}$  мм. Тоді як максимальні значення ширини річних кілець досягають значень понад  $800 \cdot 10^{-2}$  мм. Такі значні розмахи лімітів впливають і на показники варіації. Коефіцієнти варіації для окремих зразків кернів становлять від майже 50 % і до 121,3 %. Це свідчить про дуже значні розмахи і неоднорідність вибірки. Для радіальних приростів це характерне явище, оскільки вони значною мірою залежать від кліматичних показників, швидкості росту залежно від віку дерева та конкуренції між окремими індивідами в процесі росту та розвитку цих дерев.

Таблиця 3.2

**Показники варіації річних радіальних приростів**

Номер зразка	Радіальний приріст, 1/100 мм					
	Мін.	Макс.	Ст. відхил.	Коеф. вар.	Ст. відхил.	Коеф. вар.
BR-01-01	1	469	93,2±6,43	77±7,86	132,7±8,87	118,5±15,45
BR-01-02	4	616	118,9±8,02	121,3±16,24		
BR-01-03	2	867	160,1±10,56	88±9,26		
BR-01-04	2	545	133,5±8,76	99,6±11,3		
BR-01-05	4	764	132,5±8,81	90,1±9,71		
BR-02-01	25	476	134,8±14,89	49,6±6,69	172,8±19,08	421,5±281,34
BR-02-02	3	489	141,7±15,84	65±9,87		
BR-02-03	24	723	177±18,87	54,8±7,39		
BR-02-04	3	767	190,6±21,86	104,7±21,46		
BR-02-05	11	782	179,8±19,86	91,3±16,47		
BR-03-01	4	736	210±18,56	72,2±9,12	161,6±15,14	283,5±109,72
BR-03-02	3	765	148,3±13,43	82,8±11,54		
BR-03-03	2	431	85,1±7,9	73,4±9,82		
BR-03-04	12	839	164,9±16,02	65,4±8,65		
BR-03-05	11	248	64,3±6,56	45,9±5,59		
BR-04-01	23	716	175,4±21,27	62,2±10,05	154,7±18,76	455±359,31
BR-04-02	5	386	108,3±13,54	102,2±22,45		
BR-04-03	12	673	161,7±18,8	79,7±13,96		
BR-04-04	14	637	119,3±15,4	62,5±10,77		
BR-04-05	3	555	147,8±17,67	70,4±11,87		

Для згрупованих даних в межах кожної пробної площі показники варіації ще вищі. Так, коефіцієнти варіації становлять від 118,5 до 455 %. Це свідчить про те, що такі дані використовувати для аналізу радіальних приростів недоцільно, оскільки вибірка не є однорідною і отримані результати можуть бути спотворені.

Тому наступним етапом є приведення даних до більш однорідних вибірок для аналізу. Для цього є різні підходи, які будуть описані у наступних підрозділах.

**3.3. Синхронізація даних радіальних приростів**

Для усунення неточностей процесу вимірювання, коли помилково поміряні псевдокільця, або пропущені річні шари, для зменшення помилок або «шумів» окремі автори рекомендують проводити крос-датування

(синхронізацію, cross dating) зразків.

Одним із найпростіших варіантів опрацювання даних є відкидання частини вимірних річних кілець на краях зразків. Так, Spiecker, 2000; Spiecker & Kahle, 2023; Yue et al., 2016,2023; Speer, 2009 вказують, що радіальні прирости біля серцевини та біля кори не є інформативними, зокрема біля серцевини можна спостерігати значно більші річні кільця, ніж загалом для всього зразка. Тому вони пропонують виключити із розрахунку 5 перших та 5 останніх виміри річних кілець із подальшого дендрохронологічного аналізу.

Для оцінки точності крос-датування широко використовують програму COFESHA (Grissino-Mayer, 2001; Trotsiuk, et al., 2014; Svoboda, et al., 2014). COFESHA – це комп’ютерна програма, яка оцінює якість перехресного датування та точність вимірювань серій деревних кілець. Програма є інструментом, який допомагає дендрохроному оцінити якість перехресного датування та точність вимірювань. COFESHA використовує методи кореляції сегментованих часових рядів для оцінки якості перехресного датування в рядах вимірювань. Ще однією важливою функцією COFESHA є оцінка точності вимірювань. Програма на основі математичного апарату виявляє вимірювання приростів, які знаходяться за межами певного порогового значення порівняно із суміжними приростами (т.з. «шуми» або «outliers»). Алгоритм працює на основі даних, які статистично перевірені на багатьох даних. Це т.з. довідкові дані (reference) – це дані, які перевірені на величезному матеріалі багатьох дослідників і вказують на загальні тенденції зміни радіальних приростів дерев певних видів у певних регіонах. Такі дані можна знайти у банку даних радіальних приростів, що підтримується Національним центром інформації про навколишнє середовище США (Paleo Data Search, n.d.). Проте нам на територію, близьку до регіону досліджень, не вдалося знайти довідкові дані, з якими можна було б порівняти наші дані та провести крос-датування.

Другий підхід, який можливий для проведення крос-датування – це

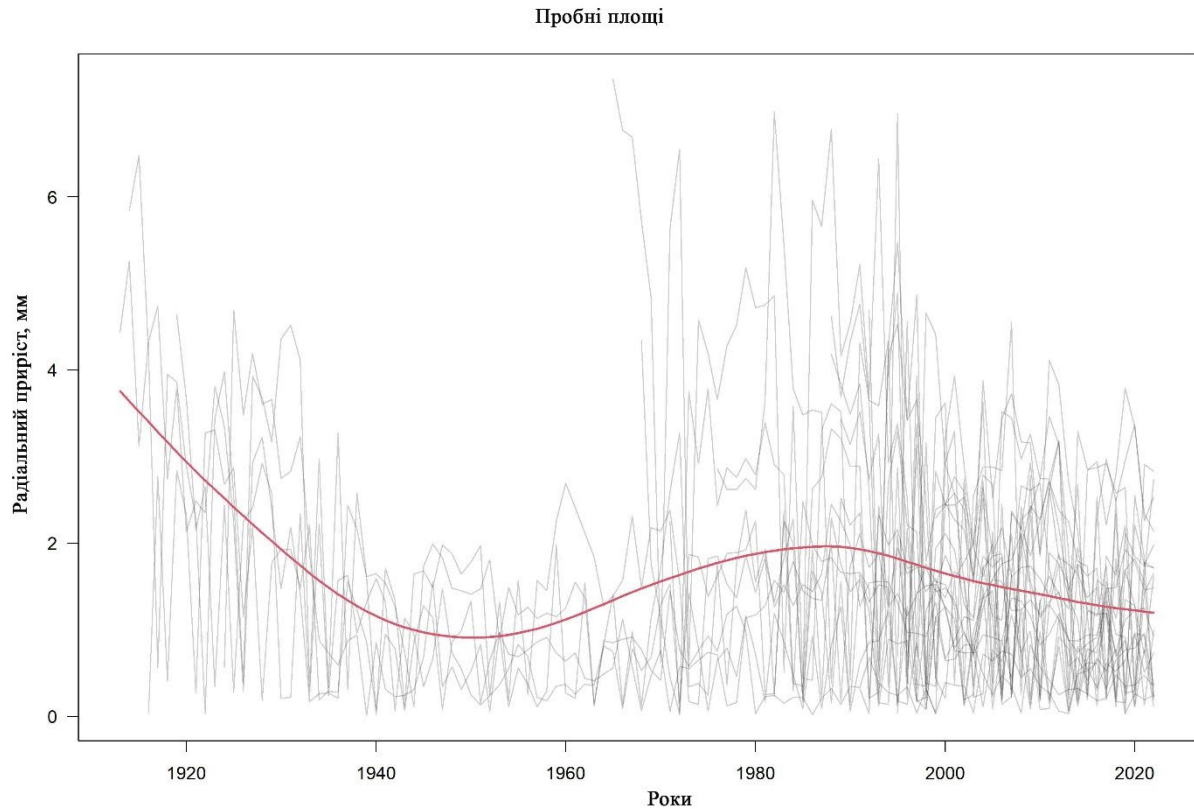
використання контрольних років, коли радіальні прирости були мінімальними або максимальними на основі багаточисельних дендрохронологічних досліджень та даних кліматичних показників (Trotsiuk, et al., 2014; Svoboda, et al., 2014; Матусевич, 2024). Наприклад, для території Українських Карпат Матусевич (2024) вказує, що мінімальні радіальні прирости є у посушливих роках: 1948, 1949, 1974, 1980, 1982, 2004; тоді як максимальні радіальні прирости, які були за сприятливих погодних умов, відмічено у 1931, 1968, 1977, 1979, 1987, 2001, 2012 роках. Проте ці дані характерні для території Українських Карпат і застосувати їх до умов розміщення філії «Бродівське лісове господарство» може викликати великі сумніви. Тому проведення крос-датування нами не проводилося на основі алгоритму COFESHA, проте для подальших досліджень ми видалили із розрахунків останніх 5 вимірів (біля серцевини) та останній вимір, який є неповним через період взяття зразків. Цей процес в іноземній літературі носить назву тримінгу (trimming).

В результаті видалення останніх 5-ти вимірів у кожного зразка та неповного 2023 року, змінилися представлення даних. Для аналізу даних нами використані напрацювання в рамках міжнародного проекту SURGE-Pro<sup>1</sup> між Національним лісотехнічним університетом України та університетом м. Фрайбург, де науковці двох університетів в одному із робочих пакетів аналізували радіальні прирости дерев ялини європейської в умовах Українських Карпат. Аналіз радіальних приростів проводили в програмному продукті R Studio, де були розроблені відповідні скрипти.

В результаті тримінгу даних змінилися статистичні показники, проте й змінилися графічні представлення радіальних приростів на всіх пробних площах, що наведено на рис. 3.4.

---

<sup>1</sup> SURGE-Pro - The past development, present status and likely futures of Norway spruce in Eastern and Central Europe - A scenario-based projection of forest resources and wood supply to support transition to green economies. <https://www.surge-pro.uni-freiburg.de/>



**Рис. 3.4. Радіальні прирости дерев сосни звичайної на всіх пробних площах**

Порівнюючи дані на рис. 3.2 та 3.4 видно, що видалення крайніх значень та використання не медіанної залежності, як на рис. 3.2, а сплайн-функції, показує інші тенденції. Зокрема, використання сплайн-функції згладжує залежності і показує загальні тенденції. Проте слід також зауважити, що для окремих дерев радіальні прирости, що мають нетипові значення, все одно збереглися, тому з фактичними даними слід провести додаткові обрахунки.

### **3.3. Хронолізація та детрендування даних радіального приросту**

Як зазначено вище, аналізувати фактичні радіальні прирости досить важко внаслідок дуже великої їх варіації. Тому доцільно проводити хронолізацію та детрендування радіальних приростів для можливості їх порівняння (Speer, 2009; Svoboda et al., 2014; Spiecker & Kahle, 2023).

Хронолізація (chronolization) полягає в усередненні даних радіальних

приростів. Процес хронолізації дозволяє проаналізувати вплив зовнішніх чинників на радіальні прирости, уникаючи біоекологічні закономірності росту окремих деревних видів. Як відомо, у молодому віці радіальні прирости є вищими, в процесі старіння дерева вони знижуються. Тому процес хронолізації усереднює дані приростів, а їх зміни пов'язані тільки з дією зовнішніх чинників.

Детрендування (detrending) – подібний до хронолізації процес, що усуває вплив зміни радіальних приростів в процесі росту та розвитку дерева, тоді як знову показує вплив зовнішніх чинників.

Для проведення процесу хронолізації та детрендування розроблені різні алгоритми, які базуються на значному математичному апараті. Провести такі математичні розрахунки з використанням звичайних програмних засобів дуже важко. Проте є відкрите програмне забезпечення *R Studio*, що базується на мові програмування *R*, де є розроблені пакети для спеціальних досліджень.

*DpLR* – це спеціалізований пакет мови програмування *R*, де реалізовані стандартні алгоритми хронолізації та детрендування радіальних приростів на підставі виміряних радіальних приростів (Jevšenak, J., & Levanič, T., 2018).

Для уникнення значних розмахів радіальних приростів та для коректного порівняння часто радіальні прирости представляють не в абсолютних одиницях, а обчислюють індекс радіального приросту *RWi* за формулою:

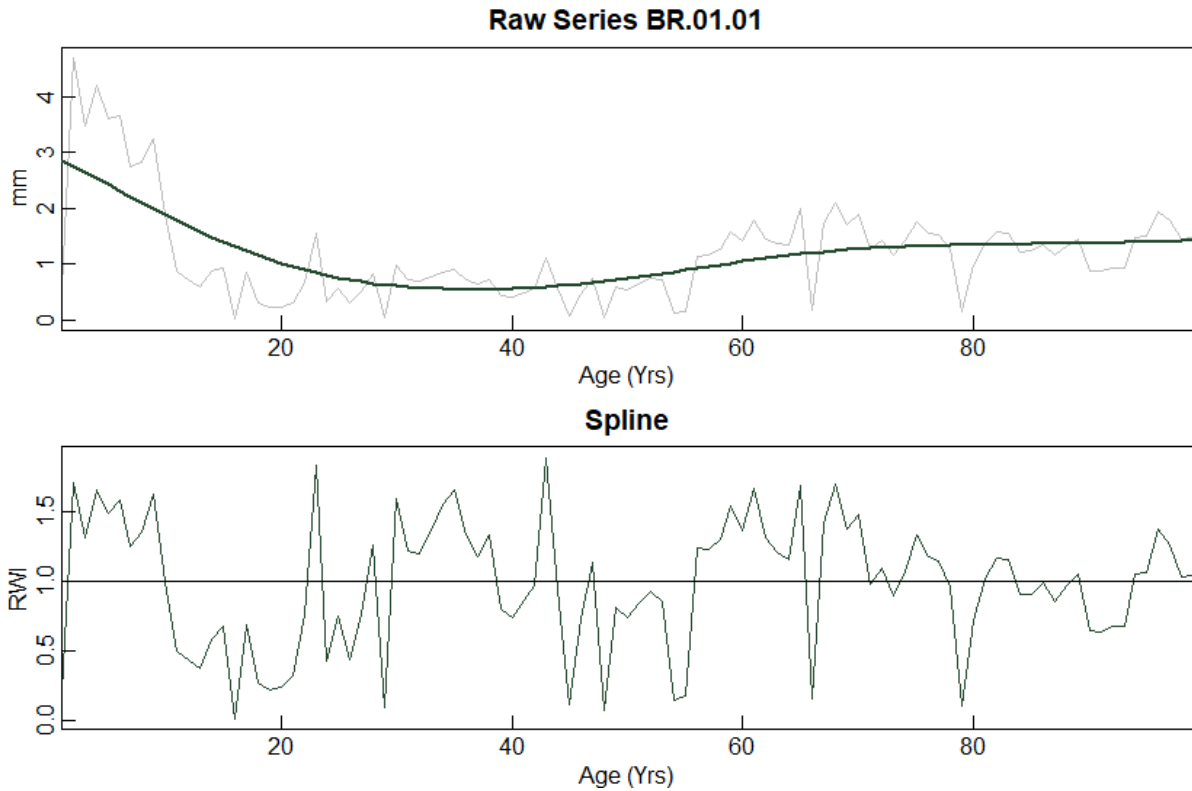
$$RWi = \frac{Inc_j^i}{StD_j}, \quad (3.1)$$

де *RWi* – індекс радіального приросту (Tree Ring Width index),  $Inc_j^i$  – радіальний приріст в абсолютних одиницях *j*-го зразка за *i* рік;  $StD_j$  – стандартне відхилення радіальних приростів для *j*-го зразка.

Індекси радіальних приростів легше порівняти між різними зразками кернів, різними пробними площами і т.д. Тому на основі створеного скрипта

ми провели хронологізацію та детрендування даних радіальних приростів для кожного зразка кернів і отримали детрендовані дані радіальних приростів у міліметрах.

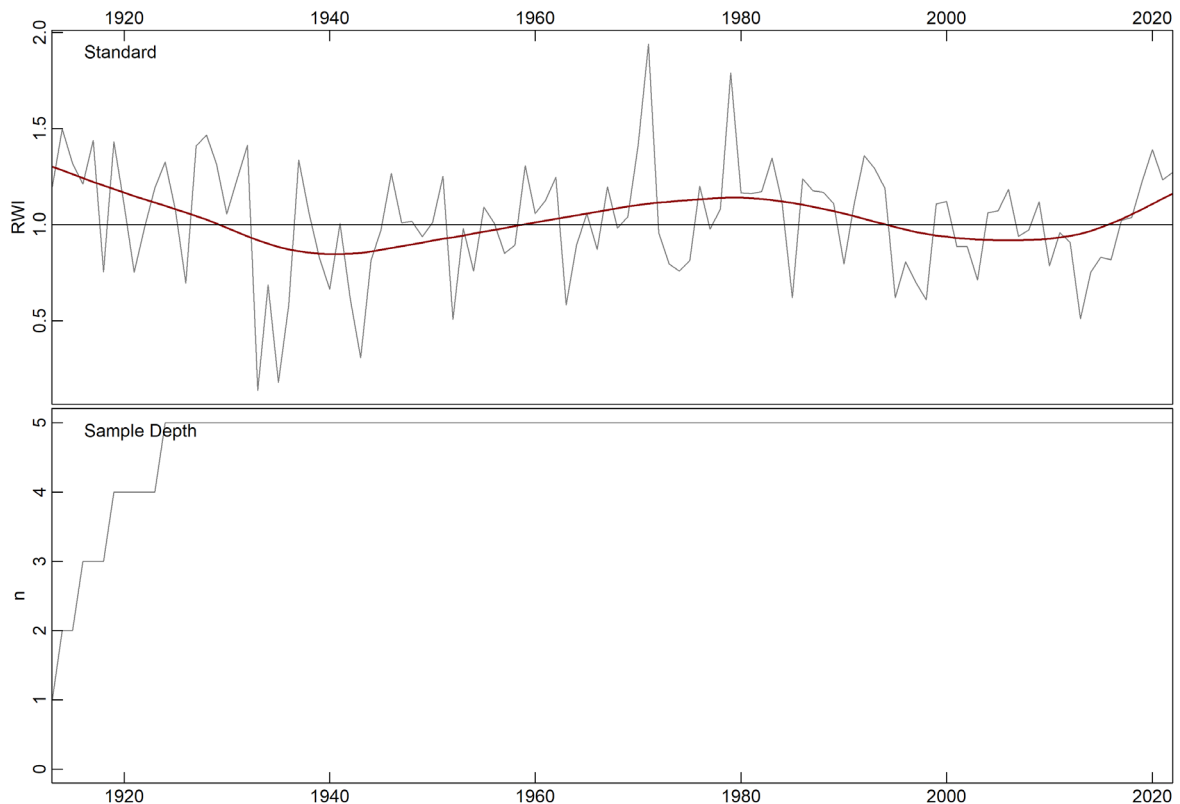
На першому етапі програма проводить детрендування даних. На рис. 3.5 наведено приклад детрендування одного зразка керна.



**Рис. 3.5. Процес детрендування даних річних приростів у мм на прикладі зразка керна дерева № 1 пробної площі 1**

Як видно з рис. 3.5, процес детрендування полягає у виявленні залежності між віком дерева та його радіальними приростами. Залежність між ними описується сплайн-функцією. Після цього за даними сплайн-функції обраховуються індекси радіального приросту, які розкладаються на горизонтальну площину. Аналіз інформації на рис. 3.5 дає можливість оцінити зміну радіальних приростів із віком, порівняно із усередненими даними за певними періодами росту та розвитку дерев. Аналогічно провели детрендування для всіх зразків кернів та отримали фактичні значення детрендованих даних радіальних приростів.

Процес хронологізації радіальних приростів наведено на рис. 3.6.

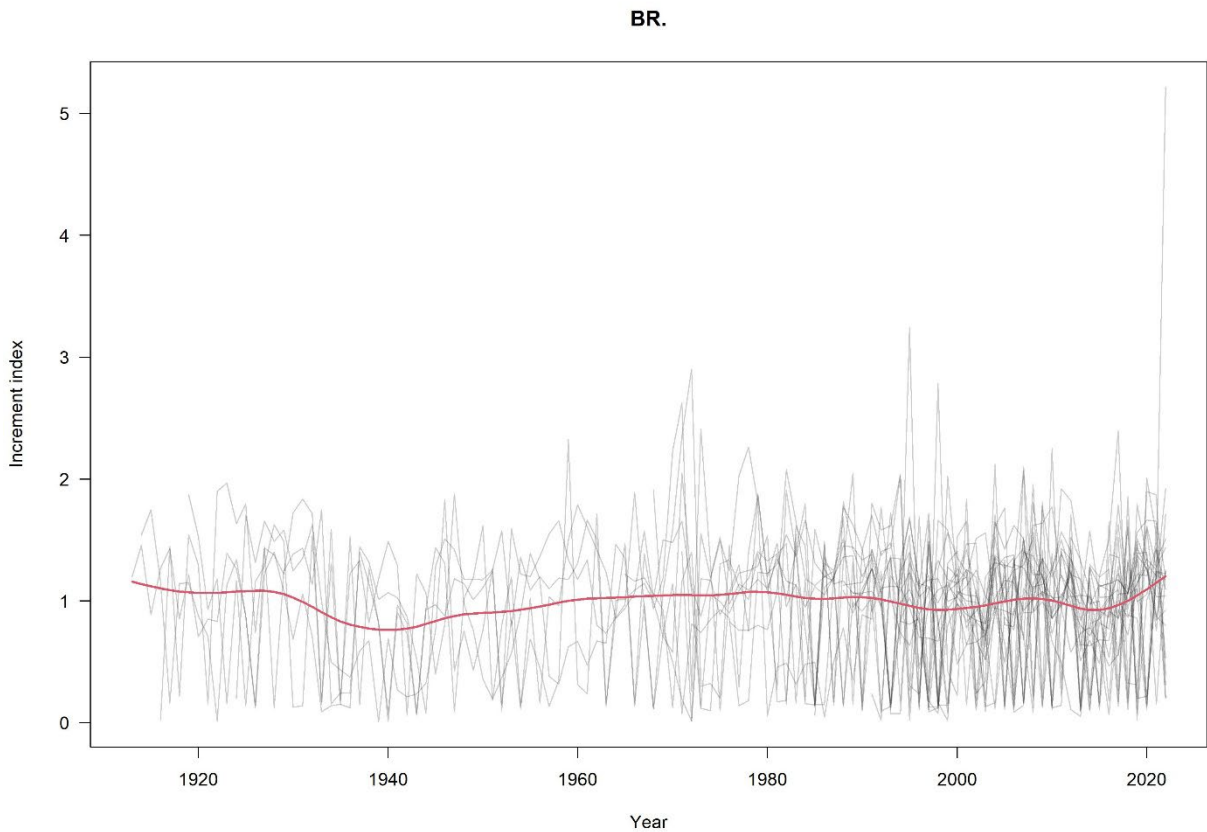


**Рис. 3.6. Хронологізація даних радіальних приростів на пробній площі 1**

Як видно з рис. 3.6, процес хронологізації полягає у тому, що за даними детрендованих радіальних приростів шукається залежність зміни інтенсивності росту у різні роки. Так, для даних пробної площі 1 видно, що у молодому віці інтенсивність радіального приросту перевищували середні значення (до 1920 року) і поступово знижувалася із збільшенням віку дерева до 1940 року. Наступна тенденція – після 1940-го року приріст знову почав зростати до 1980-го року. Тобто проглядаються синхронні періоди зниження та збільшення інтенсивності радіального приросту дерев на пробній площі 1. Аналогічно провели визначення залежностей на інших пробних площах. Аналіз показує подібні хвилі збільшення та зменшення інтенсивності радіальних приростів і на всіх інших пробних площах.

Отримані хронологізовані та детрендовані дані можна використати для порівняння інтенсивності радіального приросту залежно від зовнішніх

чинників, наприклад кліматичних показників. Узагальнені дані для всіх зразків кернів наведено на рис. 3.7.

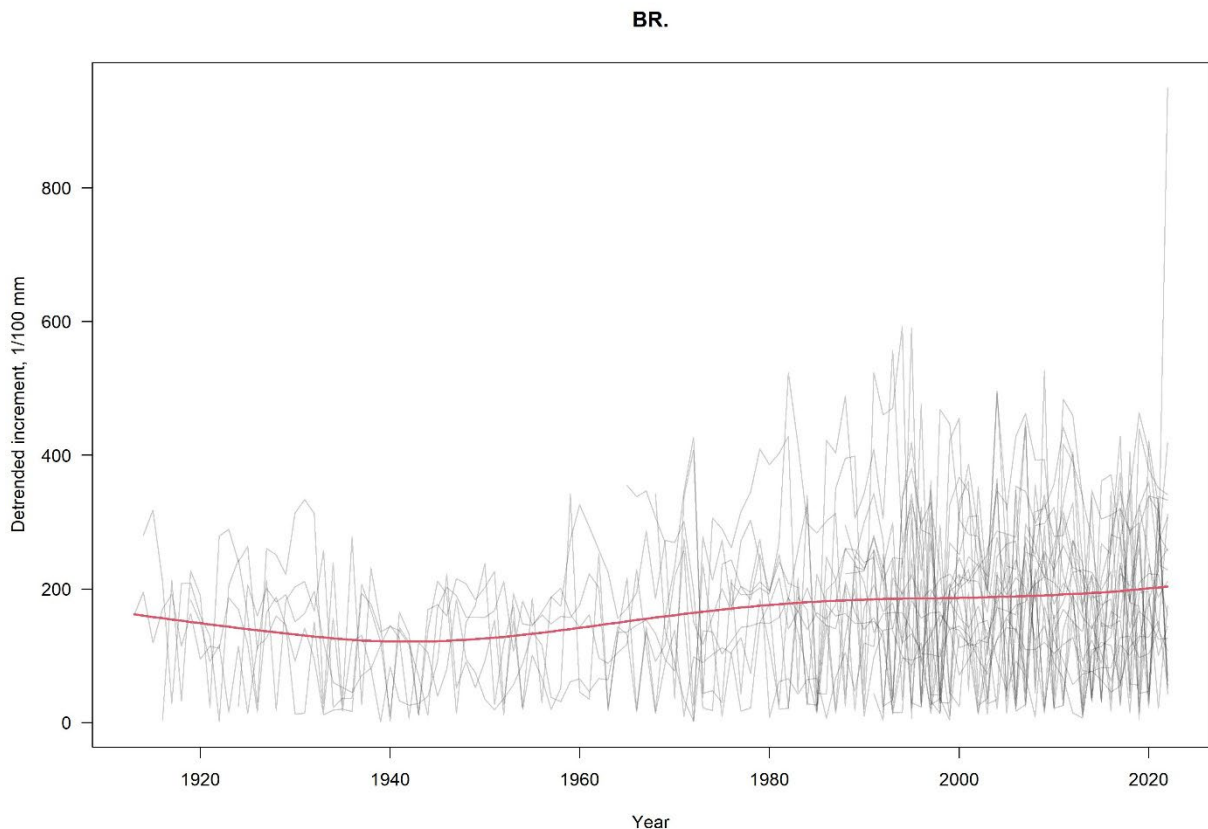


**Рис. 3.7. Детрендовані дані індексів радіальних приростів на всіх пробних площах**

Як видно з рис. 3.7, відзначити певні періоди, коли дерева приростали більше або менше не можливо, оскільки усереднена сплайн-крива практично незначно відрізняється від прямої. Так, звісно, можна сказати, що до 1940 року був етап певного сповільнення радіальних приростів, після чого вони незначно, проте зростали до 1980-го року і після знову почали спадати аж практично до початку 2020-их років. Проте такі залежності є нечіткими і не явно вираженими. Тому для аналізу інтенсивності радіальних приростів доцільно взяти не індекси радіальних приростів, а радіальні прирости у фактичних значеннях.

На основі хронологізованих та детрендованих даних провели розрахунки радіальних приростів у міліметрах, а результати наведено на

рис. 3.8.



**Рис. 3.8. Детрендовані дані радіальних приростів (1/100 мм) на всіх пробних площах**

Порівнюючи рис. 3.7 та 3.8, детрендовані радіальні прирости у абсолютних одиницях помітно відрізняються від індексів радіального приросту. Так, індекси радіального приросту показують значно більше деталей, проте дані в абсолютних одиницях краще відображають сезонні зміни. Так, до 1940-их років радіальний приріст спадав, а за абсолютним значенням досягав  $170-180 \cdot 10^{-2}$  мм. Далі наступив період пришвидшення росту за діаметром і ця тенденція зберігається і сьогоднішнього дня.

Для підтвердження отриманих закономірностей із статистичної точки зору, у табл. 3.3 наведено статистичні показники вирівнювання даних детрендованих радіальних приростів в абсолютних одиницях для кожного зразка кернів.

Таблиця 3.3

**Статистичні показники детрендованих радіальних приростів в абсолютних одиницях (1/100 мм)**

Зразок	Рік		Статистичні показники				
	початку	закінчення	середнє	медіана	ст. відх.	асиметрія	gini
BR.01.01	1924	2022	118.213	123.949	55.764	-0.291	0.267
BR.01.02	1919	2022	96.924	100.17	58.055	0.252	0.338
BR.01.03	1914	2022	181.197	197.509	91.474	-0.569	0.279
BR.01.04	1913	2022	131.071	136.311	66.835	-0.121	0.286
BR.01.05	1916	2022	143.883	159.117	88.516	0.197	0.344
BR.02.01	1988	2022	271.68	299.264	105.182	-1.455	0.186
BR.02.02	1989	2022	214.318	232.014	132.196	-0.262	0.337
BR.02.03	1985	2022	320.141	343.681	137.313	-0.818	0.23
BR.02.04	1991	2022	198.689	177.763	180.149	2.416	0.41
BR.02.05	1988	2022	194.153	214.797	86.895	-0.576	0.242
BR.03.01	1965	2022	290.19	338.38	155.075	-0.522	0.291
BR.03.02	1968	2022	178.151	198.38	97.336	-0.094	0.302
BR.03.03	1971	2022	115.77	130.358	64.013	-0.377	0.306
BR.03.04	1976	2022	247.668	252.055	120.032	-0.171	0.263
BR.03.05	1981	2022	139.561	150.867	57.639	-0.974	0.215
BR.04.01	1995	2022	279.187	309.438	131.486	-0.566	0.255
BR.04.02	1997	2022	105.402	107.741	79.061	0.625	0.41
BR.04.03	1992	2022	202.127	211.403	89.407	-0.747	0.232
BR.04.04	1999	2022	188.482	215.432	78.352	-1.276	0.201
BR.04.05	1994	2022	207.873	254.49	128.533	-0.408	0.334

Як видно з табл. 3.3, середні значення радіальних приростів для детрендованих даних відрізняються і становлять від 96 до  $320 \cdot 10^{-2}$  мм. Медіанне значення зазвичай вище, що свідчить про асиметрію розподілу, тобто переважання радіальних приростів більших за середнє значення. Це підтверджує і показник асиметрії, яка за від'ємного значення характеризується лівосторонньою асиметрією, тобто переважанням значень радіального приросту більших за середнє значення. Показник gini-коефіцієнта показує на рівень узгодженості детрендованих радіальних приростів. Значення цього показника близьке до «0» свідчить про дуже добру узгодженість. Для наших даних цей коефіцієнт лежить у межах від 0,201 до 0,41, що свідчить про середню узгоджуваність даних.

Середня узгоджуваність даних показує, що радіальні прирости попри

синхронізацію, хронологізацію та детрендування ще мають у певні роки для різних зразків різнонаправлені радіальні прирости. Це знову підтверджує тезу про те, що для більш точного аналізу радіальних приростів необхідно мати узгоджені та вивірені дані вимірів радіальних приростів, які можна отримати у випадку наявності достовірних даних попередніх багаторічних дендрохронологічних досліджень. Ці дані будуть основою для синхронізації наших даних для уникнення помилковим значень вимірювань.

Проте, отримані залежності свідчать, що соснові деревостани в умовах філії «Бродівське лісове господарство» мають певні закономірності приросту у діаметрі на протязі періоду від 1913 до 2022 років, вплив на які мають як особливості росту та розвитку дерев сосни звичайної у певних умовах, так і в загальному кліматичні показники. Питання впливу кліматичних показників на закономірності зміни радіального приросту нами не вивчалися, оскільки достовірних даних за такий період часу нам отримати не вдалося.

## ВИСНОВКИ

Аналіз зміни радіальних приростів дерев сосни звичайної проводили на основі зразків кернів у соснових деревостанах різного віку філії «Бродівське лісове господарство». На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. У лісовому фонді філії «Бродівське лісове господарство» переважають соснові деревостани.

2. Одним із найпоширеніших типів лісу, де зростають соснові деревостани, є вологий грабово-дуубово-сосновий сугруд. У цьому типі лісу проведені польові дослідження на 4-ох пробних площах віком від 34 до 125 років.

3. Соснові деревостани, де проведені дослідження, є високопродуктивними I<sup>a</sup> класу бонітету, де у складі практично присутні сосна із домішкою інших порід: граба звичайного, дуба звичайного, дуба червоного та берези повислої.

4. На кожній пробній площі були відібрані 5 облікових дерев, де були взяті зразки кернів приросним буравом Haglof.

5. Зразки кернів були підготовлені для вимірювань, зокрема наклеєні на дерев'яну основу, зашліфовані та підписані.

6. Вимірювання ширини річних кілець проводили на устаткуванні лабораторії дендроекології кафедри лісівництва на спеціальному обладнанні LINTAB 6, що працює із програмним забезпеченням TSAP-Win.

7. За фактичними значеннями ширини річних кілець можна констатувати, що найбільші абсолютні значення радіальних приростів всіх зразків були у 1910-их роках і поступово знижувалися до 1950-их років. Опісля знову незначне зростання до 1970-их років і спадання аж до теперішнього часу.

8. Найбільший середній радіальний приріст за абсолютним значенням відмічено для зразка BR-03-01 (пробна площа 3 віком 72 роки), який становить 291\*10<sup>-2</sup> мм, найменший - це зразок BR-01-02 із значенням 98\*10<sup>-2</sup> мм.

9. За результатами інтервальної оцінки для зразків кернів на кожній пробній площі видно, що найвищі річні радіальні прирости характерні для соснового деревостану на пробній площі 2 віком 49 років –  $241 \cdot 10^{-2}$  мм.

10. Найменший середній радіальний приріст характерний для пробної площі 1, яка має середній вік 125 років, - на рівні  $137 \cdot 10^{-2}$  мм. Очевидно, що у старшому віці, коли дерева переходять до віку природної стиглості, радіальний приріст зменшується, що впливає на усереднені показники.

11. Коефіцієнти варіації для окремих зразків кернів становлять від майже 50 % і до 121,3 %. Це свідчить про дуже значні розмахи і неоднорідність вибірки. Тому необхідно проводити синхронізацію даних радіальних приростів.

12. Для синхронізації даних радіальних приростів нами з подальших обчислень були виключені 5 останніх років та виміри за 2023 рік як такий, який не відображає тенденції всього річного приросту.

13. Після синхронізації все ще зберігаються нетипові значення радіальних приростів, тому для більш точних досліджень слід використовувати інші підходи, що базуються на математичному апараті.

14. Для аналізованих радіальних приростів були проведені хронолізація та детрендування. За результатами детрендування у програмному середовищі R Studio радіальні прирости були приведені до горизонтальної площини за допомогою сплайн-функції.

15. За результатами хронолізації детрендованих даних радіальних приростів видно, що радіальні прирости мають переважно хвилеподібні зміни – спадають та зростають прирости синхронно.

16. Детрендовані дані індексів радіальних приростів показує, що до 1940 року був етап певного сповільнення радіальних приростів, після чого вони незначно, проте зростали до 1980-го року і після знову почали спадати аж практично до початку 2020-их років.

17. Детрендовані дані фактичних радіальних приростів відрізняються від індексованих, і показують, більш глобальні сезонні залежності. Зокрема до 1940-их років радіальний приріст спадав до значення  $170-180 \cdot 10^{-2}$  мм, тоді як

опісля наступив період пришвидшення росту за діаметром і ця тенденція зберігається і сьогоднішнього дня.

18. Статистичні показники детрендованих радіальних приростів показали, що медіанні значення практично завжди більші від середніх значень, що свідчить про лівосторонню асиметрію.

19. За показником *gini*-коефіцієнта узгодженість фактичних даних детрендованих радіальних приростів є середньою.

Отримані залежності свідчать, що соснові деревостани в умовах філії «Бродівське лісове господарство» мають певні закономірності приросту за діаметром, вплив на які мають як особливості росту та розвитку дерев сосни звичайної у певних умовах, так і в загальному кліматичні показники. Подальші дослідження слід розширювати та до аналізу включати чинники зовнішнього середовища та їх вплив на зміну радіальних приростів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрущенко, Р.О. & Коваль, І.М. (2014). Радіальний приріст феноформ дуба звичайного в осередках масового розмноження п'ядуна зимового (*Operaphtera brumata* L.) у лісах Центрального полісся. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, №5
2. Ваколюк, В.Д. (2009). Радіальний приріст дерев дуба звичайного у лісах Поділля, пошкоджених і непошкоджених льодоламом 2000 року. Науковий вісник НЛТУ України, Вип. 19.10, 37-47.
3. Гірс, О.А. (2008). Нормативи товарності структури перестійних соснових деревостанів рекреаційних лісів України, їхнє розроблення та аналіз. *Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць, Вип. 18.8, 47 – 52.*
4. Гірс, О.А., & Содолінський, Р.В. (2014). Моделювання динаміки товарної структури деревостанів та обґрунтування віку стиглості в соснових лісах Київщини. Лісове і садово-паркове господарство, № 5. Отриманий з: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc\\_2014\\_5\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2014_5_4)
5. Горошко, М.П., Миклуш, С.І. & Хомюк, П.Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула.
6. Жежкун, А.М. (2014). Соснові деревостани Східного Полісся: структура, стан, продуктивність. *Лісівництво і агролісомеліорація, Вип. 124, 3 – 12.*
7. Заячук, В.Я. (2008). *Дендрологія. Підручник*. Львів: Апріорі.
8. Коваль, І.М. (2006). Дендрохронологія в Україні: ретроспектива і перспектива розвитку. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. Міжвідомчий науково-технічний збірник, Вип. 31, 221-227
9. Коваль, І.М., & Воронин, В.О. (2019). Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, Вип.

- 32, 85-94.
10. Коваль, І.М., Бологов, О.В., Нусбаум, С.А., & Юзвінський, Г.А. (2015). Радіальний приріст дуба звичайного та ясеня звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*, Вип. 126, 202-211.
  11. Коваль, І.М., Токарева, Н.А., Невмивака, М.О., & Воронін, В.О. (2016). Динаміка радіального приросту дерев, пошкоджених пожежею, в соснових насадженнях Лісостепової зони Харківщини. *Вісник ХНУ імені Казаніна, серія «Екологія»*, Вип. 15, 81-88.
  12. Краснов, В.П., & Зборовська, О.В. (2013). Вплив родючості ґрунту на продуктивність соснових деревостанів у різних типах лісорослинних умов Житомирського Полісся. *Агроекологічний журнал*, № 4, 65 – 69.
  13. Лакида, І.П. (2013). *Біопродуктивність штучних соснових деревостанів міських лісів Києва та їх динаміка. Монографія*. Корсунь-Шевченківський: ФОП В.М. Гаврищенко.
  14. Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України. Монографія*. Тернопіль: Збруч.
  15. Мазепа, В. Г., & Шишканинець, І.Ф. (2014). Особливості формування радіального приросту букових деревостанів Сприйсько-Міжгірської верховини. *Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць*, Вип. 12, С.79-84.
  16. Мазепа, В.Г. (2009). Лісотипологічні особливості динаміки радіального приросту соснових деревостанів під впливом аеротехногенного забруднення. *Науковий вісник НЛТУ України*, Вип. 19.10, 20-25.
  17. Матусевич, О.Б. (2024). Ялинові ліси північно-східного макросхилу Українських Карпат в умовах кліматичних змін. (Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії). Отримана з: <http://194.44.236.27/items/bec95396-d3e6-4de9-9ea8-83f2acc36c6a>
  18. Мельник, В.В., & Зборовська, О.В. (2018). Радіальний приріст сосни

- звичайної у насадженнях Житомирського Полісся, в яких рубки догляду за лісом не проводять з часу аварії на ЧАЕС. Науковий вісник НЛТУ України, т. 28, № 8, 65–69.
19. Мельник, Є.Є. (2018). Динаміка радіального приросту пошкоджених низовою пожежею середньовікових сосняків зеленої зони міста Харків. Лісівництво і агролісомеліорація, Вип. 133, 93-101.
20. Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., & Лялін, О.І. (2017). Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Лісова таксація» для студентів 3 курсу денної форми нормативного строку навчання та 2 курсу денної форми скороченого строку навчання напряму підготовки 6.090103 – Лісове і садово-паркове господарство, спеціальності 206 – Садово-паркове господарство. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 99 с.
21. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання : СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. – К. : Мінагрополітики України, 2006. – 32 с.
22. Приходько, Н. Ф., Парпан, Т. В., Голубчак, О. І., Приходько, М. М., & Гудима В.М. (2022). Радіальні прирости деревостанів рекреаційно-оздоровчих лісів Придністровського Передкарпаття (Івано-Франківська область). Науковий вісник НЛТУ України, т. 32, № 5, 42–49.
23. Приходько, Н.Ф., Парпан, Т.В., Ткачук, О.М., & Приходько, М.М. (2020). Радіальний приріст ялини європейської (*Picea abies* L.) в осередку її всихання (Горгани, Українські Карпати). Науковий вісник НЛТУ України, т. 30, № 3. 41–46.
24. Строчинський, А.А., & Кашпор, С.М. (Ред.). (2010). *Нормативно-інформаційний довідник з лісової таксації*. Київ.
25. Туниця, Ю.Ю., & Богуслаєв, В.О. (Ред.). (2014). *Лісотехнічний термінологічний словник: український, російський, англійський*. Львів: Піраміда.
26. Усцький, І.М., Михайліченко, О.А., & Румянцев, М.Г. (2016). Вплив

- осушувальної меліорації на радіальний приріст соснових і дубових деревостанів в умовах Житомирського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України, Вип. 26.4, 142-147.
27. Хомюк, П.Г., & Максимов, С.О. (2015). Динаміка радіального приросту стовбурів дерев в окремих лісорослинних умовах на осушених лісових ділянках Рівненщини. Науковий вісник НЛТУ України, Вип. 25.10, 27-32.
28. Цурик, Є.І. (2000). *Перелікова таксація лісу*. Львів: УкрДЛТУ.
29. Швиденко, А.З. (Ред.). (1987). *Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии*. Киев: Издательство "Урожай".
30. Шишканинець, І.Ф., & Мазепа, В. Г. (2018). Вплив клімату на радіальний приріст бука в середньовікових деревостанах у верхів'ї басейну річки Латориця. Лісівництво і агролісомеліорація, Вип. 133, 112-118.
31. Babushkina, E.A., Knorre, A.A., Vaganov, E.A., & Bryukhanova, M.V. (2011). Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoeological conditions of their occurrence. *Geogr. Nat. Resour.* 32, 80–86.
32. Bobiec, A., Pilch, K., Ziobro, J.M., Korol, M., Havrylyuk, S., Dychkevych, V., & Podlaski, R. (2017). The Man's Old Faithful Oaks. How do *Quercus robur* and *Q. petraea* cope with the modern landscape changes? Wooded rural landscapes in Central and Eastern Europe: biodiversity, cultural legacy and conservation. The book of abstracts. International scientific conference 20-22 September 2017, University of Rzeszów, Poland and 23-25 September 2017, Bükk National Park, Hungary – Rzeszów, 2017 – P. 19-20.
33. Czyżyk, K. (2021). Radial Growth Response of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) after Increasing the Availability of Water Resources. *Forests*, 12, 1053.
34. Demina, A.V., Belokopytova, L.V., Andreev, S.G., Kostyakova, T.V., & Babushkina, E.A. (2017). Radial increment dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as an indicator of hydrothermal regime of the Western Transbaikalia forest steppe. *Contemp. Probl. Ecol.* 10, 476–487.

35. Grissino-Mayer, H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *TREE -RING RESEARCH*, Vol. 57(2), 205 - 221.
36. Jevšenak, J., & Levanič, T. (2018). dendroTools: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data. *Dendrochronologia*, Vol. 48, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.01.005>
37. Koval I., Bräuning A., Melnik E., & Voronin V. O. (2017). Dendroclimotological research of Scots pine in stand of the Left-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Man and environment. Issues of neoecology. № 3-4 (28)*, 66-73. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07>
38. Lesnik, O., Blyshchyk, V., Odruzhenko, A., & Behal, M. (2022). Growth and physiological stability of pine stands of the Ukrainian Polissia. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 13(1), 18-24.
39. Moir, A.K. (2012). Dendrochronological analysis of oak trees at Lullingstone County Park, Eynsford, Kent, England. *Tree-Ring Services Report: BRLL/01/12*, 26 p.
40. Paleo Data Search. (n.d.). Available from: <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/?dataTypeId=18>
41. Schoch, W., Heller, I., Schweingruber, F.H., & Kienast, F. (2004). Wood anatomy of central European Species. Available at: <https://www.wsl.ch/land/products/dendro/authors.html>
42. Sedmáková, D., Sedmák, R., Bošeľa, M., Ježík, M., Sitko, R., Hlásny, T., Blaženec, M. (2016). Cross-dating tree-ring series of living European beech by isochronic weather records. *Geochronometria* 43: 48–58. DOI 10.1515/geochr-2015-0030
43. Siegwolf, R.T.W. (Ed.) et al. (2021). *Stable Isotopes in Tree Rings. Inferring Physiological, Climatic and Environmental Responses*. Springer, vol. 8. DOI:

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-92698-4>

44. Speer, J.H. (2009). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Springer.
45. Spiecker H. (2000): Growth of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under changing environmental conditions in Europe. *EFI Proceedings*, 33: 11-26.
46. Spiecker H., & Kahle H.-P. (2023). Climate-driven tree growth and mortality in the Black Forest, Germany- Long-term observations. *Global Change Biology*, 29, 5908–5923. <https://doi.org/10.1111/gcb.16897>
47. Svoboda, M., et al. (2014). Landscape-level variability in historical disturbance in primary *Picea abies* mountain forests of the Eastern Carpathians, Romania. *Journal of Vegetation Science*, 25, 386–401. DOI: 10.1111/jvs.12109
48. Trotsiuk, V., et al. (2014). A mixed severity disturbance regime in the primary *Picea abies* (L.) Karst. forests of the Ukrainian Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 334, 144–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.005>
49. Tsap-WIN. Time series Analysis Software. (n.d.). Available at: <https://rinntech.info/products/tsap-win/>
50. Yue C., Kahle H.-P., Klädtke J., & Kohnle U. (2023). Forest stand-by-environment interaction invalidates the use of space-for-time substitution for site index modelling under climate change. *For. Ecol. Manage.* 527, 120621. doi: 10.1016/j.foreco.2022.120621
51. Yue C., Kahle H.-P., von Wilpert K., & Kohnle U. (2016). A dynamic environment-sensitive site index model for the prediction of site productivity potential under climate change. *Ecological Modelling*, Vol. 337: 48-62, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.005>.