

УДК 620.92

## АНАЛІЗ ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ВИРОБНИЦТВА І ПОСТАЧАННЯ ДЕРЕВНОЇ ТРІСКИ В УКРАЇНІ

Крамар В.Г., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.9>

*Проаналізовано міжнародний досвід заготівлі і постачання деревної тріски, відмінності щодо практики її виробництва в Україні, особливості її зберігання та методи запобігання втраті її паливних якостей, вказано аспекти, на які слід звернути увагу при розширенні її виробництва та застосування в Україні.*

*The international experience of production and supply of wood chips, difference in the practice of its production in Ukraine are analyzed, as well as the features of its storage and methods of preventing the loss of its fuel quality, the aspects noted that should be considered when expanding its production and use in Ukraine.*

**Актуальність** роботи обумовлена перспективами зростання енергетичного використання деревної тріски, необхідністю впровадження передових способів її виробництва та постачання в Україні.

**Метою даної роботи** є аналіз світового досвіду щодо основних способів заготівлі та постачання деревної тріски, а також факторів, що сприяють підвищенню економічної ефективності ланцюжків її постачання.

**Методи дослідження** включають вивчення статистичних даних, наукових та інших публікацій, проведення оцінок та розрахунків.

### Результати дослідження

За даними Держстату, в Україні використання дров суттєво переважає використання деревної тріски та стружки (рис.1).

Аналіз зарубіжного досвіду показує, що в ряді країн (Швеція, Фінляндія, Литва), які досягли високих показників використання відновлюваної енергії в

опаленні, зокрема завдяки впровадженню потужних котельних та ТЕЦ на деревному паливі, основну частку в заготівлі та використанні деревного палива займає деревна тріска. Зокрема, в Швеції в 2018 р. частка дров у заготівлі деревного палива становила близько 35%, решту становила тріска з порубкових решток та пеньків (40%), стовбурової деревини та цілих дерев (25%) [1].

Переважне використання дров в Україні можна пояснити великою часткою їх споживання населенням та розповсюдженням котельних на біомасі потужністю до 1 МВт, що використовують переважно дрова, особливо в центральних, північних та західних областях. Впровадження котельних на деревному паливі більшої потужності передбачає використання тріски та котлів з механічною подачею палива. Це, в свою чергу, має стимулювати її виробництво, тому варто розглянути зарубіжний досвід постачання деревної тріски для його можливого застосування в Україні.

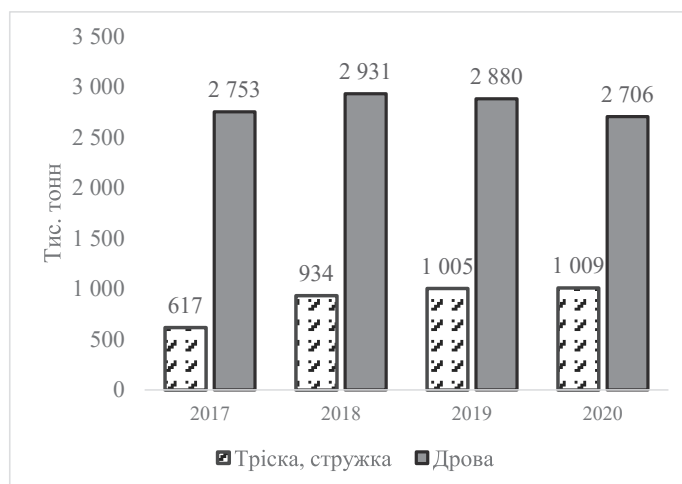


Рис. 1. Використання деяких деревних палив в Україні

На даний час можна виділити чотири основних способи виробництва тріски при заготівлі деревини. При **першому способі**, порубкові рештки переробляють на тріску просто в лісі, на місці їх утворення. Для цього використовують високомобільні подрібнювачі, що можуть пересуватись по пересіченій місцевості, оснащені маніпулятором для подачі деревної сировини в отвір подрібнювача, та перекидним контейнером для тріски об'ємом 10–20 м<sup>3</sup>. Коли контейнер подрібнювача наповнюється, його транспортують на узбіччя і перекидають у вантажний контейнер, розміщений на землі або причепі вантажівки. **Другий спосіб** – виробництво деревної тріски з порубкових решток на площадці біля дороги, є на сьогодні найбільш розповсюдженим, особливо у Скандинавських країнах (Фінляндія, Швеція). В цьому випадку порубкові рештки збирають і доставляють до дороги форвардером, де сушать у вигляді куп протягом певного часу. Тріску виробляють мобільним подрібнювачем, агрегованим з трактором, і вивозять з лісу вантажівками. Також використовують комбіновані машини – автотрісковози, оснащені подрібнювачем. Ця система застосовується зокрема в Естонії, Фінляндії, Німеччині, Латвії та Швеції. В **третьому способі** порубкові рештки транспортуються на проміжний склад (термінал) для подрібнення великими стаціонарними подрібнювачами. Вироблену тріску завантажують у вантажівки-трісковози з об'ємом перевезення до 130 м<sup>3</sup>. В четвертому способі порубкові рештки доставляють безпосередньо на майданчик споживача у вигляді нерозділених дерев, тонкомірних дерев, неуцільнених лісорубних відходів або в'язанок, де їх подрібнюють у тріску.

Третій та четвертий способи практикують з порубковими рештками, якщо відстань їх доставки до терміналу чи майданчика споживача невелика, оскільки їх низька об'ємна щільність обмежує економічно доцільний радіус перевезень. Для збільшення компактності порубкових решток при перевезенні на більш далекі відстані їх стискають у в'язанки за допомогою спеціальних пакетувальників. Такі в'язанки, що важать по 500 кг і містять близько 1 МВт-год енергії в паливі, транспортуються на узбіччя дороги за допомогою звичайного форвардера і далі лісовозом до місця подрібнення. В одну вантажівку можна завантажити близько 65 в'язанок або 30 тонн.

У великих терміналах подрібнення можна проводити ефективними стаціонарними подрібнювачами, що забезпечують нижчу вартість виробництва. На відносно невеликих терміналах або підприємствах більш

доцільне використання мобільних подрібнювачів, хоча продуктивність подрібнення нижча, а собівартість вища [2].

Слід зазначити, що при виробництві тріски з порубкових решток на подрібнення витрачається більше енергії, а продуктивність подрібнювача може бути вдвічі меншою, ніж при подрібненні стовбурової деревини [3].

Основна мета операцій з деревною біомасою перед її перевезенням до споживача полягає у підвищенні її насипної щільності та зменшенні вологості для підвищення економічності перевезення. Але, хоча в більшості європейських країн порубкові рештки для виробництва тріски подрібнюють на місці рубки або на узбіччі дороги, для круглого лісу найбільш типовим є подрібнення на терміналі. Зокрема у Фінляндії 80% стовбурової деревини подрібнюють у споживачів або в терміналах [4]. У Швеції близько 90% порубкових решток і невеликих дерев подрібнюється на придорожніх ділянках, тоді як більша частина дефектного круглого лісу для енергетичного використання подрібнюється на терміналах.

Однією з причин такої різниці у підходах до подрібнення різних видів деревної біомаси є, очевидно, різниця в їх об'ємній щільності. Так, об'ємна щільність порубкових решток становить лише 15...20 % об'ємної щільності суцільної (так званого щільного кубічного метра) деревини, деревної тріски становить вже близько 40%, в'язанок порубкових решток- 45...50 %, а круглої деревини- 60...70 % щільності суцільної деревини [5]. Практично це означає, що біомасою із занадто низькою об'ємною щільністю можна заповнити кузов вантажівки, але не досягти її номінальної повної маси. В результаті, економічність перевезення зменшиться. Стовбурова деревина при перевезенні має більшу об'ємну щільність, ніж порубкові рештки, тому її зручніше перевозити безпосередньо до місця подрібнення на терміналі чи у споживача. Не тільки деревина у вигляді стовбурів, але і колоті дрова насипом мають більшу об'ємну щільність, ніж порубкові рештки чи навіть деревна тріска [6].

Передумовою ефективної заготівлі тріски з порубкових решток є механізація процесів заготівлі перш за все самої деревини, коли один вид обладнання виконує зрубання, відділення гілок і верхівки та розрізання стовбура на відрізки потрібної довжини, при цьому операції ведуться таким чином, щоб зрізані частини дерев утворювали компактні купи, придатні для наступного їх ущільнення та навантаження для перевезення. За орієнтовним підрахунком, при впровадженні такої схеми заготівлі капітальні витрати на спеціалізовану техніку можуть скласти від 800 тис. Євро.

Важливим є зменшення вологості сировини при зберіганні, оскільки вища вологість отриманої з неї тріски збільшує її об'ємну щільність, при цьому енергетична щільність біомаси знижується, збільшуючи транспортні витрати [7]. Вартість транспортування тріски зменшується на 0,32...0,49 Євро/м<sup>3</sup> за умови зниження вологості з 55 до 35% [8].

Умови зберігання мають вирішальне значення для підтримки якості деревного палива. Лісова тріска у Фінляндії зберігається в середньому шість місяців, а неподрібнена енергетична деревина – 8...10 місяців. Вміст вологи в дрібних колодах із щойно заготовленої деревини при зберіганні протягом трьох місяців в теплу пору року може знизитись на 18...23% [8]. В трісці, що зберігається під дахом протягом 4...6 місяців вміст вологи може знизитись з 45% до 25...30%. У разі ж зберігання на відкритому повітрі без накриття вологість тріски збільшиться, тоді як при зберіганні під брезентом залишається постійною.

Але, всі види деревного палива при зберіганні можуть втрачати не тільки вологу, а й сухі речовини, при цьому втрачається певна частина енергії палива. При зберіганні без накриття, тріска зі свіжих порубкових решток може втрачати 20...35%, а свіжі дрова – лише 1...3% сухих речовин за рік [5]. При дослідженні зберігання колотої деревини та тріски, втрати сухої речовини були набагато більшими для тріски, ніж для колотої деревини – 2,9% проти 0,3% на місяць під час нетривалого зберігання [9].

Під час зберігання подрібнених лісових відходів протягом 3...9 місяців відбувається втрата енергії палива на рівні 6...23%, залежно від розміру частинок, початкового вмісту вологи, вмісту листя та кори. Дослідження, проведене в 2018 році показало, що теплотворна здатність (на кг маси) неподрібнених дерев збільшується в 64% стовбурів залежно від терміну зберігання, виду та вмісту вологи. Що ж до тріски, матеріал у зовнішньому шарі показав збільшення на 30...48%, тоді як внутрішні шари показали зниження на 59 та 68% протягом 1 і 2 років зберігання на відкритому повітрі [9].

Причиною втрати сухих речовин та енергії деревного палива при зберіганні є активність мікроорганізмів та грибків, що проникають в деревину на ділянках, де немає кори. У тріски відкрита площа дуже велика, тому при зберіганні втрати сухої речовини відбуваються значно швидше, ніж втрата вологи, на відміну від неподрібненої деревини. Через це ряд літературних джерел рекомендують проводити подрібнення деревного палива незадовго

до його спалювання. Одна з переваг полягає в тому, що порубкові рештки під час зберігання втрачають листя та хвою. Це покращує якість біомаси та відновлює поживні речовини на лісосіках. Крім того, кора захищає внутрішні шари деревини від адсорбції води (снігу, дощу), тоді як відкриті волокна тріски є досить гігроскопічними і легко зволожуються при зберіганні без накриття [5]. Хорошим способом зберігання деревини для отримання енергії вважають круглий ліс, що зберігається в місці, доступному за будь-яких погодних умов, бо його розкладання відбувається набагато повільніше, а вартість зберігання нижча порівняно з тріскою. Цю деревину можна подрібнювати по мірі необхідності [10].

Основні правила зберігання дров та стовбурової деревини полягають в тому, що кращому висиханню сприяє розколювання колод, місце зберігання має бути сонячним і провітрюваним, для покращення циркуляції повітря штабель має бути піднятий над землею на висоту не менше 10 см, така ж мінімальна відстань має бути між сусідніми штабелями, свіжу деревину не можна зберігати в закритих приміщеннях, бо випаровування води з неї сприятиме утворенню плісняви і грибків, також при зберіганні на вулиці з настанням осені штабелі треба накривати від дощу [6].

Що ж до деревної тріски, тріска вологістю менше 30% вважається придатною для зберігання в закритих приміщеннях без можливих проблем з мікробіологічним розкладанням. При зберіганні на відкритому повітрі, слід віддавати перевагу природній вентиляції, що прискорює втрати тепла та води. Цьому сприяє більш крупний та однорідний розмір часток тріски.

Ризик псування тріски та її самозаймання залежить від розміру та вологості в купі, що зберігається. По можливості слід обмежити висоту куп (не більше 7 м) та мінімізувати тривалість зберігання до 3...4 місяців, а краще лише 2...3 тижні, причому можна очікувати значного підвищення температури протягом перших тижнів зберігання [9]. Слід звести до мінімуму вміст хвої, листя та кори, які легко піддаються розкладу мікроорганізми, а також дрібних часток деревини, для чого при подрібненні застосовувати гострий інструмент.

Не рекомендують зберігати тріску в невеликих (менше 200 м<sup>3</sup>) відкритих купах, за винятком короткого часу, оскільки атмосферні опади можуть повністю наситити їх водою [5]. У деяких країнах розмір купи тріски вважають прямим фактором ризику займання, а у випадку більших куп (наприклад, 5000 м<sup>3</sup> в Італії) вимагають додаткових протипожежних заходів та постійну перевірку стану куп, що спричинює додаткові витрати.

У Швеції страхові компанії встановлюють верхні межі висоти куп та часу зберігання деревної тріски, зокрема, тріску із стовбурової деревини можна зберігати в купах висотою 15 м протягом 9 місяців, а з порубкових решток- в купах висотою 7 м не більше 6 місяців. При цьому категорично не дозволяють ущільнювати купи тріски, виготовленої з порубкових решток [11].

Процес самозаймання куп тріски залежить від балансу між виробленням тепла і його відведенням. Точної температури для самозаймання не встановлено. Найчастіше воно відбувається в купах, неоднорідних за своїм складом, тому матеріал повинен бути однорідним за типом палива, розміром часток, вмістом вологи та ступенем ущільнення. При цьому не можна додатково ущільнювати тріску в купах.

Рекомендують формувати купи витягнутої форми, шириною вдвічі більшою за висоту. Якщо треба збільшити обсяг зберігання, робити купу тріски довше, а не ширше і вище, збільшуючи таким чином ефект відведення теплоти в навколишнє середовище. Купи слід перегортати при збільшенні температури вище 60 °C [12]. Для уникнення зволоження тріски дощем, що може прискорити мікробіологічне розкладання та зменшити питомий вміст енергії, її слід накривати спеціальними напівпроникними плівками або матеріалом на паперовій основі. Деревну тріску слід вилучати зі складу, дотримуючись принципу FIFO (“first in- first out” або «першим прийшов – першим вийшов») [6].

Хоча, щодо останнього положення, можливий інший підхід. Так, результати дослідження, проведеного у Швеції [7] показали, що втрати сухої речовини тріскою були найбільшими в перший тиждень, а більший початковий вміст вологи призводив до більших втрат сухої речовини. Було зроблено висновок, що в деяких випадках слід використовувати принцип LIFO або «останній прийшов, перший вийшов», щоб зменшити загальні втрати енергії та сухої речовини.

Для зменшення впливу тривалого зберігання вологої тріски на втрату нею сухих речовин в Скандинавських країнах можуть застосовувати логістичний прийом “Fast-Truck supply”, або «швидке постачання» тріски з порубкових решток безпосередньо споживачеві без проміжного зберігання [4]. Цей підхід може знизити рівень витрат від 8% до 13% залежно від рівня втрат сухої речовин і стосується тріски, заготовленої в період з липня по жовтень, бо вона може зберігатись в гірших природних умовах, зволожуватись і втрачати сухі речовини. Натомість, тріска, заготовлена з березня по червень, при зберіганні добре висихає і менше втрачає

сухих речовин, тому має найкращу якість і може використовуватись в найхолодніші місяці, коли потрібне якісне сухе паливо. Певні обмеження цього підходу полягають в тому, що котли споживача мають бути розраховані на споживання такої «зеленої» тріски з вологістю 50...55%. Також, коли вологість вища, ціна на таку тріску може бути різною, що змінить баланс витрат та вигід.

Перевезення деревного палива є однією з суттєвих витрат в ланцюгу його постачання. Перевезення дров або тріски на відстань 100 км (в обидва кінці) коштує близько 2,2 Євро/м<sup>3</sup> [13].

У більшості європейських країн енергетичну деревину та деревну тріску переважно транспортують вантажівками, але у Фінляндії та Австрії її часто везуть залізницею чи водою на середні та великі відстані. Вантажний транспорт зазвичай використовують на відносно коротких відстанях (<100 км), коли потрібна гнучкість постачання або відсутня інфраструктура для поїздів і суден. Вважається, що економічно обґрунтовані відстані транспортування становлять до 50...100 км для тріски з порубкових решток, 150 км для тріски з круглого лісу та 100...200 км для тріски з енергетичних культур. Залізничний транспорт рекомендується для більш віддалених напрямків (понад 145 км) [3]. Середня відстань доставки деревного палива залізничним транспортом у Фінляндії у 2017 році становила 274 км.

У Фінляндії та Швеції при транспортуванні лісової сировини домінують 3-4-вісні тягачі та 4-5-вісні причепа. У Фінляндії з 2013 року дозволена повна маса вантажівок-трісковозів з причепами може становити 68 т для 8-вісної і 76 т для 9-вісної комбінації. Умовою є те, що 65% осей причепів повинні мати здвоєні шини, інакше максимальна вага буде обмежена відповідно 64 і 69 т. У Швеції максимальну повну масу збільшено до 64 т на більшості доріг у 2015 році та до 74 т на окремих дорогах у 2017 році.

На відміну від більшості країн, що широко використовують деревне паливо в енергетичних цілях, і де основним його джерелом є порубкові рештки, в Україні вони майже не використовуються для виробництва біопалива. Враховуючи, що верхівки та гілки дерев по масі становлять близько 15...20% до маси стовбура [14], а обсяг ділової та дров'яної деревини при заготівлі приблизно однаковий, причому верхівки та гілки відділяються як від ділової так і дров'яної деревини, порубкові рештки можуть збільшити поточний обсяг заготівлі деревного палива ще на 30...40%.

На основі порівняння практики виробництва тріски в Україні та Фінляндії [15] можна відзначити, що кри-

тичними моментами, характерними для України, є низька механізація лісозаготівельних процесів, відсутність практики заготівлі порубкових решток, висока ціна вхідної сировини (дров), нижча ефективність перевезень через більш ніж вдвічі меншу вагу доставки, обмежена практика застосування котельного обладнання, що може використовувати вологе паливо (в Фінляндії середня вологість тріски становить 45...60%, тому такі котли застосовуються і обладнуються конденсаційними економайзерами для утилізації теплоти, що витрачена на випаровування вологи з палива). Також в Україні більш спрощений, тому менш точний контроль паливних характеристик тріски.

#### Висновки

1. Перспективне зростання кількості більш потужних проєктів енергетичного використання деревини в Україні потребуватиме залучення додаткових ресурсів для виробництва тріски, якими є порубкові рештки, що наразі майже не використовуються.
2. Ефективній заготівлі порубкових решток сприяє комплексна механізація процесу заготівлі деревини.
3. Зберігання тріски, особливо виробленої з порубкових решток, потребує виконання ряду умов, що зменшують втрати нею сухих речовин (недовге зберігання, невеликі купи, контроль вологості та температури).
4. Для України найбільш обґрунтованим способом отримання тріски з дров'яної деревини є її зберігання на проміжних складах або на майданчиках самих підприємств в умовах, що сприяють її підсушуванню, з подрібненням якомога ближче до дати її паливного використання.
5. Більша економічна ефективність перевезення деревної тріски досягається збільшенням одиничної потужності та маси перевезення, а також зниженням її вологості.
6. Досвід використання тріски, виготовленої із щойно заготовленої деревини, вказує на необхідність обладнання котельних котлами для спалювання вологого палива та утилізаторами теплоти димових газів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *J. Giuntoli, S. Searle, et al.* Carbon accounting of bioenergy and forest management nexus. A reality-check of modeling assumptions and expectations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 134, 2020, 110368, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110368>

2. *M. Junginger, A. Faaij, R. Björheden, W.C. Turkenburg*, Technological learning and cost reductions in wood fuel supply chains in Sweden, *Biomass and Bioenergy*, Volume 29, Issue 6, 2005, Pages 399-418, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.06.006>.

3. *Moskalik, Tadeusz & Gendek, Arkadiusz.* (2019). Production of Chips from Logging Residues and Their Quality for Energy: A Review of European Literature. *Forests*. 10(3). 1-14. [10.3390/f10030262](https://doi.org/10.3390/f10030262)

4. *Lauri Sikanen, Olli-Jussi Korpinen, Jouni Tornberg, Timo Saarentaus, Kaisu Leppänen & Miina Jahkonen (eds.)*. Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals. Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke Julkaisija: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016.

5. *Villu Vares (ed.)*. Wood Fuel User Manual. Tartu Regional Energy Agency, Tartu, 2020, [www.trea.ee](http://www.trea.ee).

6. *Wood Fuels Handbook*. Prepared by: Dr. Nike Krajnc. FAO, Pristina, 2015.

7. *Erber, Gernot & Kanzian, Christian & Stampfer, Karl.* (2015). Modelling natural drying of European beech (*Fagus sylvatica* L.) logs for energy based on meteorological data. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 31. 1-30. [10.1080/02827581.2015.1080294](https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1080294)

8. *Väättäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Enström, J., Laitila, J., Prinz, R., & Routa, J.* (2020). Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 42(1), 39–61. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.803>

9. *Gowen, D.*, 2020. Dry matter losses during biomass storage - Measures to minimize feedstock degradation, *IEA Bioenergy*.

10. *Serup, H., Kofman, P. D. et al.* 2005. Wood for Energy Production, Irish edition. COFORD, Dublin.

11. *BISYPLAN web-based handbook*, 2012, <http://www.bioenergyprof.eu/handbooks/bisyplan/html-files-en/handbook-intro.html>

12. *Physical Transformation Processes of Forest Biomass: Chipping, Bundling, Drying and Control of Particle Size Distribution*. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 85, 2015 WIT Press, [doi:10.2495/978-1-84566-062-8/003](https://doi.org/10.2495/978-1-84566-062-8/003)

13. *Wood Fuels Handbook*. AEBIOM, 2008

14. *Alakangas, E., Hursakainen, M., Lantikainen-Luutama, J., Korhonen, J.* Properties of indigenous fuels in Finland, *Jyväskylä: VTT Technology 272*, 2016.

15. *Matti Virkkunen, VTT, Yevhen Oliinyk, SEC Biomass*. 07.02.2020. Development for Opportunities for Utilisation of Biomass Residues in the Renewable Sector of Ukraine. Presentation.

## ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE TO EXPAND PRODUCTION AND SUPPLY OF WOOD CHIPS IN UKRAINE

Kramar V.G., Ph.D.

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.9>

The prospect of wider implementation of more powerful wood biomass projects in Ukraine will lead to an increased demand of wood chips, and its increased production is expected from logging residues, which now are almost unused, as well as the continuation and possible expansion of its production from logwood. When organizing the production and supply chains of wood chips, the advanced methods of timber harvesting and the possibility of their adaptation in Ukraine should be considered, as well as to increase economic efficiency of supply, taking into account the need to save wood chips fuel properties during storage, which requires proven methods of reducing of moisture content and preventing the dry matter loss. International experience shows that production, storage and supply methods of wood chips directly affect its quality and fuel characteristics, and its efficient use as fuel must be ensured by appropriate technical solutions of boiler equipment.

References 15, figure 1.

**Key words:** wood chips, harvesting residues, moisture content, dry matter, energy in fuel.

1. *J. Giuntoli, S. Searle, et al.* Carbon accounting of bioenergy and forest management nexus. A reality-check of modeling assumptions and expectations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 134, 2020, 110368, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110368>

2. *M. Junginger, A. Faaij, R. Björheden, W.C. Turkenburg*, Technological learning and cost reductions in wood fuel supply chains in Sweden, *Biomass and Bioenergy*, Volume 29, Issue 6, 2005, Pages 399-418, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.06.006>.

3. *Moskalik, Tadeusz & Gendek, Arkadiusz.* (2019). Production of Chips from Logging Residues and Their Quality for Energy: A Review of European Literature. *Forests*. 10(3). 1-14. 10.3390/f10030262

4. *Lauri Sikanen, Olli-Jussi Korpinen, Jouni Tornberg, Timo Saarentaus, Kaisu Leppänen & Miina Jahkonen (eds.)*. Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals. Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke Julkaisija: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016.

5. *Villu Vares (ed.)*. Wood Fuel User Manual. Tartu Regional Energy Agency, Tartu, 2020, [www.trea.ee](http://www.trea.ee).

6. *Wood Fuels Handbook*. Prepared by: Dr. Nike Krajnc. FAO, Pristina, 2015.

7. *Erber, Gernot & Kanzian, Christian & Stampfer, Karl.* (2015). Modelling natural drying of European beech (*Fagus sylvatica* L.) logs for energy based on meteorological data. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 31. 1-30. 10.1080/02827581.2015.1080294

8. *Väätäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Enström, J., Laitila, J., Prinz, R., & Routa, J.* (2020). Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 42(1), 39–61. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.803>

9. *Gowen, D.*, 2020. Dry matter losses during biomass storage - Measures to minimize feedstock degradation, IEA Bioenergy.

10. *Serup, H., Kofman, P. D. et al.* 2005. Wood for Energy Production, Irish edition. COFORD, Dublin.

11. *BISYPLAN web-based handbook*, 2012, <http://www.bioenergyprof.eu/handbooks/bisyplan/html-files-en/handbook-intro.html>

12. *Physical Transformation Processes of Forest Biomass: Chipping, Bundling, Drying and Control of Particle Size Distribution*. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 85, 2015 WIT Press, doi:10.2495/978-1-84566-062-8/003

13. *Wood Fuels Handbook*. AEBIOM, 2008

14. *Alakangas, E., Hursakainen, M., Lantikainen-Luutama, J., Korhonen, J.* Properties of indigenous fuels in Finland, Jyväskylä: VTT Technology 272, 2016.

15. *Matti Virkkunen, VTT, Yevhen Oliinyk, SEC Biomass.* 07.02.2020. Development for Opportunities for Utilisation of Biomass Residues in the Renewable Sector of Ukraine. Presentation.

Отримано 16.05.2022

Received 16.05.2022