

<https://visegrad.permakultura.sk/polycultures/>



## Outline of lecture

1. What is agroforestry?
2. Distinguishing features that make agroforestry unique among polycultures
3. Types of agroforestry in temperate zones
4. Measuring the performance of agroforestry systems
5. Knowledge gaps and research needs

Розглянемо визначення та загальний опис практики агролісівництва, характерні риси цієї системи, зокрема роль дерев в полікультурних системах, приклади застосування агролісівництва в помірному кліматі та екологічні та соціально-економічні переваги різних практик. Познайомимось з методом оцінки ефективності систем агролісівництва. На завершення розглянемо яких знань та досліджень бракує в цій сфері.

## Agroforestry - definition

**A land-use system that deliberately integrates perennial trees, shrubs, or vines with other crops and/or livestock in an integrated production system.**

Integration of perennial components can be:

- In the **same space and time**, e.g. rows of grain crops interspersed with rows of trees
- In the **same space but different times**, e.g. rotating between pasture and tree crop production
- In **different spaces but interacting in time**, e.g. adding forest biomass to soil on a crop field

**The defining feature of agroforestry:**  
**Deliberate interaction between the woody perennial component and the other crop or livestock components**

Агролісівництво – це система землекористування, що цілеспрямовано поєднує дерева, кущі або лози з іншими культурами або свійськими тваринами для виробництва сільгосппродукції. Багаторічні культури поєднуються з іншими компонентами в просторі та часі або лише в часі. Можлива також взаємодія в часовому вимірі рознесених у просторі компонентів. Ми розглянемо приклади усіх 3 типів взаємодій. Важливою ознакою агролісівництва є цілеспрямоване поєднання багаторічних деревних культур та інших культур або свійських тварин. Окремо розміщені на фермі сад та пасовище не складають системи агролісівництва, якщо між ними немає біофізичної взаємодії.

## Example Agroforestry Systems: same space and time



На цих світлинах зображено приклади систем агролісівництва, де взаємодія відбувається водночас в просторі та часі. На верхній світлині зображено вирощування озимих злакових поміж рядами дерев на півдні Франції. На нижній світлині показано випас свійських птахів попід оливами в центральній Італії.

### Example Agroforestry Systems: same space, different times



Liang et al. Forest Ecology and Management 2009

#### Long-term pineapple–tree rotations in Yunnan, China:

- Pineapples for 2–3 years
- Timber trees harvested after 20 years
- Average annual income 10 times the value of agricultural cropping without timber production

В цьому прикладі компоненти системи агролісівництва поєднані у просторі але рознесені в часі. В цій системі, що практикується в провінції Юньнань, Китай, ананаси вирощуються перші 2-3 роки поміж рядами молодих будівельних дерев допоки дерева не затінять міжряддя. Стройові дерева зрубують через 30 років. В цій системі прибуток фермера зростає приблизно в 20 разів порівняно з вирощуванням лише сільгоспкультури без будівельних дерев.

### Example Agroforestry Systems: different space, same time



#### “Fertilizer trees” in Zambia:

Nitrogen-fixing *Faidherbia* trees are grown on cropland to provide nitrogen to maize and other crops, but can also be cut to feed livestock kept elsewhere

Zambian farmer Elleman Mumba

Photo: Don Schug

В цьому прикладі зображено взаємодію систем, що розміщені на різних ділянках. На цьому прикладі із Замбії застосовуються власне дві системи агролісівництва. Вирощування на кукурудзяному полі азотфіксуючих дерев акації (*Faidherbia*) - це одночасна взаємодія в просторі і часі. Та використання гілок акації на корм худобі, що утримується окремо – це взаємодія лише в часі.

## Unique features of agroforestry as a subset of polyculture systems

### Defining feature: woody perennial component

#### Leads to these key characteristics:

- Larger architecture – using more space in 3 dimensions
  - Modification of micro-environments
  - Structural complexity
  - Deeper root systems
- Longer time horizons
  - Long life spans
  - Several years or decades before harvest
  - Products are often high-value – fruits, nuts, timber
  - Long-term biomass accumulation and carbon sequestration

Унікальними рисами агролісівництва, що вирізняють його з-поміж інших практик, пов'язані з наявністю в цій системі дерев'янистих багаторічних культур. Це забезпечує більш складну архітектуру або тривимірну структуру та більш повільний цикл росту та розвитку. На наступних слайдах розглянемо, які властивості системи агролісівництва обумовлюють ці риси.

## Tree architecture and modification of micro-climates

Trees can moderate extreme weather for crops growing near them.

Example: cooling effect of shade in a walnut orchard in California's Central Valley.

- Leafy greens, such as Brassica species, are normally a late fall/early spring crop in this Mediterranean climate, where summers are long, hot, and dry.
- These farmers are able to extend their harvest season for leafy greens beyond when other farmers in the region are selling them.

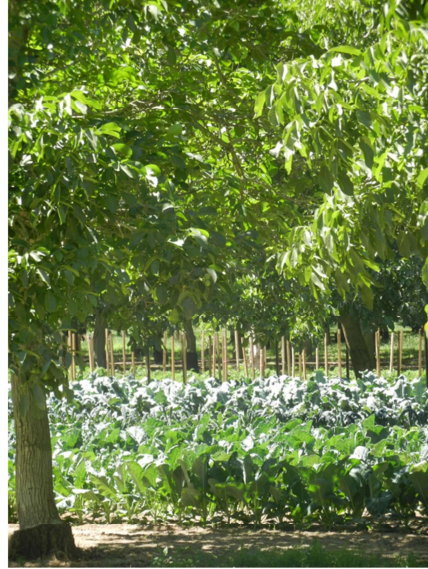


Photo: Sonja Brodt

Висота та архітектурна складність системи обумовлюють роль дерев у формуванні мікроклімату для росту нижчезрозміщених культур. Прикладом є вирощування капусти між рядами дорослих горіхів в центральній Каліфорнії. Середземноморський клімат Каліфорнії характеризується спекотним літом, і капусту та листову зелень тут переважно вирощують під час сезону дощів, з пізньої осені то початку весни. Вкриваючись густим листям наприкінці весни на створюючи затінок, горіховий сад дає можливість вирощувати капусту до початку літа. Отже, фермер отримує ринкову перевагу, коли в інших сезон вирощування польової капусти закінчився.



## Modification of micro-climates

Trees can moderate extreme weather for crops growing near them.

### Example: windbreaks

- Wind speed can be reduced by 15% to 75% for a distance from the windbreak up to 20X or more the height of the windbreak
- In temperate, arid climates, windbreaks reduce turbulent mixing of air, resulting in daytime increases in air temperature of several degrees within a distance of 8X height, and night time increases of 1-2 deg C up to 30X height.
- Enhanced field crop growth, and from 6-44% higher field crops yield (although study results are mixed)

Brandle, JR, Hodges, L, Zhou, XH. 2004. Agroforestry Systems



Photo: Sonja Brodt

Поширеною практикою є висаджування лісосмуги по межі поля для пом'якшення мікроклімату. Лісосмуга може знижувати швидкість вітру на 15-75%, і цей ефект поширюється до відстані у 20 висот дерев лісосмуги. Зменшуючи переміщення повітряних мас внаслідок зниження турбулентності, лісосмуги на кілька градусів збільшують температуру в прохолодному та посушливому кліматі на відстань до 8 висот лісосмуги, а також підвищують на 1 – 2 градуси нічну температуру на віддаль до 30 висот лісосмуги. Деякі дослідження показують підвищення врожайності культур на 6-44% поблизу лісосмуги. В інших дослідженнях ефект відсутній - багато залежить від особливостей будови лісосмуги та погоди.

## Tree architecture: structural complexity

Trees can introduce structural complexity into a landscape dominated by short-stature annual crops, providing important wildlife habitat

In California's agriculturally intensive Central Valley, which has lost most of its natural lands, a study found that field margins with hedgerows, tree lines or remnant riparian habitat harbored

- **2–3 times** as many bird species
- **3–6 times higher maximum total abundances** of birds than bare or weedy margins.
- Significantly **greater species evenness** (a measure of distribution of individuals amongst different species)

Heath et al. 2017. Biological Conservation



Photo: Sonja Brodt

Архітектурна складність дерев сприяє формуванню оселищ для диких тварин, зокрема в сільгоспландшафтах з домінуванням низькорослих однорічних культур. У висаджених по межі полів лісосмугах, живоплотах чи прибережних лісах Центральної долини Каліфорнії мешкає в 2-3 рази більша кількість видів птахів, аніж у зарослих бур'янами межах. Кількість особин птахів також збільшувалася в 3 – 6 разів, причому це на обов'язково великі зграї зерноїдних птахів, але й місцеві співочі птахи, що переважно харчуються ресурсами цих лісопосадок. Також спостерігається більш рівномірний розподіл видів, тобто приблизно рівнозначна кількість особин різних видів.

## Tree architecture: deeper root systems

Diverse crops with varying rooting depths – e.g. trees with herbaceous crops - can better utilize water and nutrients from the total volume of soil

- Tree roots scavenge N and P from deeper in the soil profile, preventing leaching (Jose et al. 2009)
- Trees in cropland can recycle nutrients from deeper layers to the soil surface via leaf litter (Dosskey et al. 2017)
- **Hydraulic lift:** some tree species can redistribute water from deeper, moister soil layers up to drier layers, through their roots, making more soil moisture available to understory plants in arid conditions (Jose et al. 2009)



Підземні частини рослин мають таку ж складну архітектуру, як і надземні їх частини. Це зокрема глибока коренева система. Якщо в полікультурній системі поєднуються дерева з глибоким корінням та трав'янисті культури, то покращується загальна ефективність споживання поживних речовин та води в системі, зокрема доступ до глибоко розміщених ресурсів. Також це попереджає вимивання нітрогену та фосфору з ґрунту, що перехоплюються глибоким корінням дерев. Отже, зменшується забруднення довкілля. Деревина виносить поживні речовини з глибин ґрунту на поверхню з листовим опадом. Деякі види дерев здатні створювати гідравлічний напор – це транспортування вологи в посушливих умовах корінням дерев з глибини до поверхневих шарів ґрунту для забезпечення поверхневого коріння від пересихання. Від цієї вологи також отримують користь висаджені порід деревами культури.

## Tree architecture and agroforestry design

Researchers in France found that walnut tree roots grow significantly deeper when interplanted with wheat, compared to without any intercrop. ---

**Improved resilience to occasional droughts?**

Haugaard-Nielsen & Jensen  
2005. Pant and Soil.



При розробці систем агролісівництва важливо враховувати характер та пластичність кореневої системи. В проведеному в Франції експерименті було показано, що саджанці грецького горіха формують значно глибшу кореневу систему, коли в їх міжряддях вирощують пшеницю, вірогідно, для уникнення конкуренції з корінням пшениці в поверхневих шарах ґрунту. Отже, горіхи стають більш стійкими до впливу посухи. Розробляючи полікультурну систему для формування культурами глибшої кореневої системи можна покращити продуктивність та стійкість системи.

## Tree life spans: Longer establishment time and life span

Long establishment and growth period for trees allows for intercropping in orchards during early years

Example: hay production in a newly established walnut orchard in California



Photo: Rex Dufour

Іншою важливою однакою дерев є більша тривалість життя. Фермери можуть використовувати цю особливість (дерева досягають максимальної висоти через багато років) вирощуючи інші культури поміж рядами молодих дерев. Тут знову наведений приклад з Каліфорнії, де фермери збільшують продуктивність вирощуючи кормові культури на сіно поміж рядами молодих грецьких горіхів.

## Tree life spans and high value products

Nuts, tree fruits, and timber often command high prices on the market, allowing higher returns per acre, once past the establishment phase.

In California's Sacramento Valley:

UC Davis Cost and Return Studies:  
<https://coststudies.ucdavis.edu>



	Processing tomatoes (2017)	Almonds (2019)
Farmgate price	\$72.50 per US ton	\$5,000 per US ton (\$2.50/lb)
Gross returns	\$3,190 per acre	\$5,500 per acre
Net returns above operating costs	\$318 per acre	\$2,796 per acre
Net returns above total costs	-\$123 per acre	\$205 per acre

Плоди дерев – фрукти та горіхи - зазвичай мають більшу ціну за однорічні культури, частково тому, що їх вирощування вимагає більш тривалих інвестицій. Проте в довготерміновій перспективі вищі ціни забезпечують більшу прибутковість з гектара порівняно з багатьма однорічними культурами. На слайді наведено приклад з Каліфорнії, де вирощують багато мигдалю та багато томатів (в монокультурах, а не в системі агролісівництва). Чистий прибуток або різниця між витратами та закупівельною ціною складає \$72.50 за тону томатів та \$5,000 за тону мигдалю. Базуючись на цих цифрах було підраховано валовий прибуток з акру виходячи з середньої врожайності цих культур з врахуванням операційних та інших постійних витрат. Вирощування мигдалю знову було набагато прибутковішим за вирощування томатів. Як видно з таблиці, в окремі роки виробникам томатів навіть на вдається вийти в нуль (-\$123). Така ж закономірність спостерігається і для інших видів фруктових та горіхоплідних культур порівняно з однорічними культурами та злаками. Отже, включення багаторічної культури має значний потенціал підвищення прибутковості ферми.

## Tree life spans: trees as “reserve bank accounts”

The long timeframe for tree growth and the high value of products allows the farmer to use trees as an emergency savings account.

Paulownia trees on a farm in southern France: 1000 Euros for 1 tree sold to specialty surfboard maker



Timber trees pruned to reduce shade and favor main stem on a farm in southern France



Photos: Sonja Brodt & Don Schug

Більша тривалість життя дерев означає, що вони можуть слугувати резервним пенсійним фондом для фермера, особливо у випадку будівельних дерев, продукцію яких можна збирати у зручний час. На слайді зображено вирощування культур з-поміж дерев павлонії. Фермер може зрубати частину дерев, коли йому потрібен додатковий прибуток. Одне з цих дерев павлонії продали за 1000 євро виробнику дошок для серфінгу. Плюсом будівельних дерев є можливість зрізування нижніх гілок для зменшення затінення культур попід деревами. Це навіть покращує якість деревини центрального стовбура.

## Tree life spans: long-term carbon sequestration

The long life spans of trees allows for carbon sequestration that is long enough to "count" in GHG emissions budgets

A study in California found that a field edge hedgerow stored 18% of the total carbon on an organic tomato farm, while taking up only 6% of the land area.

Smukler et al. 2010.  
Agriculture, Ecosystems,  
and Environment



Photo: Rachael Long

Велика тривалість життя дерев та кущів означає, що вони важливі для зв'язування карбону в ґрунті. В дослідженні, проведеному на помідорній фермі в Каліфорнії було показано, що висаджені по межі поля дерева давали 18% загального зв'язування карбону фермою, при тому, що дерева займали лише 6% площі ферми. Важливо, щоб дерева знаходилися на ділянці (чи у вигляді деревини) протягом тривалого часу, аби зв'язаний карбон не вивільнявся в атмосферу. Зв'язування карбону на 100 років вважаються довготерміновим зв'язуванням, проте більш коротке зв'язування також відіграватиме позитивну роль.



## Types of agroforestry systems in temperate climates

- Field edge plantings
- Cover crops in orchards and vineyards
- Alley cropping
- Grazing in orchards and vineyards
- Grazing in forests
- Multi-story intercropping – “food forests”
- Multi-story intercropping with grazing

Розглянемо різні типи систем агролісівництва, притаманні для помірною клімату. Список, наведений на слайді, не є повним, проте включає основні типи.

## Types of agroforestry systems: *field edge plantings*



A multi-species perennial hedgerow lining California farm fields

### **Benefits:**

- Increase populations of natural predators and crop pollinators
- Filter excess nutrients and other pollutants from runoff and percolating water
- Sequester carbon long-term

Photo: Sonja Brodt

Дерев'яниста рослинність по межі поля – раніше ми вже розглянути багатовидовий живопліт, а на наступних слайдах розглянемо важливість такої рослинності для підтримання популяцій мисливців на шкідників та запилювачів за результатами досліджень у Каліфорнії. Також така рослинність затримує поживні речовини та агрохімікатів з польових стоків та покращує проникнення води в товщу ґрунту. Як вже зазначалося, така рослинність забезпечує довготривале зв'язування карбону.

## Types of agroforestry systems: *field edge plantings*



Windbreaks

Іншим типом є лісосмуги, що створюють більш помірний мікроклімат по межах полів.

## Types of agroforestry systems: *cover cropping in orchards and vineyards*



Photo by Robert Bugg

Clover cover crop in almond orchard in California

### Benefits

- Soil health improvements – carbon, nitrogen, water infiltration
- Nectar and pollen to support almond pollinators
- Beneficial insect habitat

Іншим типом є висаджування покривних культур в садах, наприклад, висаджування конюшини серед дерев мигдалю. На відміну від комерційних культур, покривні культури висаджують переважно для надання екосистемних послуг. Як було детально розглянуто в лекції, присвяченій покривним культурам, вони виконують численні позитивні функції у садівництві, зокрема надаючи нектар та пилок для підтримання популяції запилювачів, а також слугуючи оселищем для мисливців на шкідників.

Важливо підібрати види покривних культур, що не заважатимуть догляду за садом. Наприклад, у випадку мигдалю та інших культур, які струшують та збирають із землі, покривна культура має відмерти, а її рештки встигнути розкластися до часу збору горіхів.

Types of agroforestry systems:  
*alley cropping in immature orchards*



Photo by  
Rex Dufour

Hay crop in alleys of young walnut orchard

**Benefits:**

- Income during the non-yielding early years of orchard establishment
- Soil building benefits

Іншою системою агролісівництва є алейні посадки – вирощування культур в алях (міжряддях дерев). Одним з варіантів є вирощування культур поміж рядами молодих дерев, що допомагає раніше отримати прибуток у садівництві а також покращити якість ґрунту завдяки поживним решткам культур.

## Types of agroforestry systems: *alley cropping in mature orchards*



Peppers and other vegetables in stone fruit orchard in California

### **Benefits:**

- Additional income from crops in alleys
- Continual soil cover
- Increased biodiversity

Photo: Sonja Brodt

Іншим варіантом агролісівництва є постійне вирощування культур в міжряддях, навіть коли дерева стають дорослими. На фото зображено вирощування перців та інших овочів поміж рядами кісточкових плодових дерев. Це допомагає отримати додатковий прибуток, покращити якість ґрунту та підвищити біорозмаїття. Проблемою є конкуренція за світло, воду та поживні речовини між деревами та висадженими між ними культурами. Деякі фермери застосовують глибоку оранку по межі рядів дерев для відрізання їх коріння або створення рівчака для перепони росту коріння в міжряддях з культурами. Застосовують різні методи та частоту зрошення адаптовану під потреби садових культур та культур у міжрядді. Також потрібно зважати, аби не пошкоджувати культури в міжряддях при проведенні операцій догляду за деревами.

## Types of agroforestry systems: *grazing in orchards and vineyards*

Geese grazing in vineyard in central Italy



Sheep grazing in vineyard in California



Photo: Paige Green

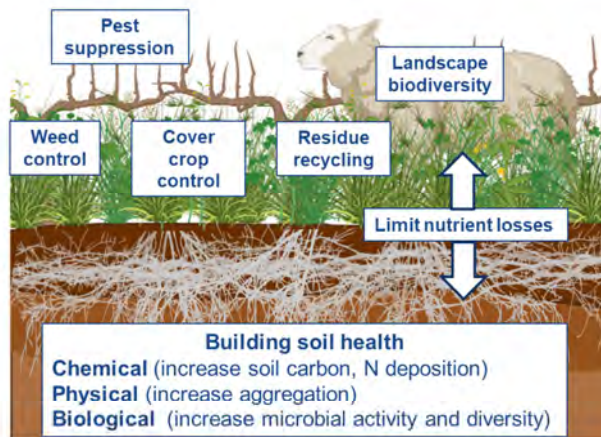


Photo: Don Schug

Випас тварин у міжряддях є іншою системою агролісівництва, що набуває популярності в багатьох країнах. На світлинах зображено випас гусей під наглядом сторожового пса в центральній Італії та випас овець у винограднику Каліфорнії.

## Example grazing systems: *sheep grazing in vineyards in California and New Zealand*

Preliminary results from side-by-side study of grazed and ungrazed vineyards by K. Brewer & A. Gaudin, Univ. of California, Davis, USA:

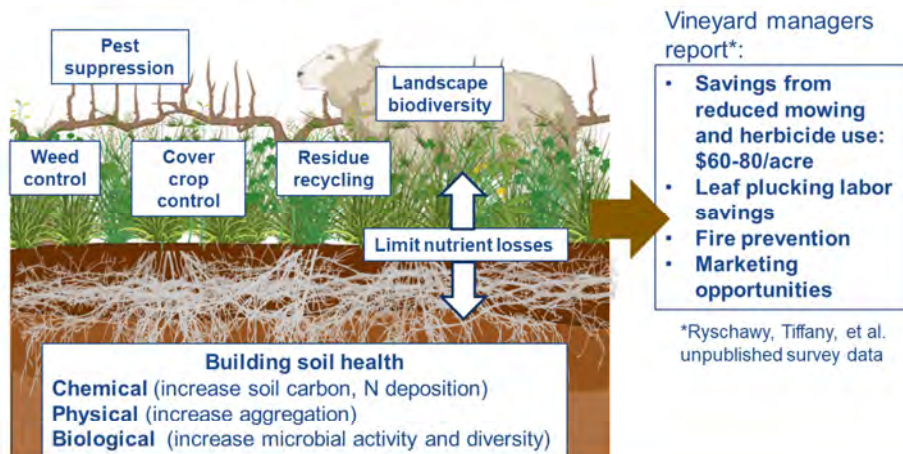


В дослідженнях, проведених у Каліфорнії та Новій Зеландії, було показано численні екосистемні переваги від випасання овець у виноградниках, що частково сприяють підвищенню прибутковості ферми. Зокрема, вівці допомагають контролювати ріст бур'яну та покривних культур та прискорюють мінералізацію решток. Поїдання покривної культури вівцями покращує накопичення в ґрунті карбону та нітрогену, агрегацію часточок ґрунту, мікробну активність та розмаїття порівняно з ситуацією без випасу.



## Example grazing systems: *sheep grazing in vineyards in California and New Zealand*

Preliminary results from side-by-side study of grazed and ungrazed vineyards by K. Brewer & A. Gaudin, Univ. of California, Davis, USA:



Niles et al. 2018 *Agronomy for Sustainable Development* 38 (1)

В Каліфорнії випас овець заощаджує витрати виноградарів на гербіциди на \$60-\$80 щороку. Також вівці об'їдають нижнє листя винограду заощаджуючи на його обрізці вручну, що потрібно для кращого досягання винограду. Вівці зменшують кількість сухостою навколо ферми та ризик пожеж, до того ж дають додатковий ринковий продукт. Для запобігання ущільнення ґрунту та ушкодження виноградної лози та зрошувальних систем важливо часто переміщувати овець між різними виноградниками.

## Types of agroforestry systems: *grazing in forests – silvopasture*

Managed deciduous forest periodically grazed by sheep in southern France – sheep graze fruits and nuts in fall when forage is in short supply in other pastures.

Photo: Don Schug





Photo: Sonja Brodt



Cattle graze under planted honey locust (*Gleditsia triacanthose* L.) in southern US –

– Sheep weight gain similar to open pasture despite lower forage production under trees.

Pent 2020. Agroforestry Systems.

Лісопасовищна система – це випас у лісі чи лісопосадці. На верхній світлинці показано випас овець в листопадному лісі на півдні Франції, де тварини харчуються плодами та горіхами восени, коли на пасовищі немає достатньо трави. Нижче показано випас рогатої худоби в посадці гледичії колючої на південі США. При дослідженні випасу овець в цій системі було показано, що незважаючи на меншу кількість трави в порівнянні з вільним від дерев пасовищем, тварини набирали однакоvu вагу переважно завдяки кращому самопочуттю тварин в прохолодному затінку дерев. До того ж тварини покращували харчування завдяки багатим на білок стручкам гледичії.

Types of agroforestry systems:  
*multi-story intercropping – “food forests”*

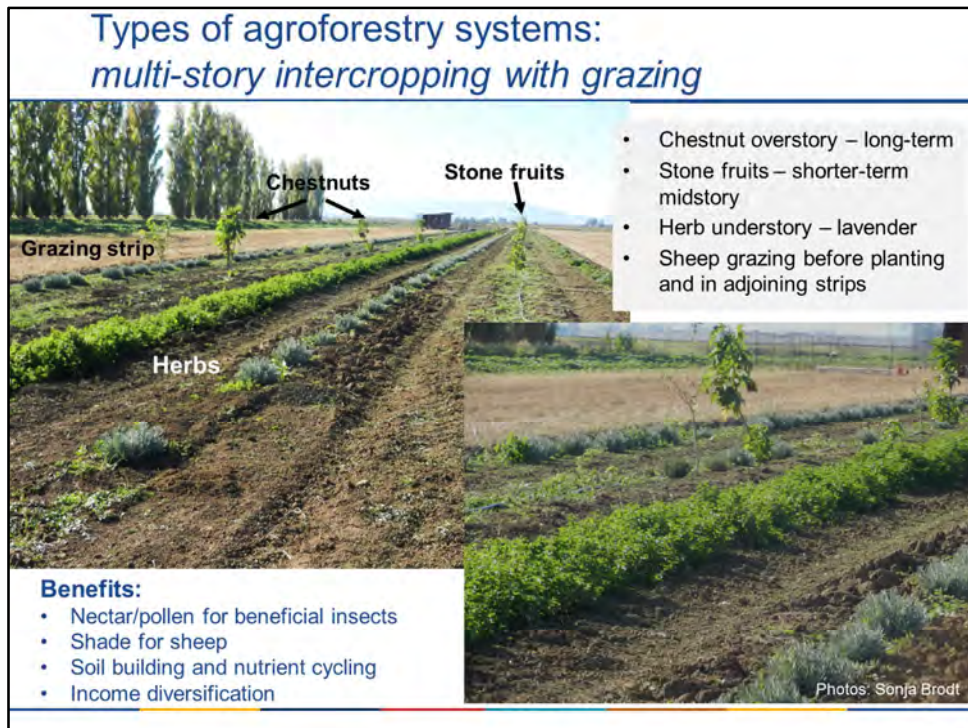


Photo: James Allen

**Food forest** with 10-12 species at the Central Rocky Mountain Permaculture Institute in Colorado, USA.

- **Overstory:** pears, apples
- **Midstory:** gooseberry, rhubarb, horseradish, Siberian peashrub
- **Understory:** hollyhock, comfrey, garlic
- **Vining:** grape

Лісосади є складними багатоярусними системами, що зазвичай імітують структуру ярусів природного лісу. Лісосад на світлині було створено у високогірних умовах Скелястих гір в США. У верхньому ярусі ростуть яблуні та груші, в середньому – аґрус, ревінь, хрін та карагана дерев’яниста, а в нижньому ярусі – рожа, живокіст та часник. Усе це заплетено виноградом. В цій системі максимально ефективно використовуються ресурси, спостерігається висока врожайність та ефективний колообіг речовин. Ці системи не придатні до використання сільгосптехніки і залежать від ручної праці. Тому зазвичай їх використовують в приватному чи громадському садівництві.



Проте можна створювати і досить складні системи із застосуванням механізації. В цьому прикладі зображено щойно створену систему з рядками культур висадженими трактором. З часом тут сформується верхній ярус з їстівного каштану, саджанці якого висаджені у центральному ряду. Менші кісточкові фруктові дерева висаджено в крайніх рядах, їх з часом зрубають, коли каштани стануть великими. Також висаджено кілька рядів лаванди в нижньому ярусі. В поруч розташованих смугах пасовищ випасатимуть овець. Пряно-ароматичні трави приваблюють корисних для дерев мисливців на шкідників та запилювачів. Високі дерева даватимуть тінь для овець, а вівці – поживні речовини для дерев, покращуватимуть здоров'я ґрунту та забезпечуватимуть додатковий прибуток.

## How do we measure the success of agroforestry systems?



Розглянемо вимірювання успішності (зокрема економічної) систем агролісівництва.

## Measuring productivity: yield increases

**Land Equivalent Ratio (LER):** the ratio between the relative yield of each tree and crop species in a polyculture compared to the yield of the same species in monoculture. (Mead and Willey *Experimental Agriculture* 1980)

### Sole cropping yield (monocrop):



Wheat (monocrop):  
6 metric tons



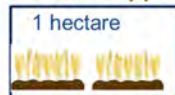
Apples (monocrop):  
40 metric tons

Можна порівнювати продуктивність системи агролісівництва з продуктивністю монокультур. Для цього можна застосовувати еквівалент землекористування (ЕЗ) – це сума часток відносної врожайності кожної деревної та додаткової культури в полікультурі порівняно з врожайністю цих видів в монокультурі. Отже, ЕЗ виражає додану продуктивність чи додану цінність поєднання культур на одній ділянці порівняно з їх вирощуванням окремо. Розглянемо приклад аналізу спільного вирощування яблунь та пшениці. Наприклад, врожайність монокультури пшениці з гектару складає 6 тон, а врожайність монокультури яблуні – 40 тон.

## Measuring productivity: yield increases

**Land Equivalent Ratio (LER):** the ratio between the relative yield of each tree and crop species in a polyculture compared to the yield of the same species in monoculture. (Mead and Willey *Experimental Agriculture* 1980)

### Sole cropping yield (monocrop):



Wheat (monocrop):  
6 metric tons



Apples (monocrop):  
40 metric tons

### Polyculture yield (agroforestry):



Wheat (50% of  
monocrop):  
3 metric tons



Apples (80% of  
monocrop):  
32 metric tons

$$\text{LER} = \frac{3}{6} + \frac{32}{40} = 1.3$$

- LER > than 1 indicates a net yield benefit in the agroforestry system
- For two crops that earn very different revenues per ha, it is important to calculate LER with revenue (\$) rather than quantity of crop yield (tons)

В системі агролісівництва пшениця займатиме не всю ділянку, оскільки на частині простору висаджено яблуні. Також врожайність пшениці може дещо зменшуватися через затінення деревами. Можна припустити, що ми отримаємо лише половину від врожайності пшениці в монокультурі – 3 тони. Врожайність яблунь з гектара також може бути меншою в системі агролісівництва, наприклад, через ширші міжряддя та конкуренцією із пшеницею. Припустимо, що вона складатиме 80% продуктивності монокультурного яблуневого саду або 32 тони. Отже, ЕЗ складатиме  $50\% + 80\% = 130\%$  або коефіцієнт 1.3. Якщо ЛЕР перевищує 1, то загальна врожайність в полікультурі підвищується порівняно з монокультурами, або ж продуктивність з гектара буде більшою. Коли вартість культур суттєво відрізняється, доцільніше рахувати ЕЗ враховуючи прибутковість, а не врожайність.

## Measuring productivity: yield increases (cont.)

Land Equivalency Ratio can be easily increased if you can find a way to integrate productive trees where before there were none, with no detrimental impact to the other crop.

Young elderberry growing in a hedgerow along a crop field's edge – previously used as a road.

Second-year revenues totaling \$2,883 above costs per 300 meters of hedgerow, with significantly higher amounts possible as the hedgerow matures.

Brodth et al. 2020. UC Davis Cost and Return Study. <https://coststudies.ucdavis.edu>



Photos: Katie Fyhrle

Якщо в системі до цього не було дерев, а обрані дерева не спричинитимуть негативного впливу на інші культури, можна достатньо просто підвищити ЕЗ. На світлинах зображено висаджені по межі поля (що раніше слугувала дорогою) кущі бузини. Проведене в Каліфорнії дослідження показало, що врожай ягід з молодих 2-річних кущів вже підвищить чистий прибуток на \$2,883 з 300-метрового живоплоту, і прибутковість швидко ростиме в міру росту кущів.



## Measuring success: input reductions & cost savings

Besides considering increased productivity, polycultures like agroforestry – when designed appropriately as well-functioning systems – can reduce needs for some external inputs.

Morandin et al. 2016:

Economic benefits of hedgerows next to:

- Processing tomato field:
  - Only 1 of 8 fields required aphid control, compared to 4 of 8 control fields without hedgerows = 75% savings, or US\$260/16-ha field
- Canola field:
  - 36% increase in crop pollination up to at least 200 m from hedgerow, due to increased native pollinator populations  
US\$2,416 per 16-ha field

Окрім аналізу прибутковості вимірювати успішність системи агролісівництва можна також аналізуючи кількість заощаджених коштів, зокрема через зменшення потреби в догляді. Гарно розроблена система має самостійно задовольняти ряд своїх потреб та зменшувати потребу у догляді та витрати. Дослідження в Каліфорнії показало, що живопліт покращував кількість мисливців на попелиць забезпечуючи їх пилом, нектаром та оселищем. Ці мисливці проникали в поля на віддаль 200 м та більше від живоплоту. В результаті на полях із живоплотами лише одне з 8 полів потрібно було обробляти пестицидами, тоді як без живоплотів пестициди мали застосовуватися на половині полів. Зменшення витрат оцінювалося в \$260 з 16 га. Також було показано, що запилення ріпаку покращувалося на 36% через збільшення завдяки живоплотам численності місцевих видів бджіл та інших запилювачів. Це дозволило підвищити врожайність та прибутковість на \$2,416 з 16 га.

## Knowledge Gaps & Research Needs

Identify, quantify, and value ecosystem services

Design effective species assemblages that take best advantage of the unique capabilities of trees while also benefiting the other crops

Learn how to pro-actively manage complexity – new equipment and business arrangements



Photo: Don Schug



Photo: Frey Vineyards, California

Хоча поступово зростає інтерес до дослідження полікультурних систем, лишається ще багато невідомого. Потрібно більше дослідників як надземних, так і підземних процесів (як в зображеній на фото ямі) для дослідження, обрахунку та екологічної оцінки вартості екосистемних послуг в полікультурних системах. Також потрібно навчитися розробляти ефективні системи агролісівництва, в яких максимально використовуватимуться екологічні переваги дерев для їх поєднання з іншими культурами. Потрібно навчитися ефективному догляду за складними системами. Саме складність догляду вважається більшістю фермерів основною проблемою впровадження систем агролісівництва. Також потрібні нові практики та техніка, що краще підходять до багатовидових систем. Потрібні нові бізнес моделі – наприклад, використання ділянки двома фермерами, де кожен займається окремим компонентом складної системи агролісівництва.

## References

- Brandle, JR, Hodges L, and Zhu XH. 2004. Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems*. 61: 65-78.
- Dosskey MG, Brandle J, Bentrup G (2017) Chapter 2: Reducing threats and enhancing resiliency. In Schoeneberger MM, Bentrup G and Patel-Weyand T (eds), *Agroforestry: Enhancing Resiliency in U.S. Agricultural Landscapes Under Changing Conditions*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, pp. 7–42.
- Hauggaard-Nielsen H. and Jensen E.S. 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant and Soil* 274:237-250
- Heath SK, Soykan CU, Velas KL, Kelsey R, Kross SM. 2017. A bustle in the hedgerow: Woody field margins boost on farm avian diversity and abundance in an intensive agricultural landscape. *Biological Conservation* 212: 153-161.
- Jose S, Holzmüller EJ and Gillespie AR. 2009. Tree-crop interactions in temperate agroforestry. In Garrett HE (ed.), *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*, 2nd Edn. Madison, WI: American Society of Agronomy. pp. 57–74.
- Liang L, Shen L, Yang W, Yang X, Zhang Y. 2009. Building on traditional shifting cultivation for rotational agroforestry: Experiences from Yunnan, China. *Forest Ecology and Management* 257 (10): 1989-1994
- Mead R, Willey RW. 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16(3): 217-228.
- Morandin LA, Long RF, and Kremen C. 2016. *Journal of Economic Entomology*, 109(3): 1020–1027.
- NilesMT, Garrett2 RD and Walsh D. 2018. Ecological and economic benefits of integrating sheep into viticulture production. *Agronomy for Sustainable Development* 38:1.
- Pent, G.J. 2020. Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00494-6>
- Smukler SM, Sanchez-Moreno S, Fonte SJ, Ferris H, Klonsky K, O'Geen AT, Scow KM, Steenwerth KL and Jackson LE. 2010. Biodiversity and multiple ecosystem functions in an organic farmscape. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 139, 80–97.

## For further information:

---

### On Youtube:

- Designing crop polycultures - video lectures for academic courses
  - Designing Crop Polycultures - extension training
- 

### Permaculture and Polycultures

<http://visegrad.permakultura.sk/polycultures/>

---



**UNIVERSITY OF CALIFORNIA**  
Agriculture and Natural Resources

Sustainable Agriculture Research and  
Education Program

<https://sarep.ucdavis.edu/>

Sonja Brodt, sbbrodt@ucanr.edu

---

## Запитання

---

- До вас звернувся фермер, який вирощує сою, кукурудзу та пшеницю, із запитом розробити диверсифіковану систему із врахуванням його побажань та можливостей. Які полікультурні системи (практики) ви б йому запропонували та яким чином забезпечили їх ефективну розробку та підлаштування? Можете обговорити один або різні сценарії