

Розділ 4

## Вплив на ґрунти вилучення поживних решток та можливі заходи для зменшення такого впливу

Про вплив на вуглець ґрунту різних способів поводження з поживними рештками

Автори:

Ян Петер Лешен, Вагенінгенський університет та дослідний центр, Нідерланди  
Уолтер Елберсен, Вагенінгенський університет та дослідний центр, Нідерланди

Співавтори:

Микола Роїк, Олег Присяжнюк та Оксана Малярєнко, Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків, Київ, а також Анелот ван дер Лінден, Вагенінгенський університет та дослідний центр

## 4.1 Вступ

### 4.1.1 Передумови

З метою скорочення споживання імпортного природного газу, в Україні збільшується використання біомаси поживних решток для виробництва теплової енергії. Разом з цим, виникає занепокоєння щодо впливу вилучення поживних решток на якість ґрунтів. Знамениті українські чорноземи були сформовані протягом тисяч років в результаті вегетації лугової рослинності в умовах відносно малої кількості атмосферних опадів. Після розпаду Радянського Союзу, зменшилось використання добрив, як мінеральних, так і органічних (гній), що призводило до поступового зменшення вмісту вуглецю та поживних елементів в ґрунті, а відтак і до зниження його продуктивності.

В той же час Україна дуже постраждала від збільшення цін на природний газ, вартість якого для держави складає мільярди євро в іноземній валюті. Це призвело до заміни котлів на природному газі, що використовуються для локального тепlopостачання, на котли, які працюють на біомасі. Сировиною для таких котлів є місцева біомаса, як то побічні продукти переробки (наприклад, лушпиння соняшнику). Збільшується також збір та використання поживних залишків з поля, як показано на ілюстраціях установки спалювання соломи в центральній частині України.

Вартість тюкованої соломи, як було показано, є меншою 20 євро за 1 тону з доставкою до складу. Схоже, така вартість є досить низькою враховуючи той факт, що очікуваний ціновий еквівалент поживних речовин в соломі складає від 5 до 10 євро, а витрати на збір, тюкування та локальне транспортування повинні складати біля 15 євро за 1 тону соломи. Очевидно, сільгоспвиробники не враховують ціннісну вартість поживних речовин органічної складової в соломі для ґрунту. Той факт, що фермери неохоче залишають солому в полі, проілюстровано на фото, зробленому в той же день неподалік місця розташування котла на соломі, і на якому видно як солома спалюється в полі. Така практика заборонена в багатьох країнах світу, проте досить часто має місце в Україні.

Рисунок 4.1: Біомаса в Україні



Втім, ця очевидна відсутність зацікавленості у використанні соломи для підтримання вмісту органіки в ґрунті має своє пояснення. Солома в полі створює проблеми при оранці та наступному посіві культур, а також може збільшувати ризик появи хвороб у рослин. Крім того, в результаті оранки солома може вбирати в себе і затримувати поживні елементи, внаслідок чого може знижуватись урожайність культур, висаджених в наступний рік. Зиск від підтримання вмісту органічної речовини та поживних елементів в ґрунті може проявитись переважно в

довгостроковій перспективі, однак для фермера, який орендує землю на короткі періоди декількох років, це не має великої цінності. Вилучення соломи з полів не було б такою проблемою, якби норми внесення добрив були адекватними, урожайності культур були набагато вищими, аніж є на сьогоднішній день, та якби вносились гній чи інші органічні добрива. На даний час, потенціал збільшення урожайності пшениці та кукурудзи в Україні складає майже 60%, що означає те, що поточна урожайність відповідає лише 40% потенційної в умовах забезпеченості атмосферними опадами. Використання оптимальних агрономічних заходів може подвоїти урожайність даних культур ([www.yieldgap.org](http://www.yieldgap.org)) і збільшити таким чином кількість доступної для збору соломи. Існує багато пояснень того, чому українські сільгоспвиробники не використовують оптимальні агрономічні заходи. Україна виробляє сільськогосподарську продукцію для світового ринку, де ціни на неї є низькими і можуть непередбачувано коливатись. Крім того, посушливі погодні умови (як це було в 2017 році) можуть призводити до зниження ефективності та рентабельності внесення добрив. Це означає, що інвестиції в добрива, високоякісне насіння, пестициди, зрошувальні системи та точне сільське господарство можуть бути нерентабельними, інвестиції втрачаються.

В умовах України збір пожнивних решток позначається на якості ґрунту, але з іншої сторони, це може також знизити витрати на закупівлю імпортного природного газу, підвищити рівень енергетичної безпеки, зекономити значні кошти та знизити викиди парникових газів. Кошти, зекономлені за рахунок використання пожнивних решток замість природного газу, можна було б направити на заходи з підтримки якості ґрунтів. Так чи зробіть це привабливим використання пожнивних решток і надалі?

#### 4.1.2 Цілі

Метою даного короткого проекту є збір інформації, що буде представлена на семінарах для політиків та фінансових установ в Україні та в Європі. На цих семінарах висвітлюється проблема якості ґрунтів та пропонуються способи збору пожнивних решток, при одночасному зниженні проблем з якістю ґрунту. Метою заходів є викликати інтерес до розробки дослідницьких проектів з цього питання та надати базову інформацію для політиків в Україні та в ЄС, для інвестиційних фондів та компаній, що інвестують в біоенергетику. Дане дослідження частково профінансоване Нідерландським Агенством Підприємств, одним з партнерів міжнародного бізнес проекту Біомаса Україна (<http://www.biobased-ukraine.nl/>).

#### 4.1.3 Опис розділу

В даному дослідженні наводяться результати попереднього аналізу та апробацій моделі для різних сценаріїв вилучення пожнивних решток. В розділі 4.2 описано методологію, модель та вхідні дані. Результати моделювання представлено та обговорено в розділі 4.3.

Перші результати роботи було представлено на семінарі «Нові можливості для сільської місцевості» в Саксонській школі (Saxion Hogeschool) в м. Енсхеде (Enschede) 20 березня 2018. Інший семінар заплановано на вересень. Результати буде представлено в Києві на семінарі, присвяченому даному питанню.

### 4.2 Методологія

#### 4.2.1 Загальні підходи

В даній роботі ми досліджували вплив вилучення пожнивних решток на ґрунти та вплив різних методів на пом'ягшення негативного впливу на ґрунти. Увагу було сфокусовано на вилученні соломи пшениці та стебел кукурудзи для виробництва тепла. Для визначення впливу запропонованих методів на ґрунти було використано ґрунтову модель (RothC) (Coleman and

Jenkinson, 1999), а результати порівняно з практиками вилучення поживних решток та їх спалювання в полі.

Вагенінгенським дослідним центром було проведено попередній аналіз потенціалу вилучення поживних решток по регіонах України, що ґрунтувався на результатах розрахунків з використанням моделі RothC – моделі обороту вуглецю в ґрунті, пов'язаної з моделлю екологічної оцінки MITERRA-Europe. В цьому проекті модель RothC буде використано для детального аналізу одного з полів в Україні. Вхідні дані щодо стану ґрунтів та урожайності для цього аналізу було надано Українським інститутом біоенергетичних культур та цукрових буряків. В ідеалі, для перевірки результатів моделювання слід було б використовувати дані за тривалий період часу, проте такі дані, на жаль, відсутні.

Вплив вилучення поживних решток на міграцію елементів оцінено з використанням даної моделі та вхідних даних для українських умов. Для пом'якшення негативного впливу вилучення поживних решток на якість ґрунту та зокрема вміст в ньому вуглецю, запропоновано наступні заходи:

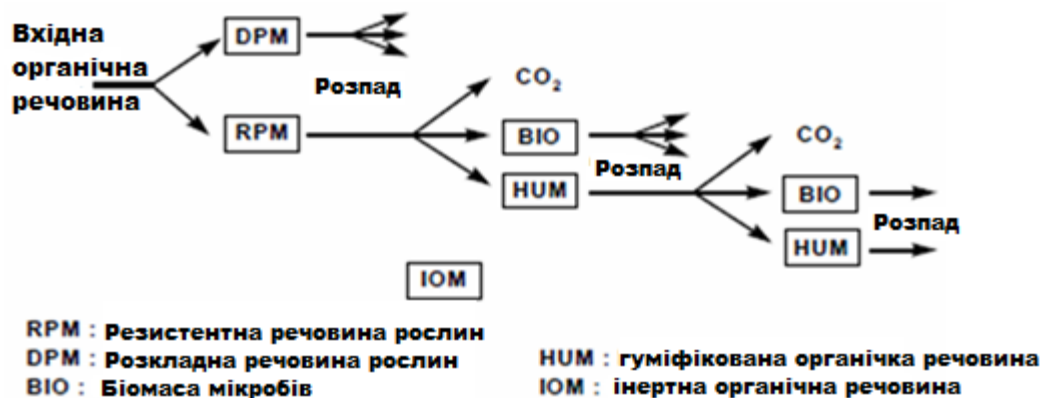
- Застосування «no-till» технології обробітку землі, без переорювання
- Збір соломи лише раз на 2-3 роки
- Висаджування сидеральних культур на зелене добриво після збору урожаю
- Залишати стебла та листя в ґрунті. 2/3 поживних речовин за рахунок залишків в полі + 1/3 за рахунок органічних добрив
- Повернення золи від спалювання соломи в поле
- Встановити вимоги для фермерів щодо збалансованого удобрення ґрунтів
- Використання інших органічних добрив: зброджена маса з біогазових станцій, гній, тощо
- Надавати перевагу використанню стебел кукурудзи, а не соломи пшениці

#### 4.2.2 Модель обороту вуглецю в ґрунті RothC

Модель RothC (Coleman and Jenkinson, 1999) використано для розрахунку балансу органічного вуглецю в ґрунті. Модель RothC (версія 26.3) є моделлю обороту органічного вуглецю в не заболочених ґрунтах, що дозволяє оцінити вплив типу ґрунту, температури, вмісту вологи та рослинного покриву на процес обороту. Розрахунок вмісту загального органічного вуглецю (тС/га), вуглецю в складі ґрунтової мікрофлори та ізотопу вуглецю  $\Delta^{14}\text{C}$  (за яким можна оцінити вік ґрунту радіовуглецевим методом) виконується для часового проміжку від одного року до сторіч, з кроком варіації один місяць (Coleman and Jenkinson, 1999).

В моделі RothC органічний вуглець ґрунту поділяється на 4 активних складових та незначну кількість інертної органічної речовини (IOM). Ці 4 активних складових включають розкладну речовину рослин (DPM), резистентну речовину рослин (RPM), мікробну біомасу (BIO) та гуміфіковану речовину (HUM) (див. рисунок 4.2). Розпад кожної складової описується кінетичним рівнянням 1-го порядку та характеризується специфічними константами швидкості. Складова IOM не піддається розпаду.

Рисунок 4.2: Структура моделі обороту вуглецю RothC



Для моделі RothC необхідні наступні вхідні дані, представлені помісячно: кількість опадів (мм), показник випаровування за евапорометром (мм), середня температура повітря (°C), вміст глини у ґрунті (в %), внесення рослинних решток (тС/га), внесення гною (тС/га), показник розкладності вхідної маси рослин (співвідношення DPM/RPM), стан ґрунтового покриву (наявність чи відсутність рослинного покриву ґрунту у відповідний місяць) та товщина ґрунтового шару (см). Початковий вміст вуглецю може бути задано як вхідна величина або оцінено на основі довготривалого рівноважного стану (стаціонарна модель).

#### 4.2.3 Вхідні дані

Для аналізу ми використовували репрезентативні дані по Вінницькій області стосовно ґрунту, кліматичних умов та вирощуваних культур. Вінницька область знаходиться в центрально-західній частині України та є регіоном, де вирощуються переважно зернові культури та цукровий буряк.

##### Кліматичні дані

Завдяки показникам середньорічної температури 7.6 °C та річної кількості опадів близько 624 мм (Таблиця 4.1), середня урожайність в даному регіоні є вищою, у порівнянні з більш посушливими регіонами України.

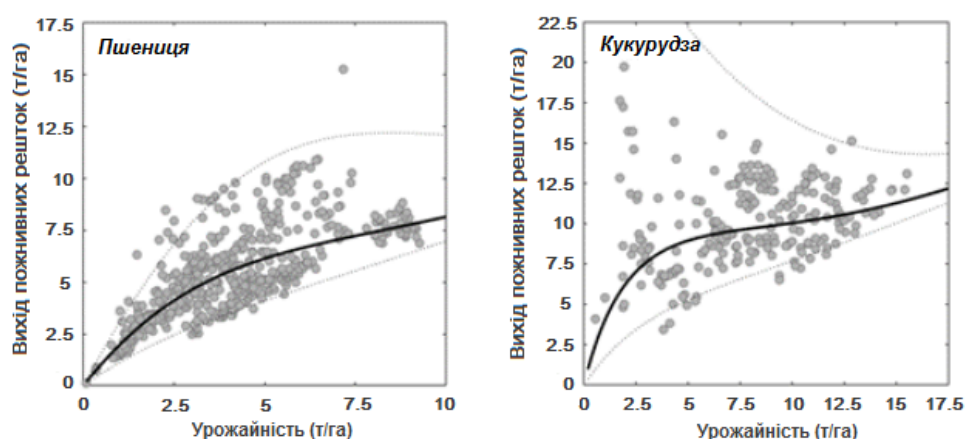
Таблиця 4.1: Середні значення кліматичних показників для Вінницької області, використані для моделювання обороту вуглецю в ґрунті

Місяць	Температура (°C)	Кількість опадів (мм)	Показник випаровування (мм)
Січень	-5.3	38	11
Лютий	-3.9	36	12
Березень	0.6	32	31
Квітень	8.5	48	67
Травень	14.4	63	112
Червень	17.7	88	123
Липень	19.0	92	134
Серпень	18.4	62	122
Вересень	14.1	49	77
Жовтень	8.2	33	43
Листопад	2.3	40	18
Грудень	-2.2	42	11

### Дані по вирощуванню культур

Моделювання виконувалось стосовно двох основних культур – пшениці та кукурудзи (на зерно). Характеристики даних культур наведено в Таблиці 4.2. Урожайність культур прийнято згідно статистичних даних, а внесення вуглецю з окремими складовими рослинних решток розраховано за різними формулами. Загальну кількість надземної частини рослинних решток оцінено на основі нових формул, запропонованих дослідним центром JRC (Samia et al., 2018) (див. також рис. 4.3). Значення співвідношення частин зібраної соломи до стерні прийнято на основі даних Rapoutsou та Labalette (2007), за якими це співвідношення складає приблизно 55%, хоча у випадку, коли фермер прагне зібрати якомога більше соломи, це співвідношення може бути вищим. Тому в моделі ми використовували середнє значення співвідношення солома/стерня 60%. Залишок вуглецю рослини в ґрунті прийнято 25% від загальної маси засвоєного нею вуглецю, згідно з Taghizadeh-Toosi та інш. (2014). Вміст вуглецю в рослинних рештках прийнято 45% по сухій масі.

Рисунок 4.3: Співвідношення урожайності та виходу пожнивних решток (Samia та інш., 2018)



Таблиця 4.2: Характеристики вирощуваних культур, прийняті за основу при моделюванні обороту вуглецю в ґрунті

Показник	Розмірність	Пшениця	Кукурудза
Урожайність	кг/га свіжої маси	5250	6790
Вміст сухих речовин в зерні	ч.о.	0.85	0.85
Надземна частина пожнивних решток	кг/га свіжої маси	6315	9321
Вміст сухих речовин в пожнивних рештках	ч.о.	0.85	0.70
Вихід стерні	кг/га свіжої маси	2526	3728
Вихід соломи / стебел	кг/га свіжої маси	3789	5593
Вуглець рослин в ґрунті	кгС/га	1474	1844
Вуглець стерні	кгС/га	966	1174
Вуглець соломи / стебел	кгС/га	1449	1762
Загальна внесена маса вуглецю рослин	кгС/га	3890	4781

### Характеристика ґрунту

Для характеристики ґрунту ми використали базу даних ISRIC WISE щодо двох репрезентативних типів ґрунту. Одним з цих типів є чорнозем (типу Chernozem) з високим вмістом С, а іншим – феозем (типу Luvisol) з нижчим вмістом С. Характеристики обох типів ґрунту наведено в Таблиці 4.4. В моделі прийнято, що товщина шару ґрунту складає 25 см.

Таблиця 4.3: Характеристики ґрунтів, прийняті при моделюванні обороту вуглецю в ґрунті

	<b>Вміст орг. С</b>	<b>Об'ємна вага</b>	<b>Товщина</b>	<b>Запас С</b>	<b>Вміст глини</b>
	%	кг/дм <sup>3</sup>	см	т/га	%
Чорнозем	3.3	1.18	25	97.4	34
Феозем	2.2	1.31	25	72.1	20

### 4.2.4 Параметризація моделі

Не всі параметри, зазначені в розділі 4.1, було використано для моделі RothC, оскільки дане дослідження є лише пошуковим, з обсягом фінансування, що не дозволяє виконати повноцінний аналіз за всіма параметрами. Крім того, деякі з параметрів впливають лише на баланс поживних речовин, та не впливають на запас вуглецю в ґрунті (наприклад, збалансоване удобрення та повернення золи від спалювання рослинних решток в поле).

Наступні опції було прийнято до розгляду:

- Повне вилучення соломи (базовий сценарій)
- Внесення соломи (базовий сценарій)
- Вилучення соломи в комбінації із застосуванням «no-till» технології обробітку землі (без оранки)
- Підвищення урожайності культур (потребує збільшення рівня внесення добрив)
- Вилучення соломи один раз на два роки

На основі попередніх результатів моделювання, було закладено початкові комбінації запасу вуглецю, в залежності від типу ґрунту та внесення вуглецю (таблиця 4.5). Запаси резистентної речовини рослин (RPM) та гуміфікованої органічної речовини містять більшу частину вуглецю, тоді як запаси розкладної речовини рослин (DPM) та біомаси мікробів (BIO) є незначними, оскільки характеризуються швидким оборотом.

Таблиця 4.5: Початковий розподіл запасів вуглецю в ґрунті (тС/га) для різних комбінацій типу ґрунту та вирощуваних на ньому культур

	<b>DPM</b>	<b>RPM</b>	<b>BIO</b>	<b>HUM</b>	<b>IOM</b>	<b>Всього</b>
Чорнозем - пшениця	0.8	18.4	2.0	67.2	8.9	97.4
Феозем - пшениця	0.6	15.0	1.5	48.5	6.4	72.1
Чорнозем - кукурудза	1.3	29.9	1.7	55.6	8.9	97.4
Феозем - кукурудза	0.9	21.3	1.3	42.1	6.4	72.1

В моделі RothC не передбачено врахування якогось явного параметру для розрахунку сценарію з безплуговою обробкою землі. Модель дозволяє виконувати розрахунок лише для одного суцільного шару ґрунту. Втім, ми прийняли, що при безплуговій обробці землі поверхня ґрунту не оголюється і залишається вкритою рослинними рештками. Таким чином ми допустили, що для розрахунку сценарію безплугової обробки землі можна використати фактор покрівлі ґрунту. Прийнято, що ґрунт буде покрито протягом усього року. Оскільки в нас не було даних для перевірки даного допущення, це залишається фактором невизначеності отриманих результатів моделювання.

У варіанті з підвищенням урожайності, ми орієнтувались на потенційно можливу урожайність, наведену в Атласі розривів в показниках урожайності (<http://www.yieldgap.org/>). В даній роботі розриви в показниках урожайності оцінено для основних культур по ряду країн, включно з Україною. Потенційна урожайність пшениці в умовах обмеженої водозабезпеченості може досягати 8.2 т/га, на відміну від поточного середнього рівня урожайності 4.1 т/га. Ми допустили, що 80% потенційно можливої урожайності культур в умовах обмеженої водозабезпеченості може бути забезпечено при належних удобренні та практиці вирощування. Це означає, що урожайність пшениці можна збільшити на 60%. В такому разі, відповідно і більше поживних залишків (кореневищ та стебел) стають доступними.

## 4.3 Результати

### 4.3.1 Результати для базового сценарію

На рисунку 4.4 показано результати розрахунку для базового сценарію, що передбачає або повне вилучення соломи кожен рік, або внесення її в ґрунт, при вирощуванні як пшениці, так і кукурудзи на чорноземі. У сценаріях з вилученням соломи, криві вмісту вуглецю в ґрунті змінюються більш стрімко, у порівнянні з аналогічними кривими для варіантів з внесенням соломи в ґрунт. При цьому, після 30 років, при вилученні стебел кукурудзи вміст органічної речовини в ґрунті зменшується до 5.3%, а при внесенні в ґрунт – залишається на рівні 6.1%. Для пшениці різниця в аналогічних показниках дещо менша: 4,9% у випадку вилучення соломи та 5,5% у випадку, коли солома залишається в полі. На кривих зміни вмісту органічної речовини чітко проглядаються річні цикли з більшим її вмістом в період після збору урожаю, коли внесений з поживними рештками вуглець стає доступним. Для всіх сценаріїв спостерігається зниження вмісту протягом 5 років, що пов'язано, імовірно, з ефектом початкових умов.



Рисунок 4.4: Результати розрахунку базового сценарію, з вилученням та без вилучення соломи/стебел пшениці та кукурудзи, при їх вирощуванні на чорноземі (з високим вмістом вуглецю)

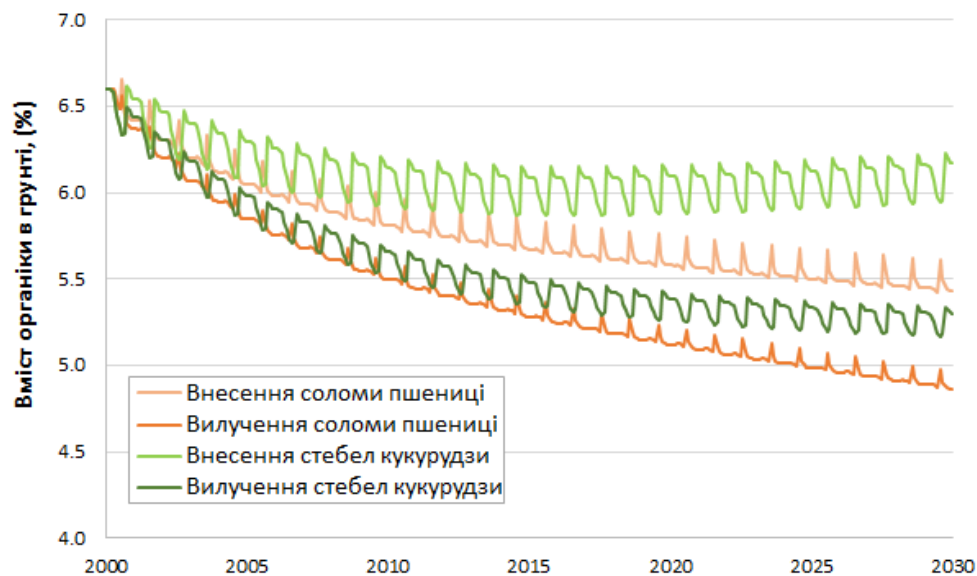
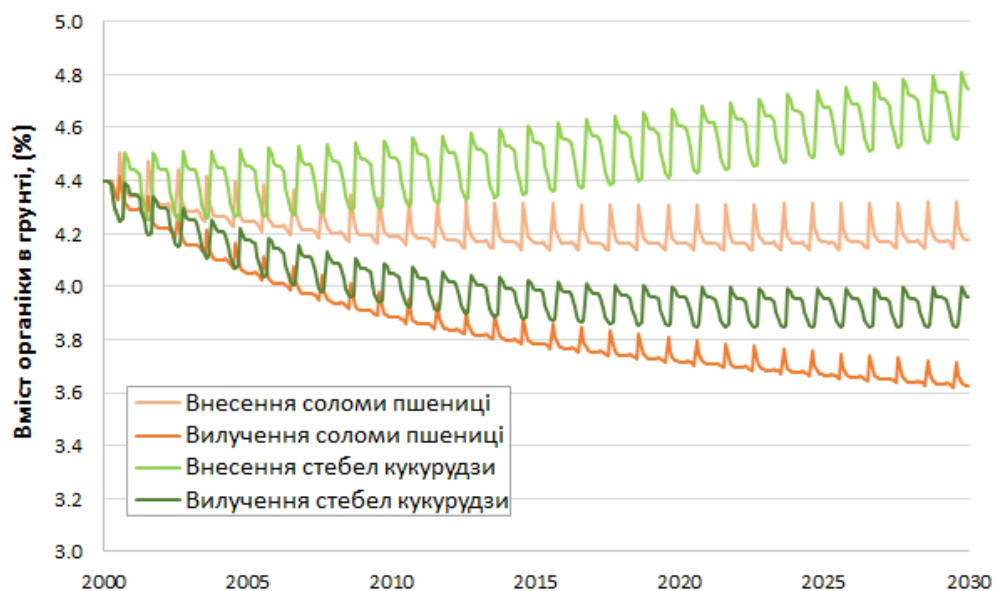


Рисунок 4.5: Результати розрахунку базового сценарію, з вилученням та без вилучення соломи/стебел пшениці та кукурудзи, при їх вирощуванні на фезоземі (з низьким вмістом вуглецю)



На рисунку 4.5 представлено результати розрахунку базового сценарію для фезозему, з більш низьким вмістом органічної речовини. Аналогічно, сценарії з вилученням соломи показують більш низький вміст органічної речовини, хоча для такого типу ґрунту внесення стебел кукурудзи дозволяє збільшувати вміст органіки в ґрунті, натомість при внесенні соломи пшениці такий вміст залишається незмінним.

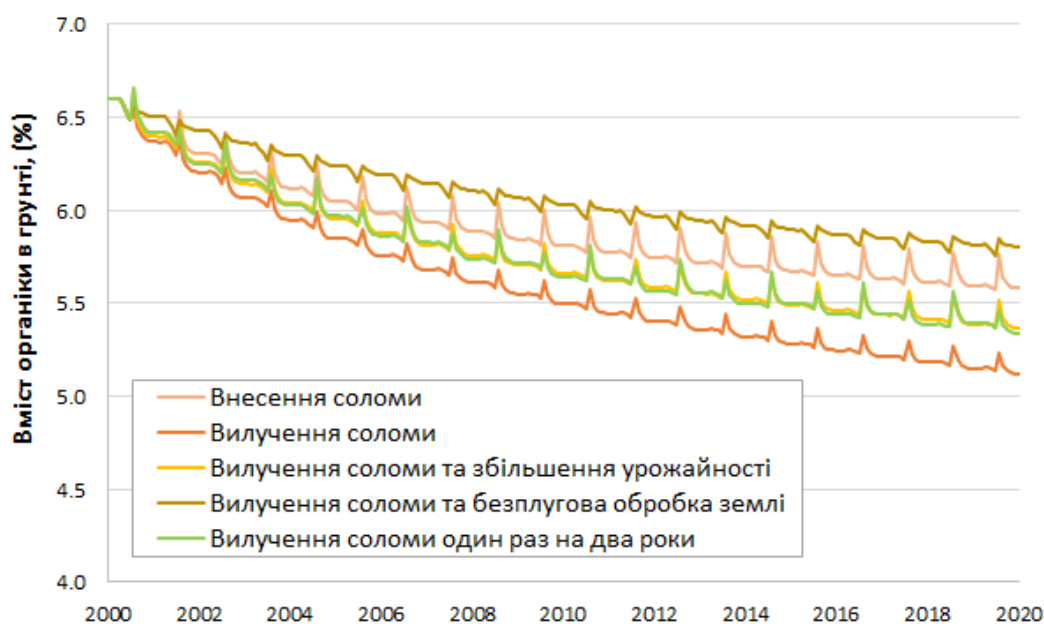
#### 4.3.2 Вплив заходів покращення

В даному дослідженні ми оцінювали вплив трьох альтернативних варіантів використання соломи для потреб біоенергетики та зменшення негативного впливу на вміст органіки в ґрунті. Наступні варіанти були прийняті до розгляду:

- Підвищення урожайності
- Використання «no-till» технології
- Вилучення соломи один раз на два роки

Результати розрахунку для пшениці, що вирощується на чорноземі, представлено на рис. 4.6. Усі три варіанти призводять до збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті, у порівнянні з базовим сценарієм, коли солома вилучається з поля. У варіанті з безплуговою обробкою землі можна отримати навіть вищий вміст органіки, аніж за сценарію з внесенням соломи в ґрунт. Такий вплив може бути значним, так як ці ґрунти втрачають вуглець навіть за сценарію, в якому солома залишається в полі. В цьому випадку може бути доцільним запобігання подальшому зрушенню ґрунтового шару шляхом переорювання. У варіанті з підвищенням урожайності вихід соломи також збільшується з 3.8 до 4.6 т/га.

Рисунок 4.6: Результати моделювання для варіантів з використанням заходів покращення при вирощуванні пшениці на чорноземі



#### 4.4 Обговорення результатів та висновки

Результати дослідження показують, що для ґрунту з високим вмістом вуглецю, такого як чорнозем, вміст вуглецю в ньому у базовому сценарії знижується, навіть якщо увесь обсяг соломи не вилучається і вноситься в ґрунт. Чорноземи формувались протягом тисяч років в умовах вегетації степової рослинності, внаслідок чого в ґрунті накопичувався вуглець. Відтоді як ці ґрунти почали використовуватись як орні землі, переорювання та зменшення удобрення органічними матеріалами призводили до втрати ґрунтового вуглецю. Зважаючи на те, що глибина шару ґрунту з високим вмістом вуглецю у випадку чорноземів є досить значною, втрата вуглецю не справила прямого негативного ефекту на урожайність сільськогосподарських

культур, однак в довгостроковій перспективі така урожайність буде зменшуватись. Для компенсації втрат вуглецю ці орні землі потрібно або переводити в пасовища, що дозволить суттєво збільшити внесення вуглецю, або ж вносити в них значні обсяги інших органічних матеріалів ззовні, таких як гній чи компост.

Усі розглянуті в моделі варіанти покращення показали можливість підвищення вмісту вуглецю в ґрунті, порівняно з базовим сценарієм з вилученням соломи. Застосування технології безплугової обробки землі може бути дуже гарним варіантом, з точки зору збільшення вмісту вуглецю в ґрунті. Втім, така практика не є типовою в Україні, а тому, з метою виявлення чи буде вона ефективною та чи проблеми з ростом бур'янів зможуть бути вирішені без додавання значної кількості гербіцидів, таку технологію потрібно апробувати.

Результати моделювання вмісту органіки в ґрунті ще потрібно підтвердити на практиці, оскільки моделі завжди є лише спрощеним відображенням реальності. Наприклад, вплив сівозмін не було враховано і модель не валідовано для умов України, оскільки ми не маємо даних довготривалих вимірювань. Втім, такі моделі є досить корисними при визначенні довгострокового ефекту від застосування кращих практик та можуть дати гарне уявлення про відносні відмінності при їх застосуванні.

Подальше вилучення поживних решток може призводити до зниження якості ґрунту та вмісту в ньому органіки. Різні стратегічні підходи можуть бути використані для уникнення даної проблеми, а результати моделювання доводять їх ефективність. Разом з тим, нам потрібно краще усвідомити, як ці підходи впровадити так, щоб разом з використанням поживних решток для потреб енергетики та для виробництва інших цінних продуктів, вдалось уникати негативного впливу на ґрунти. Для розуміння ефекту від застосування цих стратегічних підходів на практиці, з точки зору економіки та навколишнього середовища, їх потрібно далі досліджувати та тестувати в польових умовах. І на сам кінець, накопичені з цього приводу знання та рекомендації повинні бути враховані при прийнятті політичних рішень щодо використання поживних решток для потреб енергетики. Фінансові інституції та донори також можуть використовувати ці рекомендації як умову для надання кредитів чи субсидій під використання поживних решток на умовах сталого розвитку.

## Посилання

- Camia A., Robert N., Jonsson R., Pilli R., García-Condado S., López-Lozano R., van der Velde M., Ronzon T., Gurría P., M'Barek R., Tamosiunas S., Fiore G., Araujo R., Hoepffner N., Marelli L., Giuntoli J., Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment, EUR 28993 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN978-92-79-77237-5, doi:10.2760/539520, JRC109869
- Scarlat, N., Martinov, M., Dallemand, J.-F. 2010. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Management*, 30: 1889–1897.
- Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M., Olesen, J.E., 2014. C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. *Ecological Modelling* 292, 11-25.