



МІСЦЕВА УКРАЇНСЬКА БІОМАСА – ПОТЕНЦІАЛ, ЗБИРАННЯ ТА ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ



Зміст

1. Вступ	4
2. Поточне використання відновлюваних джерел енергії в Україні	6
2.1. Поточні тенденції виробництва електроенергії з усіх відновлюваних джерел енергії в Україні	7
2.1.1. Поточне виробництво електроенергії з твердої біомаси	7
3. Потенціал маломасштабного виробництва електроенергії з використанням відходів твердої біомаси в Україні	9
3.1. Узагальнення щодо придатності та потенціалу використання залишків твердої біомаси для виробництва електроенергії та когенерації	9
3.2. Огляд енергетичного потенціалу місцевих залишків твердої біомаси	10
3.2.1. Зміна площі ріллі в Україні у 2021-2024 роках	12
3.3. Сталість використання різних видів твердої біомаси для енергетичних цілей	13
3.3.1. Тверді залишки біомаси, придатні для виробництва електроенергії	14
4. Методи та технології поводження з твердою біомасою	15
4.1. Солома	15
4.1.1. Обробка соломи	16
4.1.2. Згрібання	16
4.1.3. Тюкування	17
4.1.4. Пелети, брикети та подрібнена солома	17
4.1.5. Завантаження та вивантаження з вантажівок і вантажних автомобілів	18
4.1.6. Польовий транспорт	19
4.1.7. Децентралізоване зберігання	19
4.1.8. Автомобільний транспорт	20
4.1.9. Розвантаження на заводі	20
4.1.10. Аспекти здоров'я та безпеки	21
4.2. Соняшник	21
4.2.1. Збір урожаю	21
4.2.2. Аналіз ланцюга постачання побічних продуктів переробки соняшнику	22
5. Потенційні енергетичні ресурси з відходів лісової біомаси в Україні	24
5.1. Виробництво деревних гранул та тріски	25
5.1.1. Деревні пелети	25
5.1.2. Тріска	26
5.2. Енергетичні культури	27
6. Проблеми, пов'язані з утилізацією біомаси в Україні сьогодні	28
6.1. Організаційні та регуляторні проблеми	28
6.2. Економічні та фінансові виклики	28
6.3. Обмеження сільськогосподарських виробників	29
6.4. Виклики, пов'язані з війною	30
7. Чинна законодавча база, політики, плани дій та дорожні карти	32
7.1. Національний план з енергетики та клімату України на 2025-2030 роки	32
7.2. Дорожня карта 2050 та план дій 2025	33

8. Додаток 1	34
8.1. Потенційні енергетичні ресурси з відходів сільського господарства в поточній ситуації	34
8.1.1. Зміна посівних площ під сільськогосподарськими культурами.	34
8.2. Огляд вирощування енергетичних культур з твердої біомаси	37

1. Вступ

Метою цього документу є надання вичерпної інформації про потенціал використання місцевої твердої біомаси¹ в Україні для виробництва електроенергії та комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, а також сприяння більш широкому використанню цього потенціалу. Документ містить інформацію про те, як збирати, обробляти та готувати місцеву біомасу, перетворюючи її на керовану біоенергію, придатну для виробництва електроенергії та комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (на ТЕЦ).

Під час оцінки Каталогу критично важливих технологій для України (UTC) 2024 було зазначено, що Україна має потужний сільськогосподарський сектор з великим потенціалом для постачання біоенергії, але наразі цей місцевий біоенергетичний потенціал використовується недостатньо через недостатню обізнаність про нього та відсутність досвіду утилізації твердих сільськогосподарських відходів біомаси. Крім того, Україна має розвинене лісове господарство, а отже, великий потенціал для виробництва енергії з деревної біомаси у вигляді деревних пелет, тріски та дров. Завдяки низькій щільності населення (Україна: 67 осіб/км², ЄС: 109 осіб/км²)², та, за наявності близько 4 млн га (2019 рік) невикористовуваних сільськогосподарських земель, також визначено потенціал для вирощування енергетичних культур.

Початкове дослідження показало, що найбільший невикористаний потенціал відходів твердої біомаси був виявлений у сільському господарстві, тому основна увага в цій записці зосереджена на відходах твердої біомаси з сільського господарства. Потенціал збільшення виробництва енергетичних культур (наприклад, міскантусу, тополі та верби) та утилізації цієї сировини на місцевому рівні не розглядається в цій записці, оскільки основна увага приділяється більш нагальним питанням.

Не всі види твердої біомаси підходять як сировина для теплових електростанцій (ТЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Тому в записці надається огляд того, які залишки твердої біомаси придатні для використання в якості палива на комбінованих теплоелектростанціях та технологіях електрогенерації, що входять до Каталогу критично важливих технологій.

Крім того, сільськогосподарські виробники стикаються з обмеженнями через відсутність спеціалізованого обладнання для збору біомаси, що робить цей процес дорогим і складним. Ланцюг постачання біомаси є організаційно складнішим порівняно з постачанням природного газу для виробництва енергії. Тому в цій записці також йдеться про те, як здійснювати збір і транспортування твердих сільськогосподарських відходів, таких як біомаса.

Економічно обґрунтований потенціал біоенергетики (твердої біомаси) в Україні оцінюється приблизно у 800 ПДж (19 млн т у.п.)³, враховуючи також потенціал вирощування енергетичних культур. Майже половина цього потенціалу припадає на тверду біомасу сільськогосподарських відходів. Лісова біомаса та деревні енергетичні культури складають майже три чверті потенціалу, що залишився. Огляд потенціалу

¹ Включено лише перетворення теплової енергії твердої біомаси; перетворення органічної енергії, наприклад, виробництво біогазу та біометану (збагаченого біогазу), не включено і лише коротко згадано

² <https://www.worldometers.info/world-population/ukraine-population/> та https://www.ine.es/prodyser/demografia_UE/img/pdf/Demograhya-InteractivePublication-2021_en.pdf.

³ Екологічна інженерія та природоохоронні технології 2021, 22(5), с.73-81.

залишків твердої біомаси, придатної для виробництва теплової енергії, та поточного використання цього потенціалу ґрунтується насамперед на наявних дослідженнях та літературних джерелах.

Виробництво біоенергії в Україні зростало протягом 10 років до 2021 року в середньому на 16% щорічно [1]⁴. Біогаз становить значну частку в цьому обсязі. Незалежно від цього зростання, за оцінками, 4-7% потенційного енергетичного ресурсу з твердих відходів біомаси сільського господарства в Україні наразі використовується для виробництва енергії [1], [2]⁵. Таким чином, виявлено значне недовикористання потенціалу місцевих твердих відходів сільського господарства в Україні. Брак знань про цей процес був відзначений як бар'єр для використання цього потенціалу в більш широких масштабах.

У Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року очікується, що біоенергетика як частина валового кінцевого споживання енергії в Україні має зрости щонайменше вдвічі за період 2020-2030 років, досягнувши 6 млн т н.е., включаючи всі види біопалива (відходи лісового господарства, сільськогосподарські відходи та енергетичні культури)⁶, в той час як всі відновлювані джерела енергії, включаючи біоенергетику, мають зрости у 5 разів до 2050 року порівняно з 2020 роком, відповідно до Енергетичної стратегії України до 2050 року.

Використання біомаси в Україні також стикається зі значними проблемами в суміжних сферах. Організаційні та регуляторні проблеми включають відсутність ринку для балансування попиту та пропозиції біомаси, відсутність дорожньої карти для збільшення використання біомаси, а також незаконні лісозаготівлі, що робить незаконно заготовлену деревину більш конкурентоспроможною за ціною. Крім того, біоенергетика не включена до стратегічних планів розвитку енергетики, що стримує її зростання.

З економічної та фінансової точки зору біомаса не вважається CO₂-нейтральною, а податок на викиди CO₂ робить проекти з використання біомаси менш життєздатними. Біомаса дорожча за субсидований природний газ, а кредити під низькі відсотки для сільськогосподарських виробників обмежені. Відсутність субсидій та висока інфляція ще більше ускладнюють економічну життєздатність проектів з використання біомаси.

Виклики, пов'язані з війною, погіршують ситуацію: значний дефіцит робочої сили, значні потреби у розмінуванні та руйнування установок, що працюють на біомасі. Ці фактори суттєво перешкоджають використанню біомаси та виробництву енергії в Україні.

⁴ [1] Перспективи розвитку біоенергетики в Україні: дорожня карта до 2050 року, Міжнародний науковий журнал "Екологічна інженерія та екологічні технології" ("Ecological Engineering & Environmental Technology"), Георгій Гелету́ха, Тетяна Железна, ISSN 2719-7050. с. 73-81, том 22, видання 5, 2021.

⁵ [2] https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/03/ZHelyezna_EU4USociety_AgroBM_26-02-2021.pdf.

⁶ Національний план дій з відновлюваної енергетики України до 2030 року.

2. Поточне використання енергії з відновлюваних джерел в Україні

Роль відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) зростає з кожним роком. За останніми доступними офіційними даними (2020 рік), частка ВДЕ в загальному постачанні первинної енергії в Україні становила 6,6%, причому на біопаливо та відходи припадає $\frac{3}{4}$ частки ВДЕ, а на вітер, сонце та воду – решта $\frac{1}{4}$ (Рисунок 1). Зокрема, кількість відходів та біомаси, що утилізуються, зростає, і подвоїлася за період з 2015 по 2020 рік

ВДЕ та біомаса/відходи в загальному енергопостачанні тепла та електроенергії

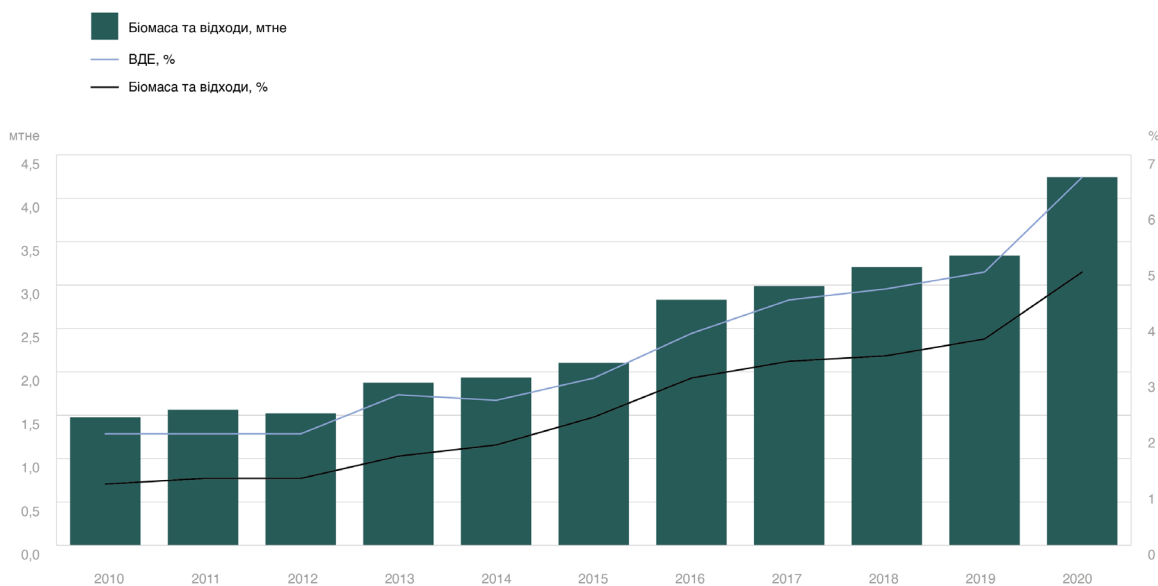


Рисунок 1: ВДЕ та біомаса/відходи в загальному енергопостачанні тепла та електроенергії⁷

З лютого 2022 року російська армія націлилася на українські електростанції та енергетичну інфраструктуру. У цьому контексті зросла важливість децентралізованої відновлюваної енергії, яка посилює загальну енергетичну стійкість країни. Тому вкрай важливо мобілізувати всі доступні джерела відновлюваної енергії. У цій записці особлива увага приділяється твердій біомасі з сільськогосподарських

⁷ https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/energ/En_bal/Bal_2020_ue.xls.

культур та відходів лісового господарства для того, щоб підкреслити важливість цього питання; крім того, існує загальна тенденція до зростання важливості використання твердої біомаси для опалення та автономного електропостачання бізнесом та місцевою (сільською та міською) владою під час війни, яка може поширитись на всю країну.

2.1. Поточні тенденції виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в Україні

У 2020 році загальне виробництво електроенергії в Україні становило 150 ТВт·год; у 2022 році - 115 ТВт·год, тобто скоротилося майже на 25%.

В Україні працює понад тисяча компаній у сфері відновлюваної енергетики, які експлуатують 1 767 об'єктів ВДЕ. У 2022-2023 роках ці об'єкти виробили приблизно 8 ТВт·год «зеленої» електроенергії. Вітрові електростанції зазнали найбільшого спаду виробництва електроенергії у 2023 році, скоротившись на 43%, насамперед через російську окупацію або руйнування електростанцій та енергетичної інфраструктури в південних регіонах. На противагу цьому, виробництво електроенергії з твердої біомаси зросло на 61% з 2022 по 2023 рік⁸.

У 2023 році встановлена потужність електростанцій, що використовують ВДЕ, в Україні (сонячна, вітрова, гідро- та біоенергетика) зросла на 238 МВт, сягнувши 8 773 МВт. До числа нових електростанцій з ВДЕ увійшли 65 нових об'єктів. З них 157 МВт – це вітрові турбіни, 56 МВт – сонячні батареї та 23,6 МВт – електростанції на твердій біомасі, які працюють за «зеленим» тарифом.

Жодна з цих нових установок не отримала надбавку за місцеву складову, яка є бонусом до «зеленого» тарифу за використання обладнання українського виробництва. Таким чином, загальна кількість об'єктів з надбавкою за місцеву складову у 2023 році становила 181 одиницю, у тому числі 120 об'єктів сонячної енергетики.

Детальний опис виробництва електроенергії з біогазу або збагаченого біогазу (біометану) не включено до цієї записки.

Загальна встановлена потужність біогазових установок протягом 2023 року не змінилася і становила 135 МВт. «Зелений» тариф у 2023 році отримали 43 компанії з 68 біогазовими установками, у тому числі 12 компаній з надбавкою за місцеву складову.

У 2023 році загальний обсяг виробництва електроенергії з біогазу збільшився на 15% до 580 ГВт·год. Середній коефіцієнт використання встановленої електричної потужності біогазових установок становить 49%. Із загальної кількості 20 установок взагалі не виробляли електроенергію. Лише п'ять установок мали показники використання встановленої потужності на рівні 75-82%.

2.1.1. Поточне виробництво електроенергії з твердої біомаси

Потужність теплових ТЕС та ТЕЦ, що використовують тверду біомасу, становить близько 2% від загальної встановленої потужності ВДЕ у 2023 році в Україні. У 2023 році потужність теплових електростанцій (ТЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ) в Україні, що використовують тверду біомасу, зросла приблизно на 15% (23,6 МВт), досягнувши 178 МВт на 24 об'єктах. Середня потужність ТЕС/ТЕЦ становить 7,4 МВт, що є відносно низьким показником.

⁸ <https://uabio.org/materials/14656/>.

У 2023 році середньорічне використання біогазових установок зросло на 40%, оскільки середній коефіцієнт використання потужності збільшився з 21% у 2022 році до 30% у 2023 році. Таким чином, річне виробництво електроенергії з біомаси зросло на 61%, з 288 ГВт·год (1 ПДж) у 2022 році до 464 ГВт·год (1,7 ПДж) у 2023 році.

Слід зазначити, що електростанції в Україні використовують лише лушпиння соняшника або деревну тріску. У 2023 році понад 78% електроенергії з твердої біомаси було вироблено з лушпиння соняшника та близько 22% – з деревної тріски. У 2023 році встановлена потужність ТЕС/ТЕЦ на лушпинні соняшника становила близько 110 МВт, а встановлена потужність ТЕС/ТЕЦ на деревній трісці – близько 67 МВт.

3. Потенціал маломасштабного виробництва електроенергії з використанням відходів твердої біомаси в Україні

В Україні виробляється значна кількість сільськогосподарської та лісової продукції. Це виробництво генерує значну кількість відходів біомаси, які потенційно можуть бути використані для енергетичних цілей. До них відносяться солома зернових, стебла та качани кукурудзи, лушпиння, стебла та кошики соняшника, дерева, гілки, гній тварин та відходи птахівництва, а також органічні речовини, що містяться у побутових відходах. В аналізі, наведеному в цій записці, розглядається лише тверда біомаса.

3.1. Узагальнення щодо придатності та потенціалу використання залишків твердої біомаси для виробництва електроенергії та когенерації

У попередніх розділах підкреслювалося, що навіть за нинішньої ситуації в Україні існує значний невикористаний потенціал для утилізації твердої біомаси, зокрема, для виробництва електроенергії та комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з відходів сільського та лісового господарства. Серед цих ресурсів сільськогосподарські відходи являють собою величезну, недостатньо використану можливість, з помітним потенціалом для утилізації соломи зернових культур.

За оцінками, у найближчій перспективі значні обсяги соломи зернових можуть бути використані як паливо для теплових електростанцій (ТЕС) та когенераційних установок (ТЕЦ). Ця можливість є особливо перспективною з кількох причин. По-перше, енергетична технологія, необхідна для перетворення соломи зернових в енергію, є добре відпрацьованою і надійною. По-друге, методи та обладнання для збору та обробки соломи добре відомі і вже широко використовуються. Крім того, інформація, отримана під час інтерв'ю, свідчить про тісні зв'язки між українським та данським сільськогосподарським секторами, включаючи цінний досвід українських аграріїв у Данії. Нарешті, техніка, необхідна для обробки зернової соломи, не є ні вузькоспеціалізованою, ні надмірно дорогою, що робить її впровадження більш здійсненним.

Таке поєднання факторів свідчить про те, що використання потенціалу сільськогосподарських відходів, зокрема соломи зернових, може стати практичним та ефективним шляхом до розширення біоенергетичного сектору України (на основі біомаси) в найближчому майбутньому.

3.2. Огляд енергетичного потенціалу місцевих залишків твердої біомаси

Теоретичний та економічний потенціал енергії, отриманої з відходів твердої біомаси в Україні (станом на 2019 рік), представлений у Таблиці 1. Теоретичний енергетичний потенціал твердої біомаси становить майже 1 400 ПДж (без врахування потенціалу енергетичних культур), з яких 80% припадає на сільськогосподарський сектор і 20% – на лісове господарство.

Економічний потенціал відходів твердої біомаси в Україні оцінюється в 570 ПДж, що становить трохи більше 43% від теоретичного потенціалу. Для більшості видів відходів твердої біомаси сільського господарства, зокрема, первинних сільськогосподарських залишків, що залишаються на полях, передбачається, що лише 40% або менше від теоретичного потенціалу є економічно доцільним для виробництва енергії. На противагу цьому, лушпиння соняшника, вторинні сільськогосподарські відходи, що утворюються на виробництві, демонструють значно вищу ефективність збору, при цьому 100% його теоретичного потенціалу вважається економічно доцільним для енергетичного використання. Лісові відходи демонструють середню економічну доцільність, складаючи 68% від їх теоретичного потенціалу. Отже, сільськогосподарські відходи становлять 59% від загального оціненого економічного потенціалу твердої біомаси для енергетичних цілей.

Крім того, за рахунок вирощування енергетичних культур з твердої біомаси, таких як міскантус, тополя та верба, на 1 млн га невикористовуваних сільськогосподарських земель, Україна може збільшити економічний потенціал енергії з твердої біомаси на 36%, за умови повного використання теоретичного потенціалу цих енергетичних культур. Таким чином, економічний потенціал енергії з твердої біомаси становить 774 ПДж на рік.

На сьогоднішній день в Україні існують сотні котлів потужністю до 1 МВт кожен, але вони в основному використовуються сільськогосподарськими підприємствами для виробничих цілей (наприклад, сушіння зерна або деревини) та муніципалітетами для місцевого централізованого опалення в сільській місцевості та малих містах, але не для постачання електроенергії в електромережу. Випадки енергетичного використання іншої твердої сільськогосподарської біомаси (наприклад, стебел кукурудзи та соняшника, а також енергетичних культур, таких як міскантус, верба тощо) є досить обмеженими або повністю відсутніми. Енергетичні культури вирощувалися кількома компаніями на площі 6 175 га у 2021 році⁹.

Таблиця 1 також показує, що наразі сільськогосподарські відходи використовуються лише в дуже обмеженому обсязі, в середньому 7% (41 ПДж/рік), незважаючи на високий потенціал.

Таким чином, в Україні сільськогосподарські рештки здебільшого залишають на полях і спалюють, незважаючи на законодавчу заборону на цю практику. Поширеність спалювання пожнивних решток зумовлена такими бар'єрами, як загальний брак техніки, технологій та досвіду збирання та поводження з більшістю решток (за винятком соломи). Крім того, існує брак ринкових можливостей для цих залишків¹⁰.

⁹ Trypolska, G. (2023) 'Dedicated energy crops: support policies in Europe and in post-war Ukraine', Int. J. Foresight and Innovation Policy, Vol. 16, Nos. 2/3/4, pp.185–202.

¹⁰ Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні, Аналітична записка № 21, 2019, Георгій Гелетука, Тетяна Железна, Семен Драгнев, Біоенергетична асоціація України.

Таблиця 1: «Теоретичний потенціал» та «Економічний потенціал (%)» 2019/2020 рр. для твердих/сухих сільськогосподарських відходів та відходів лісового господарства. На основі Таблиці 1 в «Перспективи розвитку біоенергетики в Україні: Дорожня карта до 2050 року», Екологічна інженерія та природоохоронні технології 2021, 22(5), 73-81. ПДж отримано з Мт на основі нижчої теплоти згоряння біомаси за умови, що біомаса була висушена на повітрі до вмісту вологи між 15-25%¹¹.

Тверда біомаса	Теоретичний потенціал (2019)	Економічний потенціал теоретичного потенціалу	Частка загального економічного потенціалу для залишків твердої біомаси	Наразі (2019) використано економічного потенціалу для генерації енергії	Невикористаний економічний потенціал (2019)
Сільськогосподарські відходи	ПДж/рік (Мт/рік)	% (ПДж/рік)	%	% (ПДж/рік)	ПДж/рік
Солома зернових	525 (37,5)	30% (158)	28%	4% (6,3)	151
Солома ріпаку	89 (5,9)	40% (36)	6%	4% (1,4)	34
Стебла та качани кукурудзи	374 (46,6)	40% (149)	26%	-	149
Стебла та кошики соняшника	174 (29)	40% (70)	12%	-	70
Лушпиння соняшника	44 (2,6)	100% (44)	8%	75% (33)	11
Всього сільськогосподарських відходів	1 206	38% (456)	80%	9% (41)	415
Відходи деревообробки (деревна біомаса)	ПДж/рік	% (ПДж/рік)		% (ПДж/рік)	ПДж/рік
Деревна біомаса, така як паливна деревина, відходи лісозаготівлі, відходи деревообробки	76 (7,4)	95% (72)	13%	99% (71,3)	0,7
Деревна біомаса, така як сухостій, деревина з пожежозахисних лісосмуг, біомаса від обрізки та видалення сільськогосподарських плантацій	93 (8,8)	45% (42)	7%	99% (41,6)	0,4
Всього відходів лісового господарства (деревна біомаса)	169	68% (114)	20%	99% (113)	1
Всього відходів твердої біомаси	1 375	43% (570)	100%	27% (154)	417
Енергетичні культури: міскантус, тополя та верба (1 млн. га*)	204 (11,5)	100% (204)	+36%	не доступно	не доступно
Всього твердої біомаси, в т.ч. енергетичної	1 579	774		+ 154	+ 417

Таблиця 1 показує, що майже всі лісові відходи вже утилізуються. Значна частка лісосічних відходів наразі експортується для виробництва деревних пелет чи тріски за кордон або використовується для виробництва деревних пелет чи тріски в Україні, а потім експортується. У той же час, значна кількість деревної біомаси використовується на місцевому рівні як дрова в невеликих дров'яних печах або котлах.

¹¹ База даних фізико-хімічного складу (обробленої) лігноцелюлозної біомаси, мікро- та макроводоростей, різної сировини для виробництва біогазу та біовугілля.

Загальний обсяг виробництва електроенергії з біомаси у 2023 році в Україні становив 464 ГВт·год¹² (1,7 ПДж). Це також включає виробництво з біогазу, що означає, що менше 7 ПДж¹³ твердої біомаси було використано для виробництва електроенергії у 2023 році. Порівнюючи цю кількість із загальним споживанням твердої біомаси 220 ПДж/рік (у Таблиці 1), можна зробити висновок, що менше 3% твердої біомаси, яка зараз використовується в енергетичних цілях, використовується для виробництва електроенергії.

3.2.1. Зміна площі ріллі в Україні у 2021-2024 роках

Потенціал залишків твердої біомаси в Україні, як показано в Таблиці 1, базується на оцінках довоєнного періоду. Війна тимчасово змінила площу орних земель в Україні. Рисунок 2 ілюструє зміну площі земель, придатних для господарської діяльності в Україні між 2021 і 2024 роками. З рисунка видно, що після 2021 року площа сільськогосподарських угідь (включаючи рілля та перелоги) зменшилася приблизно на 21-32%. Найменша площа сільськогосподарських земель була зафіксована у 2022 році, а найбільша – у 2024 році. Аналогічно, площа земель, придатних для ведення лісового господарства, зменшилася на 12-26% за той самий період.

Незважаючи на ці скорочення, важливо зазначити, що в середньому у 2019/2022 роках було утилізовано менше 10% сільськогосподарських відходів. Тому навіть за нинішніх умов залишається значна кількість твердої біомаси, яка потенційно може бути використана для виробництва електричної та теплової енергії на теплових електростанціях та об'єктах когенерації.

Площа територій України, придатних для ведення господарської діяльності, в млн га на 2021-2024 роки

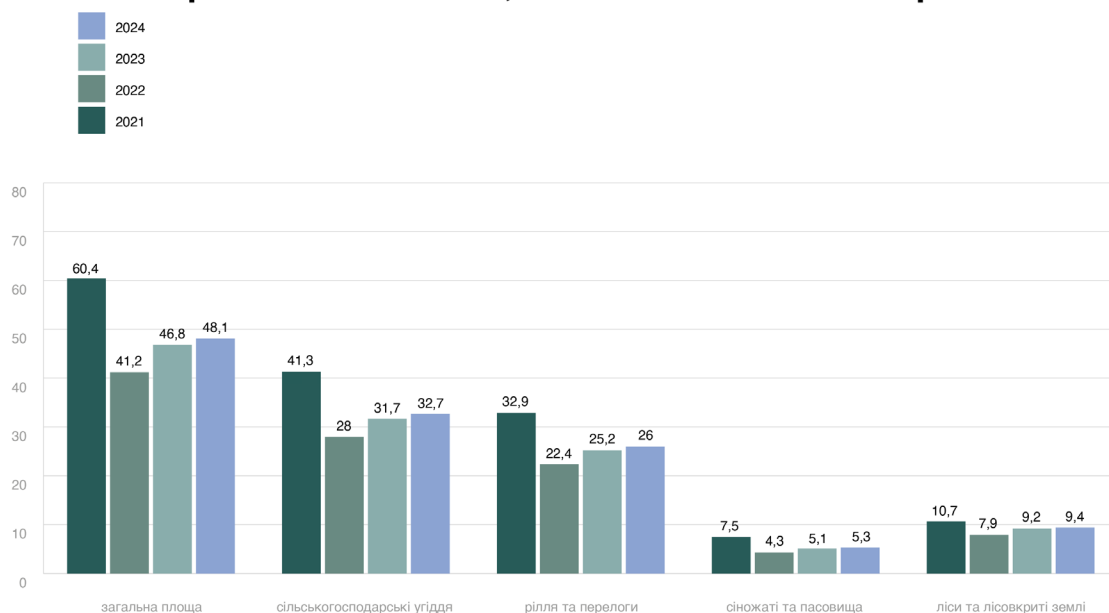


Рисунок 2: Площа територій України, придатних для ведення господарської діяльності, в млн га на 2021-2024 роки Агровигляд України 2024-2033. Резюме звіту /3. Прогнозні оцінки на базі моделі в AGMEMOD¹⁴

Тверда біомаса сільськогосподарських відходів більш детально описана в Додатку 1.

¹² У розділі 2.1.1 «Поточне виробництво електроенергії з твердої біомаси».

¹³ Для виробництва електроенергії передбачається 30% ефективність.

¹⁴ Агровигляд України 2024-2033 Резюме звіту, 2024, М.Богонос, А.Чміль, Р.Назаркіна, О.Николук, П.Пивовар, Г.Стольникович.

3.3. Сталість використання різних видів твердої біомаси для енергетичних цілей

Не всі види твердої біомаси придатні для використання в кожній технології перетворення енергії. Тому було оцінено придатність різних видів твердої біомаси, отриманої з відходів або вирощеної як енергетичні культури в Україні, для використання в енергетичних цілях. Результати представлені в Таблиці 2, яка надає всебічний огляд оцінки.

Перед використанням в енергетичних установках біомаса, як правило, потребує попередньої обробки. Найпоширеніші методи попередньої обробки включають сушіння, тюкування, виготовлення пелет та силосування. Хоча ці етапи попередньої обробки є критично важливими для ефективного перетворення енергії, вони не розглядаються детально в цій записці. Замість цього фокус спрямовано на оцінку придатності різних типів біомаси для різних енергетичних технологій, припускаючи, що відповідна попередня обробка вже була застосована.

Таблиця 2: Оцінка придатності біомаси для різних технологій перетворення енергії. «+» означає, що біомаса може бути використана в енергетичних технологіях, і її використання є широко розповсюдженим з хорошим та надійним досвідом її застосування. «(+）」 вказує на те, що біомаса може бути використана в енергетичних технологіях, але вона не є широко розповсюдженою, тому її використання не вважається простим, і не існує надійного досвіду її застосування. «-» означає, що біомаса оцінюється як непридатна для використання в енергетичних технологіях.

**Пелети, виготовлені з соломи зернових культур, можна використовувати як підстилковий матеріал і потенційно для анаеробного зброджування, але солом'яні пелети не можна використовувати для спалювання або газифікації.*

Технології	Підходить для:			
	Електрогенерація та когенерація безпосередньо через спалювання	Термічна газифікація (синтетичний газ)	Анаеробне зброджування (біогаз)	Пелетування на експорт для енергетичних цілей
Сільськогосподарські відходи				
Солома зернових	+	(+)	+	-*
Солома ріпаку	(+)	(+)	-	-
Стебла та качани кукурудзи	(+)		+	-
Стебла та кошики соняшника	(+)	-	+	-
Лушпиння соняшника	+	(+)	-	+
Продукція з відходів лісового господарства				
Деревні пелети	+	+	-	+
Деревна тріска	+	+	-	+

3.3.1. Тверді залишки біомаси, придатні для виробництва електроенергії

Таблиця 2 показує, що серед оцінених сільськогосподарських відходів лише для соломи зернових та лушпиння соняшника існує багаторічний і надійний досвід їх використання як джерел палива для теплових електростанцій (ТЕС) та когенераційних установок (ТЕЦ). Ці види біомаси вважаються особливо придатними для такого застосування, що є основною темою цього аналізу. Те саме стосується і лісових відходів, таких як тріска та деревні пелети.

Поєднуючи інформацію в Таблиці 2 та оцінки потенціалу, представлені в Таблиці 1, можна зробити висновок, що Україна має невикористаний річний потенціал 162 ПДж/рік місцевих твердих сільськогосподарських відходів біомаси, який може бути використаний для виробництва електроенергії та комбінованого виробництва теплової та електричної енергії за допомогою добре відомих маломасштабних технологій, заснованих на технологіях, які широко розповсюджені та мають хороший і надійний досвід роботи.

Таблиця 2 також підкреслює, що інші сільськогосподарські відходи теоретично придатні для використання на ТЕС і ТЕЦ. Однак, не існує достатньої кількості задокументованих доказів або досвіду експлуатації, які б підтверджували їх життєздатність у цих сферах.

Це вказує на те, що хоча ці відходи є перспективними, їх використання залишається менш доведеним у порівнянні з соломою зернових, лушпинням соняшника та відходами лісгосподарства. Як наслідок, вони наразі виключені з Каталогу критично важливих технологій. Тим не менш, вони є життєздатним довгостроковим варіантом сировини для енергетики України.

4. Методи та технології поводження з твердою біомасою

У цьому розділі описані методи і технології, необхідні для роботи з біомасою, включаючи її збір і попередню обробку перед використанням у енергогенеруючій установці. Він охоплює як наявні методи, так і потенційні вдосконалення.

Оскільки перше і третє місця серед відходів з найбільшим потенціалом для виробництва електроенергії займають зернові та соняшник, нижче представлені методи і технології поводження з ними.

4.1. Солома

Україна, як великий світовий постачальник зерна, щорічно виробляє значні обсяги соломи, частина якої може бути використана для виробництва теплової та електричної енергії.

За останні 40-50 років Данія накопичила значний досвід у сфері поводження з соломом та її перетворення на теплову та електричну енергію на малих та великих теплоелектроцентралях, а також на об'єктах комбінованого виробництва теплової та електричної енергії.

У цьому розділі описано ключові данські практики та системи, які можуть бути адаптовані до українського контексту. Аналіз значною мірою спирається на інформацію з публікації «Солома для виробництва енергії» Центру технологій біомаси (Данія) та нещодавнього звіту «Солома для виробництва енергії – технології, політика та інновації в Данії».

Доступні ресурси

Таблиця 1 показує, що Україна за нормальних умов (2019-2022 рр.) виробляє приблизно 38 мільйонів тонн (Мт) соломи на рік. Для порівняння, Данія зазвичай виробляє 5-6 млн т соломи на рік, з яких 3 млн т (50%) йде на підстилку та виробництво енергії. Понад 2,5 млн тонн залишаються невикористаними або заорюються назад у ґрунт.

Економічно обґрунтований потенціал використання соломи зернових для виробництва енергії в Україні оцінюється приблизно в 30% (~11 млн т), тоді як поточне використання становить лише 3-4% (1-1,5 млн т). Це свідчить про значний невикористаний потенціал¹⁵.

Солома для виробництва енергії

Солома дуже добре підходить для спалювання в середніх і великих решіткових котлах для виробництва гарячої води або пари, які згодом можуть бути використані для виробництва електроенергії та тепла. Однак виникають проблеми через низьку температуру плавлення солом'яної золи. Вище певного порогу

¹⁵ Таблиця 1. Біоенергетичний потенціал України у 2019 році, Екологічна інженерія та природоохоронні технології 2021, 22(5), с. 73-81.

зола стає липкою, що призводить до забруднення та накопичення шлаку. Отже, солома найкраще підходить для спалювання у розсипному вигляді, де температуру можна точно контролювати.

Спалювання пелетованої соломи виявилось проблематичним як у побутових котлах, так і у великих системах. І навпаки, солома добре підходить для анаеробного зброджування в біогазових установках за умови її попередньої обробки такими методами, як брикетування, виготовлення пелет або використання в якості підстилки.

4.1.1. Обробка соломи

Щоб забезпечити великомасштабне постачання соломи задовільної якості за прийнятними цінами, обробка соломи повинна бути оптимізована для підвищення ефективності. Виробники та покупці соломи в Данії зосередилися на оптимізації елементів ланцюга постачання, зокрема, транспортної та складської логістики. Хоча більшість поставок все ще здійснюються великими тяками, зусилля з оптимізації призвели до збільшення використання середньо-великих тяків, які забезпечують більш ефективне транспортування автомобільним транспортом.

Поводження з соломою перетворилося на спеціалізовану дисципліну в данському сільському господарстві; воно спирається на важку техніку, яка експлуатується переважно великими фермерськими господарствами та сільськогосподарськими підрядниками. З 1980-х років, коли великі прес-підбирачі стали широко доступними, сектор інвестував значні кошти в обладнання, таке як прес-підбирачі, граблі, фронтальні навантажувачі, транспортні засоби та сховища, щоб задовольнити попит енергетичного сектору.

Після збирання солома залишається у валках на полі. Подальші кроки залежать від погодних умов та інших факторів:

- › Згрібання
- › Тюкування
- › Пелети, брикети та подрібнена солома
- › Навантаження та розвантаження з вантажівок та автомобілів
- › Польовий транспорт
- › Децентралізоване зберігання
- › Навантаження на автотранспорт
- › Автомобільний транспорт
- › Розвантаження на заводі
- › Реєстрація ваги та вологості
- › Буферне зберігання (на заводі)

4.1.2. Згрібання

Якщо погодні умови під час збирання врожаю сприятливі, соломі можна тюкувати одразу після того, як комбайн укладе її у валки. Однак, якщо солома занадто волога (зазвичай середня вологість перевищує 15%), вона повинна висохнути у валку перед тюкуванням. Якщо в цей період дощить, може знадобитися повторити згрібання.

Сучасні граблі спроектовані таким чином, щоб або розкидати валок по всій ширині граблин, максимізуючи доступ повітря для сушіння, або збирати/перевертати солому всередині валка.

4.1.3. Тюкування

Сьогодні данські електростанції та об'єкти централізованого тепlopостачання майже виключно використовують великі тюки або тюки середнього розміру. Малі тюки рідко використовуються для виробництва енергії (за винятком дуже малих або застарілих фермерських опалювальних систем), тоді як круглі тюки в основному обмежуються фермерськими опалювальними установками, спеціально розробленими для таких форматів.

Протягом багатьох років було докладено чимало зусиль для збільшення щільності великих тюків і відповідної адаптації обладнання для ланцюга поставок. Більш важкі тюки можуть підвищити ефективність ланцюга поставок.

Ще один спосіб підвищення ефективності полягає в тому, що поряд з традиційними великими тюками все частіше використовуються середньо-великі тюки. Основна перевага полягає в зниженні витрат на автомобільні перевезення: вантажівки можуть перевозити три шари середньо-великих тюків замість двох шарів великих тюків. Оскільки середньо-великі тюки можуть мати майже таку ж вагу, як і великі тюки, це дозволяє перевозити приблизно на 50% більше соломи на одну вантажівку, що значно знижує витрати.

*Таблиця 3: Властивості солом'яних тюків (*ширина помножена на діаметр)*

Тип тюків	Розміри, Д x Ш x В (см)	Вага (кг)	Щільність (кг/м³)
Малі тюки	70-90 x 46 x 36	12-15	90-100
Круглі тюки	120 x 170*	220-270	100-120
Міні-великі тюки	200-240 x 80 x 80	200-250	110-150
Середньо-великі тюки	230-250 x 120 x 90	450-650	160-230
Великі тюки	230-250 x 120 x 130	450-650	140-170

4.1.4. Пелети, брикети та подрібнена солома

Тюкування є найдорожчим елементом ланцюга постачання соломи. Науково-дослідні роботи вивчали, чи може заміна тюкованої соломи пелетами або брикетами, або обробка скошеної соломи без тюкування чи пелетування підвищити ефективність процесу.



Рисунок 3: Приклад транспортування середньо-великих тюків на полі

Пелетування або брикетування соломи збільшує щільність, що зазвичай знижує витрати на подальшу обробку. Крім того, пелети можна розвантажувати і транспортувати пневматично в межах заводу, що зменшує залежність від кранів і ще більше знижує витрати.

Однак виробництво пелет все одно вимагає тюкування і транспортування соломи на переробний завод, що призводить до вищих загальних витрат порівняно з традиційними ланцюгами поставок великих або середніх тюків. Винятки можуть бути, якщо відстань від поля до заводу є достатньо великою, щоб виправдати транспортування пелет морськими шляхами, або якщо технологія пелетування на місці усуває необхідність попереднього тюкування. Хоча такі технології існують, вони ще не довели свою економічну ефективність і часто передбачають використання дизельного палива без утилізації технологічного тепла.

На початку 2000-х років солом'яні пелети широко використовувалися на електростанції Amager у Копенгагені. Вироблені на заводі Køge Bio Pellet за 50 км на південь від міста, вони доставлялися водним шляхом, щоб уникнути інтенсивного руху вантажівок через Копенгаген. Через технічні проблеми в роботі котла, подібні до тих, що спостерігалися під час інших експериментів з солом'яними пелетами, станція тепер використовує деревні пелети. Отже, солом'яні пелети не рекомендується використовувати на теплових електростанціях (ТЕС) або теплоелектроцентралях (ТЕЦ).

Доведено, що брикетування соломи під високим тиском підвищує її засвоюваність у біогазових установках, що є корисним побічним ефектом. Це може зробити брикетування життєздатним методом обробки, коли солома призначена для виробництва біогазу.

На початку 1990-х років були проведені експерименти зі скошеною соломою, що зберігалася в польових скиртах для зменшення витрат на обробку. Початкові випробування показали потенційне скорочення витрат до 50%, але практичні проблеми призвели до того, що до середини 1990-х років від цієї концепції відмовилися.

4.1.5. Завантаження та вивантаження з вантажних автомобілів

Для завантаження соломи доступні різні варіанти обладнання, включаючи фронтальні навантажувачі, екскаватори, тракторні лопати, телескопічні навантажувачі та міні-навантажувачі. В принципі, перші три типи, засновані на фронтальних системах завантаження, суттєво не відрізняються. Однак телескопічні навантажувачі мають більшу вантажопідйомність і радіус дії, що дозволяє укладати тюки соломи на більшій висоті, знижуючи витрати на зберігання. Як результат, телескопічні навантажувачі отримують все більшу перевагу. Міні-навантажувачі, хоча і менш поширені, є дуже універсальними і підходять для використання в обмеженому просторі.

Робоче навантаження значно відрізняється залежно від використовуваного обладнання: завантаження фронтальним навантажувачем є найбільш працеемним, тоді як використання тракторної лопати або телескопічного навантажувача є менш вимогливим, оскільки вони можуть обробляти два тюки одночасно. З точки зору ефективності, завантаження тракторною лопатою порівняно з фронтальним навантажувачем призводить до різниці в часі приблизно 2,5 хвилини на тонну. Хоча це може здатися незначним, це означає додаткові 41 000 годин роботи при завантаженні одного мільйона тонн на рік, що є типовим обсягом поставок на електростанції.

4.1.6. Польовий транспорт

Польові перевезення зазвичай здійснюються за допомогою трактора та причепа. Така схема використовується для транспортування соломи до польових сховищ або децентралізованих сховищ (наприклад, на фермах), а також іноді для транспортування на короткі відстані до електростанцій, як правило, до 10 км.

Якщо дозволяє потужність буферного сховища електростанції, деякі тюки можна завантажувати безпосередньо на вантажівку/причіп для негайного транспортування на об'єкт.



Рисунок 4: Заготівля солом'яних тюків

4.1.7. Децентралізоване зберігання

Данські електростанції зазвичай підтримують буферні запаси лише протягом декількох днів, що зумовлює необхідність децентралізованого зберігання більшої частини річного споживання соломи. Існують різні методи зберігання, від недорогих до дорогих рішень. Витрати на зберігання однієї тонни тісно пов'язані з якістю отриманої соломи, і дешевше зберігання часто призводить до більшої частки непридатних тюків.

Методи зберігання:

- » Корівники з дахом, стінами та бетонною підлогою забезпечують високу якість соломи, але є найдорожчим варіантом, особливо якщо потрібно будувати нові об'єкти. Однак перепрофілювання існуючих будівель може запропонувати оптимальне рішення для забезпечення високоякісної пропозиції.
- » Широко використовуються корівники без стін, оскільки вплив нормальних погодних умов зазвичай не призводить до значного погіршення якості тюків.
- » Зберігання в обмотці у вигляді довгомірних стосів набуло популярності завдяки нижчій вартості та гнучкості порівняно зі стаціонарними структурами. Ці стоси можна розміщувати поблизу виробничих полів і головних доріг, мінімізуючи польовий транспорт і спрощуючи завантаження доріг. Доставка незабаром після збору врожаю також гарантує, що поля будуть очищені для наступних культур.

Основні досягнення щодо зберігання в упаковці:

Удосконалення обладнання за останні десятиліття сприяло його впровадженню. Перші обмотувальні машини працювали з двома тюками, тоді як сучасні системи можуть обробляти до 12 тюків за одну операцію. Однак користувачі відзначають критичні зауваження:

- ▶ Розташування: Стоси на низинних полях піддаються ризику інфільтрації вологи; перевага надається піднесеним ділянкам
- ▶ Конденсація: Високий вміст вологи в соломі може спричинити конденсацію під плівкою, що призведе до зволоження верхніх тюків..

Особливості відкритого зберігання:

Деякі постачальники все ще використовують відкрите зберігання, або накриваючи стоси пластиком (закріплюючи верхні тюки), або залишаючи їх повністю відкритими. Хоча це найдешевший метод, він часто робить багато тюків непридатними для спалення через погіршення якості. Верхній і нижній шари особливо вразливі до погодних умов і ґрунтової вологи.

Альтернативне використання для неякісних тюків:

Якщо тюки непридатні для спалювання, їх можна переробити для виробництва біогазу. В іншому випадку витрати на утилізацію, включаючи розщеплення, розкидання та заорювання в ґрунт, можуть перевищити початкову економію.

4.1.8. Автомобільний транспорт

Автомобільні перевезення зазвичай здійснюються за допомогою вантажівки/причепа. На короткі відстані (зазвичай до 10 км) можуть використовуватися трактори та вагони. Більшість приймальних пунктів на електростанціях вимагають, щоб тюки були завантажені в певній конфігурації – як правило, в шість шарів (розміром 2*3) на вантажівці та/або причепі. Деякі заводи також вимагають накривати тюки сітками під час транспортування, щоб запобігти розвіюванню соломи вітром.



Рисунок 5: Транспортування тюків

4.1.9. Розвантаження на заводі

У той час як багато невеликих ТЕЦ у Данії все ще покладаються на фронтальні навантажувачі для розвантаження тюків соломи, більші заводи впровадили автоматизовані кранові системи. Ці крани піднімають цілі шари тюків безпосередньо з вантажівок і причепів, розміщуючи їх у буферному сховищі

заводу. Ці ж крани потім використовуються для переміщення тюків зі сховища на конвеєрні стрічки, які транспортують солому до подрібнювачів перед подачею її в котельні установки.

Багато кранів оснащені автоматизованою технологією для реєстрації ваги тюків і вмісту вологи, що значно скорочує час, необхідний для розвантаження і документування повної вантажівки соломи. Рівень вологості вимірюється за допомогою мікрохвильових датчиків.

На відміну від цього, коли для розвантаження використовуються фронтальні навантажувачі, вимірювання ваги зазвичай відбувається на вагах, тоді як вміст вологи реєструється вручну за допомогою зондового вологоміра, який вставляється в тюки.

4.1.10. Аспекти здоров'я та безпеки

Робота в аграрному секторі неминує пов'язана з ризиками, і поводження з соломом не є винятком. Окрім небезпеки, пов'язаної з важкою технікою, тюки соломи самі по собі є важкими і потребують обережного поводження. Наприклад, при укладанні тюків у коморах або на відкритих майданчиках їх необхідно укладати шарами, щоб мінімізувати ризики обвалення.

Крім того, дуже важливими є протипожежні заходи, особливо у великих сховищах. У Данії діють суворі правила, що регулюють цю сферу:

1. Ліміти зберігання: Максимальна кількість соломи на одиницю зберігання
2. Розміри штабелів: Допустима висота, ширина та довжина
3. Безпечні відстані: Необхідна відстань від будівель та доріг загального користування
4. Пожежна безпека: Заходи для контролю потенційних пожеж

Ці правила існують тому, що коли солом'яний стіг загоряється, загасити його майже неможливо; основна увага зосереджується на стримуванні вогню, доки він не вигорить.

Законодавча база має на меті:

1. Обмежити потенційні втрати від однієї пожежі
2. Забезпечити контрольованість пожеж
3. Запобігти поширенню вогню на сусідні споруди або сховища
4. Зменшити небезпеку для дорожнього руху, спричинену димом

Під час обробки соломи також утворюється значна кількість пилу та спор грибків (якщо солома була вологою), що створює ризики для здоров'я в закритих приміщеннях. Постійні працівники повинні використовувати протипилові маски, щоб мінімізувати вплив пилу на органи дихання.

4.2. Соняшник¹⁶

4.2.1. Збір урожаю

Соняшник збирають за допомогою зернозбиральних комбайнів, оснащених спеціальними або універсальними жатками. Ці жатки можуть бути оснащені адаптерами або спеціальними насадками,

¹⁶ <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-en-1.pdf>.

призначеними для збирання соняшнику. Деякі жниварки оснащені подрібнювачем стебел, який, хоча і збільшує споживання палива та знижує продуктивність під час збирання врожаю, дозволяє заощадити на витратах на мульчування. Традиційні жниварки підходять для вирощування соняшнику з міжряддям 70 см. Ріжучий механізм жатки повинен працювати на 20-25 см нижче голівок соняшника. Комбайн зазвичай рухається вздовж рядків посівів, що дозволяє ефективно збирати врожай на швидкості до 9 км/год. Зібрані корзинки та насіння, що випало, спрямовуються до системи обмолоту та сепарації комбайна. Стебла залишаються на полі, утворюючи основну частину післязбиральних решток соняшнику.



Рисунок 6: Поле соняшнику (ліворуч), поле соняшнику, готове до збору врожаю (праворуч)

Під час наступних технологічних операцій спеціалізовані сільськогосподарські машини подрібнюють і розподіляють рослинні рештки по полю. Однак деякі фермери вирішують спалювати залишки соняшника. Альтернативою спалюванню є збирання цих побічних продуктів для виробництва енергії.

4.2.2. Аналіз ланцюга постачання побічних продуктів переробки соняшнику

Ланцюг постачання побічної продукції соняшника починається зі збирання врожаю. Цей процес генерує два типи біомаси: одна проходить через комбайн, а інша залишається у вигляді стебел на полі. За сприятливих погодних умов стеблова біомаса може висихати, покращуючи свої паливні властивості.

Історично склалося так, що фермерські господарства ділили соняшникові поля на менші ділянки для місцевого вирощування. Місцеві жителі вручну збирали соняшникові корзинки з насінням і доставляли їх на ферму. Вони також збирали стебла вручну, зв'язуючи їх у пучки для використання в якості біомаси для виробництва тепла. Однак інформація про сучасні практики збирання побічної продукції соняшника є обмеженою.

Механізований збір стеблової біомаси передбачає зрізання та подрібнення стебел кормозбиральним комбайном. Суху біомасу можна використовувати як тверде біопаливо, а вологу – як сировину для біогазових установок. Біомаса, що пройшла через комбайн, збирається в причепі в подрібненому вигляді. Якщо сировина волога (вологість >25%), вона потребує сушіння. Альтернативно можна застосувати технологію, яка використовується для збирання побічної продукції кукурудзи, що включає подрібнення та формування валків післязбиральних залишків соняшнику в полі, з подальшим тюкуванням або збиранням подрібненого матеріалу.

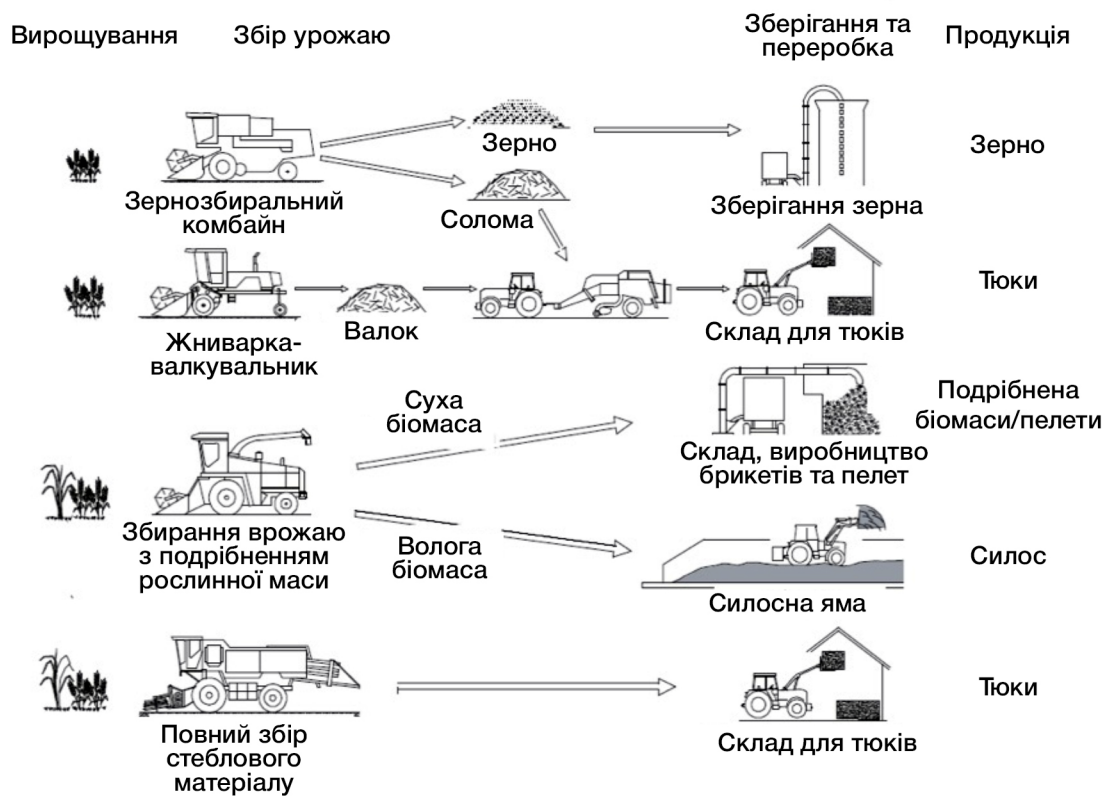


Рисунок 7: Ланцюг постачання побічної продукції соняшнику та іншої стеблової біомаси

5. Потенційні енергетичні ресурси з відходів лісової біомаси в Україні

Хоча виробництво електроенергії з лісової біомаси в Україні залишається дуже обмеженим (як описано в Розділі 2.1.1.), деревина слугує основним джерелом твердого біопалива, включаючи дрова, пелети та тріску. Щорічний потенціал деревної біомаси становить 160-180 ПДж/рік (2,6-3,0 млн т н.е.), причому майже 95% цього потенціалу вже використовується. Дрова вже давно є найдоступнішим джерелом енергії для опалення в сільських громадах та малих містах.

У 2022-2024 роках руйнування росією муніципальних і місцевих опалювальних котелень та газової інфраструктури спричинило значний сплеск попиту на дрова, особливо у прифронтових регіонах. Однак загальні обсяги заготівлі деревини скоротилися майже на 10% у 2022-2023 роках порівняно з 2021 роком, насамперед через падіння обсягів заготівлі лісу-кругляка на 22% у 2022 році та на 19% у 2023 році (Рисунок 8).

Заготівля деревини в Україні

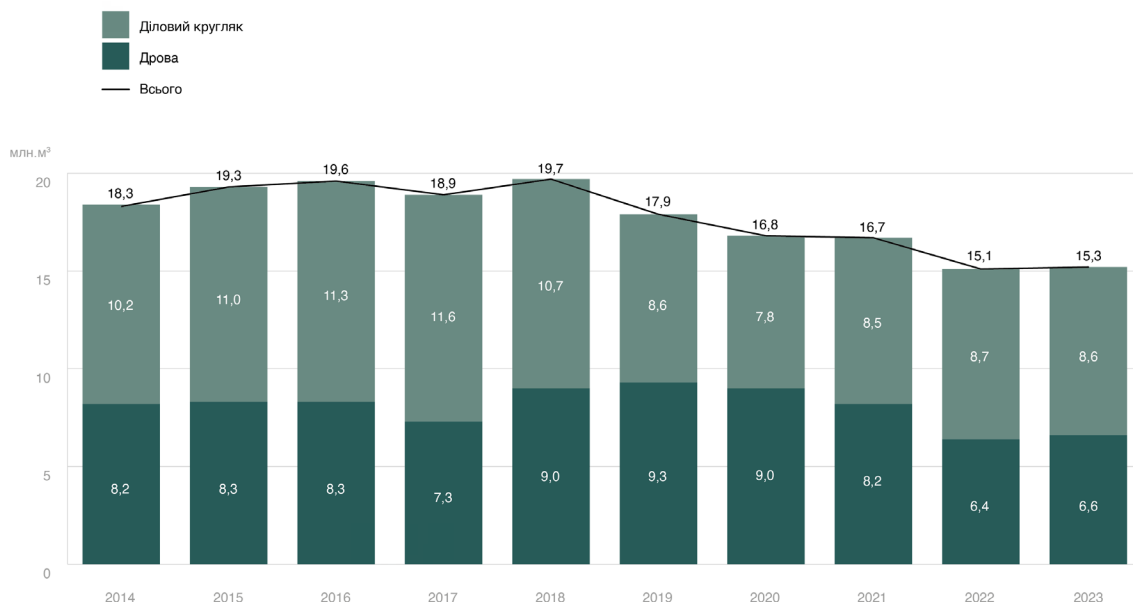


Рисунок 8: Заготівля деревини в Україні¹⁷

¹⁷ <https://www.ukrstat.gov.ua/>.

У 2022 році обсяги заготівлі лісу-кругляка в Україні суттєво скоротилися в трьох природних зонах (за винятком Карпат): на 37,9% у степу, на 11,3% у лісостепу та на 9,6% на Поліссі порівняно з 2021 роком. Таке скорочення пропозиції деревини в поєднанні зі зростанням попиту призвело до зростання цін на деревні матеріали на 23% у 2022 році порівняно з 2021 роком¹⁸.

Тенденції, що спостерігалися протягом 2022-2023 років, дають уявлення про потенційні шляхи та характеристики виробництва твердого біопалива, залежного від деревини (наприклад, пелети та тріска), незважаючи на обмеженість статистичних та аналітичних даних.

Два сталих методи можуть підвищити доступність дров:

1. Збір старої, сухої, мертвої, поваленої або гнилої деревини.
2. Переробка відходів деревини (наприклад, на пелети).

За експертними оцінками, ці підходи можуть збільшити пропозицію деревини на 3-3,5 млн м³ щорічно¹⁹.

5.1. Виробництво деревних гранул та тріски

Лісові відходи та енергетичні культури можна переробляти на деревні колоди, пелети або тріску.

5.1.1. Деревні пелети

Українське виробництво пелет було галуззю, що розвивалася і переживала стабільне зростання до повномасштабної війни. Річний обсяг виробництва перевищував 700 тис. тонн, причому до 85% експортувалося переважно до країн ЄС. На початок 2020 року виробництвом пелет займалося майже 500 підприємств. Більшість із цих виробників були невеликими, з потужністю менше 10 тис. тонн на рік, і вони були розташовані переважно у Вінницькій, Волинській, Чернівецькій та Житомирській областях²⁰. Вісім найбільших виробників пелет мали виробничу потужність 300 тис. т на рік²¹.

Деревина є основним джерелом для виробництва пелет в Україні, частка якої в довоєнний період становила в середньому 54%. Другим за величиною джерелом є лушпиння соняшника. Разом ці два джерела складають 90% від загального обсягу виробництва пелет (Рисунок 9)²².

¹⁸ <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/420/378>.

¹⁹ <https://rubryka.com/en/article/war-and-forest/>.

²⁰ <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/16443-top6-vyrobnykiv-pelet-v-ukraini.html>.

²¹ <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/04caacb7-9250-453b-97f3-497b98f6d96d/content>.

²² Те саме, що в 21.

Структура виробництва пелет за джерелами сировини

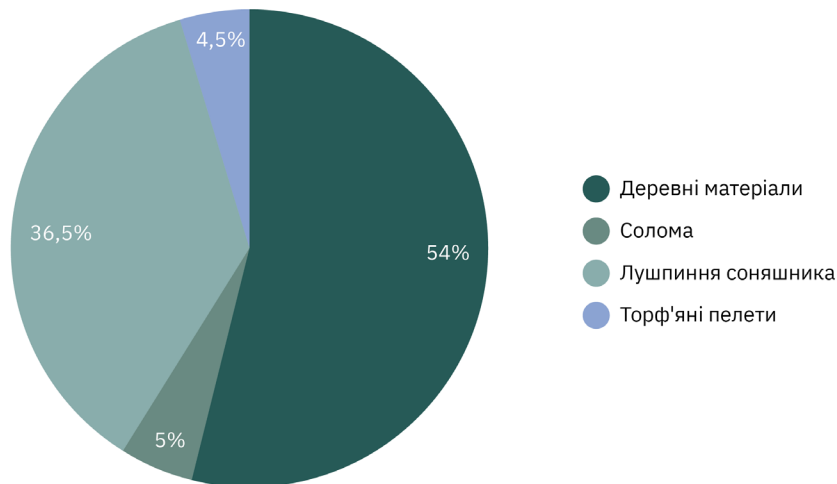


Рисунок 9: Структура виробництва пелет за джерелами сировини

Протягом 2022 року пелетне виробництво зіткнулося з проблемою стрімкого зростання цін на деревну сировину, що знизило конкурентоспроможність українських пелет на ринку ЄС²³. У 2022 році 34 сертифіковані (ENplus) заводи виробили 368 тис. т пелет (-15% порівняно з 2021 роком)²⁴.

5.1.2. Тріска

Тріска слугує джерелом енергії для опалення та виробництва електроенергії в комунальному секторі. Згідно з українським законодавством, до 2022 року всі бюджетні організації (включаючи заклади охорони здоров'я та освіти) та виробники теплової енергії були зобов'язані закуповувати тріску через систему Prozorro. З 2018 по 2022 рік максимальний обсяг тріски, законтракований через Prozorro, становив 57,7 тис. тонн у 2018 році, після чого спостерігалось поступове зниження (Рисунок 10). У 2023 році загальна потужність ТЕС/ТЕЦ, що використовують деревну тріску, досягла 67 МВт.

²³ <https://derevyunnyk.com/znyzhennya-czin-na-pelety-v-krayinah-yes-ta-syrovynnyj-rynok-v-ukrayini/>.

²⁴ <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/12/5.-Dragnyev-S.-V.-Poperednya-pidgotovka-biomasy-yak-palyvnoyi-syrovyny.pdf>.

Державні закупівлі деревної тріски

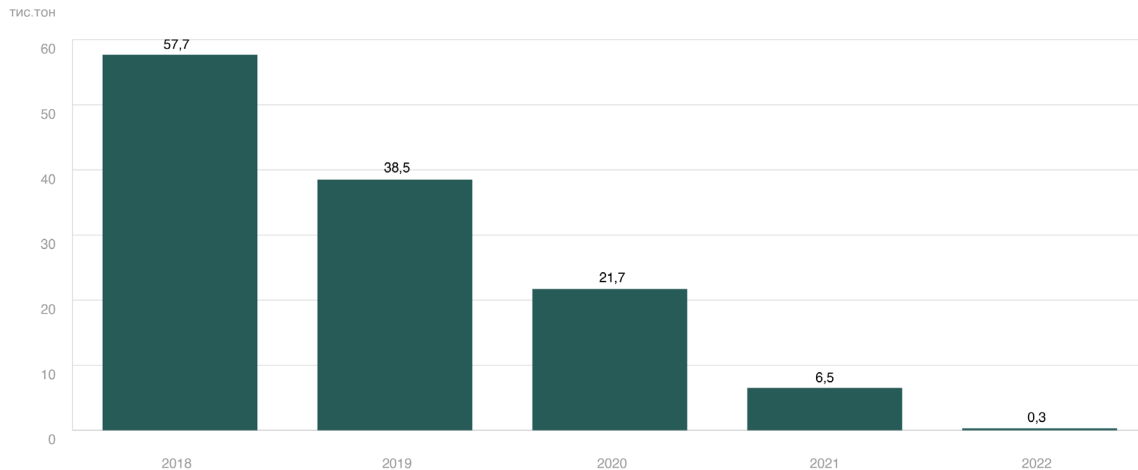


Рисунок 10: Державні закупівлі деревної тріски²⁵

5.2. Енергетичні культури

Біоенергетична асоціація України (БАУ) надає детальну інформацію про енергетичні плантації в Україні. Ці плантації мають вирішальне значення для біоенергетичного сектору країни, пропонуючи стійку альтернативу викопним видам палива. Зважаючи на актуальність цього питання, Асоціація розробила інтерактивні карти, які відображають загальні площі, відведені під енергетичні культури в різних регіонах України. Ці карти також підкреслюють потенціал вирощування енергетичних рослин на маргінальних та невикористовуваних землях.

Енергетичні культури, такі як верба, тополя, павловнія та міскантус, вирощуються в значних обсягах. Станом на 2022 рік під ці культури було відведено понад 3 300 га (6 175 га у 2021 році), причому Волинська область є лідером з вирощування верби, Київська область – з вирощування міскантуса, Львівська область – з вирощування тополі, а Хмельницька область – з вирощування павловнії. Потенціал для розширення цих плантацій є значним, оскільки для вирощування енергетичних культур доступні до 4 мільйонів гектарів занедбаних сільськогосподарських земель²⁶. Огляд регіонів, де вирощують енергетичні культури на основі твердої біомаси, наведено в Додатку 1.

²⁵ <https://uabio.org/publichni-zakupivli-palyvnoyi-trisky/>.

²⁶ <https://uabio.org/statistics/energetychni-plantatsiyi-v-ukrayini/>.

6. Проблеми, пов'язані з утилізацією біомаси в Україні

Як згадувалося раніше, існують значні проблеми, пов'язані зі збиранням, обробкою та перетворенням твердої біомаси в теплову енергію. Окрім технологічних бар'єрів, таких як відсутність техніки для збирання побічної продукції рослинництва для енергетичних цілей та обмеженість зрілих енергетичних технологій для всіх видів твердих біологічних відходів в Україні, основні проблеми включають наступне:

- › Організаційні та регуляторні виклики
- › Економічні та фінансові виклики
- › Обмеження агровиробників
- › Виклики, пов'язані з війною

6.1. Організаційні та регуляторні проблеми

Відсутність ринку для збалансування попиту та пропозиції біомаси є суттєвою проблемою. Непередбачуваність пропозиції біомаси є обмежуючим фактором для ініціювання проектів ТЕС або ТЕЦ на біомасі, оскільки наявність палива є критично важливою умовою навіть на етапі розгляду проекту банківськими установами.

- › В Україні не існує дорожньої карти для збільшення використання біомаси.
- › Біоенергетика не включена до стратегічних планів розвитку громад, у тому числі в рамках регіональних планів сталого розвитку, планів післявоєнної відбудови, планів дій зі сталого розвитку енергетики та клімату або програм регіонального розвитку.

Незаконна заготівля деревини в Україні призводить до того, що незаконно заготовлена деревина є більш конкурентоспроможною за ціною, ніж інші види біомаси. У 2022 році загальний обсяг незаконно заготовленої деревини в Україні, за даними лісокористувачів, сягнув щонайменше 24 327 м³, або 0,2% від загального офіційного обсягу лісозаготівель²⁷.

6.2. Економічні та фінансові виклики

- › В Україні біомаса ще не вважається вуглецево-нейтральним паливом. Вимога сплачувати податок на викиди CO₂ робить проекти зі спалювання біомаси менш життєздатними. Законопроект № 9596²⁸, який пропонує нульову ставку екологічного податку на викиди CO₂ від спалювання біопалива,

²⁷ Volumes of illegal logging documented by forest users of Ukraine in 2022 (based on public inquiries): Analytical report / NGO "Forest Initiatives and Society"; N.I. Kaplya, D.YU. Karabchuk, T.S. Pyvovar – U.S. Forest Service Project "Fighting Illegal Logging in Ukraine." – L., 2023 – 57 P.

²⁸ <https://www.kmu.gov.ua/bills/proekt-zakonu-pro-vnesennya-zmin-do-podatkovogo-kodeksu-ukraini-shchodo-vstanovlennya-stavki-nul-griven-ekologichnogo-podatku-za-vikidi-dvookisu-vugletsyu-dlya-ustanovok-yakimi-zdiys>.

пройшов перше слухання у 2024 році і наразі очікує на друге слухання. Затримка з прийняттям цього закону не сприяє вирішенню нагальної потреби у надійному тепло- та електропостачанні в Україні.

- ▶ Тариф на тепло з біомаси встановлений на рівні 90% від тарифу на тепло з природного газу. Природний газ в Україні субсидується: домогосподарства та некомерційний сектор платять 183 євро за тисячу кубометрів²⁹, порівняно з 412 євро для промисловості³⁰. Біомаса, однак, не субсидується, що робить її дорожчою за природний газ. Знижка 10% на тепло, вироблене з ВДЕ, порівняно з природним газом недостатня для стимулювання виробництва тепла з відновлюваних джерел. Уряд вирішив не підвищувати тариф на природний газ, щоб пом'якшити вплив високої інфляції (30%) на населення під час війни та післявоєнної відбудови³¹.
- ▶ Низьковідсоткові кредити (5-7-9% у гривні) для агровиробників, наприклад, тих, хто хоче придбати обладнання для збору біомаси, доступні лише на 3-5 років. У 2024 році діяла державна програма компенсації фермерам 25% вартості сільськогосподарської техніки від 44 українських виробників³². Перелік обладнання містить широкий спектр техніки для сільського, лісового та тваринницького господарства³³, а також обмежену кількість техніки для збору або переробки відходів біомаси.

6.3. Обмеження сільськогосподарських виробників

- ▶ Сільськогосподарські виробники, як правило, не володіють спеціалізованим обладнанням, необхідним для збору залишків біомаси, які можуть бути використані в енергетичних цілях, оскільки це вимагає додаткових інвестицій та змін у виробничому процесі. Їх основна мета – отримати вигоду від своєї основної діяльності. Заготівля відходів сільськогосподарської біомаси є складним і дорогим видом діяльності, який тільки починає розвиватися в Україні. У той час як технології тюкування соломи відносно добре відпрацьовані, існують проблеми зі збиранням стебел кукурудзи та соняшника через відсутність необхідного обладнання на українському ринку.
- ▶ Існують труднощі в організації ланцюга постачання біомаси. Фермери повинні докладати додаткових зусиль для забезпечення належного вмісту вологи та інших властивостей біомаси як палива, що вимагає додаткових витрат.
- ▶ Порівняно з природним газом, біомасу менш зручно та безпечно використовувати для виробництва електроенергії або комбінованого виробництва електроенергії та тепла. Вона вимагає інших технологій, відпрацьовані гази необхідно очищати, через високий вміст твердих частинок викиди мають інший хімічний склад (особливо солома і стебла кукурудзи), а також потрібні додаткове обслуговування

²⁹ <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/>.

³⁰ <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=19030&From=UAH&To=EUR>.

³¹ Закон України «Про особливості регулювання відносин на ринку природного газу та у сфері теплопостачання під час дії воєнного стану та подальшого відновлення їх функціонування», від 29 липня 2022 року № 2479-IX.

³² <https://me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=07004c9a-8e2f-4f1d-b63b-f3f684153d56&title=ZroblenoVUkrai ni-Agrarii>.

³³ Трактори сільськогосподарського та лісгосподарського призначення, ґрунтообробна техніка та обладнання, посівні та ґрунтообробні комплекси, насінневі бункери та бункери-перевантажувачі, машини для очищення, сортування та калібрування насіння зернових та зернобобових культур, зернонавантажувачі, машини для внесення мінеральних добрив, обприскувачі для хімічного захисту рослин, тракторні причеми та причеми-самоскиди для перевезення зерна, обладнання для утримання свиней, великої рогатої худоби та телят, доїльне обладнання, обладнання та устаткування для садівництва, ягідництва, зерносушильне обладнання.

обладнання (наприклад, золотидалення) і розвиток інфраструктури (наприклад, сховищ)³⁴. Технології, що стосуються біомаси, описані в розділі про біомасу в Каталогі критично важливих технологій.

6.4. Виклики, пов'язані з війною

- » **Нестача робочої сили.** Існує значний дефіцит працівників для збору біомаси, зокрема лісової біомаси. У 2022 році голова Державного агентства лісових ресурсів Юрій Болоховець наголосив на цій проблемі, заявивши, що існує нагальна потреба у більшій кількості працівників. У деяких регіонах критично не вистачає кадрів. Наприклад, Чернігівська область потребує додаткових 45 бригад, Київська – 19 бригад, Вінницька – 13 бригад. Вони потребують підприємців з вільним персоналом та технікою (трактори, вантажівки тощо), які б долучилися до лісозаготівельних робіт. Деякі лісгосподарські підприємства також потребують працівників на повний робочий день. Вони пропонують навчання та гідну заробітну плату³⁵.
- » **Необхідність розмінування.** Станом на вересень 2024 року понад 30% території України (174 000 км², у тому числі 13 500 км² водних об'єктів) потребували розмінування. Особливо небезпечними є Херсонська, Запорізька, Миколаївська та Харківська області. Однак Київська та Чернігівська області також перебувають у зоні ризику (Рисунок 3.5), що підкреслює масштабність завдання з розмінування.
- » **Вартість розмінування.** Орієнтовна вартість розмінування такої території перевищує 8,5 млрд євро. Процес розмінування зазвичай дуже тривалий (5 років і більше). Господарська діяльність на цих територіях може бути призупинена на тривалий період, щоб уникнути людських жертв, що, серед інших наслідків, може призвести до проблем із заготівлею біоенергетичної сировини.
- » **Руйнування існуючих станцій.** Частина ТЕЦ, що працювали на біомасі, була зруйнована з початку повномасштабної війни. Одна з найбільших біо-ТЕС в Україні – Іванківська біо-теплоелектростанція (Київська область)³⁶ – була зруйнована. Робота цієї станції дозволяла щорічно економити близько 15 млн м³ природного газу. Крім того, військові дії пошкодили 10-15% встановленої потужності електростанцій на біомасі, зокрема, у Харківській, Чернігівській та Сумській областях³⁷. У деяких випадках російські солдати розграбували обладнання. Лише протягом 2022 року було зруйновано близько 28% встановлених потужностей на біомасі та біогазі³⁸.

³⁴ <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.

³⁵ <https://ua-energy.org/uk/posts/ukraina-dlia-opalennia-vzymku-zahotuie-rekordnu-kilkist-drov>.

³⁶ <http://ecotes-ivankiv.com.ua>.

³⁷ Станіслав Ігнат'єв. Зелена енергетика України, зруйнована війною, перебуває на межі банкрутства. Що буде далі? Сонячна генерація, 12.04.2022.

³⁸ ПРООН (2023) На шляху до «зеленого» переходу енергетичного сектору в Україні. Оновлення оцінки енергетичних збитків, червень 2023 року.



Рисунок 11: Карта територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами, Джерело: Сервіс протимінної діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій <https://mine.dsns.gov.ua>

7. Чинна законодавча база, політики, плани дій та дорожні карти

7.1. Національний план з енергетики та клімату України на період до 2030 року

Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) України³⁹ має на меті координацію енергетичної та кліматичної політики для сталого розвитку та економічного відновлення. Це стратегічний документ, підготовлений відповідно до вимог ЄС із залученням експертів з аналітичних центрів та державних установ. Однак триваюча війна з росією створює виклики, які впливають на енергетичну інфраструктуру та наявність робочої сили. Напади на енергетичні об'єкти порушують постачання та загострюють енергетичну кризу. Незважаючи на ці виклики, НПЕК відіграє вирішальну роль в енергетичному майбутньому України.

» Енергопостачання та вплив війни:

- » Протягом листопада 2022-лютого 2023 року постачання електроенергії обмежувалося для 3,8 мільйона споживачів, з максимумальною кількістю знеструмлень під час системних аварій в енергосистемі, яка сягала 13,5 мільйона споживачів.
- » Близько 50% наявних генеруючих потужностей та підстанцій було тимчасово втрачено для енергосистеми через пошкодження, спричинені війною та окупацією.
- » Значно зросла кількість кібератак, що вплинуло на енергетичний сектор.
- » Екологічні збитки перевищили 56 мільярдів євро, тривають розслідування щодо екоциду та екологічної війни.

» Виклики у розвитку НПЕК:

- » Наслідки війни, невизначеність щодо руйнувань та темпів відновлення впливають на реалізацію політик.
- » Економічний спад та енергетична бідність перешкоджають ринковому ціноутворенню.
- » Державні органи стикаються з викликами у сфері кризового управління та реформування політики.
- » Потребує уваги накопичена заборгованість у ланцюгах постачання газу та електроенергії.

³⁹ Англійською: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2024-%D1%80?lang=en#Text> ,
українською: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/587-2024-%D1%80?lang=uk#Text>.

- » Цілі Енергетичного Союзу для України:
 - » Ціль: скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року (порівняно з 1990 роком).
 - » Досягнення кліматичної нейтральності в енергетичному секторі до 2050 року⁴⁰.

7.2. Дорожня карта до 2050 року та план дій на 2025 рік

Необхідність розробки довгострокової стратегії для біоенергетичного сектору України та дорожньої карти зумовлена кількома важливими факторами. Національний план дій з відновлюваної енергетики України ставить амбітну мету досягти 6 мільйонів тонн енергії з біомаси, біопалива та відходів у загальному первинному енергопостачанні до 2030 року. Однак наразі не існує документів (дорожньої карти або плану дій), які б визначали, які саме види біомаси/біопалива, технології та обладнання (наприклад, котли, ТЕЦ та електростанції) найбільш ефективно сприятимуть досягненню цієї мети.

Іншим важливим фактором є міжнародні зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів відповідно до Паризької кліматичної угоди. Наразі ці зобов'язання передбачають скорочення викидів на 65% порівняно з рівнем 1990 року до 2030 року, а до 2050 року викиди можуть скоротитися приблизно до 15% від рівня 1990 року з досягненням вуглецевої нейтральності до 2060 року, як зазначено в Національній економічній стратегії до 2030 року, затвердженій постановою Кабінету Міністрів України від 3 березня 2021 року №179⁴¹.

Для досягнення цієї нової мети Україна повинна перейти до низьковуглецевої економіки, значно скоротити споживання викопного палива, активно сприяти підвищенню енергоефективності та впроваджувати відновлювані джерела енергії. Очікується, що біоенергетика відіграватиме значну роль у виконанні міжнародних зобов'язань України.

Крім того, є проблемою застаріле обладнання більшості вугільних теплових електростанцій в Україні. Крім того, до 2050 року закінчиться термін дії всіх (щонайменше 12 з 15) потенційних продовжень терміну експлуатації для діючих атомних електростанцій.

Стратегія розвитку біоенергетики на період до 2050 року має продемонструвати, як біопаливо, біоенергетичні установки та технології можуть сприяти заміщенню потужностей атомних електростанцій, та атомних електростанцій, що виводяться з експлуатації.

Підсумовуючи:

- » Біоенергетика є перспективним джерелом енергії у світі та в Україні.
- » Біомасу можна використовувати безпосередньо (спалювання тріски, соломи) або переробляти на рідке чи газоподібне біопаливо.
- » Біоенергетика значно скорочує викиди парникових газів.
- » В Україні біоенергетика сприяє виробництву тепла та стабільному виробництву електроенергії.
- » Вона відіграє вирішальну роль у декарбонізації енергетичного сектору⁴².

⁴⁰ <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=f7088035-142e-4912-9aa0-6fe2def80c1b&title=ProektNatsionalnogoPlanuZEnergetikiTaKlimatuUkraini2025-2030>.

⁴¹ Оновлений національно-визначений внесок України до Паризької угоди.

⁴² <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/Dorozhnya-karta-rozvytku-bioenergetyky-v-Ukrayini-do-2050-roku-i-Plan-dij-do-2025.pdf>.

8. Додаток 1

8.1. Потенційні енергетичні ресурси з відходів сільського господарства в поточній ситуації

Як показано в розділі 3.3, українське сільське господарство має значний невикористаний енергетичний потенціал, особливо у вигляді твердої біомаси, придатної для виробництва електроенергії та тепла. Помітним винятком є лушпиння соняшника, яке має високий рівень використання. Це значною мірою пов'язано з тим, що багато заводів з переробки соняшнику в Україні встановили обладнання для спалювання лушпиння або пелети з лушпиння, виробляючи теплову та/або електричну енергію для своїх потреб, а в деяких випадках і для ринку.

Найбільший енергетичний потенціал залишків твердої біомаси мають солома зернових (525 ПДж), стебла та качани кукурудзи (374 ПДж), а також стебла та корзинки соняшника (174 ПДж). Загалом, енергетичний потенціал залишається недовикористаним⁴³. Незважаючи на наявність численних невеликих котелень (до 1 МВт кожна) по всій країні, вони в основному використовуються сільськогосподарськими підприємствами для власних виробничих потреб та муніципалітетами для опалення в сільській місцевості та малих містах.

Використання інших видів твердої біомаси сільського господарства, таких як залишки кукурудзи та соняшнику, а також енергетичні культури, є досить обмеженим або практично відсутнім⁴⁴. Зокрема, енергетичні культури вирощуються лише кількома компаніями на площі менше 5,5 тис. га⁴⁵.

8.1.1. Зміна посівних площ під сільськогосподарськими культурами

Рисунок 12 ілюструє зміни посівних площ у різних регіонах України, охоплюючи всі види культур за 2020 та 2022 роки. Рисунок візуалізує тенденції у виробництві сільськогосподарських культур, з особливим акцентом на помітне скорочення у східних регіонах країни (особливо постраждали області станом на 2022 рік – Донецька, Луганська, Харківська, Запорізька, Херсонська та Миколаївська). У 2020 році загальна посівна площа становила приблизно 28 мільйонів гектарів. Однак до 2022 року ця площа значно скоротилася (приблизно на 18%) – до 23 млн га. Це скорочення можна пояснити різними факторами, включаючи, але не обмежуючись, російським вторгненням в Україну⁴⁶.

⁴³ https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/03/ZHelyezna_EU4USociety_AgroBM_26-02-2021.pdf.

⁴⁴ <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/489/413/>.

⁴⁵ <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/05/24/674199/>.

⁴⁶ <https://agrostats.uhmi.org.ua/>.

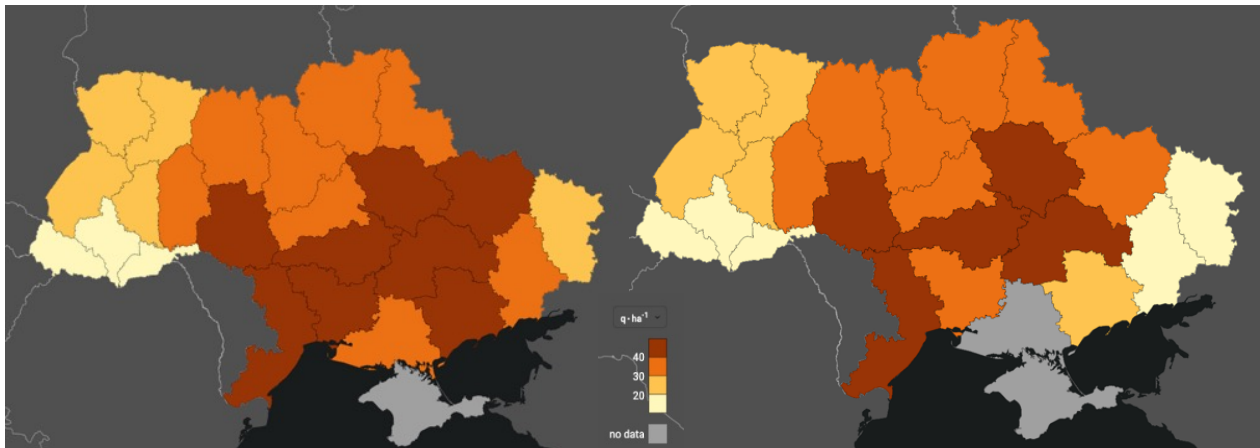


Рисунок 12: Посівні площі всіх культур у 2020 (ліворуч) та 2022 (праворуч) роках, (AgroStats)

Рисунок 13 ілюструє посівні площі всіх зернових, включаючи кукурудзу. У 2022 році посівні площі зменшилися на понад 3 221 га порівняно з 2020 роком. Найбільше постраждали східні, південно-східні та північно-східні області, зокрема Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська, Харківська та Чернігівська.

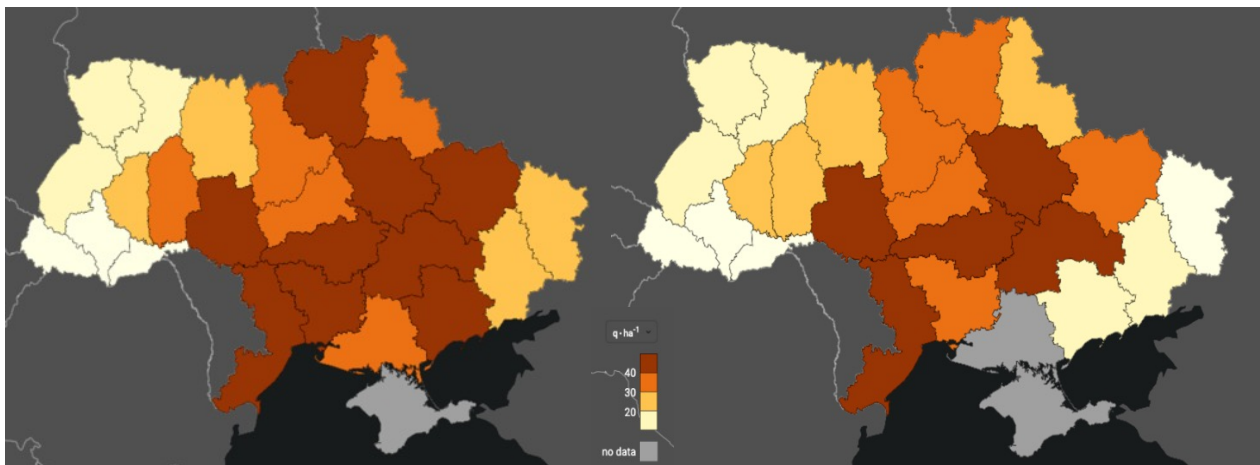


Рисунок 13: Посівні площі, всі зернові у 2020 (ліворуч) та 2022 (праворуч) роках, (AgroStats)

Рисунок 14 ілюструє посівні площі кукурудзи. У 2022 році посівна площа зменшилася з 5 392 га до 4 125 га. Найбільше постраждали східні області, зокрема Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська, Харківська та Чернігівська.

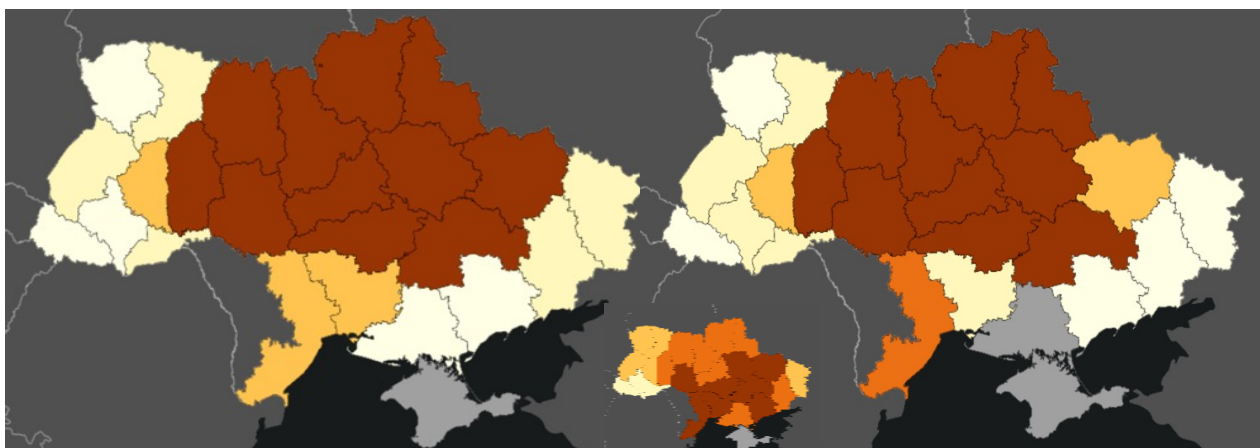


Рисунок 14: Посівні площі кукурудзи у 2020 (ліворуч) та 2022 (праворуч) роках, (AgroStats)

Рисунок 15 показує посівні площі під соняшником. Загальна посівна площа у 2020 році зменшилася на понад 1 243 га, що становить близько 19% скорочення лише за два роки. Найбільше постраждали східні області – Херсонська, Запорізька, Донецька та Луганська.

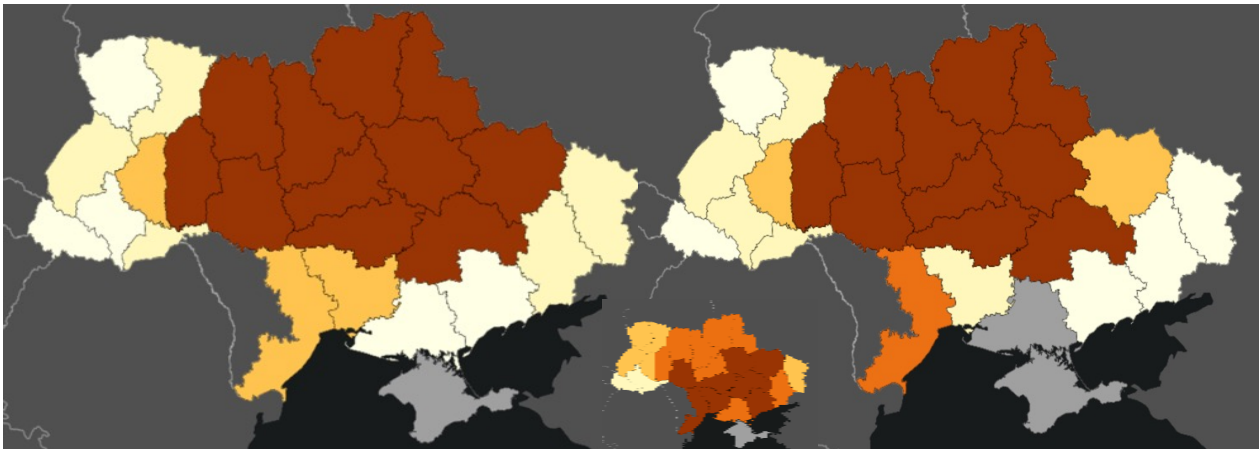


Рисунок 15: Посівні площі під соняшником у 2020 (ліворуч) та 2022 (праворуч) роках, (AgroStats)

Рисунок 16 візуалізує посівні площі ріпаку в Україні. У 2022 році було засіяно приблизно на 4% більше площ, ніж у 2020 році, але з карт видно, що виробництво перемістилося в західні регіони України, тоді як східні регіони зазнали скорочення.

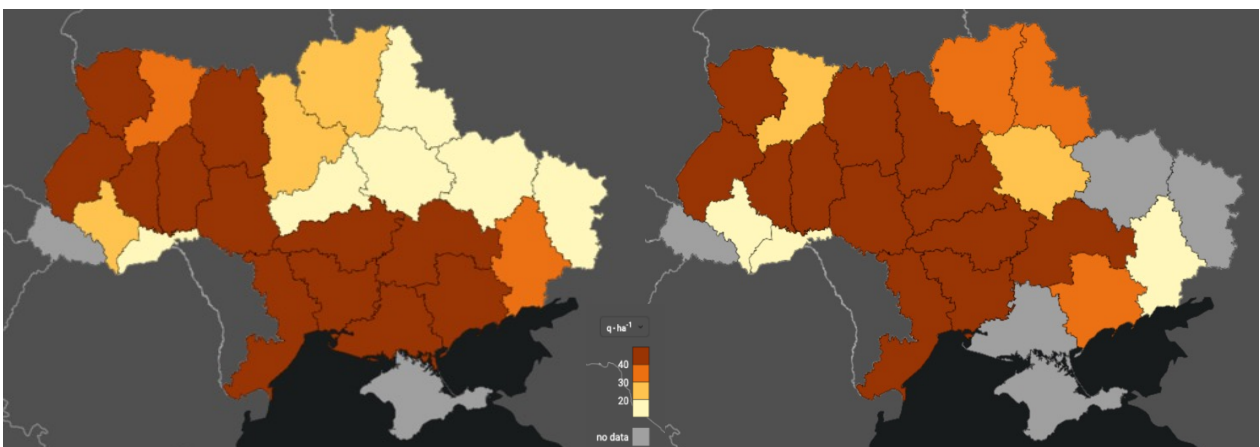


Рисунок 16: Посівні площі під ріпаком у 2020 (ліворуч) та 2022 (праворуч) роках, (AgroStats)

Значне скорочення посівних площ для більшості сільськогосподарських культур в Україні з 2020 по 2022 рік свідчить про тривожну тенденцію. Це скорочення, особливо у східних областях, таких як Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська, Харківська та Чернігівська, вказує на кілька потенційних факторів, що лежать в основі цієї тенденції: триваюча російсько-українська війна, яка підриває сільськогосподарську діяльність, економічна нестабільність, що перешкоджає інвестиціям у сільське господарство, несприятливі погодні умови, що впливають на життєздатність, та логістичні проблеми, що впливають на розподіл необхідних сільськогосподарських ресурсів. Вирішення цих проблем матиме вирішальне значення для стабілізації та потенційного збільшення посівних площ у майбутньому.

8.2. Огляд вирощування енергетичних культур з твердої біомаси

Верба є найбільш широко вирощуваною енергетичною культурою в Україні (Рисунок 17), яка займає 2 295 га в різних регіонах. Більшість посівів зосереджено у Волинській області.

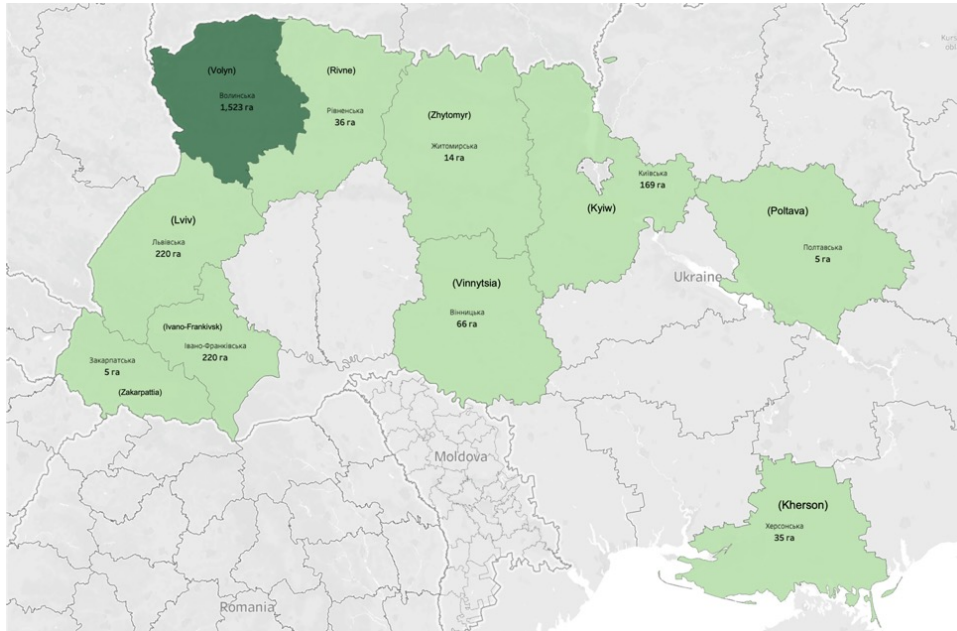


Рисунок 17: Регіони вирощування верби в Україні, 2022 рік, (UABIO)

Міскантус є другою за обсягами вирощування енергетичною культурою в Україні (Рисунок 18), яка займає 697 га. Дві основні області-лідери з вирощування міскантусу – Київська (280 га) та Хмельницька (207 га).

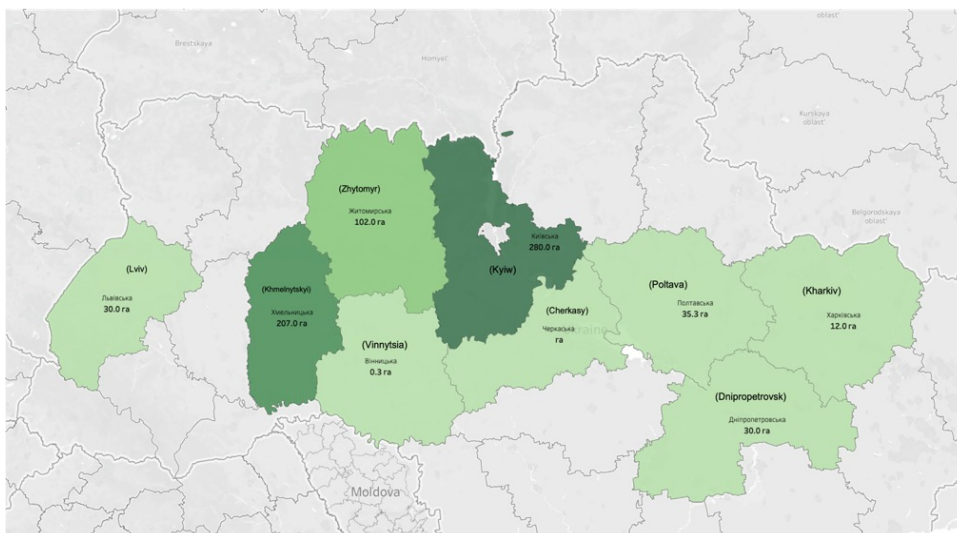


Рисунок 18: Регіони вирощування міскантусу в Україні, 2022 рік, (UABIO)

Вирощування тополі (Рисунок 19) посідає третє місце серед енергетичних культур в Україні, займаючи загалом 325 га у трьох областях. Найбільше її вирощують у Львівській області – 200 гектарів. Івано-Франківська область займає 80 га, а Житомирська – близько 45 га.

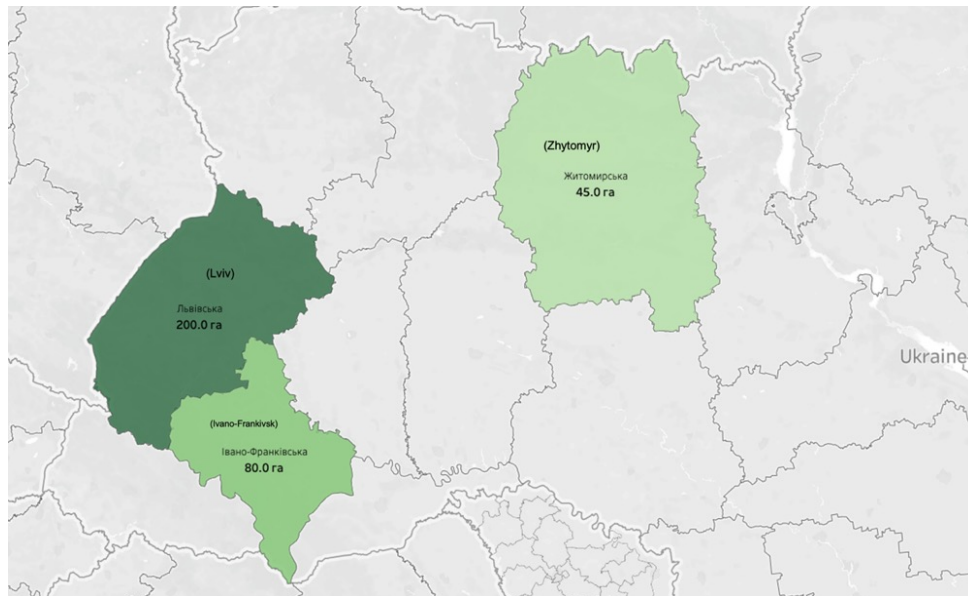


Рисунок 19: Регіони вирощування тополі в Україні, 2022 рік, (UABIO)

В Україні вирощують близько 20 га павловнії (Рисунок 20), більшість з яких зосереджена в Хмельницькій області, де займають близько 17 га. За нею йде Рівненська область з площею близько 2,7 га. Решта посівів розподілена між Волинською та Тернопільською областями.

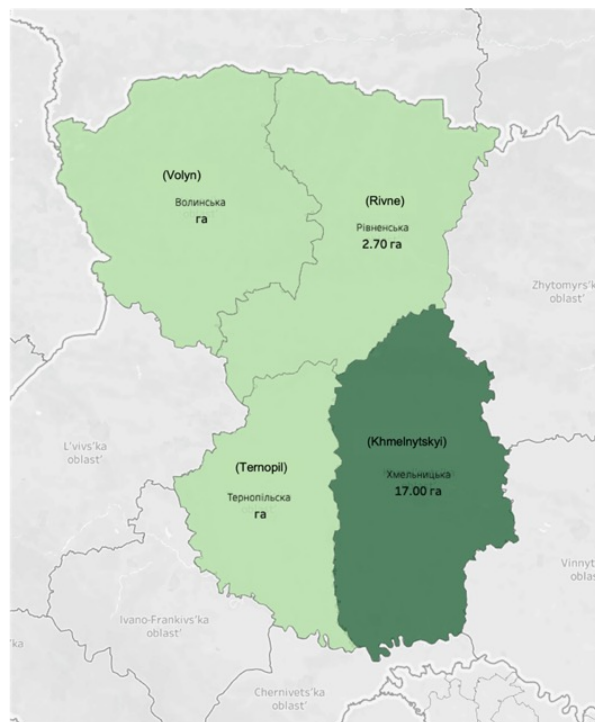


Рисунок 20: Регіони вирощування павловнії в Україні, 2022 рік, (UABIO)

Малопродуктивні та невикористовувані землі в Україні займають площу 451 000 га (Рисунок 21) і мають значний потенціал для вирощування енергетичних культур. Ці культури можуть давати близько 2 200 тонн енергетичного еквіваленту, роблячи значний внесок у відновлювані енергетичні ресурси країни. Енергетичний потенціал цих культур оцінюється приблизно в 92 ПДж, що підкреслює їхню здатність підтримувати ініціативи зі сталого розвитку енергетики та зменшувати залежність від викопних видів палива. Цей потенціал підкреслює важливість розвитку та розширення вирощування енергетичних культур на маргінальних та невикористовуваних землях для розвитку біоенергетичного сектору України.

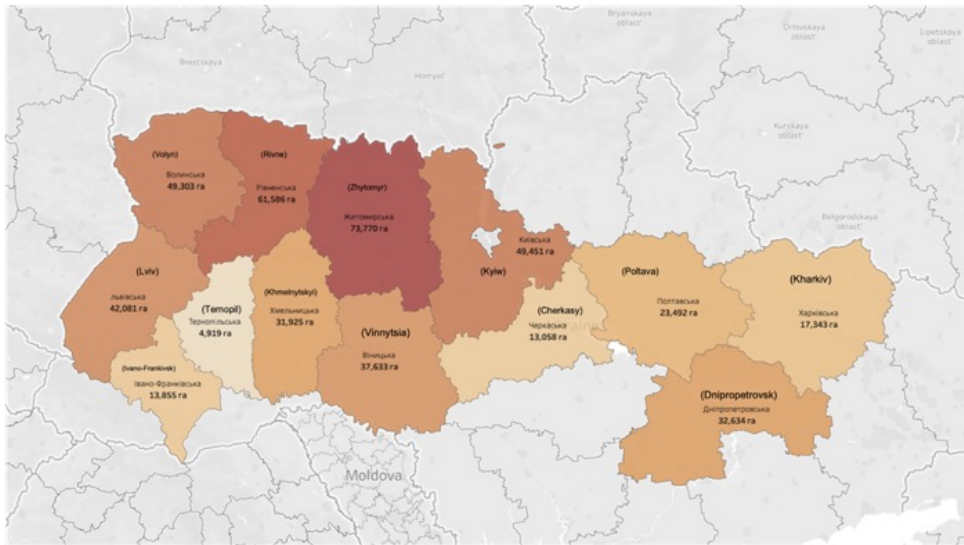


Рисунок 21: Маргінальні та невикористовувані землі в Україні, 2022 (UABIO)