



ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

Аналітична записка БАУ №10

Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Трибой О.В.

12 вересня 2014 р.

Обговорення в БАУ: з 05.09.2014 до 12.09.2014
Затвердження Правлінням БАУ та публікація на www.uabio.org: 12.09.2014
Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics
Для відгуків та коментарів: geletukha@uabio.org

ПОДЯКА

Автори висловлюють щирі подяку *Гнан Ірині Василівні* за допомогу у написанні розділу по вирощуванню енергетичної верби. Це суттєво покращило якість фінального варіанту Аналітичної записки.

Зміст

Вступ.....	4
Вирощування енергетичних культур в ЄС	4
Механізми регулювання та стимулювання вирощування енергетичних культур в ЄС.....	6
Особливості вирощування енергетичних культур	7
<i>Верба (Salix spp.)</i>	10
<i>Тополя (Populus spp.)</i>	13
<i>Міскантус (Miscanthus spp.)</i>	15
Паливні характеристики енергетичних культур	16
Вирощування енергетичних культур в Україні.....	23
Висновки	28
ЛІТЕРАТУРА	30
Умовні позначення.....	32
Попередні публікації БАУ	33

Вступ

Аналітична записка № 10 Біоенергетичної асоціації України присвячена питанням вирощування й використання енергетичних культур та перспективам розвитку цього напрямку біоенергетики в Україні. Проаналізовано стан даного сектора в Європейському Союзі, в тому числі існуючі механізми підтримки. Розглянуто особливості вирощування деяких енергетичних культур та їх паливні характеристики. Запропоновано механізми стимулювання розвитку даного сектора в Україні.

Вирощування енергетичних культур в ЄС

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. На сьогоднішній день в світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації, що застосовується для таких культур. Енергетичні культури розрізняють за наступними категоріями (в дужках вказані відповідні приклади):

- *цикл вирощування* – однолітні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- *тип* – деревоподібні¹ (верба, тополя), трав'янисті (міскантус², просо прутоподібне³);
- *характеристики* й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукрововмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);
- «походження» – класичні культури, тобто з самого початку призначені суцільно для енергетичних цілей (міскантус, двукісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз).

Енергетичні культури є важливою складовою біоенергетичного сектора ЄС. Європейська біоенергетична асоціація (АЕВІОМ) оцінює сьогоднішній потенціал енергетичних культур в Євросоюзі на рівні **44-47** млн. т н.е./рік [1]. Одна з цілей ЄС на 2020 рік – досягти **138** млн. т н.е. біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні, що відповідає 14% ВКЕ [7]. Наявний потенціал енергетичних культур дозволяє покрити близько третини цієї цілі.

За даними 2011 р., загальна площа під лігноцелюлозними енергокультурами в ЄС становить порядку 130-140 тис. га (**Таблиця 1**) [7]. Близько 37% цієї площі (50 тис. га) припадає на Румунію, де вирощується просо прутоподібне. Значні площі задіяні також у Фінляндії під двукісточник тростиноподібний (близько 19 тис. га), у Великобританії – під міскантус (10-11 тис. га), в Швеції і Польщі – під вербу (11 тис. га і 5-9 тис. га, відповідно).

¹ Зазвичай це так звані плантації зі швидким оборотом (SRC – short rotation coppice).

² Також називають «слонова трава».

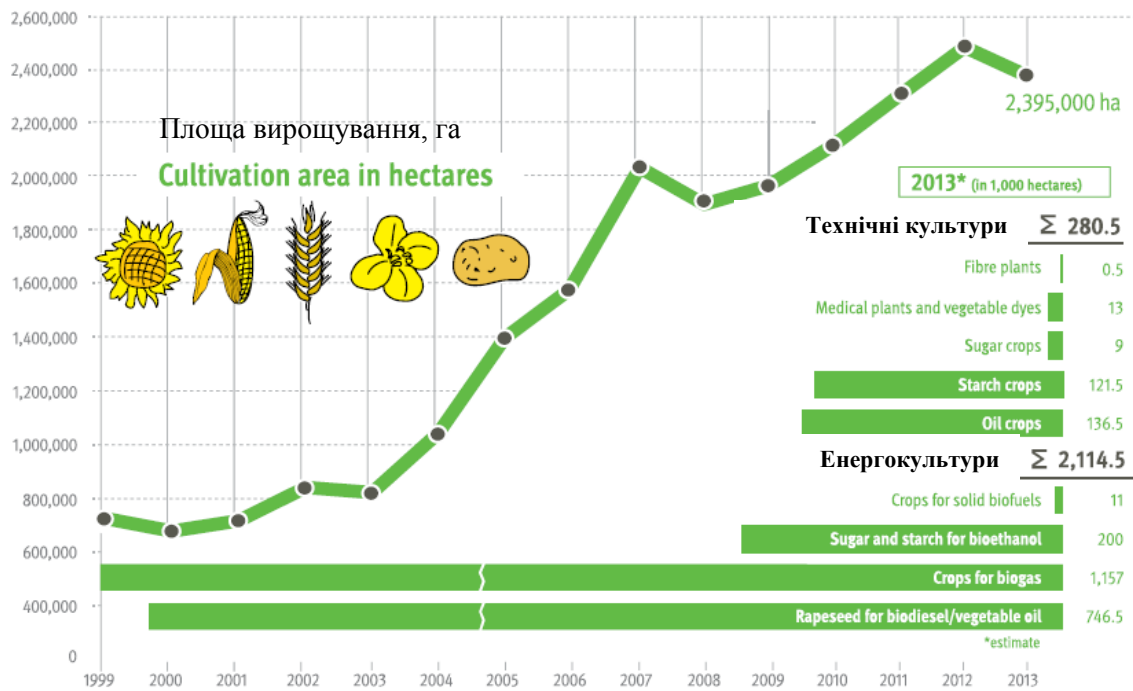
³ Також називають свічграс.

Таблиця 1. Площі під лігноцелюлозними енергокультурами в ЄС (2011 р.), га [7]

Країни ЄС	Верба	Тополя	Міскантус	Просо прутіноподібне	Двукісточник тростиноподібний
Австрія	220-1100	880-1100	800		
Бельгія	60		100		
Великобританія	1500-2300		10000-11000		
Німеччина	4000	5000	2000		
Данія	5697	2807	64		19
Ірландія	930		2200		
Італія	670	5490	50-100		
Литва	550				
Нідерланди			90		
Польща	5000-9000	300			
Румунія				50000	
Швеція	11000	550	450		780
Фінляндія					18700
Франція	2300		2000-3000		

Площі під енергокультурами, призначеними для виробництва рідких біопалив, в Європі на порядок більші – понад **2,5** млн. га в цілому по ЄС. В основному це зернові культури й ріпак. Майже 38% цієї площі припадає на Німеччину, де 746,5 тис. га зайняті ріпаком (на біодизель) й 200 тис. га – цукрово- та крохмалевмісними культурами (на біоетанол) (**Рис. 1**). На значних площах (1157 тис. га) в цій країні також вирощуються культури, які є сировиною для отримання біогазу.

На сьогодні в країнах Євросоюзу **13,2** млн. га земель є доступними для вирощування енергокультур; до 2020 р. цей показник може вирости до **20,5** млн. га, а до 2030 р. – до **26,2** млн. га. За оцінкою Європейської Комісії, для досягнення цілі 2020 року (10% ВДЕ в транспортному секторі ЄС) під енергетичні культури необхідно задіяти **17,5** млн. га або близько 10% всіх використовуваних сільськогосподарських земель країн ЄС-27 [2].



Площа вирощування, тис. га: енергокультури, всього – 2114,5, в тому числі ріпак на біодизель – 746,5, культури на біогаз – 1157, цукрово- та крохмалевмісні культури – 200, культури для виробництва твердих біопалив – 11.

Рис. 1. Розподілення земель під енергетичними та технічними культурами в Німеччині [44]

Механізми регулювання та стимулювання вирощування енергетичних культур в ЄС

На рівні Європейського Союзу в цілому вирощування енергетичних культур регулюється за допомогою трьох механізмів [8]:

- сільськогосподарської політики;
- енергетичної політики;
- політики в галузі наукових досліджень та інновацій.

Сільськогосподарська політика

В рамках другого основного напрямку Єдиної сільськогосподарської політики (ЄСП) ЄС (CAP⁴) – «Програми розвитку сільських територій» – в Євросоюзі передбачено інвестиційну підтримку для створення плантацій деревоподібних і трав'яних енергетичних культур (міскантусу, проса прутноподібного, двукісточника тростиноподібного й ін.). Конкретні суми інвестицій у відповідних документах не вказуються, однак експерти відзначають, що загальний бюджет напрямку II ЄСП істотно менший, ніж бюджет напрямку I⁵. Слід зазначити, що в рамках напрямку I ЄСП – «Підтримка фермерських господарств» – фермери країн ЄС в 2003-2009 рр. отримували субсидію на вирощування енергокультур в розмірі 45 євро/га. Субсидію було скасовано у 2010 р., після чого деякі країни Євросоюзу впровадили власні аналогічні механізми стимулювання [38].

⁴ CAP – Common Agricultural Policy

<http://www.dartmoorpreservation.com/the-uplands7/land-management/129-the-common-agricultural-policy->

⁵ Кілька цифр для порівняння. Бюджет напрямку II ЄСП у 2009 р. – 13,6 млрд. євро [40], на 2014-2020 рр. – близько 85 млрд. євро [39]. Бюджет напрямку I ЄСП у 2009 р. – 41,1 млрд. євро [41], на 2014-2020 рр. – близько 264 млрд. євро [42].

Крім того, з 2013 р. Єдина сільськогосподарська політика ЄС зобов'язує фермерів, які володіють більше 15 га орних земель, виділяти не менше 5% відповідних площ для екологічних потреб (до земель такого призначення належать, наприклад, чисті пари, буферні смуги, ландшафтні елементи, землі для лісонасадження та ін.). На цих екологічно спрямованих землях фермери можуть вирощувати багаторічні енергетичні культури, але без застосування пестицидів і хімічних добрив. Після підготовки Єврокомісією звіту з даного питання в 2017 році частка земель, призначених для екологічних потреб, може зрости до 7%.

Енергетична політика

Як відомо, згідно з Директивою по ВДЕ 2009/28/ЕС на 2020 рік Європейський Союз запланував забезпечити 10% палив на транспорті за рахунок ВДЕ. Виконання цієї мети передбачає використання сільськогосподарських культур для отримання рідких і газоподібних біопалив. При цьому Європейська Комісія стурбована тим, щоби обмежити можливий негативний вплив непрямої зміни призначення землекористування, викликаного виробництвом моторних біопалив⁶. У зв'язку з цим Єврокомісія внесла пропозицію щодо обмеження внеску традиційних сільськогосподарських культур у виконання мети 2020 року по ВДЕ на транспорті до 5%. Ця пропозиція поки знаходиться на розгляді Європейського парламенту та Ради. В Європарламенті також обговорюється й інша подібна пропозиція – обмежити внесок усіх енергокультур у досягнення мети 2020 року по ВДЕ на транспорті до 6%. Очікується, що фінальне рішення з даного питання буде мати істотний вплив на сектор енергетичних культур в ЄС.

Реалізація політики ЄС в галузі наукових досліджень та інновацій включає Стратегічний план енерготехнологій⁷ а також нову програму Єврокомісії для наукових та інноваційних досліджень Horizon 2020⁸ (2014-2020 рр.). Стратегічний план енерготехнологій покликаний допомогти Євросоюзу досягти його цілей 2020 р. і 2050 р. в секторі енергетики. Однією зі складових Плану є сприяння виробництву і споживанню рідких біопалив 2-го покоління. В рамках програми Horizon 2020 виділяється близько 5,8 млрд. євро на дослідження технологій, що забезпечують надійну, ефективну і екологічно чисту поставку енергії.

Крім загальноєвропейських механізмів регулювання в багатьох країнах ЄС існують свої рушійні сили та інструменти для стимулювання вирощування енергетичних культур (**Таблиця 2**). Типовими інструментами є субсидія на гектар площі під енергокультурами і «зелений» тариф (або аналогічний механізм) на електроенергію з біомаси/біогазу. Наприклад, у Фінляндії субсидія на вирощування двукісточника тростиноподібного така ж, як для традиційних сільгоспкультур – 500-700 євро/га/рік. Крім того, діє субсидія на створення швидкозростаючих лісових плантацій – 500 євро/га. В Австрії до «зеленого» тарифу на електроенергію з біомаси доплачується додатковий бонус за використання енергетичних культур.

⁶ На сьогодні до 99% обсягу моторних біопалив наземного транспорту в ЄС виробляється з традиційних сільгоспкультур [19]

⁷ European Strategic Energy Technology Plan

http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/127079_en.htm

⁸ <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

Таблиця 2. Рушійні сили та інструменти стимулювання вирощування енергетичних культур в ЄС [3, 9, 37].

Країни ЄС	Рушійні сили	Інструменти
Австрія	Великий ринок для біопалив, в т.ч. гранул.	«Зелений» тариф на е/е з біомаси/біогазу. Додатковий бонус 4 євроцента/кВт год для е/е з енергокультур з 2008 р.
Німеччина	Стимулювання виробництва біогазу для подачі в мережу. Стимулювання виробництва біопалив 2-го покоління.	«Зелений» тариф на е/е з біомаси/біогазу.
Данія	Високі ціни на біомасу	
Фінляндія	Великий ринок/попит на біомасу.	Субсидія на створення швидкозростаючих лісових плантацій: 500 євро/га. Субсидія на вирощування двукісточника тростиноподібного: 500-700 євро/га/рік.
Франція	Фонд для проведення реформи цукрової галузі (64 млн. євро). Акцент на очистку стічних вод і захист водоносних горизонтів.	
Італія	Реформа цукрової галузі.	«Зелений» тариф на е/е з біомаси/біогазу.
Польща	Великий потенціал с/г. Законодавство з виробництва е/е з біомаси (стимулювання використання с/г біомаси).	
Швеція	Податок на викиди CO ₂ . Великий ринок/попит на біомасу.	Субсидія на створення плантацій верби: 500 євро/га.
Великобританія	Обмежені ресурси деревної біомаси.	Субсидія на створення плантацій енергокультур: 800-1000 фунтів/га (верба, міскантус, тополя та ін.). Сертифікати за використання ВДЕ для виробництва е/е (у певному обов'язковому обсязі).
Румунія	Великий потенціал земель, доступних для вирощування енергокультур.	
Іспанія	Великий потенціал земель, доступних для вирощування енергокультур [2]	Спеціальний «регульований» тариф на е/е з енергокультур.

Особливості вирощування енергетичних культур

Врожайність енергетичних культур прямо залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов. Культури мають різну потребу у водному режимі, можуть значно відрізнятися по морозо-і посухостійкості (Таблиця 3). Для країн ЄС складено таблиці й карти із зазначенням культур, рекомендованих для різних кліматичних зон. Наприклад, для *континентальної зони* вважаються доцільними такі культури як верба, тополя, міскантус, кукурудза, соняшник, ріпак, сорго, льон, двукісточник тростиноподібний; для *півночі середземномор'я* – тополя, міскантус, арундо тростинний, кукурудза, соняшник, сорго, льон, цукровий буряк, соя, рапс, кенаф; для *півдня середземномор'я* – арундо тростинний, артишок іспанський, евкаліпт, сорго, льон [9].

Таблиця 3. Характеристики енергетичних культур по відношенню до умов вирощування [9].

Енергокультура	Температура, °C			Потреба у воді	Морозостійкість	Посухостійкість
	проростання насіння	ріст культури				
		min	max			
<i>Однорічні культури</i>						
Ріпак	>5	5	30	середня	висока	середня
Соняшник	10	5	35	середня	низька	середня
Льон	7-9	8	30	середня	середня	середня
Сорго	12	10	40	середня	низька	висока
<i>Швидкозростаючі деревовидні культури</i>						
Верба	-	0	30	висока	висока	низька
Тополя	-	0	30	середня	середня	середня
Евкаліпт	-	5	35	висока	низька	висока
<i>Багаторічні трав'яні культури</i>						
Двукісточник тростиноподібний				висока	висока	низька
Просо прутевидне				середня	висока	середня/висока
Міскантус				середня [22]/ висока	середня	низька
Арундо тростинний				середня	низька	середня/висока
Артишок іспанський				низька	низька	висока

Вирощування всіх енергетичних культур можна умовно розбити на 3 етапи: 1) підготовка ґрунту; 2) безпосередньо вирощування (посадка, догляд за плантацією); 3) збір врожаю (заключною операцією є ліквідація плантації після закінчення строку її існування). В залежності від виду енергетичної культури процес вирощування має свої характерні особливості. Так, наприклад, міскантус висаджується кореневищами, тополя і верба – саджанцями, ріпак, соняшник, льон – насінням.

Розглянемо повний цикл вирощування на прикладі кількох енергетичних культур, найбільш придатних для умов України.

Верба (Salix spp.)

Енергетична верба – деревоподібна культура, що дозволяє створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном існування. Представляє собою кущ або кущоподібне дерево висотою до 6-8 м. Зазвичай енергетична верба є густозростаючою, має велику кількість пагонів, якими досить легко розмножується. Культура характеризується високими показниками приросту по довжині – до 3-5 см на день, в середньому 1,5 м в рік. Деревина верби в порівнянні з більшістю інших деревних порід відносно легка.



Рис. 1. Плантація верби та збір врожаю.

Насадження верби залишаються продуктивними 20-30 років, а врожай протягом цього періоду можна збирати кожні 2-3 роки. Середній врожай верби становить **10-12** т сухої маси з га за рік [22-24]. Найбільший врожай отримують на 4-5 рік вирощування – 16-20 сух. т/га/рік. За даними деяких авторів, при особливо сприятливих умовах врожай може досягати 30-40 сух. т/га/рік [25, 26].

Ступінь виснаження землі вербою в 3-5 разів нижче, ніж зерновими культурами, до того ж близько 60-80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям [4].

Позитивною властивістю верби є стійкість до морозів, до шкідників і хвороб. Вона може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних (таких, що потребують рекультивації) землях. Звичайно, на землях низької якості культура зростає не так швидко як в сприятливих умовах, однак інтенсивному росту допомагає добре розвинена коренева система.

Особливістю верби є те, що вона може випаровувати з ґрунту велику кількість води. Таким шляхом можна вирішити проблему осушення ґрунтів з великим обсягом підземних вод або захистити землю від заболочування. В період інтенсивної вегетації плантація верби може випаровувати 300-800 тис. л/га в залежності від щільності посадки [21]. Крім того, культура здатна абсорбувати великі кількості металевих мікроелементів, що призводить до очищення забруднених ґрунтів і стічних вод (при поливанні плантації стічними водами) [6].

Посадку верби доцільно проводити ранньою весною, відразу після морозів, оскільки в цей період вологість ґрунту є найбільш сприятливою (**Табл. 4**). Посадка може виконуватися вручну або механізовано. При ручній посадці використовують саджанці завдовжки близько 20 см, при машинної – саджанці 1,5-2 м, які ріжуться в процесі посадки машинним способом на черешки 18-20 см. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – зораний, прокультивований і очищений від бур'янів. Щільність посадки становить 15-20 тис. шт./га. У перші місяці особливу увагу слід приділяти контролю бур'янів, поки кущі культури ще не зімкнуться і не закриють бур'яни.

Удобрення плантацій енергетичної верби слід проводити, виходячи з обсягу виносу поживних речовин культурою і запасу поживних речовин у ґрунті. Приміром, в 10 т сухої деревини верби міститься 46-49 кг N, 12-15 кг P, 22-29 кг K, 40 кг Ca, 10 кг Mg. При 3-річному циклі збору врожаю і продуктивності 10 т сухої маси з гектара на рік можна орієнтуватися на наступні норми внесення добрив: азот 150 кг/га, фосфор 45 кг/га, калій 90 кг/га, кальцій 120 кг/га, магній 30 кг/га (один раз на три роки після зрізання). На бідних ґрунтах норма внесення добрив повинна бути збільшена на 30-40% до досягнення середніх показників родючості ґрунту.

У перший рік азотні добрива вносити не рекомендують у зв'язку з необхідністю розвитку кореневої системи рослин. У наступні роки його доцільно вносити частинами в період початку вегетації та інтенсивного росту.

З листям за 3-річний період в ґрунт потрапляє 20 кг азоту, тому після збору врожаю доцільно проводити культивування міжрядь.

Після першого року росту культуру необхідно зрізати на висоті до 5 см від землі для стимулювання процесу кущіння (деякі дослідження стверджують, що продуктивність насаджень без проведення технічного зрізу вище на момент збору врожаю, також не рекомендують проводити технічний зріз при слабкому зростанні рослин і великій кількості бур'янів).

Таблиця 4. Приблизний графік агротехнічних операцій вирощування верби при 3-річному циклі [27]

Рік	Сезон	Операції
0	осінь	<i>Підготовка ґрунту:</i> - скошування, корчування існуючих рослин (при необхідності); - внесення гербіциду контактної дії для контролю багаторічних бур'янів; - обробка ґрунту дисковим культиватором; - оранка; - культивація; - посів покривної культури ⁹ (використовується, якщо є можливість готувати ґрунт протягом 1 року); - обробка ґрунту культіпакером ¹⁰ .
1	весна	<i>Посадка:</i> - обробка ґрунту дисковим культиватором; - обробка ґрунту культіпакером; - посадка саджанців; - внесення передсходових гербіцидів; - механічний та/або гербіцидний контроль бур'янів.
1	зима	Технологічний зріз (за необхідністю)
2	весна	Внесення добрив (за необхідністю); контроль бур'янів (за необхідністю)
3	весь рік	Зростання плантації (2-3 роки)
4	зима	Збір 1-го врожаю
5	весна	Внесення добрив (за необхідністю); культивація міжрядь
6	весь рік	Зростання плантації (2-3 роки)
7	зима	Збір 2-го врожаю
8-22		Повтор 3-річного циклу зі збором 3-7-го врожаїв.
23	весна/літо	Ліквідація плантації

Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень, але переважно в зимовий період (після опадання листя). З енергетичної точки зору найкращим є врожай культури при 3-річному і більше циклі збору. До цього моменту діаметр стебел рослин становить близько 28-31 мм, висота – 5-6 м. Збір врожаю виконується звичайним силосозбиральним комбайном із жаткою для верби. З однієї плантації можна збирати врожай 7-8 разів (при 3-річному циклі), після чого необхідно провести рекультивацію. Ліквідація плантації являє собою відносно просту операцію через неглибоку

⁹ Покривна (запашна) культура (п.к.) - культура, яка висівається для поліпшення якості ґрунту. При заорюванні покривної культури ґрунт збагачується органічними речовинами і азотом (бобові п.к.).

¹⁰ CultiPack – спеціальний агрегат для передпосівної обробки ґрунту
<http://www.tumeagri.fi/esitteet/tume-muokkaimetRUS.pdf>

кореневу систему культури. Навесні при висоті пагонів близько 20-30 см необхідно внести гербіцид, зрізати гілки і припахати. Восени землю вже можна використовувати для вирощування інших культур.

За даними фахівців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України для умов України перспективною є верба – *Salix*, яка дає можливість створення сортів і гібридів для різних напрямів використання. Як правило, для енергетичних цілей використовують вербу виду *Salix Viminalis* (верба прутоподібна) та її похідні [32].

Тополя (Populus spp.)

Тополя як і верба відноситься до багаторічних деревоподібних енергетичних культур. Вона вирощується в подібних з вербою умовах за схожими технологіями. Тополя стійка до шкідників, може рости на бідних ґрунтах і забруднених землях, однак вона менш морозостійка, ніж верба, тому, як правило, не вирощується в північноєвропейських країнах. Культура практично не вимагає застосування пестицидів і добрив¹¹. З плантації енергетичної тополі можна отримувати біомасу в обсязі 8-15 сух. т/га в рік, а на хороших ґрунтах нові клони можуть давати до 16-20 сух. т/га в рік [29-31].

Енергетичну тополю можна вирощувати за трьома технологіями [29, 3]: плантації з (I) дуже швидким, (II) швидким і (III) середнім оборотом. Вони різняться кількістю насаджень на гектар і частотою збору врожаю. У першому випадку щільність посадки – 10-15 тис. рослин на га, врожай збирають інтервалом в 1 рік, діаметр стовбура на рівні зрізу становить 2-3 см. На плантаціях з швидким оборотом на гектар висаджують 5-10 тис. рослин, врожай збирають кожні 2-3 роки, діаметр стовбура на рівні зрізу досягає 10-12 см. В третьому випадку щільність посадки становить 1,3-3 тис. шт./га, збір врожаю виконують з інтервалом в 5-6 років, діаметр стовбура (на рівні близько 1,3 м) – до 15 см. На плантаціях з дуже швидким і швидким оборотом врожай можна збирати комбайном типу Claas зі спеціальною жаткою. Для плантацій із середнім оборотом можна адаптувати звичайне лісогосподарське обладнання невеликої потужності (через порівняно невеликий діаметр стовбура тополі). Досвід Європи показує, що, як правило, більша продуктивність спостерігається на плантаціях з середнім оборотом (технологія III) [33].

Термін існування плантації енергетичної тополі – 15-20 років. При 3-річному циклі вирощування за цей період можна зібрати 5-7 врожаїв. Ліквідація плантації є більше трудомісткою, ніж у випадку верби, оскільки тополя часто формує великий стрижневий корінь.

¹¹ Добрива можуть вноситися за необхідності для стимулювання зростання. Наприклад, в Іспанії та Італії практикують внесення комбінації мінеральних і органічних добрив до посадки, що дозволяє забезпечити повільне і поступове надходження поживних речовин. Якщо стоїть завдання досягти підвищеної продуктивності плантації, то для стимулювання росту нових пагонів незабаром після збору врожаю в міжряддя періодично вносять 60-80 кг N/га [3].



Рис. 2. Плантація тополі і збір врожаю.

Існують різні види тополі, серед яких для умов України фахівці рекомендують тополю Торопогрицького (гібрид тополі євроамериканської I-214 і пірамідальної). Цей клон характеризується високою продуктивністю і стійкістю до несприятливих умов. У звичайних умовах середній приріст тополі Торопогрицького становить $14 \text{ м}^3/\text{га}$ на рік, а при високій зволоженості і трофності¹² ґрунту цей показник може вирости майже до $37 \text{ м}^3/\text{га}$ на рік [28].

¹² Трофність - характеристика ґрунту по її біологічній продуктивності, зумовленій вмістом біогенних елементів. Поняття «трофність ґрунту» практично ідентично поняттю «родючість ґрунту». Зазвичай за рівнем трофності ґрунту умовно діляться на багаті і бідні. Типовим представником багатих ґрунтів є чорноземи.
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>

Mіскантус (Miscanthus spp.)

Міскантус являє собою багаторічну кореневищну траву, яка походить з Азії. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років з середньою врожайністю порядку 10 сух. т/га. Міскантус має добре розвинену кореневу систему (2,5 м углиб), характеризується швидким ростом і непоганою стійкістю до низьких температур¹³. Культура має відносно невелику потребу у воді, відповідну річній кількості опадів на рівні 600-700 мм. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності з низьким рівнем ґрунтових вод [22, 34].

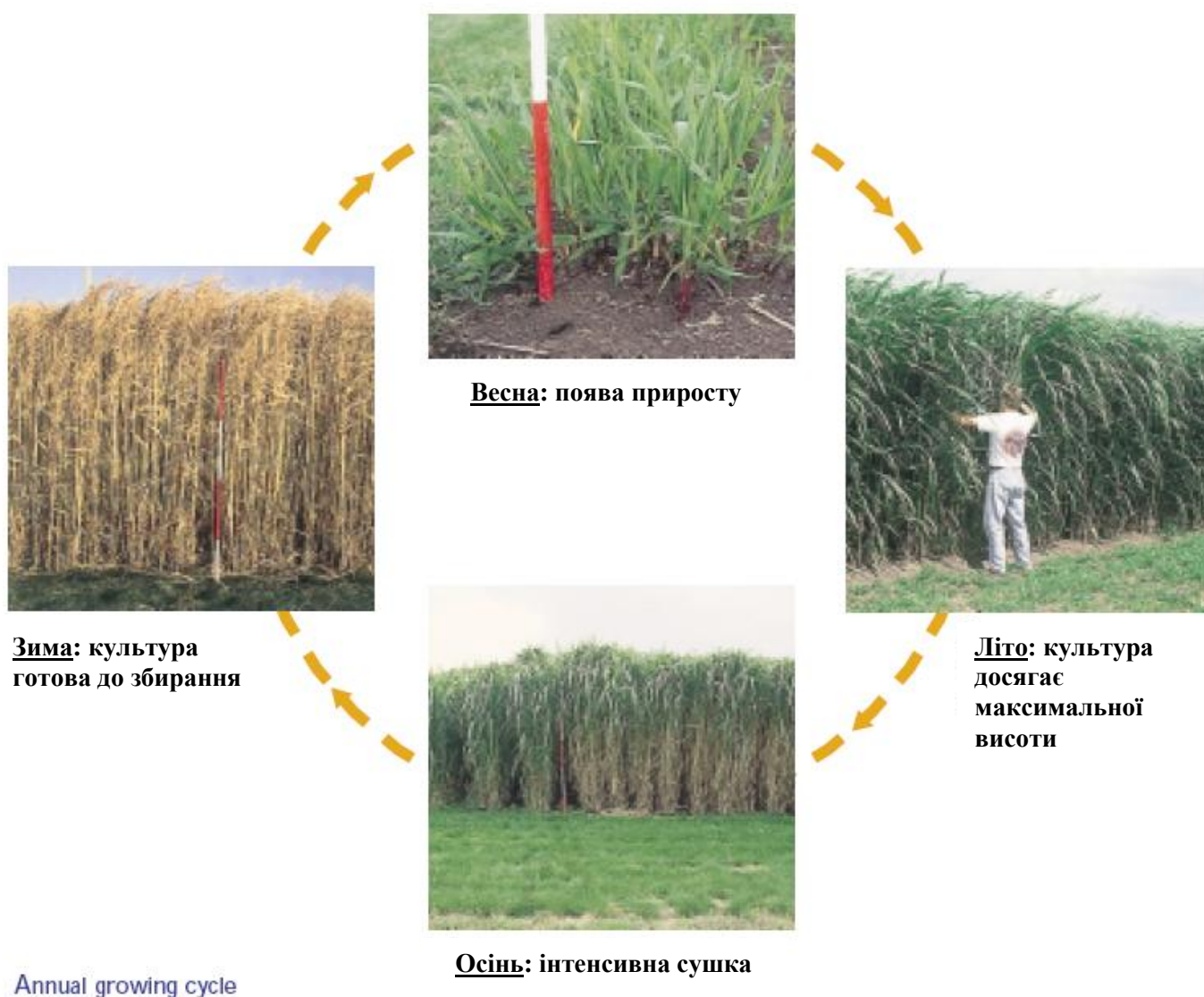


Рис. 3. Річний цикл плантації міскантусу [34]

Міскантус висаджують навесні в березні-квітні. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – очищений від бур'янів і зораний для усунення ущільнень. В Європі

¹³ Міскантус не росте при температурі нижче 6 °С. Проте це порогове значення значно нижче, ніж, наприклад, для кукурудзи, а отже сезон зростання - більш тривалий [33]. Небезпеку становлять заморозки в період пізньої весни, в результаті яких гинуть пагони і скорочується загальний період росту культури [34].

використовується два методи розведення міскантусу – вегетативним розмноженням і діленням кореневищ. Останній метод використовується частіше і є більш економічним. Кореневища висаджують на глибину 5-15 см з урахуванням необхідного простору для їх подальшого розростання. Щільність посадки становить 10-15 (і навіть більше) тисяч кореневищ на гектар. Посадка може виконуватися як звичайною сільськогосподарською технікою (наприклад, напівавтоматичною машиною для посадки картоплі або агрегатом для розкидання гною), так і спеціально розробленими посадочними машинами.

В процесі росту культура потребує невеликої кількості добрив (50-70 кг N/га в рік) завдяки своїй здатності ефективно використовувати поживні речовини [33]. Враховуючи високу стійкість міскантусу до хвороб, хімічний захист не потрібен. Однак необхідно ретельно стежити за видаленням бур'янів в початковій фазі росту плантації, так як їх наявність може привести до істотного зниження врожайності.

До кінця серпня першого року рослина досягає висоти 1-2 м з діаметром стебла близько 10 мм, у липні починається процес сушки, а з початком зимового періоду можна проводити збір врожаю. У перший рік після посадки міскантус не збирають зважаючи на низьку врожайності (до 8 сух. т/га). У другій рік рослина досягає своєї максимальної висоти (2,5-3,5 м), і врожайність піднімається до 10 сух. т/га. На третій рік урожай культури становить близько 10-15 (максимум 20) тонн сухої речовини на гектар. Міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на родючих ґрунтах урожай може доходити до 30 сух. т/га в рік, а на бідних – ледь досягати 10 сух. т/га/рік. Проте зростання продуктивності плантації викликає підвищену потребу у воді. Вид Міскантус гігантський (*Miscanthus×giganteus*) може споживати до 900 мм/рік [33]. Після 10-го року плантації продуктивність починає систематично знижуватися.

Для збирання міскантусу використовують важкі роторні косарки та рулонні прес-підбирачі або самохідні кормозбиральні комбайни. При цьому, враховуючи товщину і твердість стебел, рекомендується застосовувати спеціальні машини, пристосовані до важких умов експлуатації [22].

Паливні характеристики енергетичних культур

Енергетичні культури використовуються для отримання твердих, рідких і газоподібних біопалив. У даній Аналітичній записці розглядаються культури, призначені для виробництва твердих біопалив – тріски, гранул, брикетів. Паливні характеристики кількох таких культур представлені в **Таблиці 6**. Для порівняння в таблицю також включені дані для соломи зернових культур і тріски лісової деревини.

Аналіз даних таблиці показує, що характеристики верби і тополі в цілому близькі до показників деревної тріски. Основна відмінність – більший вміст азоту, що, можливо, пов'язано з застосуванням добрив при вирощуванні цих культур. Міскантус характеризується підвищеною зольністю, приблизно такою, як у соломи. Усі розглянуті енергокультури мають досить високу температуру плавлення золи, що вигідно відрізняє їх від соломи.

Таблиця 6. Паливні характеристики енергетичних культур та інших біопалив

Показники	Міскантус	Верба	Тополя	Солома зернових культур (для порівняння) [10]	Деревна тріска (для порівняння) [11]
Вологість при збиранні, %	15 [33] 15-23 [22]	53 [33] 50 [3]	49 [33] 50-55 [3]	15-20	40
Q _n ^p , МДж/кг (сух. мас.)	17,5 [33] 17-19,5 [22]	18,5 [33]	18,7 [33]	~18	~19 [12]
Вміст летючих речовин, %	>78 [13]	79 [13]	83 [13]	>70	>70
Зольність, %	3,7 [33] 2,3 [15]	2,0 [33] 1,5-2 [6]	1,5 [33] 0,5-1,9 [3]	3-4	0,6-1,5
<i>Елементний склад, %:</i>					
C	46,97 [13]	50,28 [13]	47,95 [13]	42-43	50
H	5,57 [13]	5,98 [13]	5,92 [13]	5	6
O	45,82 [13]	42,65 [13]	45,29 [13]	37-38	43
Cl	0,04 [13]	0,02 [13] 0,03 [3]	0,03 [13] 0,04 [3]	0,2-0,75	0,02
K*	0,46% [43]	123,3 г/кг золи [3]	0,21% [35] 28,6 г/кг золи [3]	0,22-1,18% 0,2-0,98% [35]	0,13-0,35% [14] ~81 г/кг золи [3]
N*	0,16 [15] 0,57 [43]	0,5-1,0 [6] 0,74 [13]	0,77 [13] 0,9 [3]	0,35-0,41	0,3
S	0,28 [13]	0,34 [13] 0,03 [3]	0,03 [13] 0,2 [3]	0,13-0,16	0,05
Температура плавлення золи, °С	1250 [6] 1385 [13]	>1500 [6] 1528 [13]	1200-1500 [13] 1160 [3]	950-1000	1000-1400

* Вміст залежить від обсягу внесення добрив.

Нижче представлені результати декількох робіт, присвячених вивченню паливних характеристик ряду енергетичних культур.

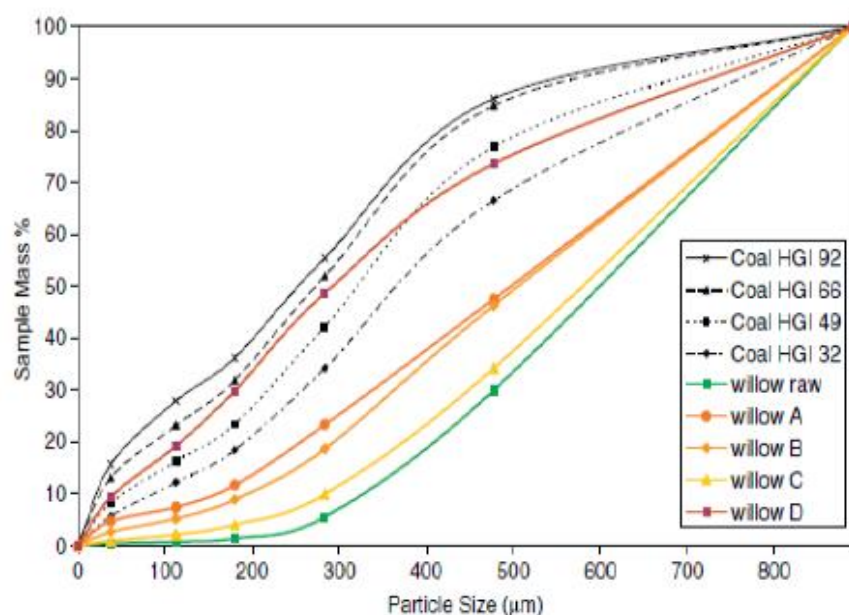
В роботі [6] на лабораторному устаткуванні виконано детальне дослідження паливних властивостей 6 генотипів біомаси верби з точки зору можливості їх сумісного спалювання з вугіллям на електростанціях Великобританії. Відзначено, що позитивною властивістю верби як палива є порівняно невеликий вміст золи (1,5-2%) і азоту (0,05¹⁴-0,4¹⁵ сух. мас. %). Застосування добрив при вирощуванні культури має бути оптимальним, оскільки воно

¹⁴ Для випадку відсутності внесення азотних добрив.

¹⁵ Для випадку внесення 150 кг N/га у вигляді NH₄(NO₃).

впливає на елементний склад біомаси. Наприклад, спільне використання азотних і калійних добрив призводить до збільшення вмісту вуглецю, що, в свою чергу, позитивно впливає на калорійність біомаси. З іншого боку, використання цих же добрив впливає на вміст азоту і калію в вербі, що може привести до зростання викидів оксидів азоту при спалюванні й зниженню температури плавлення золи за рахунок великої кількості в ній оксиду калію K_2O . З шести вивчених генотипів верби 5 показали дуже високу температуру плавлення золи ($> 1500\text{ }^\circ\text{C}$) і низьку тенденцію до шлакування елементів енергетичного обладнання.

Також була досліджена податливість біомаси верби до подрібнення, що має значення при сумісному спалюванні з вугіллям та при виготовленні гранул. Отримано результат, що необроблена біомаса погано піддається подрібненню, тоді як показники торрефікованої¹⁶ біомаси верби за розміром і розподілу часток можуть наближатися до вугілля (**Рис. 4**). Енерговитрати на подрібнення торрефікованої біомаси становлять 10-20% таких для випадку необробленої сировини. Це пояснюється тим, що в процесі торрефікації відбувається руйнування геміцелюлози та сформованих нею структурних зв'язків, в результаті чого утворюється матеріал з більш «слабкими» зв'язками, податливий до подрібнення.



A, B, C, D – біомаса верби, торрефікована при різних умовах (A – найменша температура, D – найбільша температура); willow raw – необроблена біомаса верби; coal – вугілля

Рис. 4. Розподілення частинки (мас. %) для подрібненої біомаси верби та для вугілля [6]

Вивчення елементного та біохімічного складу зразків верби показало, що генотип з найвищим вмістом лігніну (27,13% – генотип *F*, Табл. 7) має найбільшу зольність (2,88-3,25%). І навпаки, генотип з найменшим вмістом лігніну (15,49% – генотип *B*) має мінімальну зольність (1,11-1,37%). Найбільшу теплоту згоряння мають генотипи з високим вмістом вуглецю і малим вмістом кисню (наприклад, генотипи *A, B*). В цілому, в роботі [6]

¹⁶ Торрефікація (torrefaction) – термохімічна обробка біомаси при температурах 200-320 °C при атмосферному тиску за відсутністю кисню. Називають також «м'якою» формою піролізу.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Torrefaction>

зроблено висновок про добрі паливні характеристики біомаси верби (за винятком генотипу *S. elaeagnos* Scop.) й перспективність вирощування та використання цього виду біопалива.

Таблиця 7. Паливні характеристики різних генотипів верби [6].

Показники	<i>S.aurita</i> L.		<i>S.viminalis</i> x <i>S.schwerinii</i>		<i>S.eriocephala</i> <i>Michx.</i>		<i>S.drummondiana</i> <i>Barratt ex Hook.</i>		<i>S.mielichhoferii</i> <i>Saut.</i>		<i>S.elaeagnos</i> <i>Scop.</i>	
	A		B		C		D		E		F	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<i>Елементний склад, % сух. мас. без золи</i>												
C	53,65	49,33	53,58	49,52	53,68	49,57	51,98	51,00	46,13	50,62	54,27	51,01
H	6,73	6,00	6,81	5,99	6,34	5,95	6,47	6,03	5,80	6,12	6,85	6,36
N	0,95	0,57	0,81	0,45	1,02	0,36	0,86	0,85	0,57	0,66	0,89	1,25
O	38,67	44,10	38,80	44,04	38,96	44,12	40,69	42,12	47,50	42,60	37,99	41,38
<i>Паливні характеристики</i>												
Вологість, %	6,16	2,73	6,59	2,72	4,96	2,89	4,74	2,72	5,46	2,26	6,05	5,65
Вихід летких речовин, %	75,77	78,35	75,89	79,09	77,28	79,53	75,25	76,70	76,00	79,00	73,94	73,31
Зв'язаний вуглець, %*	16,57	17,33	16,40	16,82	16,20	15,57	18,31	18,95	16,95	16,97	17,13	17,79
Зольність, %	1,5	1,59	1,11	1,37	1,56	2,01	1,71	1,63	1,59	1,77	2,88	3,25
Q _v ^p , МДж/кг сух. мас.**	21,50	19,28	21,61	19,39	21,33	19,24	20,56	20,00	17,98	19,81	21,41	19,74
<i>Біохімічний склад, %</i>												
Геміцелюлоза	7,35	15,07	13,29	13,95	9,14	14,70	13,77	11,51	15,09	11,47	9,80	н.д.
Целюлоза	50,02	43,92	52,98	47,80	54,06	48,03	33,52	38,34	42,22	43,57	46,56	н.д.
Лігнін	18,40	18,41	15,49	15,46	18,05	14,79	22,17	18,42	18,62	18,35	27,13	н.д.

* Розраховано по різниці.

** Отримано шляхом розрахунку

I – дослідження, проведене у грудні 2008 р., II – дослідження, проведене у лютому 2011 р.

Автори [15] дослідили паливні характеристики чотирьох багаторічних трав'янистих енергетичних культур – міскантусу, проса прутоподібного, арундо тростинного, артишоку іспанського (Рис. 5) в порівнянні з «еталонним» паливом – деревними гранулами австрійського виробництва.



*A – гранули з проса прутopodobного, B – гранули з артишока іспанського,
C – подрібнений арундо тростинний, D – подрібнений міскантус*

Рис. 5. Досліджені біопалива з трав'янистих енергокультур [15]

Порівняно з деревиною, досліджені багаторічні енергокультури мають набагато більшу зольність, з них найменша – у міскантуса (2,3% сух. мас.) (**Таблиця 8**). Підвищена зольність пояснюється метаболізмом швидкого зростання (накопичення поживних речовин) і відмінною від деревини органічної структурою (SiO_2 -фітоліти¹⁷). Крім того, на зольність сильно впливає сезон збору врожаю і застосовувана технологія збору. Як правило, основними елементами, що формують золу, є (у порядку зменшення значущості) Si, K, Ca, Cl, S. З **Таблиці 8** видно, що у міскантуса в порівнянні з іншими культурами вміст Si, K, Ca найменший.

Крім того, досліджені енергокультури (крім проса прутopodobного) порівняно з деревними гранулами характеризуються підвищеною потенційною здатністю викликати корозію елементів енергообладнання, що відображається показником $\text{Cl/S} > 1$. Формування вільного газоподібного хлору при сульфатації лужних або важких металів у відкладеннях на трубах котла призводить до явищу корозії. Особливо несприятливим є поєднання $\text{Cl/S} > 1$ при високому вмісті Ca (як у випадку артишоку іспанського). Для деревних гранул співвідношення $\text{Cl/S} < 1$. Також енергетичні культури мають більш високий вміст азоту, ніж лісова деревина, що призводить до більших викидів NO_x при горінні. Спостерігається тенденція до шлакування елементів обладнання.

Незважаючи на недоліки біопалива з енергетичних культур в порівнянні з деревними гранулами, в цілому вони є непоганим паливом, що вимагає ретельного підходу до використання. У багатьох випадках ці біопалива можуть задовольняти існуючим нормам щодо викидів забруднюючих речовин (якщо тільки вони не є необґрунтовано завищеними).

¹⁷ Фітоліти – кристали кремнію, сформовані у волокнах рослини.

Так, наприклад, з даних **Таблиці 9** видно, що показники горіння тріски міскантусу повністю знаходиться в межах австрійських лімітів для емісії твердих частинок, оксидів азоту та CO.

Таблиця 8. Паливні характеристики багаторічних трав'янистих енергокультур [15].

Показники	Просо прутоподібне (гранули)	Арундо тростинний (тріска)	Міскантус (тріска)	Артишок іспанський (гранули)	Деревні гранули (для порівняння)
Зольність, % сух. мас.	8,3	6,1	2,3	17,4	0,50
Вміст N, % сух. мас.	0,67	0,71	0,16	1,1	0,08
<i>Елементний склад, мг/кг сух. мас.</i>					
Si	14,99	13,92	7,30	21,14	<400
Ca	6,55	3,25	1,77	19,02	938
K	12,75	6,49	1,44	21,54	485
Na	924	331	58	10,33	30
Mg	2,22	1,62	644	3,93	152
Al	763	919	82	4,44	н.д.
S	735	2,16	390	1,56	73
Cl	1,51	2,24	880	17,78	53
Cl/S*	0,002	1,04	2,25	11,39	0,73
Q _v ^p , МДж/кг сух. мас. без золи	17,8	19,8	19,6	20,3	20,3
Об'ємна густина, кг сух. мас./м ³	585	116	117	561	644

* Показник потенційної здатності палива викликати корозію елементів енергетичного обладнання.

Таблиця 9. Середні показники емісії при горінні біопалива з багаторічних трав'янистих енергетичних культур, мг/нм³ (13% O₂, сух. мас.) [15].

Забруднюючі речовини	Просо прутоподібне	Арундо тростинний	Міскантус	Деревні гранули (для порівняння)	Австрійські норми по викидах для установок 100-350 кВт
Тверді частинки, всього,	58	102	27	21	150
<i>в тому числі</i>					
< 1 μm (аерозолі)	50	67	16	16	
NO _x	368	363	187	106	350* / 250**
HCl	18	67	59	3	
SO ₂	91	278	53	3	
CO	145	443	55	1	250

* Для хімічно необроблених деревних відходів

** Для лісової деревини.

Для вирішення проблеми шлакування поверхонь котла при спалюванні енергетичних культур автори [15] пропонують знижувати температуру горіння шляхом використання охолоджуваних решіток і стінок топки. Інший підхід може полягати в попередній обробці біомаси – вилуговування (для видалення проблематичних хімічних елементів) або додавання вапна для підвищення температури плавлення шлакових відкладень. Ще один можливий метод – сумісне спалювання енергокультур з деревиною, в результаті чого знизиться емісія HCl , SO_2 , NO_x та твердих частинок.

В роботі [13] вивчено характеристики горіння біомаси декількох енергетичних культур, в тому числі верби, тополі, міскантусу. В основному отримані результати збігаються з висновками наведених вище досліджень (дані щодо паливних характеристик представлено в **Таблиці 6**). Верба має високу температуру плавлення золи (> 1500 °C) і найменші проблеми з шлакуванням поверхонь енергообладнання. Зольність міскантусу (6,74%) помітно вище зольності верби (1,93%) і тополі (1,71%). Це ж відноситься і до вмісту азоту. Найгірші паливні властивості з розглянутих культур має артишок іспанський. На відміну від роботи [15] автори [13] вважають, що при спалюванні енергетичних культур (крім артишоку іспанського) не виникатиме серйозних проблем з корозією елементів енергообладнання, оскільки вміст хлору в цих культурах низький ($<0,1\%$).

Вирощування енергетичних культур в Україні

На сьогодні в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. Ще ряд компаній планують найближчим часом вийти на цей ринок. Деякі з них коротко описані нижче.

Компанія “Salix Energy”, що була заснована в 2010 році, має найбільші в Україні плантації енергетичної верби (*Salix Viminalis*), розташовані у Волинській та Львівській областях (> 1500 га). Розводяться 6 сортів верби, в тому числі польські, шведські. В 2013 р. компанія зареєструвала свій власний сорт «Марцяна» (єдиний офіційно зареєстрований в Україні). На 2014-2015 рр. є плани щодо розширення плантацій верби до 2,5-3 тис. га і початку промислового збору врожаю. “Salix Energy” планує збирати тріску з енергетичної верби для виробництва теплової та електричної енергії на території України [4, 5].

Компанія “Phytofuels” вирощує цілий ряд енергетичних культур (просо прутоподібне, міскантус, верба, сорго цукрове та ін.) на площі понад 35 тис. га в Полтавській області. Брикети і гранули, вироблені з цих культур, “Phytofuels” поставляє вітчизняним і зарубіжним споживачам. У наукових питаннях компанія тісно співпрацює з Інститутом біомаси та сталого розвитку (м. Полтава) і Університетом Вагенінгена (Нідерланди)¹⁸.

Агрохолдинг KSG Agro, що володіє 65 тис. га земель в Дніпропетровській області, розвиває новий напрямок свого бізнесу – вирощування міскантусу. В 2013 році на 33 га агрохолдингу успішно зійшли маточні плантації культури. В 2014 р. планується висадка ще 400 га міскантусу, а ще через рік загальна площа під цією енергокультурою повинна досягти більше 2000 га. Біомаса міскантусу буде використовуватись для виробництва твердого біопалива [16].

ТОВ «Аграрна Співдружність» у 2011 р. розпочало реалізацію проекту з вирощування енергетичної верби (*Salix Viminalis*) і виробництва паливних гранул з неї. Земельний фонд проекту – 2000 га, розрахункова виробнича потужність заводу – 24 тис. т/рік [17].

В Україні також проводиться широка науково-дослідна робота щодо енергетичних культур. Чималий вклад в цей напрямок вносить Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України¹⁹. Так, наприклад, в Інституті ведеться робота з вивчення генофонду верби роду *Salix L.* різного еколого-географічного походження за характеристиками продуктивності, придатності до механізованого догляду і збору, енергетичної цінності. На дослідній ділянці Інституту висаджено 11 видів і 3 гібрида *Salix L.* [32]. Досліджуються питання врожайності цукрового сорго, міскантусу та інших культур. Підготовлено Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур [18].

Незважаючи на досить активний в останні роки розвиток вирощування енергетичних культур в Україні, існує ряд проблем, які вимагають розв'язання. Одна з них – відсутність енергокультур в класифікаторі сільськогосподарських культур. На сьогодні енергетична верба включена в класифікатор як технічна культура, тоді як міскантусу та інших енергокультур там немає взагалі. Це може створити юридичні та інші проблеми на певному етапі господарської діяльності виробників цих культур. Крім того, трапляється, що

¹⁸ Інформація з веб-сайту <http://www.phytofuels.com.ua> (в даний час не працює)

¹⁹ Веб-сайт Інституту <http://sugarbeet.gov.ua/>

виробники енергокультур стикаються з необхідністю сплати ПДВ при оформленні своїх відносин з інвестором, тоді як вони ще не виробили ніякої продукції. Це пов'язано з тим, що продукцією вважаються саджанці, вирощені самою компанією для використання на своїх же плантаціях. Ще одна проблема полягає в тому, що виробник енергокультур не вважається «сільгоспвиробником» і не має відповідних пільг (наприклад, по оренді техніки), поки він не здійснив перший продаж свого врожаю. Враховуючи, що врожай верби і тополі збирається кожні 3-4 роки, період до першого продажу є досить тривалим.

Для прискорення розвитку даного сектора в Україні Біоенергетична асоціація України вважає за необхідне запровадити механізми державного стимулювання вирощування енергетичних культур. Один із запропонованих механізмів – субсидування енергоплантацій на рівні **10 тис. грн./га**. Іншим інструментом може бути часткове покриття державою процентних ставок комерційних банків. Рекомендується передбачити відповідне фінансування з Держбюджету України в 2015-2017 рр.

За оцінками БАУ в Україні є 3-4 млн. га сільськогосподарських земель, що не використовуються (за даними 2012 року – 3,5 млн. га²⁰), та які можна задіяти для вирощування енергетичних культур. Рекомендується для цього напряму використовувати до 2 млн. га, розділивши їх (відповідно до одного з можливих сценаріїв²¹) між кукурудзою на біогаз (1 млн. га), вербою (0,5 млн. га), тополею (0,2 млн. га) і міскантусом (0,3 млн. га). Реалізація такого сценарію дасть можливість щорічно отримувати близько 3,3 млрд. м³ біометану з силосу кукурудзи і 6,3 млн. т у.п за рахунок біомаси верби, тополі й міскантусу.

За оцінкою деяких представників аграрного сектора в Україні є близько 8 млн. га земель, доступних для вирощування енергокультур. Більшу частину цих земель вони пропонують використовувати для вирощування кукурудзи на біогаз. Ми вважаємо, що такі оцінки є необґрунтовано завищеними, і що під енергетичні культури розумно займати не більше 1-2 млн. га земель.

З урахуванням розроблених БАУ концепцій розвитку різних секторів біоенергетики, вважаємо, що загальна площа для вирощування енергетичних культур в Україні може скласти близько **200 тис. га** в 2020 р. і до **1 млн. га** у 2030 р. (**Таблиця 10**). Відповідно, врожай цих культур буде еквівалентний **1 млн. т у.п** в 2020 р. і близько **5 млн. т у.п** у 2030 р.

Важливим питанням є економічні показники вирощування енергокультур, такі як питомі витрати на створення плантації і догляд за нею, дохід від реалізації врожаю, період повернення інвестицій та інші. Результати попереднього ТЕО по вирощуванню енергетичної тополі з 2-річним циклом збору врожаю в Україні представлені в **Таблиці 11**.

²⁰ Методика оцінки: площа пашні (32,5 млн. га) – посівна площа (27,8 млн. га) – площа чистих парів (1,2 млн. га) = 3,5 млн. га [20].

²¹ Більш детально можливі сценарії вирощування енергетичних культур в Україні розглянуті в Аналітичній Записці БАУ №9 [20].

Таблиця 10. Концепція вирощування енергетичних культур в Україні

Показники	2014 р.	2020 р.	2030 р.
Площа під енергетичними культурами (комерційні плантації), всього, тис. га	3	200	1000
<i>Структура площ за культурами, тис. га:</i>			
- верба	2	50	250
- міскантус	~0	30	150
- тополя	~0	20	100
- кукурудза (на біогаз)	1	100	500
Врожай енергетичних культур (всього), млн. т у.п./рік	0,017	1,00	4,98
<i>Структура врожаю за культурами, млн. т у.п./рік:</i>			
- верба	0,013	0,33	1,66
- міскантус	~0	0,19	0,94
- тополя	~0	0,11	0,54
- кукурудза (на біогаз)	0,004	0,37	1,84
Показники, що використані в концепції			
Розподіл загальної площі під енергокультурами, %			
- верба	20	25	
- міскантус	10	15	
- тополя	6	9	
- кукурудза (на біогаз)	64	51	
Врожайність*, сух. т/га в рік:			
- верба		12	
- міскантус		12	
- тополя		9,5	
- кукурудза на біогаз (свіжа маса)		30	
Теплота згорання (сухої маси), МДж/кг [20]:			
- верба		18	
- міскантус		17	
- тополя		18,5	
- кукурудза на біогаз		вихід CH ₄ : 100 м ³ /т силосу* вміст CH ₄ в біогазі: 60%	

* Консервативний підхід [20].

Таблиця 11. Техніко-економічні показники вирощування енергетичної тополі в Україні – плантація з 2-річним оборотом (розрахунок на 1 га).

Показники	Без субсидій	З субсидією 620 євро/га на створення плантації
Посадка (покупка саджанців - 6000 шт. / га, підготовка ґрунту), євро/га	1191	571
<i>Перший цикл плантації (роки 1-2):</i>		
- догляд за плантацією (культивування, боронування, полив), євро/га		306
- збір врожаю і доставка біомаси споживачеві *, євро/га		335
- врожайність**, т/га		40
- відпускна ціна біомаси, євро/т		25 (400 грн./т)
- дохід від продажу біомаси, євро/га		994
<i>Повернення інвестицій після 1-го збору врожаю (сумарний дохід/сумарні витрати)</i>	0,54	0,82
<i>Другий цикл плантації (роки 3-4):</i>		
- догляд за плантацією (боронування, полив, застосування пестицидів), євро / га		265
- збір врожаю і доставка біомаси споживачеві, євро/га		353
- врожайність, т/га		42
- відпускна ціна біомаси, євро/т		25 (400 грн./т)
- дохід від продажу біомаси, євро/га		1049
<i>Повернення інвестицій після 2-го збору врожаю (сумарний дохід/сумарні витрати)</i>	0,83	1,12
<i>Цикли 3-7 (роки 5-14):</i>		
- догляд за плантацією, євро/га		1323
- збір врожаю і доставка біомаси споживачеві, євро/га		1766
- врожайність, т/га		42
- відпускна ціна біомаси, євро/т		25 (400 грн./т)
- дохід від продажу біомаси, євро/га		5245
- ліквідація плантації, євро/га		100
<i>Весь період існування плантації (14 років):</i>		
- середня врожайність за рік, т/га	27	27
- сумарні витрати, євро/га	5639	5019
- сумарний дохід, євро/га	7288	7288
- загальний прибуток (різниця доходу і витрат), євро / га	1649	2269
- сумарний дохід/сумарні витрати	1,29	1,45

* Тут і далі в таблиці – доставка в радіусі 30 км.

** Тут і далі в таблиці – біомаса з вологістю при зборі (W 55%).

З даних таблиці видно, що при відпускній ціні біомаси 400 грн./т повернення інвестицій (тобто відношення сумарного доходу до сумарних витрат) складає після 1-го збору врожаю 0,54, після 2-го збору врожаю – 0,83, за весь термін існування плантації (14

років, 7 циклів) – 1,29. Це означає, що простий термін окупності проекту з вирощування тополі становить близько 6 років (Рис. 6). При наявності державної субсидії на створення плантації тополі в розмірі 10 тис. грн./га (620 євро/га) повернення інвестицій після 1-го циклу складе 82%, після другого – 112%, за весь термін існування плантації – 145%. Тобто в даному випадку простий термін окупності проекту – до 4 років.

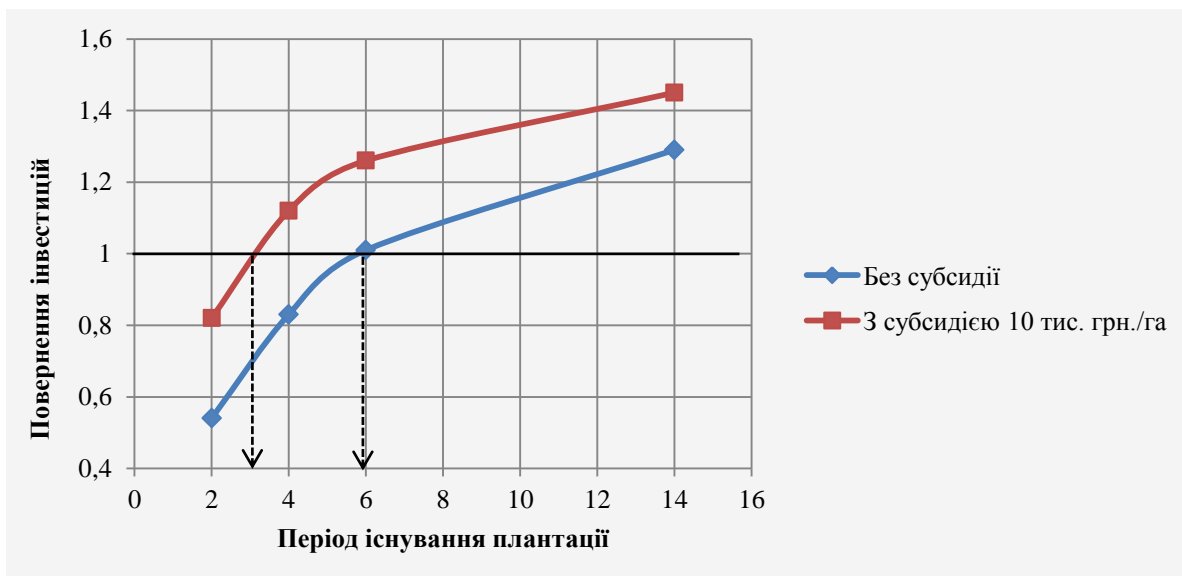


Рис. 6. Повернення інвестицій плантації тополі з 2-річним циклом при відпускній ціні біомаси 400 грн./т

Для окупності плантації після 2-го збору та продажу врожаю (тобто протягом 4-х років), ціна біомаси повинна становити близько 480 грн./т за відсутності субсидій та 360 грн./т при наявності субсидії в 10 тис. грн./га (620 євро/га) (Рис. 7).

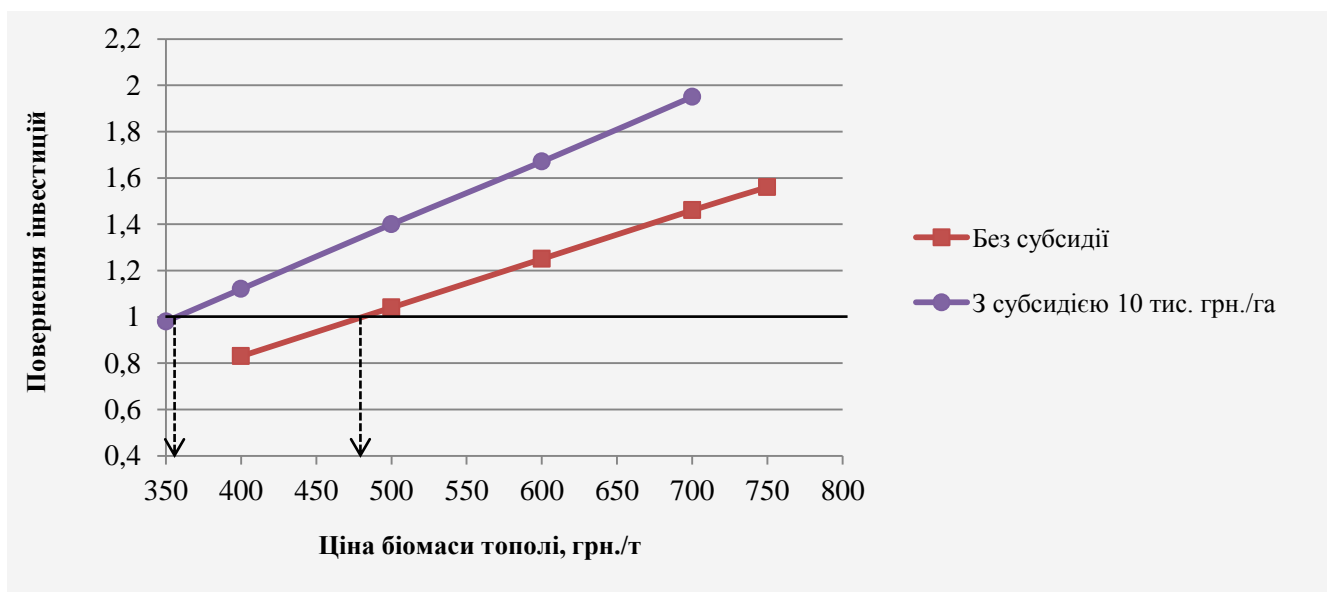


Рис. 7. Залежність швидкості повернення інвестицій від відпускної ціни біомаси після 2-го циклу плантації тополі з 2-річним оборотом

Оцінка необхідної величини субсидій з Держбюджету України на вирощування енергокультур виконана на прикладі верби для 2014-2016 рр., виходячи з прогнозованого обсягу заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії – 250 млн. м³ (2014 р.), 500 млн. м³ (2015 р.), 1 млрд. м³ (2016 р.). Результати показують, що якщо енергетичні культури складають 20% всього обсягу біомаси, що використовується, то загальна сума необхідної субсидії на енергоплантації – **84-338** млн. грн./рік (**Таблиця 12**). При цьому частка субсидії від вартості природного газу, що заміщається енергокультурами, становить **38%**.

Таблиця 12. Розрахунок необхідної субсидії з Держбюджету України на вирощування енергетичних культур (на прикладі верби).

Показники	2014 р.	2015 р.	2016 р.
Прогнозований обсяг заміщення природного газу біопаливом, млн. м ³	250	500	1000
Калорійність біопалива (тріска) (при W 40%), МДж/кг	10	10	10
Період експлуатації котельної, діб	185	185	185
Потреба в біопаливі (при W 40%), тис. т	844	1688	3375
Частка енергокультур (верба) у загальному обсязі біопалива, що використовується, %	20	20	20
Врожайність верби (волога маса), т/га/рік	20	20	20
Необхідна площа плантації верби, тис. га	8,4	16,9	33,8
Необхідна дотація з Держбюджету України на створення енергоплантацій, тис. грн./га	10	10	10
	84,4	168,8	337,5
Вартість природного газу, що заміщається енергетичною вербою (при ціні 380 \$/1000 м ³), млн. грн.	225	450	900
<i>Частка необхідної субсидії на енергокультури від вартості природного газу, що заміщується вербою</i>	38%	38%	38%

W – вологість (по масі).

Висновки

Енергетичні культури є важливим напрямом біоенергетичного сектора ЄС. Близько третини мети Євросоюзу по енергоспоживанню з біомаси у 2020 р. може бути покрито за рахунок енергетичних культур, що складе **45** млн. т н.е./рік.

На сьогодні в країнах Євросоюзу 13,2 млн. га земель є доступними для вирощування енергокультур; до 2020 р. цей показник може вирости до 20,5 млн. га, а до 2030 р. – до 26,2 млн. га. За оцінкою Європейської Комісії, для досягнення мети 2020 року (10% ВДЕ в транспортному секторі ЄС) під енергетичні культури необхідно задіяти 17,5 млн. га або близько 10% всіх сільськогосподарських земель країн ЄС.

Крім загальноєвропейських механізмів регулювання в кожній країні ЄС існують свої рушійні сили та інструменти для стимулювання вирощування енергетичних культур.

Типовими інструментами є державна субсидія на гектар площі під енергокультурами і «зелений» тариф (або аналогічний механізм) на електроенергію з біомаси.

На сьогодні в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. Ще ряд компаній планують найближчим часом вийти на цей ринок.

Для прискорення розвитку даного сектора в Україні Біоенергетична асоціація України вважає за необхідне запровадити механізми державного стимулювання вирощування енергетичних культур. Один із запропонованих механізмів – субсидування енергоплантацій на рівні **10 тис. грн./га**. Іншим інструментом може бути часткове покриття державою процентних ставок комерційних банків. Рекомендується передбачити відповідне фінансування з Держбюджету України у 2015-2017 рр.

За оцінками БАУ в Україні є 3-4 млн. га сільськогосподарських земель, що не використовуються, які можна задіяти для вирощування енергетичних культур. Рекомендується для цього напрямку використовувати до **2 млн. га**, розділивши їх (відповідно до одного з можливих сценаріїв) між кукурудзою на біогаз (1 млн. га), вербою (0,5 млн. га), тополею (0,2 млн. га) і міскантусом (0,3 млн. га). Реалізація такого сценарію дасть можливість щорічно отримувати близько 3,3 млрд. м³ біометану з силосу кукурудзи і 6,3 млн. т у.п. за рахунок біомаси верби, тополі й міскантусу.

Згідно концепції БАУ, загальна площа для вирощування енергетичних культур в Україні може скласти близько **200 тис. га** в 2020 р. і до **1 млн. га** в 2030 р. (**Таблиця 13**). Відповідно, урожай цих культур буде еквівалентний **1 млн. т у.п.** в 2020 р. і близько **5 млн. т у.п.** в 2030 р.

Таблиця 13. Концепція БАУ щодо вирощування енергетичних культур в Україні

Енергокультура	2014 р.		2020 р.		2030 р.	
	площа, тис. га	врожай, млн. т у.п./рік	площа, тис. га	врожай, млн. т у.п./рік	площа, тис. га	врожай, млн. т у.п./рік
Кукурудза на силос для отримання біогазу	1	0,004	100	0,37	500	1,84
Верба	2	0,013	50	0,33	250	1,66
Міскантус	~0	~0	30	0,19	150	0,94
Тополь	~0	~0	20	0,11	100	0,54
Всього	3	0,017	200	1,0	1000	4,98

Оцінка необхідної величини субсидій з Держбюджету України на вирощування енергокультур виконана на прикладі верби для 2014-2016 рр., виходячи з прогнозованого обсягу заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії – 250 млн. м³ (2014 р.), 500 млн. м³ (2015 р.), 1 млрд. м³ (2016 р.). Результати показують, що якщо енергетичні культури складають 20% всього обсягу біомаси, що використовується, то загальна сума необхідної субсидії на енергоплантації – **84-338** млн. грн./рік. При цьому частка субсидії від вартості природного газу, що заміщається енергокультурами, становить **38%**.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system in the EU 27*, AEBIOM, 2011.
<http://ru.scribd.com/doc/73012151/2011-AEBIOM-Annual-Statistical-Report>
2. *European Bioenergy Outlook 2012*, AEBIOM.
http://www.aebiom.org/blog/category/publications/aebiom_reports/
3. *Energy from field energy crops – a handbook for energy producers*. AEBIOM, 2009
<http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/file/Publications/Handbook%20for%20energy%20producers.pdf>
4. *Ірина Гнап*. Вирощування енергетичної верби на Волині: результати за перші 3 роки. Презентація на семінарі “GREENEXPO | Альтернативна енергетика», 18 жовтня 2013 р., Київ.
5. Веб-сайт компанії “Salix Energy” <http://www.salix-energy.com/>
6. *B.A. Gudka*. Combustion characteristics of some imported feedstocks and short rotation coppice (SRC) willow for UK power stations, 2012
[http://etheses.whiterose.ac.uk/3352/1/Combustion Characteristics of some Imported Feedstocks and SRC willow for UK power stations.pdf](http://etheses.whiterose.ac.uk/3352/1/Combustion%20Characteristics%20of%20some%20Imported%20Feedstocks%20and%20SRC%20willow%20for%20UK%20power%20stations.pdf)
7. *European Bioenergy Outlook*. AEBIOM, 2013
<http://www.aebiom.org/blog/aebiom-statistical-report-2013/>
8. *EU legislation and cooperation for energy crops*. LogistEC project of FP7, 2014
[http://www.logistecproject.eu/download/factsheets/Factsheet EU%20legislation%20and%20cooperation%20final%2010%20Jan.pdf](http://www.logistecproject.eu/download/factsheets/Factsheet%20EU%20legislation%20and%20cooperation%20final%2010%20Jan.pdf)
9. *E. Alexopoulou, M. Christou, I. Eleftheriadis*. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES, 2010-2012.
http://www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP3/D3.2%20Role%20of%204F%20crops.pdf
10. *Гелетуха Г.Г., Железна Т.А.* Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7, 2014
<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ua.pdf>
11. *L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al.* Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.
12. *K. Suadicani, A. Evald, H. H. Jakobsen*. Wood chips for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1993.
13. *E. Karampinis, D. Vamvuka, S. Sfakiotakis et al.* Comparative Study of Combustion Properties of Five Energy Crops and Greek Lignite // *Energy & Fuels*, 2012, N 26(2), p. 869–878.
http://www.researchgate.net/publication/224437353_A_Comparative_Study_of_Combustion_Properties_of_Five_Energy_Crops_and_Greek_Lignite
14. *M. Wachendorf*. Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia

- http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/Wachendorf_thermal_use_of_agricultural_biomass.pdf
15. *J. Dahl, I. Obernberger*. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops (*Arundo Donax*, *Cynara Cardunculus*, *Miscanthus x Giganteus* and *Panicum Virgatum*). Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, p. 1265-1270
http://www.cres.gr/bioenergy_chains/files/pdf/Articles/10-Rome%20OE1_1.pdf
 16. Інтернет-портал Energy Нафта&Газ
<http://oil-gas-energy.com.ua/v-dnepropetrovskoj-oblasti-nachali-vnedryat-principy-energoberezheniya-i-racionalnogo-otnosheniya-k-prirodnym-resursam.html>
 17. ТОВ «Аграрна Співдружність»
<http://www.n-tech.com.ua/pages/rus-info-agrarnoe-sodruzhestvo.html>
 18. *Гумендик М.Я.* Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур // Біоенергетика, № 2, 2013, с. 6-7.
 19. *B. Allen, B. Kretschmer, D. Baldock et al.* Space for energy crops – assessing the potential contribution to Europe’s energy future, 2014
<http://www.eeb.org/EEB/?LinkServID=F6E6DA60-5056-B741-DBD250D05D441B53>
 20. *Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Кучерук П.П., Олійник Є.М.* Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Аналітична записка БАУ №9, 2014
<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf>
 21. Вербa енергетична *Salix Viminalis* sp. Матеріали компанії ТОВ «Аграрна Співдружність».
 22. *Блюм Я.Б., Гелетуха Г.Г., Григорюк І.П.* та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
 23. *Svitlana Trybush*. Willow for Energy: Myths and Reality. Proc. of 8th International Conference on Biomass for Energy, 25-26 September 2012, Kyiv, Ukraine.
 24. *Володимир Івахів*. Енергетична верба як рішення для малих міст України
<http://ua-energy.org/post/27476>
 25. Енергетична верба
http://bio-energy.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=836:2011-12-21-21-08-52&catid=34:2009-08-22-12-03-35&Itemid=98
 26. «Про стан та перспективи досліджень з біоенергетичних культур». Презентація Роїка М.В., директора Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, д.с.-г.н., академіка НААН.
 27. *M.C. Heller, G.A. Keoleian, T.A. Volk*. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system // *Biomass and Bioenergy*, N 25, 2003, p. 147-165.
 28. *Я.Д. Фучило, М.В. Сбитна, О.Я. Фучило, В.М. Літвін*. Досвід та перспективи вирощування тополі (*POPULUS SP.L.*) в південному степу України // Наукові праці Лісової академії наук України: збірник наукових праць. – 2009. Вип. 7, с. 66-69.
 29. *R. Spinelli*. Short Rotation Coppice (SRC) Production in Italy

- http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SPINELLI%202006%20Short%20Rotation%20Coppice%20Production%20in%20Italy.pdf
30. Енергетична тополя
http://bio-energy.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=838:2011-12-21-21-36-30&catid=34:2009-08-22-12-03-35&Itemid=98
 31. Poplar short rotation coppice (SRC)
http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,18113&_dad=portal&_schema=PORTAL
 32. *Роїк М.В., Гументик М.Я., Мамайсур В.В.* Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива // Біоенергетика, № 2, 2013, с. 18-19.
 33. New dedicated energy crops for solid biofuels. AEBIOM, FP6 RESTMAC project, 2008
http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Dedicated_energy_crops_for_solid_biofuels_2008_January.pdf
 34. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines.
<http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>
 35. *М. Мельничук, В. Дубровін.* Зелена енергія в Україні // Агросектор, № 2, 2007, с. 12-13.
 36. Енергетична верба – екологічно чисте біопаливо 21 століття // Новини агротехніки, № 1, 2012, с. 26-28 (матеріал компанії «Salix Energy»).
 37. RES Legal – Legal sources on renewable energy <http://www.res-legal.eu/search-by-country/>
 38. T. Josling, D. Blandford, J. Earley. Biofuel and biomass subsidies in the U.S., EU and Brazil: towards a transparent system of notification
http://www.agritrade.org/documents/Biofuels_Subst_Web_Final.pdf
 39. A. Matthews. The CAP budget in the MFF Part 3 – Pillar 2 rural development allocations
<http://capreform.eu/the-cap-budget-in-the-mff-part-3-pillar-2-rural-development-allocations/>
 40. Second Pillar <http://www.reformthecap.eu/issues/policy-instruments/second-pillar>
 41. First Pillar <http://www.reformthecap.eu/issues/policy-instruments/first-pillar>
 42. A. Matthews. The CAP budget in the MFF. Part 2 – direct payment envelopes in Pillar 1
<http://capreform.eu/the-cap-budget-in-the-mff-part-2-direct-payment-envelopes-in-pillar-1/>
 43. T. van der Sluis, R. Poppens, P. Krausvitnii et al. Reed harvesting from wetlands for bioenergy. Alterra report 2460, 2013
http://www.switchgrass.nl/upload_mm/a/5/9/99e205b9-c2ea-4274-a1f8-8e94047094e0_Reed%20report%20Pellets%20for%20Power%202460%20October%202013.pdf
 44. Bioenergy. The multifaceted renewable energy. FNR, 2013
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch_re_bioenergie_2013_engl_web.pdf

Умовні позначення

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВКЕ – валове кінцеве енергоспоживання;

ЄСП – єдина сільськогосподарська політика;

НААН – Національна академія аграрних наук України;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

н.д. – немає даних;

н.е. – нафтовий еквівалент;
у.п. – умовне паливо;
сух. мас. – суха маса;
сух. т – тонна сухої маси;
с/г – сільське господарство;
е/е – електроенергія;
 Q_v^p – вища теплота згорання;
 Q_n^p – нижча теплота згорання.

Попередні публікації БАУ

<http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>

- Аналітична записка БАУ №1 (2012) «Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року».
- Аналітична записка БАУ № 2 (2013) «Аналіз Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» №5485-VI від 20.11.2012».
- Аналітична записка БАУ № 3 (2013) «Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні».
- Аналітична записка БАУ № 4 (2013) «Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні».
- Аналітична записка БАУ № 5 (2013) «Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні».
- Аналітична записка БАУ № 6 (2013) «Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні».
- Аналітична записка БАУ № 7 (2014). «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні».
- Аналітична записка БАУ № 8 (2014). «Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси».
- Аналітична записка БАУ № 9 (2014). «Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні».

Громадська спілка «Біоенергетична асоціація України» (БАУ) була заснована з метою створення спільної платформи для співпраці на ринку біоенергетики України, забезпечення найбільш сприятливих умов ведення бізнесу, прискореного та сталого розвитку біоенергетики. Загальні установчі збори БАУ було проведено 25 вересня 2012 року в м. Київ. Асоціація офіційно зареєстрована 8 квітня 2013 року. Членами БАУ стали понад 10 провідних компаній та понад 20 визнаних експертів, що працюють в галузі біоенергетики.

www.uabio.org

