



Forest Policy Report

SFI/2024

**Концепція проведення
дослідження перспектив постачання
деревини в Україні (ДППД)**

Гайно Поллей

Київ, лютий 2024



unique
land use

IAK
AGRAR CONSULTING

GFA
CONSULTING GROUP
Generalbeauftragter BMEL
Büro Berlin

About the Project “Sustainable Forestry Implementation” (SFI)

The project “Technical Support to Forest Policy Development and National Forest Inventory Implementation” (SFI) is a project established in the framework of the Bilateral Cooperation Program (BCP) of the Federal Ministry of Food and Agriculture of Germany (BMEL) with the Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine (MEPR). It is a continuation of activities started in the forest sector within the German-Ukrainian Agriculture Policy Dialogue (APD) forestry component.

The Project is implemented based on an agreement between GFA Group, the general authorized executor of BMEL, and the State Forest Resources Agency of Ukraine (SFRA) since October 2021. On behalf of GFA Group, the executing agencies - Unique land use GmbH and IAK Agrar Consulting GmbH - are in charge of the implementation jointly with SFRA.

The project aims to support sustainable forest management planning in Ukraine and has a working focus on the results in the Forest Policy and National Forest Inventory.

Author

Heino Polley

Disclaimer

This paper is published with assistance of SFI but under the solely responsibility of the author Heino Polley under the umbrella of the Sustainable Forestry Implementation (SFI). The whole content, particularly views, presented results, conclusions, suggestions or recommendations mentioned therein belong to the authors and do not necessarily coincide with SFI's positions.

Contacts

Troitska Str. 22-24,
Irpin, Kyiv region
+38 (067) 964 77 02

Зміст

Загальний огляд	4
1. Міжнародний та німецький досвід для дослідження пропозиції деревини	5
2. Внесок вхідних даних з нинішньої ДЗЗ-Інвентаризації	12
3. Відображення політичних сценаріїв у моделях	13
4. Необхідні правові, організаційні та фінансові ресурси	14
5. Підтримка з боку проєкту SFI	15
6. Ключові завдання та необхідні проєктні заходи	16
Додаток 1	17
Додаток 2	23

Загальний огляд

Для моделювання пропозиції деревини використовуються два принципово різні підходи: моделі окремих дерев (наприклад, WENAM у Німеччині) та матричні моделі (наприклад, європейська EFDM). Моделі окремих дерев зазвичай тісно пов'язані з методологією повторної інвентаризації і тому не можуть бути просто повторно використані для інших національних інвентаризацій лісів. Матричні моделі використовують агреговані дані. Тому вони повністю незалежні від методології інвентаризації і можуть бути використані для універсального застосування. Жодна з цих моделей не може передбачити майбутнє, оскільки модельовані процеси є занадто складними. Результати є не прогнозами, а сценаріями.

Матрична модель на основі території може бути можливим варіантом для ДППД для України. Для цього рекомендується використовувати вільно доступну модель EFDM. Однодеревні моделі наразі не підходять для України, оскільки ДЗЗ-Інвентаризація не містить даних щодо однодеревних моделей. Поточна ДЗЗ-Інвентаризація є корисною, але недостатньою базою даних для ДППД. На додаток до збору даних, особливим викликом для ДППД є переведення політичних цілей у сценарії моделі. Залежно від очікувань, а також фінансових і кадрових умов, слід шукати компромісний варіант або оптимальний варіант ДППД. Для оптимального варіанту необхідна додаткова інвентаризація ДДЗ на більш ранній період часу. Для моделювання сценаріїв за допомогою EFDM необхідні ретельний досвід роботи зі статистичною програмою R та експертні знання в галузі лісового господарства. Залежно від рівня очікувань, для ДППД слід розраховувати щонайменше від шести до 12 місяців.

1. Міжнародний та німецький досвід для дослідження пропозиції деревини

Національні лісові інвентаризації можуть відображати лише минуле, оскільки навіть найновіші дані вже не є повністю актуальними, коли публікуються результати інвентаризації. Для лісополітичних та економічних цілей також необхідна постійна інформація про майбутнє лісів та їхній потенціал. З цією метою були розроблені різні моделі, які використовують дані з національних лісових інвентаризацій або інших джерел даних. Використовуються два принципово різні підходи до моделювання: моделі одного дерева та матричні моделі.

Комплексний огляд моделей, що використовуються у 22 країнах Європи та Північної Америки, було складено та опубліковано в рамках COST Action FP101 (USEWOOD)¹. Коротку інформацію про країни-учасниці можна знайти в Додатку 1.

Моделі окремих дерев

Моделі окремих дерев моделюють приріст, вирубування і відмирання, а також відновлення для кожного окремого дерева в лісовій інвентаризації. Зазвичай вони тісно пов'язані з відповідною методологією інвентаризації і тому можуть бути повторно використані для інших національних лісових інвентаризацій лише з великими витратами. Прикладом цього є моделювання розвитку лісів та обсягів деревини (WENAM) у Німеччині.

WENAM - модель розвитку лісів та обсягів деревини Федерального лісового кадастру

Перша версія моделі розвитку лісів та обсягу деревини для Національної лісової інвентаризації була розроблена² між 1993 та 1995 роками в Лісовому дослідницькому центрі Баден-Вюртемберга у тісній співпраці з Федеральним міністерством продовольства та сільського господарства та Федеральним дослідницьким центром лісового господарства та лісової продукції (зараз входить до складу Інституту Тюнена) і застосована³. до даних Національної

¹ Forest Inventory-based Projection Systems for Wood and Biomass Availability, Springer International Publishing, 2017. Editors: Susana Barreiro, Mart-Jan Schelhaas, Ronald E. McRoberts, Gerald Kändler. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56201-8>

² Bösch, B (1995): Ein Informationssystem zur Prognose des künftigen Nutzungspotenzials. In: Forst und Holz, 50(1995)19, S587-593

³ Polley H, Sasse V, Englert H (1996): Entwicklung des potentiellen Rohholzaufkommens bis zum Jahre 2020 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: Wiedebusch Kommissions-Verlag, VII, 266 p, Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst Holzwirtschaft, Nr. 183

лісової інвентаризації 1987 року. Модель була вдосконалена⁴ для кожного наступного циклу інвентаризації і використовується сьогодні⁵ ⁶. Модель особливо активно використовувалася в період з 2015 по 2017 рік у рамках проекту сценаріїв WEHAM, в якому на додаток до базового сценарію було розроблено сценарій переваги деревини та сценарій переваги збереження природи. Однак усі три моделі не могли передбачити, що посушливі 2018-2020 роки спричинять значну шкоду лісам, яка продовжуватиме впливати на них у майбутньому. Однак такі непередбачувані події або події, які неможливо точно змоделювати, є нормальним явищем для більш тривалих періодів моделювання. Тому відповідальні розробники моделей не повинні забігати надто далеко в майбутнє.

Модель дуже тісно пов'язана з національною інвентаризацією лісів з точки зору методології та програмного забезпечення. Основний принцип полягає в тому, що майбутній приріст і вирубка або загибель моделюються для кожного окремого дерева з лісової інвентаризації, а також розкладання заготовлених стовбурів. Модуль росту використовує функції росту, отримані на основі багаторазово вимірених дерев-зразків. Модуль проріджування ґрунтується на кривих контролю суми площ поперечного перерізу для конкретних деревних порід. Модуль остаточного використання базується на фіксованому часі обороту або цільовому діаметрі товщини. Модуль сортування використовує модель кривої стовбура "Bdat"⁷ і математично розділяє стовбур на фіксовані довжини або колоди і промислову деревину.

Модель можна дуже гнучко контролювати, визначаючи багато параметрів для кожного модуля, зокрема для 16 федеральних земель, 14 груп деревних порід (а в деяких випадках і 6 окремих видів). Це дає в цілому близько 2400 можливих налаштувань і робить визначення сценарію дуже складним і трудомістким. Оскільки результати завжди повинні розглядатися в контексті припущень сценарію, всі дані для визначення сценарію публікуються на сайті <https://bwi.info>⁸.

Потім змодельовані дані інтерпретуються так само, як і вихідні дані вибірки. Для представлення результатів також використовується інструмент інтернет-

⁴ https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/WEHAM_2012_Modelle_und_Algorithmen_2016_09_01_V21a.pdf

⁵ <https://www.weham-szenarien.de/>

⁶ Oehmichen K, Klatt S, Gerber K, Polley H, Röhling S, Dunger K (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung - Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 88 p, Thünen Rep 59, DOI:10.3220/REP1527686002000 https://literatur.thuenen.de/digbib_extem/dn059875.pdf

⁷ Актуальна версія „TapeS“ <https://cran.r-project.org/web/packages/TapeS/index.html>

⁸ Інформація про сценарій" в таблиці результатів

презентації Федеральної інвентаризації лісів⁹. Таким чином, можна показати широкий спектр детальних результатів для всіх групувань (наприклад, федеральні землі, типи власності, види дерев) і багатьох цільових змінних (наприклад, площі, запаси деревини, приріст, кількість використання) Федеральної інвентаризації лісів.

Тісний зв'язок між інвентаризацією та моделями дає багато переваг у загальному пакеті, оскільки для обох цілей використовується одне і те ж програмне забезпечення для оцінки та презентації. З іншого боку, це значно ускладнює подальше використання, оскільки модель може бути використана тільки в повному пакеті. В принципі, це стосується і окремих моделей дерев інших країн.

Довгострокове збереження досвіду та послуг також є проблематичним, оскільки лише кілька людей володіють інсайдерськими знаннями. Якщо вони більше не працюють, то для наступників потрібно провести велику роботу з ознайомлення. Найважливіші початкові розробники WENAM вже вийшли на пенсію.

Особливі виклики:

- Лісокористування: Якщо ріст дерев можна змодельовати досить надійно, то для лісокористування це складно, оскільки зовнішні впливи та варіанти дій є дуже різноманітними. Тому визначаються варіанти дій, які є важливою основою для визначення сценаріїв.
- Стихійні лиха: великомасштабні руйнівні явища, що виникають спорадично, не можуть бути точно спрогнозовані. Вони розглядаються лише як фактори невизначеності задля аргументації.
- Зміна клімату: зміна клімату може впливати на ріст і загибель дерев, а також на ймовірність стихійних лих. Однак вплив клімату на ріст дерев суттєво залежить від ґрунтових умов. Це поки що не враховано в моделі через брак даних.

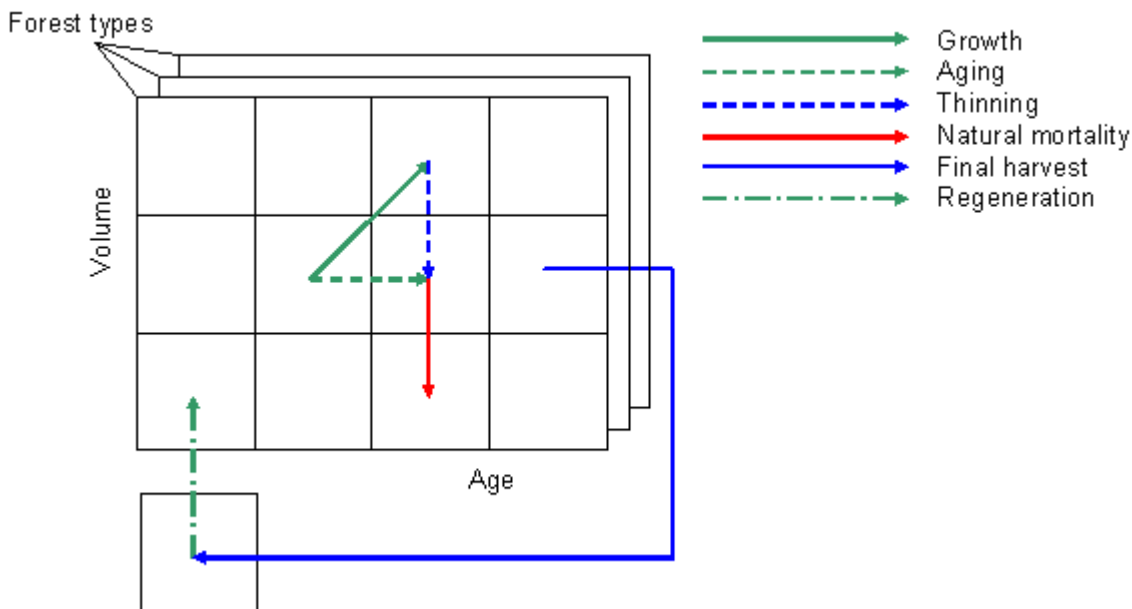
Матричні моделі

Матричні моделі використовують агреговані дані з лісових інвентаризацій або інших відповідних джерел даних. Вони повністю незалежні від методології інвентаризації і тому можуть використовуватися універсально.

У матричній моделі склад лісу представлений як розподіл площі за класами віку та об'єму. При розрахунку моделі площі переносяться між клітинками матриці. Площі переміщуються до вищого класу віку через старіння, до вищого класу

⁹ <https://bwi.info/>

запасу через приріст і до нижчого класу запасу через використання деревини або загибель. Остаточне використання моделюється шляхом видалення ділянки з відповідної комірки і повторного введення її як ділянки регенерації в найнижчому класі віку/запасу. Ймовірності переходу між комірками матриці найкраще оцінювати на основі повторних інвентаризацій. Моделі зазвичай розраховуються окремо для різних типів лісу.



Принцип побудови матричних моделей¹⁰

Просте застосування EXCEL

Інститут Тюнена реалізував просту матричну модель у вигляді додатку EXCEL, за допомогою якого дуже прозоро моделюється сценарій звичайного розвитку подій. Альтернативні сценарії не передбачені в цій простій матричній моделі. Цю програму можна модифікувати і використовувати без обмежень. Інші матричні моделі також працюють за тим же основним принципом¹¹.

Матриця переходу формується на основі даних базового періоду. Вона показує, як області клітинки матриці переходять від початку звітної періоду до клітинки матриці в кінці звітної періоду. Ці ймовірності переходу потім послідовно застосовуються для серії кроків проєкції. Таким чином, на кожному кроці проєктування формується нова матриця площ, що відображає розвиток площ за класами віку/запасу. Помноживши площі на значення на гектар (наприклад, запас, приріст, використання деревини), можна також змоделювати відповідні загальні значення. Оскільки завжди використовуються

¹⁰ <https://efi.int/knowledge/models/efiscen/approach>

¹¹ Download: <https://cloud.zeitneid.de/index.php/s/0T28AkMeDnSurZi>

ймовірності переходу від базового періоду, приріст і лісокористування екстраполюються з вихідного періоду (за сценарієм звичайної діяльності).

EFISCEN - Європейська інформаційна модель лісових сценаріїв

Однією з широко відомих програм є Європейська інформаційна модель лісових сценаріїв (EFISCEN)¹², яка наразі реалізована на мові Java і знаходиться у вільному доступі¹³. Основу сучасної моделі EFISCEN було розроблено в Шведському університеті сільськогосподарських наук наприкінці 1980-х років. У 1996 році модель була передана Європейському інституту лісу (EFI), і з того часу вона продовжує розвиватися EFI та Alterra (університет Вагенінген)¹⁴. Основним обмеженням є те, що EFISCEN була розроблена лише для одновікових, контрольованих лісів. EFISCEN менш придатна для різновікових або безгосподарських лісів, а також для захисних лісових систем.

EFDM - Європейська модель динаміки лісового господарства

Європейська модель динаміки лісового господарства (EFDM)¹⁵ є подальшим розвитком EFISCEN. Вона була розроблена для Об'єданого дослідницького центру Європейської Комісії (JRC) і опублікована у вигляді R-скриптів за публічною ліцензією Європейського Союзу (EUPLv1.1)¹⁶. На відміну від EFISCEN, EFDM також доступна у версії для різновікових деревостанів¹⁷.

У комплексному пілотному дослідженні, яке координував ENFIN у 2019 році, модель EFDM була протестована у 23 європейських країнах¹⁸. У більш пізньому дослідженні від 2023 року повідомляється про порівняння EFDM з канадською моделлю вуглецевого бюджету CBM-CFS3 у Польщі¹⁹. Поточна версія описана в

¹² <https://efi.int/knowledge/models/efiscen>

¹³ <https://github.com/EuropeanForestInstitute/efiscen>

¹⁴ <https://www.wur.nl/nl/project/european-forest-resource-analysis-tools.htm>

¹⁵ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4715d130-0803-4e99-abed-915fec152c7b/language-en>

¹⁶ <https://cran.r-project.org/web/packages/efdm/vignettes/example.html>

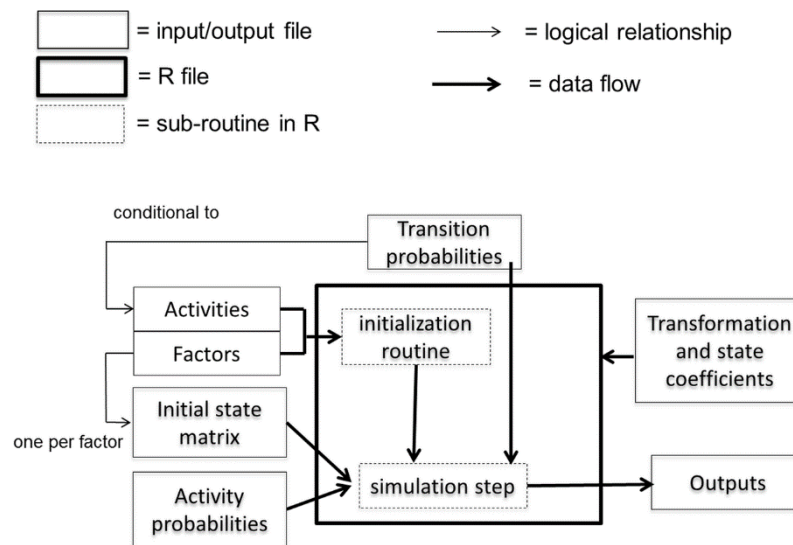
¹⁷ <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/5/1500>

¹⁸ <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-019-0863-6>

¹⁹ <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/3/548>

довідковому посібнику від серпня 2023 року²⁰. Версією для просторових представлень є EFDM-geo²¹.

Сценарії створюються в EFDM шляхом визначення ймовірності проріджування, кінцевого використання та невикористання для кожної комірці матриці.



Основна структура EFDM

Сценарії - не прогнози

Кожен розробник і користувач цих моделей повинен розуміти, що жодна з них не може передбачити майбутнє. Процеси, що моделюються, занадто складні для цього. Зокрема, лісокористування має широкий спектр варіантів дій, які можуть бути дуже по-різному мотивовані. З цієї причини лісогосподарська діяльність моделюється не як функція, а як припущення. Сума всіх припущень, функцій і моделей утворює сценарій. Сценарії - це скромна форма прогнозування, в якій робляться припущення і моделюються їх наслідки. Використання деревини, показане в сценарії, слід розуміти як "потенційний обсяг необробленої деревини", який може бути реалізований за базових припущень, а потім призведе до змодельованого розвитку лісів. Для того, щоб звузити фактичний очікуваний розвиток, зазвичай моделюють кілька сценаріїв і порівнюють їх між собою. Потенційне використання деревини, показане в сценаріях, завжди повинно розглядатися в контексті основних припущень і отриманого в результаті розвитку лісів. Це необхідно враховувати в комунікації. Сценарії можуть реалізуватися лише за умови, що припущення є правильними.

²⁰ <https://cran.r-project.org/web/packages/efdm/efdm.pdf>

²¹ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC104264>

Сценарії, які призводять до бажаних результатів з точки зору обсягів деревини та розвитку лісів, можуть слугувати орієнтиром для ведення лісового господарства.

Варіанти для дослідження перспектив постачання деревини (ДППД) в Україні

Для ДППД потрібна модель та відповідні дані. Матрична модель на основі території може бути прийнятним варіантом для ДППД в Україні. Для цього рекомендується модель EFDM, оскільки вона широко використовується у спільноті ENFIN, і за необхідності можна відносно легко отримати підтримку. Моделі окремих дерев наразі не підходять для ДППД в Україні, оскільки ДЗЗ-Інвентаризація не містить даних про окремі дерева.

Однак поточна ДЗЗ-Інвентаризація може задовольнити вимоги до даних для матричної моделі лише в дуже обмеженій мірі. Завершена наземна національна інвентаризація лісів значно покращила б ситуацію з даними. Лише повторна інвентаризація забезпечить оптимальну базу даних.

Відповідаючи на запитання, двоє досвідчених користувачів EFDM з LUKE²² дійшли висновку, що за нинішніх умов в Україні, **ДППД з EFDM може бути реалізовано на дуже простому рівні** (Додаток 2).

²² <https://www.luke.fi/en>

2. Внесок вхідних даних з нинішньої ДЗЗ-Інвентаризації

Поточна ДЗЗ-Інвентаризація є корисною, але недостатньою базою даних для ДППД. Для створення емпірично обґрунтованої матриці переходу, яка є основою кожної матричної моделі, необхідна додаткова ДЗЗ-Інвентаризація для більш раннього періоду часу (-10 років?). Теоретично можлива, фіктивна перехідна матриця значно знизить цінність моделювання. Дані приросту, яких бракує в ДЗЗ-Інвентаризації, можна взяти з таблиць ходу росту як замітник. Однак досвід показує, що це значно недооцінює приріст, а отже, і потенційний обсяг деревини. Класи віку (20 років) і класи запасу (50 м³) є дуже широкими. Менші класи можливі, але це знижує точність.

3. Відображення політичних сценаріїв у моделях

Окрім збору даних, особливим викликом для ДППД є переведення політичних цілей у модельні сценарії. У Німеччині контрольні параметри для базового сценарію WENAM були визначені в ході декількох тестових сценаріїв і координаційних раундів з представниками федеральних земель. У проекті сценарію WENAM створення сценарію було більшим робочим пакетом, який реалізовувався за широкої участі зацікавлених сторін²³. Цей складний процес координації покращує сприйняття сценаріїв серед зацікавлених груп. У той час як базовий сценарій був в основному повідомлений і представлений BMEL, альтернативні сценарії в першу чергу розглядаються як науковий проект Інституту Тюнена.

Любов Полякова описала підходи до можливих песимістичного, реалістичного та оптимістичного сценаріїв розвитку лісового господарства в Україні у своїй доповіді від січня 2024²⁴ року. Вони ґрунтуються на економічній ситуації в країні, наслідках зміни клімату, циркулярній економіці та ринку деревини, а також фінансових стимулах для лісового сектору. Зокрема, слід брати до уваги обмеження доступу до лісів, пов'язані з війною, та деградацію лісів, нестачу лісогосподарського обладнання, розвиток лісових територій та породний склад дерев, періоди рубок і режими рубок догляду, лісовідновлення, стихійні лиха, розвиток лісового господарства, незаконні рубки та біоекономіку. Виходячи з цих загальних міркувань, необхідно визначити кілька сценаріїв, які можуть бути змодельовані за допомогою обраної моделі. На жаль, можливості адекватного управління моделлю досить обмежені порівняно зі складними суспільними цілями.

У моделі EFDM сценарії визначаються шляхом вказівки ймовірності проріджуннва (проведення рубок), остаточного використання або відсутності використання для кожної клітинки матриці "вік/запас". Розраховуючи модель окремо для типів лісу (домінуючих деревних порід), заходи можуть бути визначені на основі конкретних видів. Якщо модель також розраховується окремо для областей або екорегіонів, можна врахувати регіональні особливості. Кожна диференціація примножує необхідні зусилля.

²³ <https://www.weham-szenarien.de/aktuelles/1-workshop>

<https://www.weham-szenarien.de/aktuelles/2-workshop>

<https://www.weham-szenarien.de/aktuelles/3-workshop>

²⁴ Звіт національного короткострокового експерта з розробки концепції реалізації дослідження перспектив пропозиції деревини в Україні для проекту "Технічна підтримка розвитку лісової політики та впровадження національної інвентаризації лісів". Країна: Україна, Номер проекту: W-UKR 21-01

4. Необхідні правові, організаційні та фінансові ресурси

Повноваження щодо моделювання обсягів деревини в Німеччині випливають з Федерального лісового закону §41a²⁵. Очікується, що Федеральна лісова інвентаризація "надасть загальне уявлення про великомасштабні лісові умови та можливості лісогосподарського виробництва". Це особливо важливо для обґрунтування фінансування цього завдання. Правова база не є обов'язковою умовою для наукового проекту, якщо фінансування забезпечено.

Для розробки ДППД в Україні необхідно знайти баланс між очікуваннями та фінансовими і кадровими умовами. Можливі наступні варіанти:

- **Компромісний варіант** без додаткової ДЗЗ-Інвентаризації: на основі таблиць ходу росту та досвіду ведення лісового господарства будується фіктивна матриця віку/запасу для другого моменту часу. Разом з матрицею, отриманою з поточної ДЗЗ-Інвентаризації, вона формує дані для розробки сценаріїв за допомогою EFDM. Однак ця процедура має більше характер пілотного дослідження, оскільки лише початковий стан лісів включається в модель на основі фактичних даних. Все інше є фіктивним.
- **Оптимальний варіант** з додатковою ДЗЗ-Інвентаризацією: методологія, розроблена для поточної ДЗЗ-Інвентаризації, використовується для створення додаткової ДЗЗ-Інвентаризації з попередніми супутниковими даними. Піксельні дані двох моментів часу використовуються як вхідні дані для EFDM. На основі цього можна створити перехідну матрицю, яка відображає реальний розвиток у базовому періоді. Однак невизначеності можуть виникати через різницю в якості даних за різні періоди.

Вважається, що зусилля для оптимального варіанту не є значно більшими, ніж для компромісного варіанту. Фактичне моделювання є однаковим, відрізняється лише збір даних. З одного боку, не слід недооцінювати зусилля, необхідні для побудови достатньо вірогідної фіктивної матриці "вік/запас" для компромісного варіанту. З іншого боку, зусилля для додаткової ДЗЗ-Інвентаризації в оптимальному варіанті будуть значно меншими, ніж для поточної ДЗЗ-Інвентаризації, оскільки розроблена методологія використовується повторно.

Передумовами для моделювання сценаріїв за допомогою EFDM є ґрунтовний досвід роботи зі статистичною програмою R²⁶ та спеціальні знання в галузі лісового господарства.

²⁵ <https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BJNR010370975.html>

²⁶ <https://www.r-project.org/>

5. Підтримка з боку проєкту SFI

Підтримка з боку проєкту SFI може бути організована аналогічно як для поточної ДЗЗ-Інвентаризації: досвідчений керівник проєкту з Німеччини, управління контентом технічно досвідченим національним експертом з України, а також технічні консультації та підтримка з боку національних та міжнародних експертів. Залежно від вимог до контенту та обраного варіанту, потрібно мінімум від шести до 12 місяців.

6. Ключові завдання та необхідні проєктні заходи

Необхідні наступні кроки:

1. Уточнення очікувань від ДППД та прийняття рішення на користь компромісного або оптимального варіанту
2. Рішення про диференціацію за типами лісів та/або регіонами
3. Ознайомлення з програмним забезпеченням EFDM
4. Збір та підготовка даних для моделі
5. Визначення сценаріїв
6. Підготовка результатів моделювання
7. Проєктний звіт
8. Поширення результатів

У разі необхідності може бути організована технічна підтримка з боку спільноти ENFIN.

Додаток 1

Національні системи прогнозування деревної біомаси на основі інвентаризації лісів ²⁷

Австрія: Незалежний від відстані симулятор PROGNAUS був розроблений з використанням вибірки дерев та даних інвентаризаційних ділянок австрійської НІЛ. CALDIS є останньою версією PRORNAUS. Модулі, структура та моделі росту обох симуляторів є порівнянними, але CALDIS додатково інтегрує кліматичні зміни та використовує довші часові ряди даних австрійської НІЛ, що охоплюють 1981-2009 роки.

Болгарія: Болгарія має давню традицію підготовки лісовпорядкування та довгострокових прогнозів лісових ресурсів. Плани лісовпорядкування готуються в 10-річних циклах і в основному зосереджуються на ресурсах деревини. Для багатофункціонального лісовпорядкування та оцінки корисним була б нова національна інвентаризація лісів, що базується на статистичному підході. У політичних процесах і документах також наголошується на необхідності розпочати розробку болгарської НІЛ, але поки що вона не була реалізована.

Канада: Національна система обліку та звітності моніторингу вуглецю в лісах (NFCMARS) є прикладом програми, яка може забезпечити стратегічну оцінку лісових джерел по всій Канаді. NFCMARS зазвичай використовується для наукового, політичного аналізу та звітності про динаміку вуглецю в 2,3 млн. км² господарських лісів Канади, але також може бути використана для прогнозування майбутньої доступності відновлюваних джерел біомаси..

Чеська Республіка використовує плани лісовпорядкування та дані національної інвентаризації лісів для надання інформації про ліси та лісове господарство на національному рівні. Кожне з цих джерел надає суттєво різні значення ключових змінних (наприклад, деревостани, площа лісів). Однак офіційні національні прогнози базуються лише на планах лісовпорядкування, які регулярно складаються з 1983 року з використанням інструменту "Прогнозування заготівлі деревини", який моделює деревостани та обсяги, доступні для заготівлі в чеських лісах.

Данія: Розроблено сценарні моделі для прогнозування ресурсів деревної біомаси в лісах Данії. Результати дають уявлення про вплив різних лісгосподарських заходів, а також про те, як вони впливають як окремо, так і в сукупності на ліси та розвиток як потенційного врожаю, так і ресурсів, насамперед, з точки зору живої біомаси та резервуарів вуглецю. Сценарне

²⁷ Витяги з книги "Системи прогнозування наявності деревини та біомаси на основі лісових інвентаризацій". Springer International Publishing, 2017. Редактори: Сусана Баррейро, Март-Ян Шельхаас, Рональд Е. МакРобертс, Джеральд Кендлер. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56201-8>

моделювання використовує оцінки з національної лісової інвентаризації як безпосередній вхідний матеріал для моделювання в національному масштабі, а результати є ключовим внеском у поточні дискусії щодо майбутньої лісової політики та стратегічного розвитку управління лісами як у приватних, так і в державних лісах Данії.

Естонія: Використовуються два типи лісових інвентаризацій: (1) лісова інвентаризація на рівні деревостанів та (2) національна лісова інвентаризація на рівні вибіркових ділянок. Близько 80% лісів Естонії інвентаризуються за допомогою інвентаризація на рівні деревостанів. Дані НІЛ використовуються в основному для лісової статистики на рівні країни, в той час як дані інвентаризації на рівні деревостанів використовуються для довгострокових прогнозів лісових ресурсів. Моделі, що використовуються для моделювання деревостанів і прогнозування приросту, а також для методології ведення лісового господарства, опубліковані в естонському законодавстві як методичні рекомендації. Не існує жодного лісового симулятора, доступного для публічного використання, хоча приватні компанії розробили власне програмне забезпечення, яке включено до їхніх інформаційних систем.

Фінляндія: Концепція базується на даних Фінської національної лісової інвентаризації та використанні фінської моделі динаміки лісового господарства *MELA*. Підхід базується на інтегрованому моделюванні на рівні деревостанів та оптимізації на рівні лісових масивів. Симулятор деревостану використовує непросторові емпіричні субмоделі для окремих дерев..

Франція: Наразі у Франції для прогнозування лісових ресурсів використовуються два типи великомасштабних моделей динаміки лісів: підхід на основі вікових класів для лісів, де можна оцінити вік деревостанів, і підхід на основі класів діаметрів для лісів, де це неможливо або не має сенсу. Моделі діаметрів і вікових класів використовуються в прогнозних дослідженнях в залежності від типу лісів, що моделюються. Модель класу віку застосовується лише до одновікових лісів, тоді як модель класу діаметра може бути використана незалежно від того, чи є деревостан одновіковим або різновіковим, чистим або мішаним.

Німеччина: *WEHAM* ("Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodell": модель розвитку лісів та постачання деревини) - це інструмент моделювання, спеціально розроблений для роботи з німецькими даними НІЛ. Симулятор складається з трьох компонентів: (1) модуль росту, (2) модуль управління та (3) модуль класифікації. *WEHAM* використовується як основний інструмент для загальнонаціональних майбутніх оцінок лісових ресурсів, перевірок сталості та різних цілей екологічного, економічного та політичного планування. *WEHAM* надає 40-річний огляд потенційної пропозиції деревини з розбивкою за такими факторами, як порода дерева, власність, асортимент, федеральні землі або інші регіональні одиниці. Крім того, прогнози надають оцінку майбутнього розвитку лісів, включаючи еволюцію деревостанів, вікових класів та видового

складу. Результати *WEHAM* також використовуються для оцінки вихідних даних для Кіотського протоколу. Хоча *WEHAM* надає правдоподібний і обґрунтований прогноз потенційного постачання деревини та розвитку лісів, результати моделювання слід інтерпретувати з обережністю через обмеження в підході до моделювання, які можуть вплинути на достовірність результатів. Для подолання недоліків *WEHAM* було модернізовано для аналізу даних для третьої НІА.

Угорщина: Кількість деревини, яка має бути заготовлена за певний період часу (10, 30 або 100 років), розраховується шляхом контролю врожайності, що дозволяє також здійснювати регулювання врожайності. Для 10-річних прогнозів враховуються як обсяги рубок догляду, так і обсяги суцільних рубок, тоді як 30-річні та 100-річні прогнози враховують лише обсяги суцільних рубок.

Ісландія: Перший національний прогноз був проведений у 2004 році і мав на меті розробити засоби обліку щорічних потоків парникових газів, пов'язаних з лісами та лісовим господарством, з особливим акцентом на викиди/поглинання CO₂ і на те, як різні темпи заліснення можуть вплинути на ці результати. Модифікована і вдосконалена версія тієї ж моделі була застосована в 2011 році для довгострокового прогнозу зростання запасів і потенційного вилучення деревини в Ісландії за сценарієм "звичайний бізнес".

Ірландія: Останній прогноз деревної біомаси датований 2011 роком. Прогноз базується на вхідних даних з трьох різних джерел і передбачає обсяги заготівлі до 2028 року. Наразі тривають дослідження методологій прогнозування та їх застосування в Ірландії. Однією з цілей проекту є аналіз можливості створення надійного прогнозу заготівлі з лісів, що перебувають у приватній власності, з використанням існуючих даних національної інвентаризації лісів.

Італія: Наразі процедури прогнозування ресурсів деревної біомаси на основі детальних вхідних змінних не були протестовані в національному масштабі. Тим не менш, деякі місцеві та регіональні моделі були розроблені для оцінки екологічно та техніко-логістично придатних для використання лісових ресурсів. Зокрема, модель *r.green.biomassfor*, інструмент на основі географічної інформаційної системи (ГІС), розроблений і протестований у провінції Тренто, вважається придатним для впровадження з даними, доступними на рівні країни..

Литва: Великомасштабний симулятор лісових сценаріїв *Kurpolis* побудований на основі детальної інвентаризації лісів у розрізі деревостанів та надійних даних НІА про запаси деревостанів та валовий середньорічний приріст. Він дозволяє робити довгострокові (>30 років) прогнози лісокористування, надаючи вихідні дані, придатні для планування лісоуправління на 10-20 років. Прогнози базуються на: методі контролю площі для оцінки допустимих щорічних рубок; регресійному моделюванні росту деревостанів; та контролі використання деревини з метою збалансування заготівлі та приросту. *Kurpolis* - це оперативний інструмент, який використовується для прогнозування розвитку лісових ресурсів та використання деревини. Щорічний бюджет рубок головного користування

оптимізується на кожному кроці з використанням принципів динамічного програмування. Бюджет повинен відповідати вимогам сталості протягом повного періоду ротації на рівні аналізованої лісогосподарської одиниці, такої як державне лісогосподарське підприємство. Інші види лісогосподарської діяльності моделюються за допомогою ітеративного моделювання іншого типу програм ведення лісового господарства на рівні деревостанів. Використання *Kurolis* варіюється від лісового виділу до всієї країни. Незважаючи на те, що симулятор використовує вхідні дані, які відповідають формату литовської інвентаризації лісів у розрізі деревостанів, агреговані дані з НІА можуть бути включені за умови, що опис страт відповідає структурі та змісту бази даних інвентаризації лісів у розрізі деревостанів.

Нідерланди: Регулярної програми прогнозування для лісового сектору не існує. У 2005 році Міністерство сільського господарства, охорони природи та якості харчових продуктів Нідерландів запросило прогноз попиту та пропозиції деревини на період 2005-2025 років з метою визначення ризиків та можливостей для власників лісів, а також деревообробної промисловості. Це дослідження включає прогнози ресурсів з використанням двох моделей, одна з яких - модель на основі окремих дерев *ForGEM*, а інша - великомасштабна сценарна модель *EFISCEN*. Обидві моделі використовують дані 5-ї національної інвентаризації лісів (2001-2005 рр.) як відправну точку..

Норвегія: За останні роки було опубліковано низку звітів, спрямованих на характеристику місцевої або національної ситуації з постачанням біомаси в Норвегії, але жодних прогнозів для всієї країни не публікувалося на регулярній основі. Більшість існуючих прогнозів ресурсів деревної біомаси є довгостроковими прогнозами, що базуються на норвезькій НІА та виконуються з використанням інструментів аналізу лісових сценаріїв, таких як *GAYA* [NorFor, SGIS] та *AVVIRK2000*. Як *GAYA*, так і *AVVIRK2000* є детермінованими імітаційними моделями. Прогнози росту ґрунтуються на розвитку "середньостатистичного дерева", тобто розвитку дерева з діаметром на висоті грудей, що дорівнює середньому діаметру площі перетину, і з висотою, що дорівнює середній висоті, виваженій за площею перетину. У Норвегії розробляється нова відкрита модель окремих дерев для сценаріїв розвитку лісів, яка називається "*sitree*" ("сидяче дерево"). Нова модель включатиме модулі для оцінки вуглецю рослинності та ґрунту і дозволить оцінити невизначеність за допомогою моделювання за методом Монте-Карло.

Португалія: *SIMPLOT*, регіональний симулятор, який використовує дані національної інвентаризації лісів як вхідні дані, був розроблений для оцінки доступності деревної біомаси, а також змін запасів вуглецю в португальських лісах за альтернативними сценаріями попиту на деревину та біомасу, виникнення пожеж, змін у землекористуванні та лісоуправлінні. Прогнози *SIMPLOT* були використані для сприяння у формуванні політики, а також у розробці

стратегій управління лісовим господарством, спрямованих на підвищення продуктивності лісів і, в кінцевому рахунку, на зміну тенденції до зростання імпорту.

Румунія: У зв'язку з нещодавнім впровадженням НІЛ в Румунії та відсутністю моделей росту, жодних прогнозів ще не було зроблено. Однак, наразі докладаються зусилля для розробки перших моделей росту. Наразі допустимі рубки визначаються кожні 10 років на основі планів ведення лісового господарства, які, в свою чергу, ґрунтуються на методах росту лісів за класами віку та нормалізації розміру і структури експлуатаційних лісів.

Іспанія: В Іспанії розроблено багато моделей росту, а також кілька симуляторів росту лісу для застосування на регіональному рівні, але переважно для моноспецифічних, навіть вікових деревостанів. Більшість моделей зосереджені на продуктивних хвойних породах, таких як *Pinus sylvestris* або *Pinus pinaster*, або на продуктивних широколистяних породах, таких як *Betula alba* або *Populus sp.*

Швеція: Дані НІЛ використовувалися і продовжують використовуватися для довгострокових прогнозів на регіональному та національному рівнях. Кожна ділянка використовується як одиниця прогнозування, а дані використовуються для побудови моделей розвитку лісів. Розвиток на ділянках моделюється за допомогою довгострокового симулятора протягом певного періоду часу, а стан ділянки вважається таким, що відображає стан території, яку вона представляє. В останні десятиліття *HUGIN*-симулятор використовується для довгострокового прогнозування лісів у Швеції. *HUGIN* включає такі функції, як надання користувачеві можливості контролювати ведення лісового господарства на різних стадіях розвитку, виділення природоохоронних територій, а також збільшення або зменшення обсягів заготівлі під час рубок догляду та суцільних рубок. *HUGIN* включає моделі для таких характеристик і атрибутів, як приріст, загибель, підріст, пошкодження і біомаса. Останній довгостроковий прогноз був завершений у 2008 році. Були отримані результати для кількох різних сценаріїв "що, якщо": Базовий (звичайний сценарій), виробництво (покращене управління), захист (збільшення заповідної території) та виробництво+захист (комбінований). Вплив зміни клімату було враховано в усіх сценаріях.

Швейцарія: Для прогнозування майбутнього розвитку лісів у Швейцарії було використано стохастичний подеревний симулятор лісу *Massimo 3*. Модель включає емпіричні модулі росту, управління, загибелі та регенерації і, в значній мірі, базується на даних Швейцарської національної лісової інвентаризації. Таким чином, вона працює на кожній ділянці НІЛ у Швейцарії. Модель була застосована до кількох сценаріїв управління, визначених групою експертів з лісового сектору Швейцарії. Використовуючи результати, отримані в результаті запуску *Massimo 3* за цими сценаріями, було оцінено деревну біомасу, доступну в Швейцарії за різних режимів лісозаготівлі та витрат. Змодельовані

сценарії використовуються для оцінки потенційної пропозиції деревини в Швейцарії, а стійка пропозиція деревини оцінюється шляхом зменшення максимальної пропозиції деревини за рахунок екологічних та соціально-економічних факторів.

Сполучені Штати Америки: Симулятор лісової рослинності (*FVS*) є найбільш широко використовуваною системою прогнозування лісових ресурсів, особливо федеральними та державними органами влади. *FVS* - це емпірична, незалежна від відстані система моделювання росту окремих дерев, яка розроблена, підтримується та оновлюється Лісовою службою США. Система ініціюється за допомогою інформації про деревостан та списків дерев, які можна отримати з бази даних інвентаризації. Моделі приросту діаметру великих дерев і смертності є найважливішими компонентами, на яких базується більша частина системи. Розширення у вигляді інтегрованих модулів або незалежних програм були розроблені для різноманітних спеціалізованих застосувань, включаючи пожежі та паливну деревину, комах та патогенні мікроорганізми, зміну клімату та облік вуглецю. Доступність даних НІЛ у форматі, готовому для *FVS*, підвищила корисність *FVS* для таких застосувань, як прогнозування на землях національних лісів, оцінка альтернативних варіантів управління та методів заготівлі деревини, а також великомасштабні оцінки стану лісів. Можливості застосування були ще більше розширені завдяки зв'язкам між *FVS* та іншими програмними системами, базами даних та геоінформаційними системами.

Додаток 2

Коментарі Карі Корхонен та Мінна Реті (LUKE, Фінляндія) щодо застосування EFDM в Україні ²⁸

Як обсяг, так і вікові класи є широкими. Чи не варто було б попередню супутникову інвентаризацію, на яку ви посилаєтесь, датувати 20-річною давністю, щоб відповідати ширині вікових класів? В іншому випадку оцінка зростання може бути складною. Для моделювання вам потрібно оцінити приріст (=переходи між віковими та об'ємними класами). В принципі, якщо у вас є класифікація супутникових знімків у вигляді карт для двох часових точок, ви можете вивести з цих карт, як розвиваються ліси в залежності від часу. Для цього потрібно лише відокремити ті ліси, які не піддавалися управлінню (або були знищені) в період між двома часовими точками.

Якщо оцінка приросту ґрунтується на змінах між супутниковими картами двох періодів, то, як відомо, існує багато невизначеностей, пов'язаних з картографічними продуктами. Крім того, ви повинні розділити ліси на різні категорії: ліси, що не управлялися людиною протягом інтервалу, ліси, що були заготовлені: суцільні рубки і проріджені/лише частково заготовлені, а також інші зміни. Ці інші зміни можуть бути пошкодженими деревостанами або змінами у землекористуванні.

Альтернативою оцінці переходу на основі карти є використання існуючих моделей росту або польових ділянок Якщо у вас є моделі росту, то ви також можете обійтися лише супутниковою інвентаризацією, на основі якої ви можете створити "другі пари спостережень" з моделями росту, а потім використати автоматичну оцінку переходу за допомогою EFDM. Але, звичайно, за допомогою цього методу ви не можете оцінити темпи змін у землекористуванні чи вирубуванні, лише приріст некерованих лісів. В цілому, я вважаю, що аналіз на дуже приблизному рівні за допомогою EFDM можна зробити.

²⁸ Персональні дані від 08.02.2024