



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

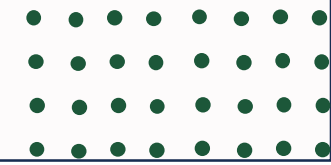
Попередня підготовка біомаси як паливної сировини

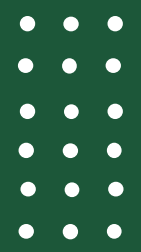
Драгнєв Семен, к.т.н.,
ТОВ «НТЦ «Біомаса»,
Біоенергетична асоціація України



Зміст

- 01** Характеристики біомаси як паливної сировини
- 02** Подрібнення біомаси
- 03** Сушіння біомаси
- 04** Брикетування біомаси
- 05** Гранулювання біомаси
- 06** Підготовки біомаси у комплексних технологіях її переробки

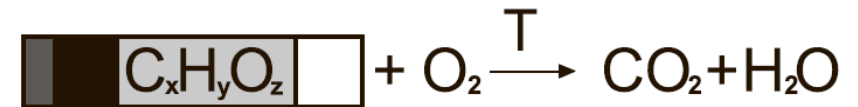
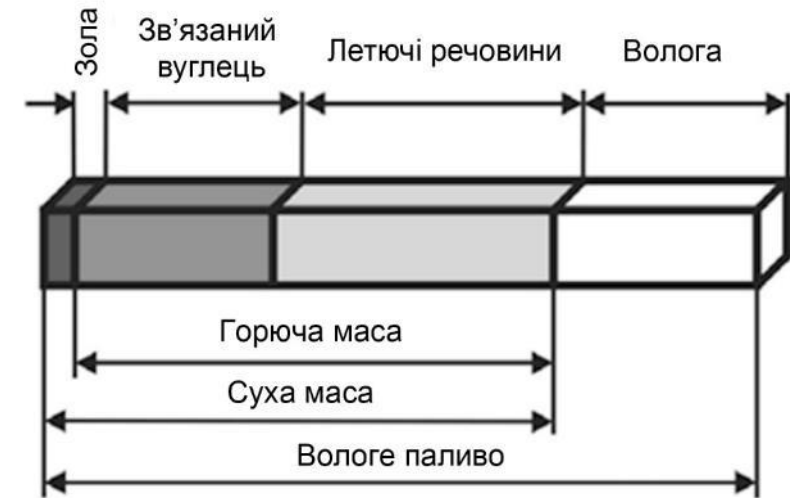




1 Характеристики біомаси як паливної сировини

Характеристики біомаси

- **хімічний склад**
- вміст золи, вологи, летючих речовин
- теплота згоряння
- характеристики плавкості золи
- розміри, об'єм і щільність біомаси/біопалива



Основні компоненти хімічного складу біомаси:

- **Целюлоза** [природний полімер, полісахарид $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$];
- **Геміцелюлоза** [високомолекулярні полісахариди, що відрізняються від целюлози тим, що легко гідролізуються слабкими розчинами мінеральних кислот];
- **Лігнін** [складний ароматичний природний полімер, який скріплює целюлозні волокна і утримує їх на місці];
- **Екстрактивні речовини** [водорозчинні сполуки, що включають неструктурні цукри та білки; розчинні у етанолі компоненти представлені хлорофілом та восками];
- **Зола** [неорганічні речовини].

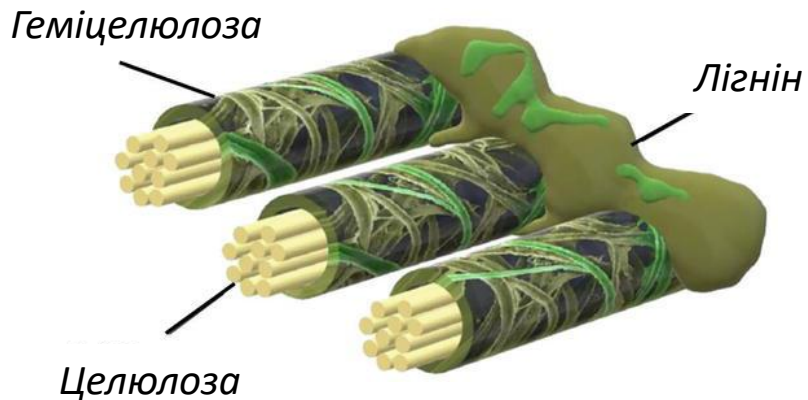
Хімічний склад деревини, трав'янистої біомаси та відходів

Склад сировини	Деревина	Трав'яниста біомаса	Тверді побутові відходи
Летючі речовини	84,0%	79,1%	76,7%
Зв'язаний вуглець	14,7%	15,4%	14,8%
Зола	1,3%	5,5%	6,6%
<i>Структурні речовини</i>			
Целюлоза	51,2%	32,1%	28,4%
Геміцелюлоза	21,0%	18,6%	16,4%
Лігнін	26,1%	16,3%	12,5%

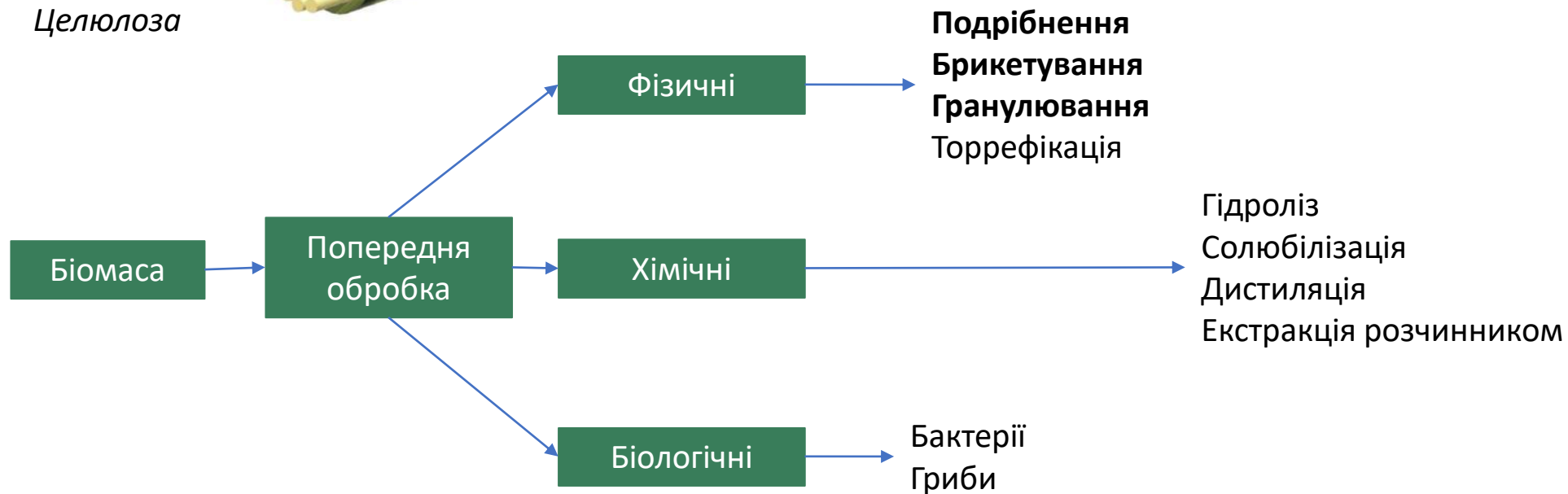
Джерело: <https://www.intechopen.com/chapters/52751>

Недоліки багатьох типів сирої біомаси, з точки зору хімічних і фізичних властивостей, неоднорідності, можна подолати попередньою обробкою для отримання сировини, готової до подальшої переробки.

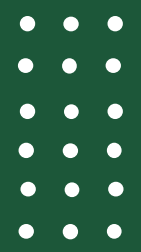
Технології підготовки біомаси



Напрямок біоконверсії та мета переробки біомаси визначають необхідні способи попередньої обробки біомаси, які розділяються на фізичні, хімічні та біологічні.

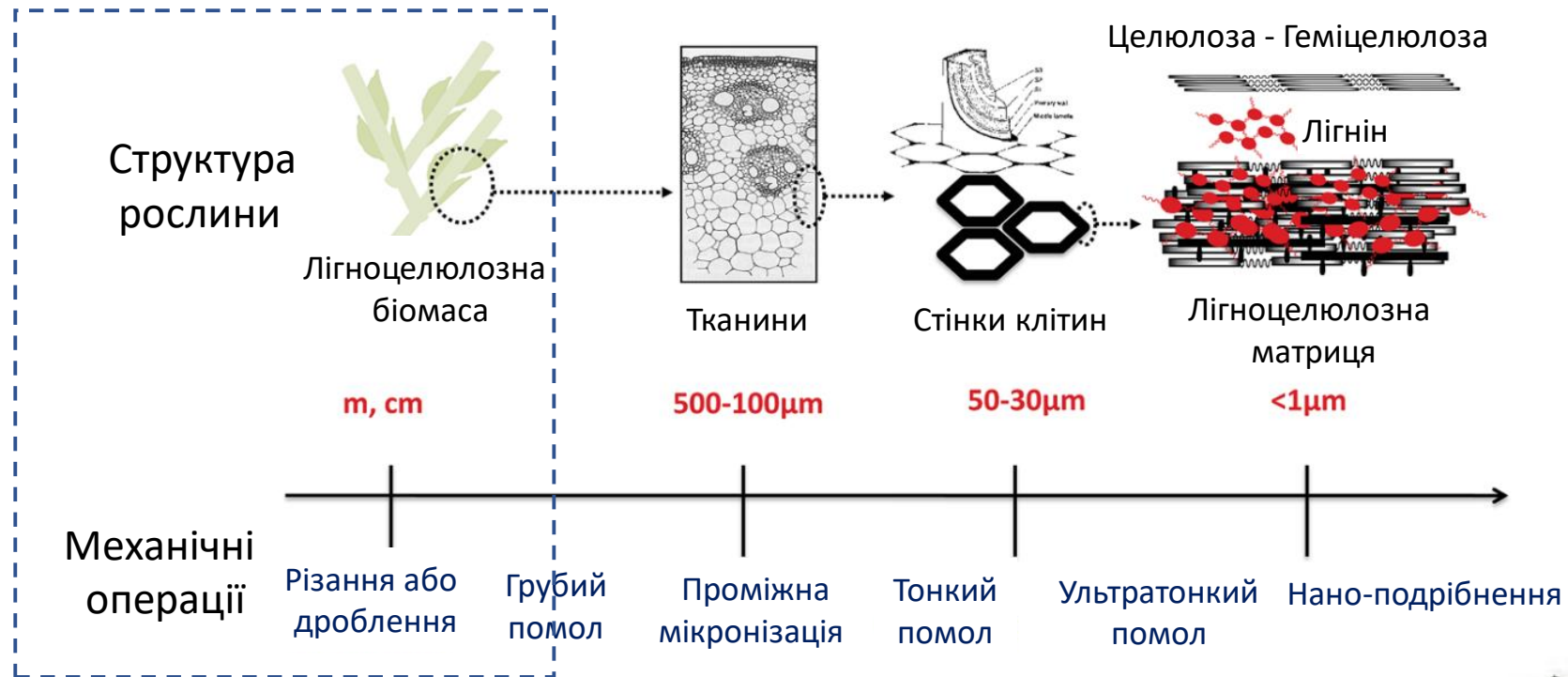


Джерело: <https://www.intechopen.com/chapters/73215>

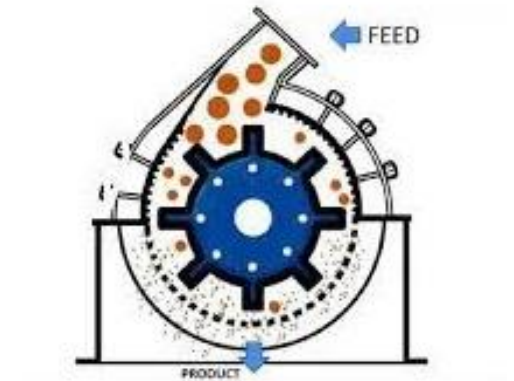
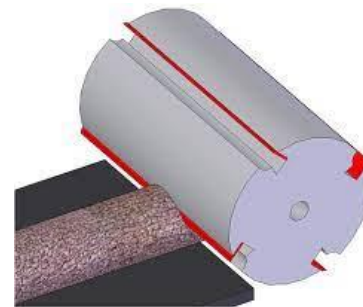


2 Подрібнення біомаси

Види подрібнення



- Рубальні машини
- Дробарки



Дискова рубальна машина

DP 660 E 30 кВт

Деревоподрібнююча машина DP 660 E з електричним двигуном призначена для подрібнення відходів деревообробки: обапіл, рейки, горбилі, верхівки та гіляки дерев в технологічну щепу.

Дискового типу з двома регульованими рубальними ножами та одним контрножем.

Дробильний диск діаметром 800 мм.

Розміри подрібнювальної деревини: діаметр до 160 мм; ширина до 240 мм; довжина від 300 мм і більше.

Розміри фракції тріски на виході: 10 – 40 мм.

Назва показника, одиниця виміру	Значення
Продуктивність, т/год	до 6
Споживана потужність, кВт	30
Частота обертання диска, об/хв	1250
Швидкість подачі деревини, м/с	0,8
Висота викидання маси, м	3
Довжина, мм	1500
Ширина, мм	1600
Висота з трубою і без, мм	2800/1700
Маса, кг	960



Джерело: <https://olnova.com.ua/rubalna-mashyna-dp-660-e-30-kvt/>

Роторна рубальна машина

DP 660 P

Деревоподрібнююча машина DP 660 P (ротор ножового типу) з приводом від електродвигуна, призначена для подрібнення кускових відходів деревообробки, що утворюються при виробництві пиломатеріалів та фанери, а також кусків кори, на тріску.

Розміри подрібнювальної деревини: товщина до 100 мм; ширина до 450 мм; довжина до 450 мм.

Розміри фракції тріски на виході: довжина 5-20 мм; ширина 5-10 мм; товщина 5-10 мм.

Назва показника, одиниця виміру	Значення
Продуктивність, т/год	2-4
Споживана потужність, кВт	30
Частота обертання ротора, об/хв	1800
Діаметр ротора, мм	430
Викидання тріски	вниз
Довжина, мм	1470
Ширина, мм	1180
Висота, мм	1720
Маса, кг	1080



Джерело: <https://olnova.com.ua/rubalna-mashyna-dp-660-p/>

Молоткова дробарка

DP 660 M

Однороторний молотковий подрібнювач DP 660 M з приводом від електричного двигуна, призначений для подрібнення технологічної та паливної щепи, стружки, шпону, кусків кори, дрібних відходів деревообробки, що утворюються при виробництві пиломатеріалів та фанери, а також інших біо-продуктів до необхідної фракції.

Важливою умовою застосування подрібнювача є робота в закритому приміщенні на сухій сировині. Розміри фракції на виході: 3-5 мм довжина; 1-2 мм ширина і товщина.

Назва показника, одиниця виміру	Значення
Продуктивність, т/год	1,5
Споживана потужність, кВт	45
Частота обертання ротора, об/хв	1800
Діаметр ротора, мм	675
Кількість молотків, шт	72
Викидання матеріалу	повітря
Довжина, мм	1880
Ширина, мм	1000
Висота, мм	1840
Маса, т	1,9



Джерело: <https://olnova.com.ua/molotkovyi-podribniuvach-dp-660-m/>

Підготовка до подрібнення



Сегментний подрібнювач соломи

Солома, що поступає на виробництво у вигляді тюків, подрібнюється в дві, а інколи і в три стадії. На першій стадії тюк розділяється на окремі частини та солома подрібнюється до фракції довжиною приблизно 5-25 мм за допомогою соломорізки- подрібнювача тюків.

Подрібнювач тюків соломи ІТС-2



Продуктивність 800-1000 кг/год
Потужність 70,3 кВт
Кількість ріжучих сегментів на шнеках 574 шт
Кількість молотків подрібнюючого агрегату 60
Вологість сировини на вході до 25%
Розмір фракції на виході – залежить від сита
(для брикетування 1-5 мм)
Рулони і прямокутні тюки вагою до 800 кг

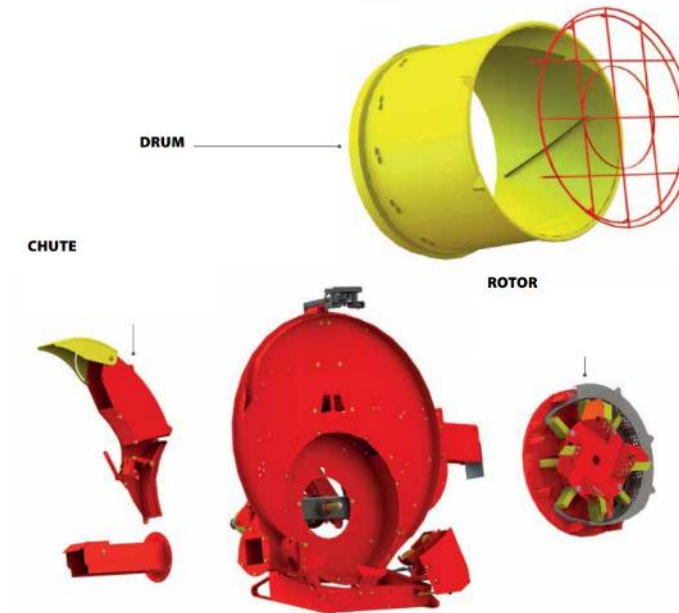
Джерело: <https://briq-tech.com/toolinfo/podribnyuvach-tyukiv-solomy-its-05>

Барабанний подрібнювач тюків соломи



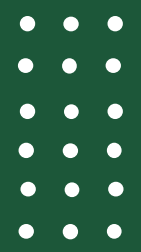
Tomasser RB30

Продуктивність до 2500 кг/год
Встановлена потужність 31,5 кВт
Вхідна сировина у круглих рулонах та
прямокутних тюках
Вологість сировини до 35% (можливо до
60% при спец виконанні)
Розмір подрібненої соломи від 1 до 8 см



Джерело:
<https://www.teagle.co.uk/>

Джерело: <https://tomasser.pl/en/products-tomasser/rb30-en>



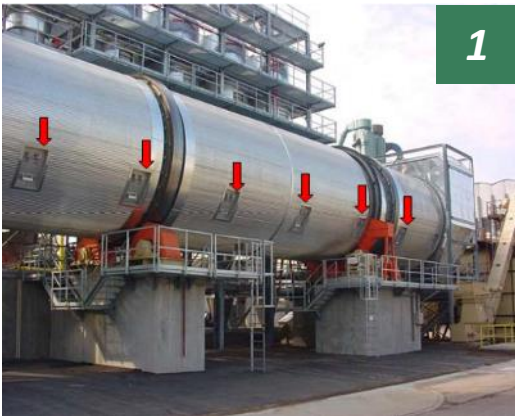
3 Сушіння біомаси

Види сушарок біомаси

При необхідності, сушіння сировини може здійснюватися без застосування спеціального теплового обладнання на відкритому повітрі, на сонці, тощо, або із використанням сушарок.

Види сушарок:

1. барабанні;
2. стрічкові;
3. аеродинамічні;
4. барабанні трубчасті;
5. сушарки перегрітою парою.



Енергетичні витрати на висушування сировини

Енергетичні витрати при висушуванні сировини визначаються витратами теплоти, необхідними для випаровування певної кількості вологи, для досягнення необхідної вологості (наприклад, для гранулювання 10-12%).

Кількість вологи, що необхідно випарувати, визначається з рівняння:

$$\Delta W = M_1 \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}$$

де ΔW - маса води, що необхідно випарувати, кг;

M_1 - початкова маса сировини, кг;

w_1 - початкова вологість сировини, %;

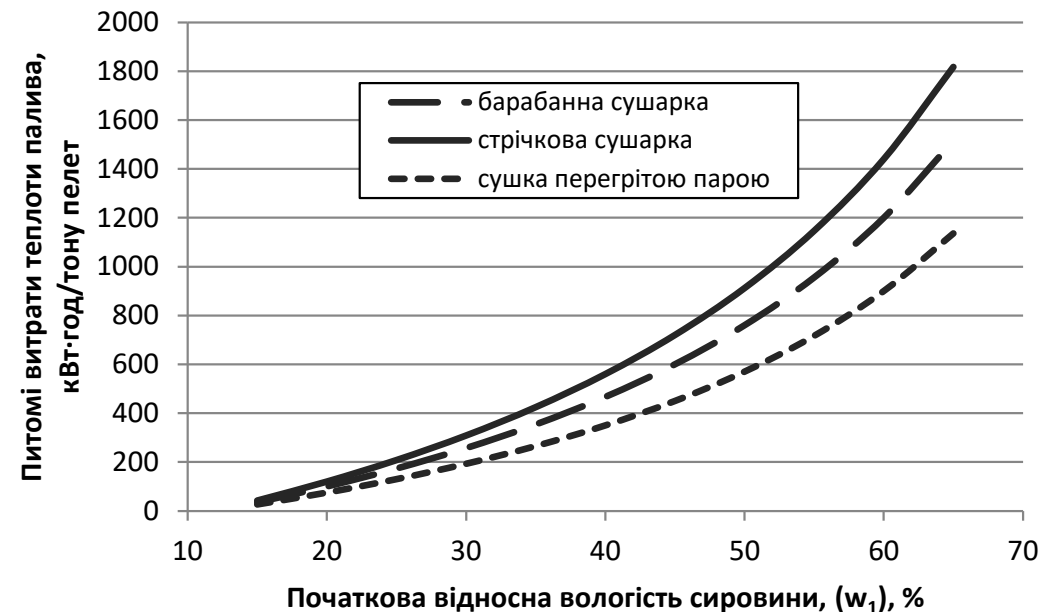
w_2 - кінцева вологість сировини, %.

Загальна кількість теплової енергії для сушіння, становить приблизно 3-4 МДж на кг води, з яких 2,5 МДж/кг необхідно для попереднього нагрівання та випаровування води.

Орієнтовні витрати теплоти в перерахунку на теплову енергію в паливі, необхідні для випаровування 1 тонни води в сушарках різного типу такі:

- барабанні, трубчато-барабанні - 1000 кВт·год;
- стрічкові - 1200 кВт·год;
- низькотемпературні – 1000 кВт·год;
- сушка перегрітою парою – 750 кВт·год.

Розрахункові витрати теплоти в перерахунку на тонну готової продукції (пелет).



Джерело: https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf

Барабанні сушарки

Основною робочою частиною сушарки є барабан, що обертається циліндричної форми з листового металу, який встановлений на раму за рахунок опорних підшипників та роликів під нахилом до горизонтальної площини. Вздовж камери встановлені спеціальні лопатки за допомогою яких проходить переміщення сировини в процесі сушіння.

За рахунок вентилятора гаряче повітря чи котлові газу рухаються по всій камері. На виході повітря чи газу очищуються від пилу за допомогою вентилятора та циклону.



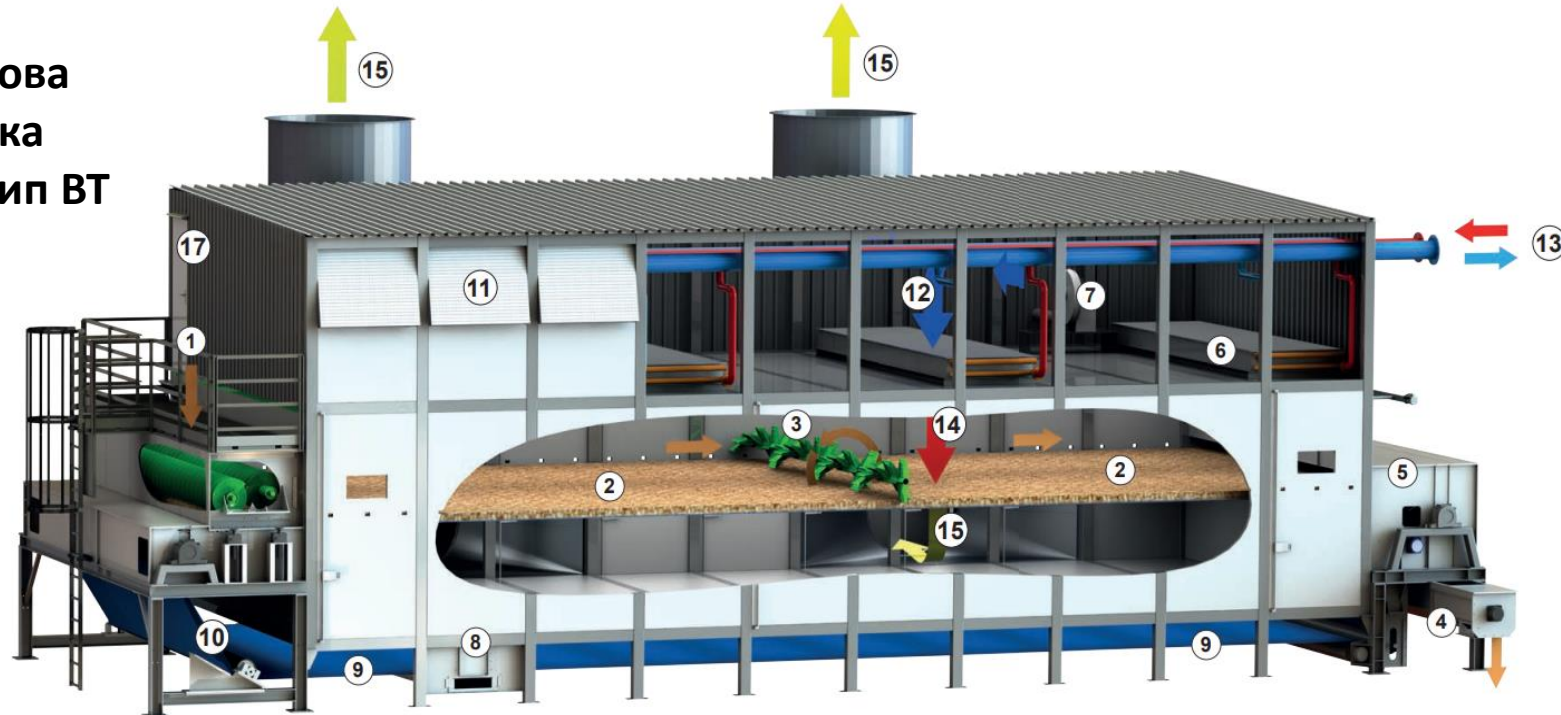
Сушарка тріски 18 т/год у
Mortagua, Португалія
вир-ва Recalor (www.recalor.com)

- Використання електроенергії від 4,2 до 7 кВт/год.
- Довжина сушильних барабанів від 6 м до 12 м.
- Продуктивність 1000-5000 кг/год
- Комплектність сушарки: сушильний барабан на рамі, теплогенератор на твердому паливі (може адаптуватися під інші види палива), циклон для відділення димових газів

Джерело: <https://www.fora-zakhid.com.ua/ua/obladnannja/sushka-barabanna/>

Стрічкові сушарки

Стрічкова
сушарка
Stela тип BT



- 1 Станція загрузки
- 2 Продукт
- 3 Змішувальний пристрій
- 4 Шнек вигрузки
- 5 Система сухої очистки стрічки
- 6 Теплообмінник
- 7 Вентилятор для системи очистки стрічки
- 8 Система вологої очистки стрічки
- 9 Плетена стрічка
- 10 Вирівнювання ходу стрічки
- 11 Приток свіжого повітря
- 12 Свіже повітря
- 13 Пдача тепла
- 14 Повітря сушіння продукту
- 15 Відпрацьоване повітря
- 16 Витяжний вентилятор
- 17 Доступ для обслуговування

У стрічкових сушарках матеріал рівномірним шаром розміщений на стрічковому транспортері, повільно переміщуваному від завантажувального пристрою до розвантажувального бункера. При цьому через матеріал пропускається сушильний агент.

Системи Stela тип BT розраховані на продуктивність від 200 кг до 60 т води за годину. Ширина стрічки залежить від необхідного випаровування води і може змінюватись від 2 до 8,4 м.

Джерело: <https://www.stela.de/uk/industry-solutions/vidnovljudvani-vidi-paliva/>



Стрічкова сушарка BT 1-6200-30 у Латвії
для тріска продуктивністю 8,5 т/год з 50% до 10%

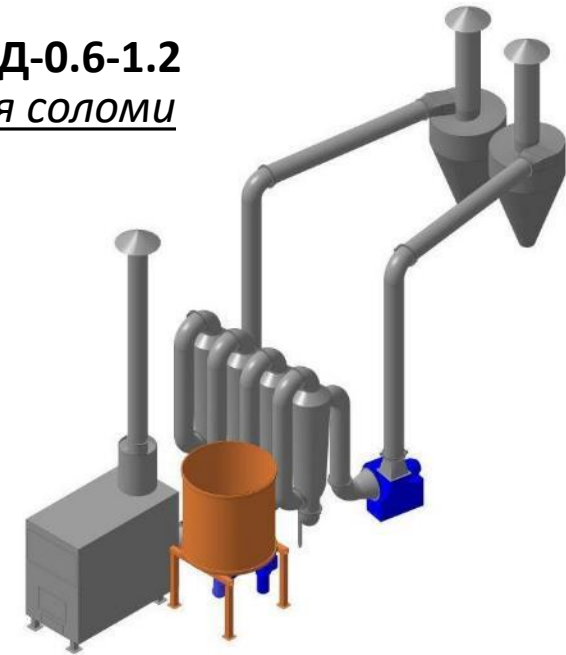
Аеродинамічні сушарки

Аеродинамічна сушарка складається з труб, за якими циркулює потік гарячого повітря, що нагрівається теплогенератором на твердому паливі.



САД-0.6-1.2
Для деревини

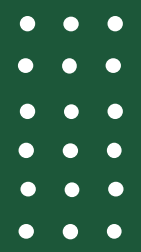
САД-0.6-1.2
Для соломи



Назва показника, одиниця виміру	Значення
<i>САД-0.6-1.2 для деревини</i>	
Продуктивність, кг/год	600-700
Вологість сировини на вході не більше, %	60
Вологість сировини на виході, %	8-12
Розмір фракції, мм	1-5
Встановлена потужність двигунів, кВт	2*5,5+3+2,2 = 16,2

Назва показника, одиниця виміру	Значення
<i>САД-0.6-1.2 для соломи</i>	
Продуктивність, кг/год	800-1000
Вологість сировини на вході не більше, %	30
Вологість сировини на виході, %	8-12
Розмір фракції, мм	1-5
Встановлена потужність двигунів, кВт	2*5,5+3+2,2 = 16,2

Джерело: <https://briq-tech.com/toolinfo/susharka-aerodynamichna-sad-06-12-dlya-solomy>



4 Брикетування біомаси

Види паливних брикетів

Паливні брикети, вироблені з біомаси, являють собою спресовані матеріали циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми з поперечним розміром не менше 25 мм і довжиною 100-400 мм. Типовий діаметр – 60-75 мм, а довжина брикетів зазвичай не перевищує 5 величин діаметру. Стандартних розмірів у даного виду продукту немає. Загалом, виділяють три типи брикетів: **NESTRO**, **RUF** та **Pini&Kay**.



NESTRO (NIELSEN) – довгі циліндричної форми або многокутного перерізу брикети, переважно, без внутрішнього отвору, отримані за рахунок застосування високого тиску. Брикети NESTRO виробляють на *гідравлічних пресах*, а NIELSEN – на *ударно-механічних пресах*.



RUF – пресовані кубо-цеглини, які виробляють на гідравлічних пресах за рахунок високого тиску. Розміри брикету залежать від пухкості вихідної сировини і прикладеного тиску.



Pini&Kay – брикети, які мають циліндричну або багатогранну форму з наскрізним отвором всередині. Брикети Pini&Kay виробляються екструдерним способом на *механічних (шнекових) пресах* шляхом поєднання високого тиску і термічної обробки (випалювання).

Джерело: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

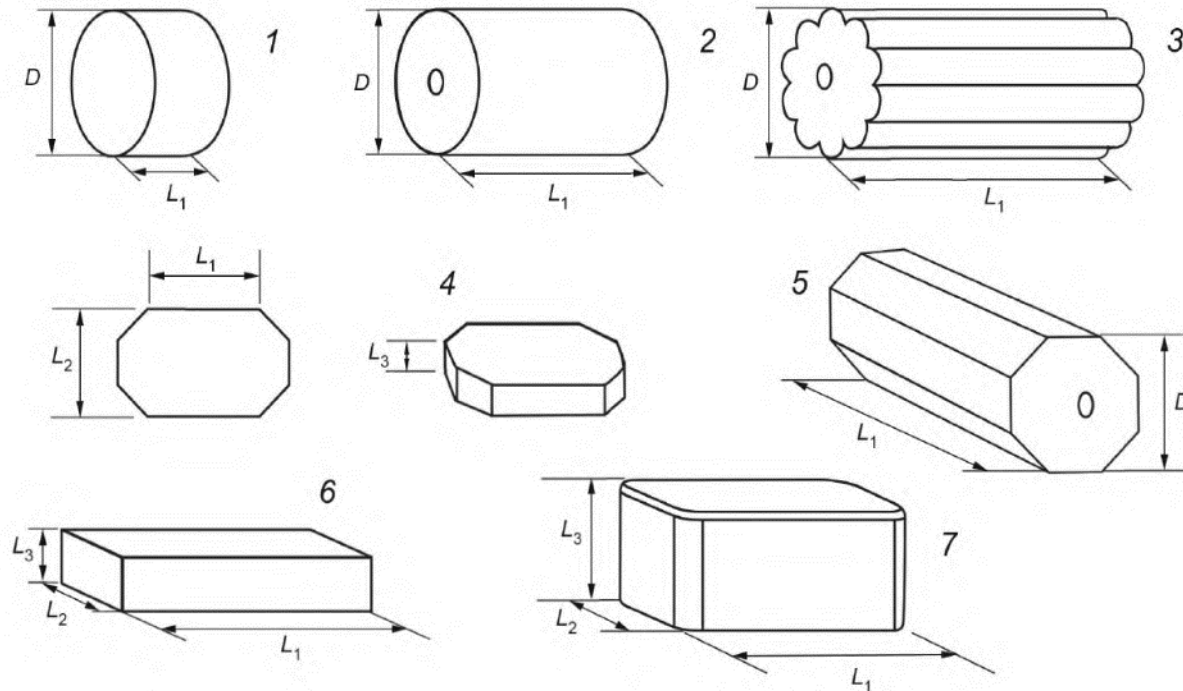
Показники якості паливних брикетів

ДСТУ EN ISO 17225-3:2022 Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи. Частина 3.

Класифікація деревних брикетів

ДСТУ EN ISO 17225-7:2022 Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи. Частина 7.

Класифікація недеревних брикетів



D – діаметр; L_1 – довжина; L_2 – ширина;
 L_3 – висота або діаметр для циліндричних брикетів.

Технічні характеристики деревних брикетів згідно ISO 17225-3

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для брикетів основного класу		
			A1	A2	B ^a
Нормовані характеристики	Походження та джерело отримання		1.1.3 Деревні стовбури 1.2.1 Хімічно необроблені деревні відходи ^b	1.1.1 Цілі дерева без кореневої системи 1.1.3 Деревні стовбури 1.1.4 Відходи лісозаготівлі 1.2.1 Хімічно необроблені деревні відходи ^b	1.1 Лісові дерева, деревні насадження та інша природна деревина 1.2 Побічні продукти та відходи деревообробної промисловості 1.3.1 Хімічно необроблена використана деревина
	Діаметр (D) або довжина (L ₁), ширина (L ₂) та висота (L ₃) відповідно рис. Б.1, Додатку Б	мм форма	Вказують діаметр, ширину, висоту і довжину Відповідно рис. Б.1, Додатку Б вказують 1 або 2 і т.д.		
	Масова частка вологи, M	% на робочій (вологий) стан	M12 ≤ 12	M15 ≤ 15	M15 ≤ 15
	Зольність, A	% на сухий стан	A1,0 ≤ 1,0	A1,5 ≤ 1,5	A3,0 ≤ 3,0
	Щільність частинок, DE	г/см ³ на роб. стан	DE1,0 ≥ 1,0	DE0,9 ≥ 0,9	DE0,9 ≥ 0,9
	Добавки ^c	% на роб. стан	≤ 2 Вказують тип і кількість добавок		
	Нижча теплота згоряння, Q	МДж/кг або кВт·год/кг на робочий стан	Q15,5 ≥ 15,5 або Q4,3 ≥ 4,3	Q15,3 ≥ 15,3 або Q4,25 ≥ 4,25	Q14,9 ≥ 14,9 або Q4,15 ≥ 4,15

Технічні характеристики деревних брикетів згідно ISO 17225-3 (продовження)

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для брикетів основного класу		
			A1	A2	B ^a
Нормовані характеристики	Масова частка азоту, N	% на сухий стан	N0,3 ≤ 0,3	N0,5 ≤ 0,5	N1,0 ≤ 1,0
	Масова частка сірки, S	% на сухий стан	S0,04 ≤ 0,04	S0,04 ≤ 0,04	S0,05 ≤ 0,05
	Масова частка сірки, Cl	% на сухий стан	Cl0,02 ≤ 0,02	Cl0,02 ≤ 0,02	Cl0,03 ≤ 0,03
	Вміст миш'яку, As	мг/кг на сух. стан	≤ 1		
	Вміст кадмію, Cd	мг/кг на сух. стан	≤ 0,5		
	Вміст хрому, Cr	мг/кг на сух. стан	≤ 10		
	Вміст міді, Cu	мг/кг на сух. стан	≤ 10		
	Вміст свинцю, Pb	мг/кг на сух. стан	≤ 10		
	Вміст ртуті, Hg	мг/кг на сух. стан	≤ 0,1		
	Вміст нікелю, Ni	мг/кг на сух. стан	≤ 10		
	Вміст цинку, Zn	мг/кг на сух. стан	≤ 100		
Довідкові характеристики	Поверхня брикетів на одиницю маси, включаючи загальну поверхню, якщо є дані	см ² /кг	Слід вказати		

^a – Брикети класу B не рекомендується використовувати у хлібопекарських печах.

^b – Наявність незначної кількості клею, змащувального масла або добавок інших лісоматеріалів, які використовуються на деревообробних підприємствах для виробництва пиломатеріалів та виробів з деревини, допустимо, але всі показники, які характеризують хімічні властивості брикетів, укладаються у вказані границі та концентрація цих домішок занадто мала, щоб приймати її до уваги.

^c – Зазначають тип добавок, який сприяє виробництву, транспортуванню та спалюванню брикетів (зв'язуючі речовини для пресування, інгібітори утворення шлаку або інші добавки, наприклад, крохмаль, кукурудзяна мука, картопляна мука, рослинна олія, лігнін)

Технічні характеристики недеревних брикетів згідно ISO 17225-7

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для брикетів основного класу	
			A	B
Нормовані характеристики	Походження та джерело отримання ^a		2 Трав'яна біомаса 3 Плодова біомаса 4 Біомаса водних рослин 5 Штучні та мимовільні суміші біомаси	
	Діаметр (D) або довжина (L ₁), ширина (L ₂) та висота (L ₃) відповідно рис. Б.1, Додатку Б	мм	Вказують діаметр, ширину, висоту і довжину	
		форма	Відповідно рис. Б.1, Додатку Б вказують 1 або 2 і т.д.	
	Масова частка вологи, M	% на робочій (вологий) стан	M12 ≤ 12	M15 ≤ 15
	Зольність, A	% на сухий стан	A6,0 ≤ 6,0	A10 ≤ 10
	Щільність частинок, DE	г/см ³ на роб. стан	DE0,9 ≥ 0,9	DE0,6 ≥ 0,6
	Добавки ^b	% на робочій стан	≤ 5 Вказують тип і кількість добавок	
	Нижча теплота згорання, Q	МДж/кг або кВт-год/кг на робочий стан	Q14,5 ≥ 14,5 або Q4,0 ≥ 4,0	
	Масова частка азоту, N	% на сухий стан	N1,5 ≤ 1,5	N2,0 ≤ 2,0
	Масова частка сірки, S	% на сухий стан	S0,2 ≤ 0,2	S0,3 ≤ 0,3
	Масова частка сірки, Cl	% на сухий стан	Cl0,1 ≤ 0,1	Cl0,3 ≤ 0,3

^a – Вказують чотириох значний номер за класифікацією ISO 17225-1. Суміші також можуть включати деревну біомасу. Якщо склад штучної суміші відомий, її характеризують, вказуючи вміст компонентів суміші у відсотках. Для характеристики мимовільної суміші першим вказують основний компонент.

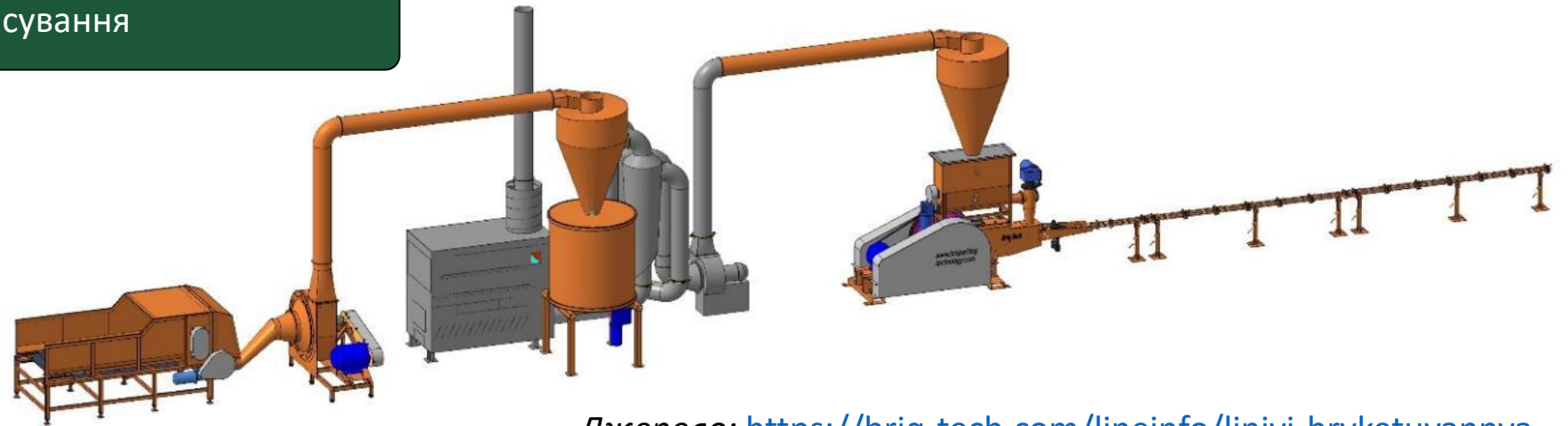
Технічні характеристики недеревних брикетів згідно ISO 17225-7 (продовження)

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для брикетів основного класу	
			A	B
Нормовані характеристики	Вміст миш'яку, As	мг/кг на сухий стан	≤ 1	
	Вміст кадмію, Cd	мг/кг на сухий стан	≤ 0,5	
	Вміст хрому, Cr	мг/кг на сухий стан	≤ 50	
	Вміст міді, Cu	мг/кг на сухий стан	≤ 20	
	Вміст свинцю, Pb	мг/кг на сухий стан	≤ 10	
	Вміст ртуті, Hg	мг/кг на сухий стан	≤ 0,1	
	Вміст нікелю, Ni	мг/кг на сухий стан	≤ 10	
	Вміст цинку, Zn	мг/кг на сухий стан	≤ 100	
Довідкові характеристики	Поверхня брикетів на одиницю маси, включаючи загальну поверхню, якщо є дані	см ² /кг	Слід вказати	

Технологічна схема брикетування



Лінія брикетування соломи ПП «Брикетуючі технології»



Джерело: <https://briq-tech.com/lineinfo/liniyi-bryketuvannya>

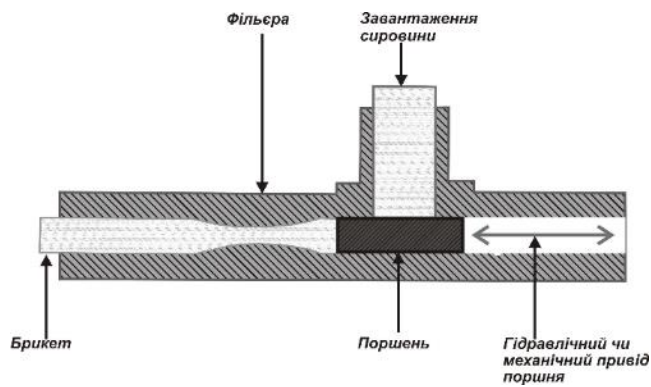
Відео брикетування соломи 300 кг/год



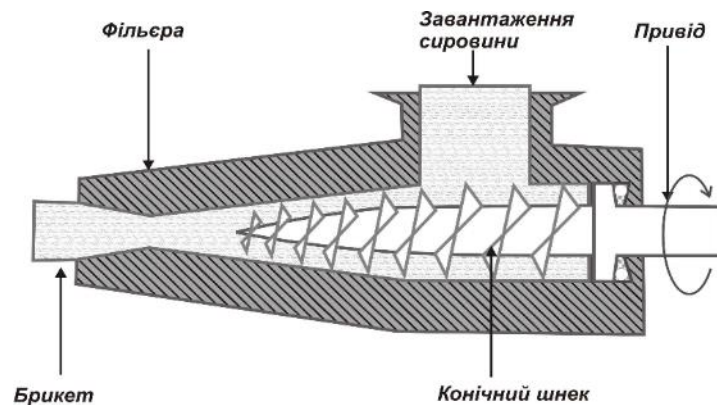
Брикетування сировини

Для брикетування біомаси використовують прес-брикетувальники двох типів: з **поршневим** і **шнековим** робочим органом.

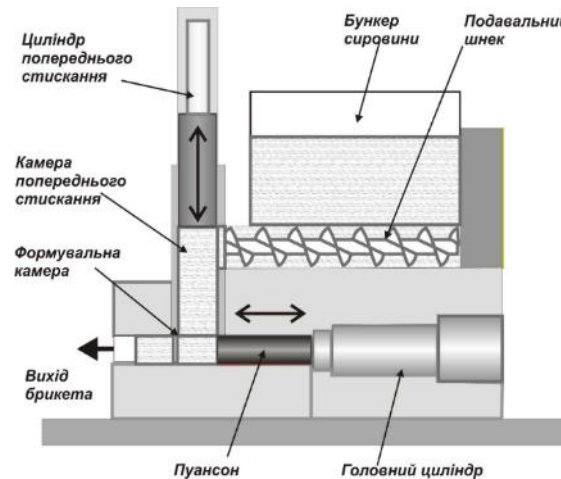
NESTRO (NIELSEN)



Pini&Kay



RUF



Переваги поршневих пресів (ударно-механічних, гідравлічних): пресуючий робочий орган працює довго і не потребує проведення частих ремонтних робіт та обслуговування.

Недоліки: періодичність робочого процесу, висока матеріаломісткість, великі габарити.

Переваги шнекових пресів: безперервний робочий процес, низька матеріаломісткість, менша маса і шумність, простота обслуговування.

Недоліки: зношення шнеку, необхідність прогріву перед запуском.

Джерело: Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетути. — Київ: Академперіодика, 2022. — 373 с.

Ударно-механічний прес-брикетувальник

ПБУ-070-800 М

Продуктивність 500-700 кг/год



Діаметр брикета 70 мм.

Переробляють рослинну біомасу, яка придатна як паливо - лушпиння, тирса, солома і т.д.

Фракція сировини 1-5 мм.

Вологість сировини 8-12%.

Потужність встановленого електрообладнання 63,77 кВт, у тому числі головний двигун 45 кВт

Габаритні розміри:

Довжина 3,3 м

Ширина 3,85 м

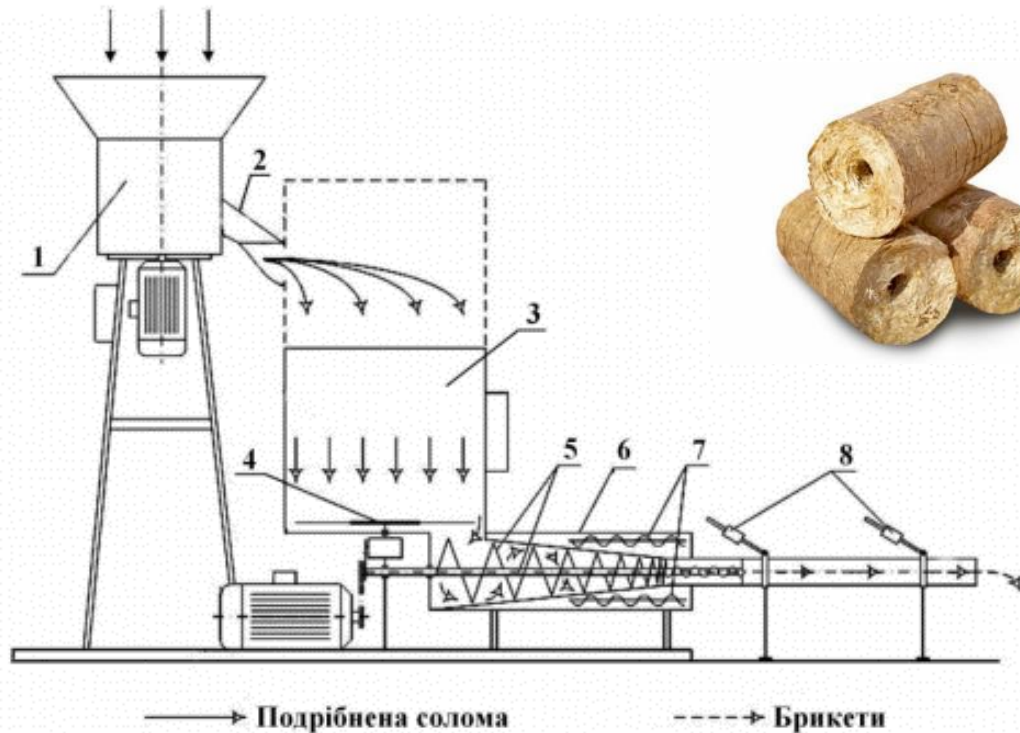
Висота 3,25 м

Лінія охолодження брикета 7 м

Вага 3500 кг

Джерело: <https://briq-tech.com/toolinfo/udarno-mekhanichnyy-pres-dlya-bryketuvannya-pbu-070-800-m>

Лінія виробництва брикетів з соломи із шнековим прес-брикетувальником



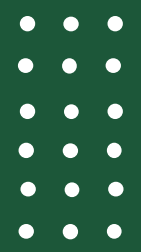
1 – роторна дробарка; 2 – направляючий лоток; 3 – завантажувальний бункер; 4 – ворушильник; 5 – конічний шнек; 6 – корпус преса-брикетувальника; 7 – електронагрівачі; 8 – механізм для регулювання щільності брикетів (підпресовувач)

Обладнання компанії ASKET (Польща) із шнековим брикетувальником **BIOMASSER** для недеревної сировини (солома, сіно, очерет)
Вологість сировини від 10 до 30%
Фракція сировини 1-5 см
Споживання електричної енергії 60-80 кВт·год/т
Брикет діаметром 80 мм з отвором.
Biomasser Duo-Set продуктивністю до 160 кг/год
Установлена електрична потужність 20,25 кВт



Джерело: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

Джерело: <https://biomasser.pl/en/>



5 Гранулювання біомаси

Гранулювання біомаси

Паливні гранули (пелети) – це ущільнене шляхом механічного пресування біопаливо, виготовлене з дробленої або подрібненої біомаси з добавками або без них, що має форму циліндра з поламаними кінцями, як правило, діаметром менше 25 мм, різної довжини в межах від 3,15 мм до 40 мм.

Порівняння насипної ваги гранул та вихідної сировини

Матеріал:	Середня насипна вага, кг/м ³		Ступінь ущільнення в порівнянні з вихідною сировиною, рази	
	від	до	від	до
Гранули:	650	700	-	-
Деревна стружка	70	200	3	10
Деревна тирса	220	250	3	
Тюкована солома	120	200	3	6
Солома, залежно від ступеня подрібнення	45	125	5	15
Соняшникове лушпиння, костриця льону	90		8	

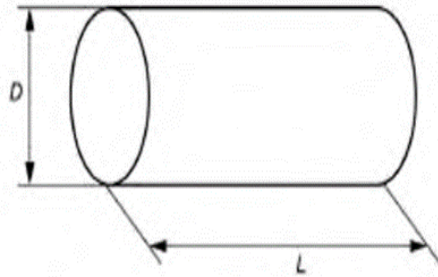


Основними характеристиками, що впливають на організацію виробничого процесу гранулювання, є вхідні показники біомаси (розмір частинок, форма, наявність включень), а також вміст вологи.

Показники якості паливних гранул

ДСТУ EN ISO 17225-2:2022 Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи. Частина 2. Класифікація деревних пелет

ДСТУ EN ISO 17225-6:2022 Тверде біопаливо. Технічні характеристики та класи палива. Частина 6. Сортавані недеревні гранули



D – діаметр;

L – довжина



Схема сертифікації якості деревних гранул, що базується на ISO 17225-2 і визначає три класи:

- ENplus A1;
- ENplus A2;
- ENplus B.

<https://enplus-pellets.eu/>

ENplus®
Quality Certification Scheme For Wood Pellets



Вимоги до якості гранул за EN plus

Параметр	Одиниця вимірювання	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B
Діаметр	мм	6±1 або 8±1		
Довжина	мм	3,15 < D ≤ 40		
Вологість	% на робочій стан	≤ 10		
Зольність	% на сухий стан	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0
Механічна міцність	% на робочій стан	≥ 98,0	≥ 97,5	
Мілка фракція	% на робочій стан	≤ 1,0 (≤ 0,5)		
Температура гранул	°C	≤ 40		
Нижча теплотворна здатність	кВт·год/кг на роб.ст.	≥ 4,6		
Насипна щільність	кг/м ³ на робочій стан	600 ≤ BD ≤ 750		
Добавки	% на робочій стан	≤ 2		
Азот		≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0
Сірка		≤ 0,04	≤ 0,05	
Хлор		≤ 0,02		≤ 0,03
Температурна плавлення золи	°C	≥ 1200	≥ 1100	
		Миш'як ≤ 1 мг/кг; Кадмій ≤ 0,5 мг/кг; Хром ≤ 10 мг/кг; Мідь ≤ 10 мг/кг; Свинець ≤ 10 мг/кг; Ртуть ≤ 0,1 мг/кг; Нікель ≤ 10 мг/кг; Цинк ≤ 100 мг/кг		

Технічні характеристики недеревних пелет згідно ISO 17225-6

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для пелет основного класу	
			A	B
Нормовані характеристики	Походження та джерело отримання ^a		2 Трав'яна біомаса 3 Плодова біомаса 4 Біомаса водних рослин 5 Штучні та мимовільні суміші біомаси	
	Діаметр (D) ^b або довжина (L) ^c відповідно рис. Б.2, Додатку Б	мм	Від D06 до D25, $D \pm 1$; $3,15 < L \leq 40$ (від D06 до D10) $3,15 < L \leq 50$ (від D12 до D25)	
	Масова частка вологи, M	% на робочій (вологий) стан	$M12 \leq 12$	$M15 \leq 15$
	Зольність, A	% на сухий стан	$A6,0 \leq 6$	$A10 \leq 10$
	Механічна міцність, DU	% на робочій стан	$DU97,5 \geq 97,5$	$DU96,0 \geq 96,0$
	Масова частка дрібних часток, F ^d	% на робочій стан	$F2,0 \leq 2$	$F3,0 \leq 3,0$
	Добавки ^e	% на робочій стан	≤ 5 Вказують тип і кількість добавок	
	Нижча теплота згоряння, Q	МДж/кг або кВт·год/кг на робочий стан	$Q14,5 \geq 14,5$ або $Q4,0 \geq 4,0$	
	Насипна щільність, BD	кг/м ³ на робочий стан	$BD600 \geq 600$	
	Масова частка азоту, N	% на сухий стан	$N1,5 \leq 1,5$	$N2,0 \leq 2,0$
	Масова частка сірки, S	% на сухий стан	$S0,2 \leq 0,2$	$S0,3 \leq 0,3$
	Масова частка сірки, Cl	% на сухий стан	$Cl0,1 \leq 0,1$	$Cl0,3 \leq 0,3$

^a – Вказують чотирьох значний номер за класифікацією ISO 17225-1. Суміші також можуть включати деревну біомасу. Якщо склад штучної суміші відомий, її характеризують, вказуючи вміст компонентів суміші у відсотках. Для характеристики мимовільної суміші першим вказують основний компонент.

Технічні характеристики недеревних пелет згідно ISO 17225-6 (продовження)

Найменування показника	Найменування технічної характеристики	Одиниця вимірювання	Значення технічної характеристики для брикетів основного класу	
			A	B
Нормовані характеристики	Вміст миш'яку, As	мг/кг на сухий стан	≤ 1	
	Вміст кадмію, Cd	мг/кг на сухий стан	≤ 0,5	
	Вміст хрому, Cr	мг/кг на сухий стан	≤ 50	
	Вміст міді, Cu	мг/кг на сухий стан	≤ 20	
	Вміст свинцю, Pb	мг/кг на сухий стан	≤ 10	
	Вміст ртуті, Hg	мг/кг на сухий стан	≤ 0,1	
	Вміст нікелю, Ni	мг/кг на сухий стан	≤ 10	
	Вміст цинку, Zn	мг/кг на сухий стан	≤ 100	
Довідкові характеристики	Плавкість золи ^f	°C	Слід вказати	

^b – Вказують конкретний розмір пелет (тобто D06, D08, D10, D12 або D25).

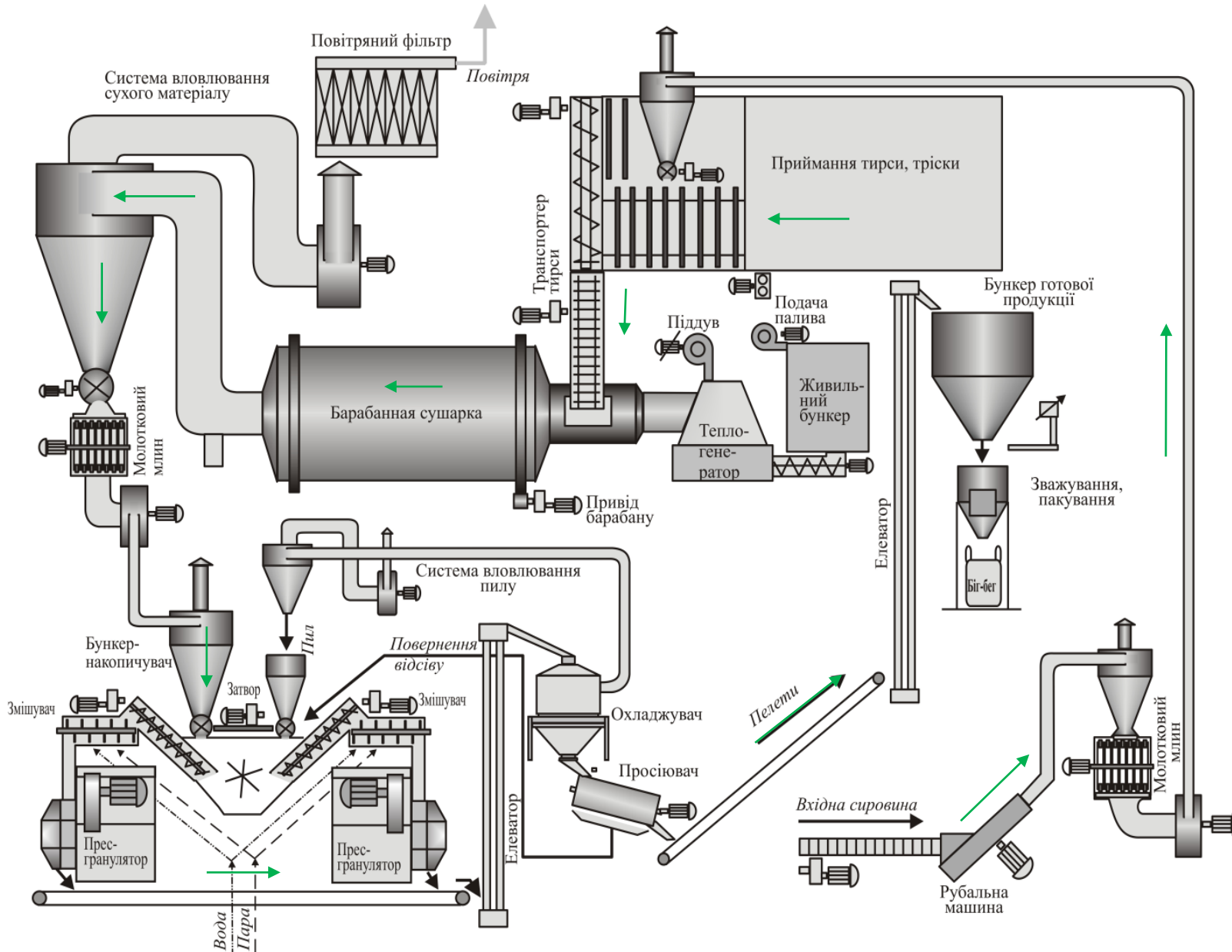
^c – Кількість пелет, довжина яких перевищує 40 мм, може бути 1% (від D06 до D10). Для пелет класів від D06 до D10 максимальна довжина повинна складати ≤ 45 мм. Пелетами довжиною більше 3,15 мм вважаються пелети, які залишилися на ситі з круглими отворами розміром 3,15 мм.

^d – На виході від виробника при завантаженні у транспортний засіб розсипом та при пакуванні у малі (до 20 кг) та більші мішки, або після постачання кінцевому споживачу.

^e – Зазначають тип добавок, який сприяє виробництву, транспортуванню та спалюванню брикетів (зв'язуючі речовини для пресування, інгібітори утворення шлаку або інші добавки, наприклад, крохмаль, кукурудзяна мука, картопляна мука, рослинна олія, лігнін).

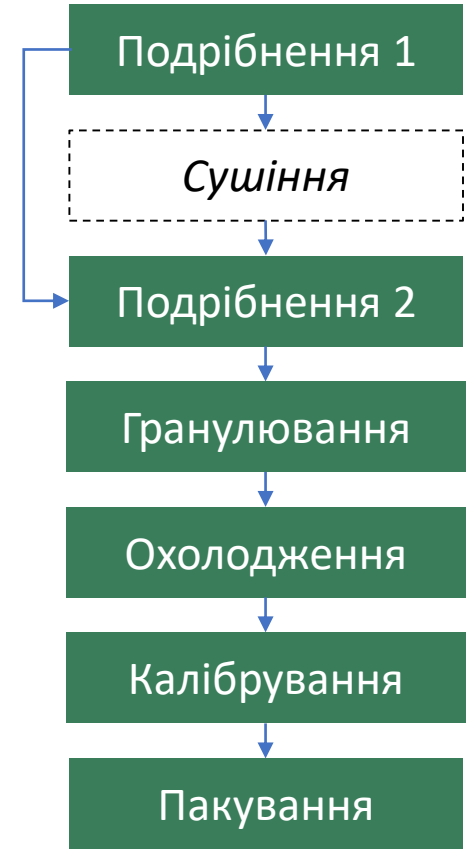
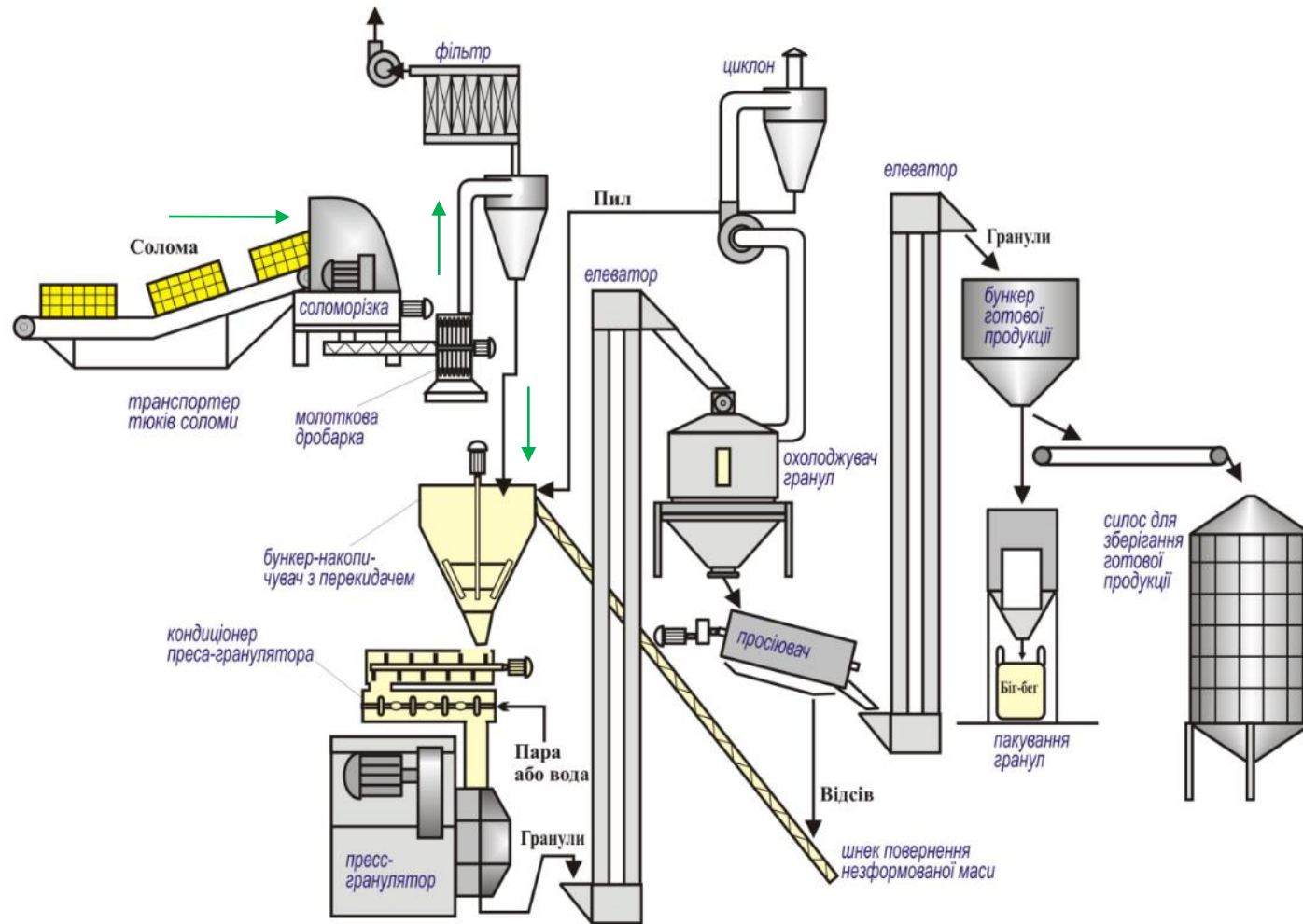
^f – Рекомендується вказувати всі характерні температури (початкову температуру осідання SSD, температуру деформації DT, температуру напівсфери HT та температуру розтікання FT), які визначаються в окиснювальній атмосфері.

Схема виробництва деревних пелет



Джерело: Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетути. — Київ: Академперіодика, 2022. — 373 с.

Схема виробництва пелет з тюків



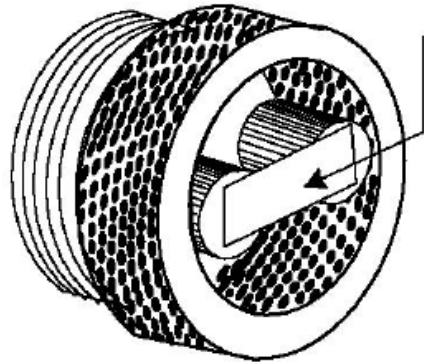
Джерело: Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетуши. — Київ: Академперіодика, 2022. — 373 с.

Види матриць пресів-грануляторів

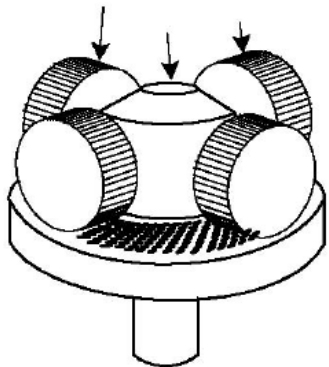
Процес утворення гранули полягає у спресовуванні подрібненої сировини, що потрапляє в канал пресування в результаті взаємодії ролика та шару матеріалу між роликом та матрицею.

Форма каналів матриці підбирається окремо для різних видів матеріалів для досягнення оптимальних умов формування гранули.

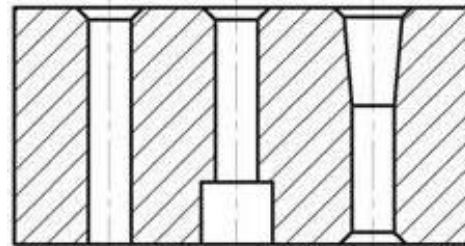
а) циліндрична матриця



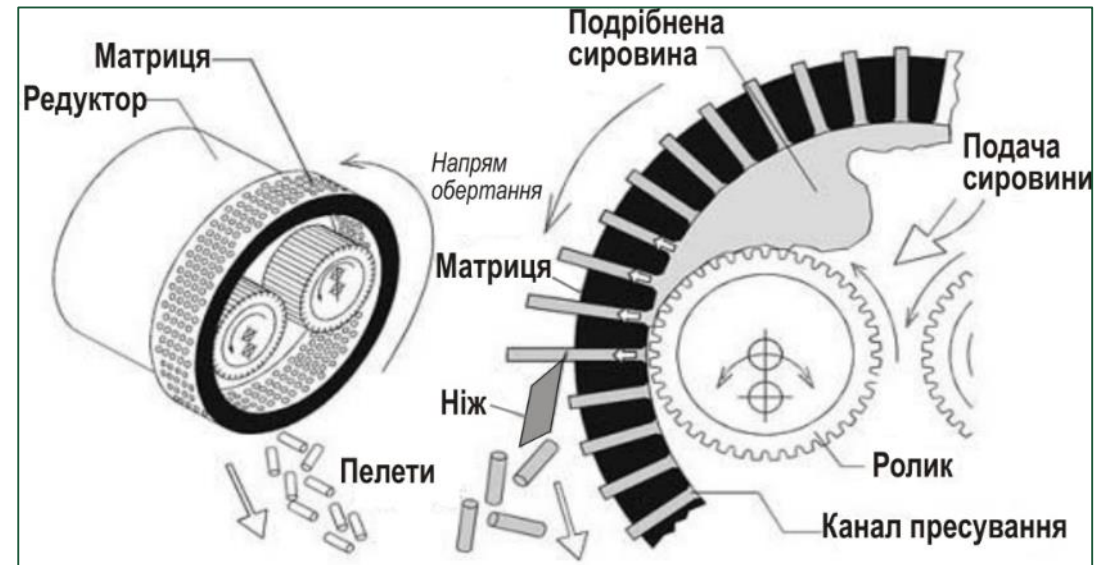
б) плоска матриця



форми каналів матриці

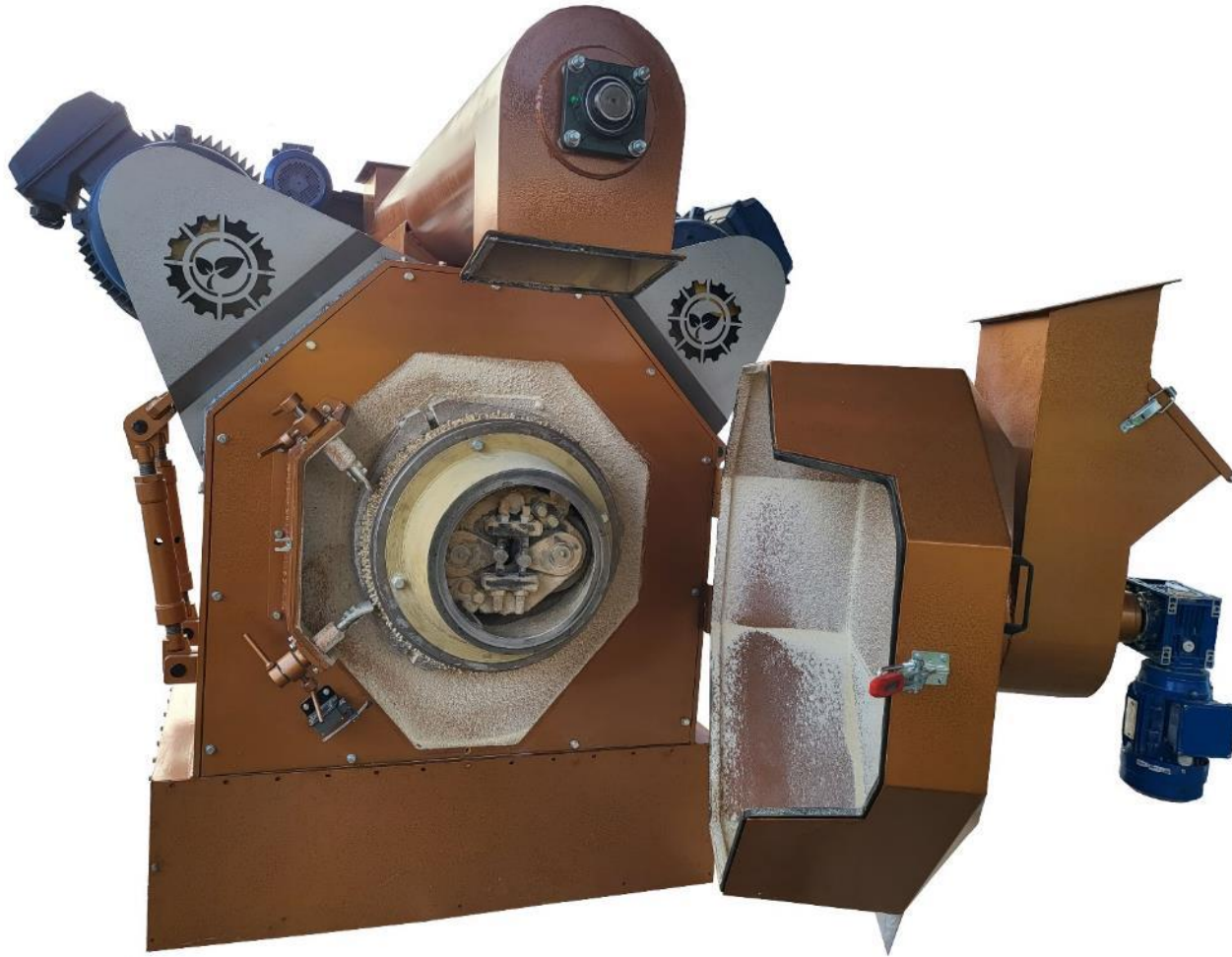


Процес утворення гранули в циліндричній матриці



Джерело: Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетухи. — Київ: Академперіодика, 2022. — 373 с.

Гранулятор з циліндричною матрицею



Гранулятор GRP-1,5

Переробляє рослинну біомасу, яка придатна як паливо, а також як корм - лушпиння, тирса, солома, люцерна і т.д. подрібнену до 3-4 мм і вологістю до 14-18%.

Гранулює без додавання клеючих речовин.

Назва показника, одиниця виміру	Значення
Продуктивність, кг/год	900-1200
Діаметр отворів матриць, мм	6 або 8
Головний двигун, кВт	2*55 або 2*45
Двигун шнека змішувача, кВт	7,5
Мотор дозуючого шнека, кВт	3
Мотор ворухителя, кВт	3
Мотори лінії охолодження, кВт	4
Мотор завантаження, кВт	1,1
Маса, т	6
Джерело електроенергії	380В 50 Гц
Довжина, мм	4730
Ширина, мм	2995
Висота, мм	3450

Джерело: <https://briq-tech.com/toolinfo/hranulyator-promyslovyy-grp-1-5>

Відео гранулювання соломи



Міні установка гранулювання

Міні-лінії гранулювання біомаси MGL 200, 400, 600, 800, 1000 виготовляють гранули з деревної тирси, соломи, іншої біомаси, харчових і кормових сумішей, паперу. Розмір сировини фракції 3-3,5 мм, вологість 12-14%. Дана лінія дозволяє реалізувати 4 технологічні операції: змішування і кондиціювання, гранулювання, охолодження і сушіння гранул та просіювання.



MGL 200

Назва показника, одиниця виміру	Значення
Продуктивність лінії, кг/год	50-150
Електрична потужність, кВт	8,85-10,85
Маса, кг	430
Площа, кв. м	від 4
Максимальна висота, мм	2230
Джерело електроенергії	400В/25 А
Можливий діаметр гранул, мм	3,5; 4,5; 6; 8

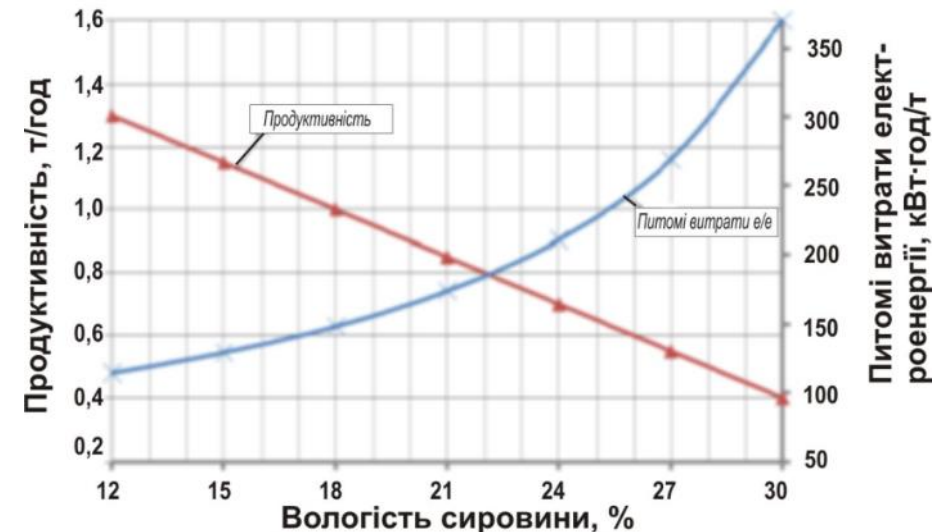


Вплив факторів на гранулювання

Фактор	Характер впливу	Примітки
Температура	Поліпшення міцності гранул при зростанні до 90 °С	При зростанні вище 90 °С подальшого поліпшення не відбувається
Розмір частинок	Характер впливу різнорідний в різних випадках	Кількість частинок розміром менше 0,5 мм не повинна перевищувати 10-20 % маси матеріалу, інакше знижується міцність гранул
Тиск пресування	Підвищення тиску приводить до збільшення щільності та механічної міцності	З іншого боку, збільшення тиску спричиняє зростання питомих енерговитрат
Співвідношення довжини отвору матриці та його діаметра	Збільшення співвідношення приводить до зростання щільності та механічної міцності	З іншого боку, збільшення співвідношення спричиняє зростання питомих енерговитрат
Швидкість обертання матриці	Має бути меншою для матеріалів з нижчою насипною щільністю та меншою вологістю	

Допустима вологість сировини перед гранулюванням

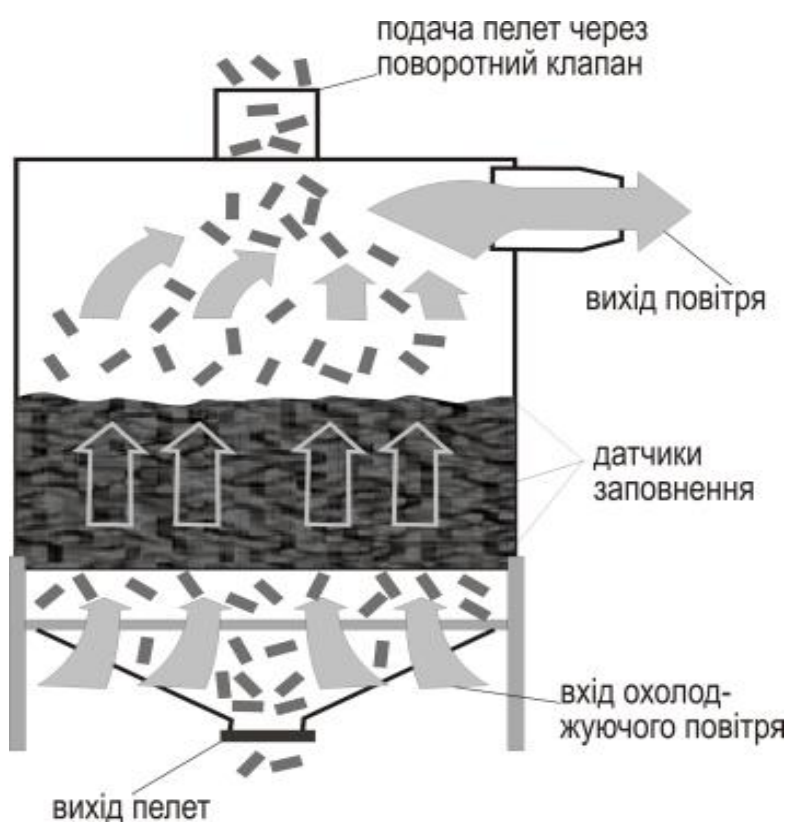
Сировина	Діапазон вологості, %
Деревина загалом	5-10
Деревина бука	6-10
Деревина ялини	10
Деревина сосни	6-8
Аграрна біомаса загалом	10-20
Солома зернових загалом	10-15
Житня солома	19-23
Пшенична солома	15
Стебла кукурудзи	10



Охолодження та калібрування

Пелети, отримані в пресі-грануляторі, мають високу температуру (іноді до 130 °С) та м'яку консистенцію, тому далі вони за допомогою елеватора подаються для охолодження в протихідний охолоджувач, де охолоджуються потоком повітря, що проходить через їх шар, до температури 20-25 °С.

В результаті охолодження, пелети твердішають, набувають міцності та втрачають близько 2% вологості.



Конструктивні параметри охолоджувача повинні бути такими, щоб забезпечити рівномірне та не надто швидке охолодження, оскільки раптове зниження температури та вологості пелети може призвести до її розтріскування.

Після охолодження пелети подаються на вібраційний просіювач (калібратор), де відділяються мілкі частки та некондиційні пелети.



Пакування

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАСУВАННЯ ПЕЛЕТ



Дозатор в мішки відкритого типу



Лінія зашивання мішків



Дозатор в мішки "Біг-Бег"



СВЕДА

<https://sweda.com.ua/>

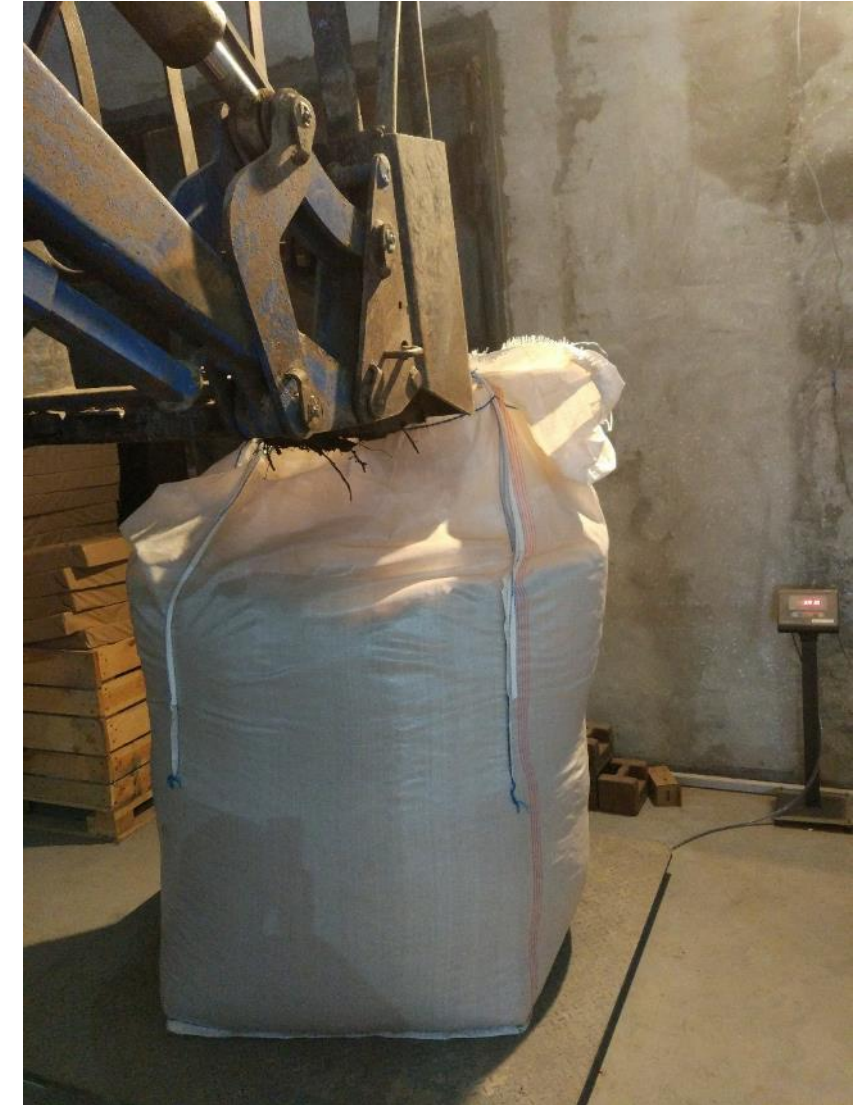
Деревні пелети ENplus A1
(Україна), сосна, 6 мм, 15 кг



1389 грн/мішок 9 кг
154 тис. грн/т

300 грн/мішок 15 кг
20 тис. грн/т

Дерев'яні пелети Weber
SmokeFire (США) Яблуко, 9 кг



Деревні пелети ENplus A1
(Україна), сосна, 6/8 мм

8 тис. грн/т

Витрати енергії на виробництво пелет

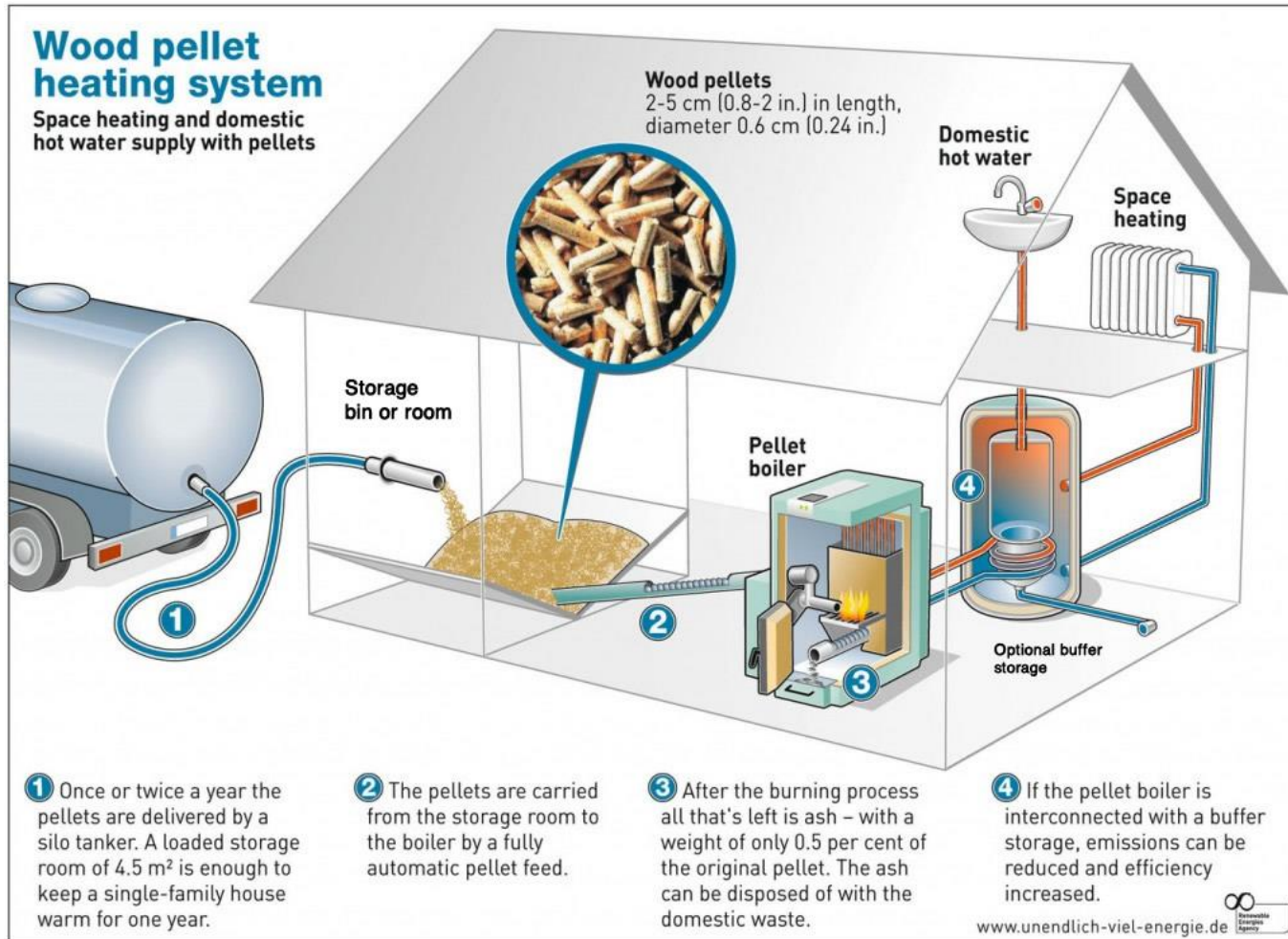
Питомі енерговитрати для різних стадій виробничого процесу, кВт·год/тонну пелет

Джерело:

https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pellet_z_biomasi.pdf

Виробничі процеси, обладнання:	Виробнича потужність, т/год	Сировина				
		деревина			солома зернових	лушпиння соняшника
		тріска, стружка, тирса сирі	стружка суха	кускова деревина, поліна		
Первинне подрібнення	1	20	0	45	20	0
	5	16	0	37	16	0
	15	14	0	33	14	0
Остаточне подрібнення (дробарки молоткові)	1	45	45	45	45	15
	5	37	37	37	37	12
	15	33	33	33	33	11
Кондиціювання (підготовка до гранулювання)	1	5	5	5	5	5
	5	4	4	4	4	4
	15	4	4	4	4	4
Гранулювання	1	56	56	56	76	49
	5	49	49	49	38	32
	15	45	45	45	23	23
Охолодження гранул	1	4	4	4	4	4
	5	3	3	3	3	3
	15	3	3	3	3	3
Транспортери, пневмотранспорт	1	35	10	50	20	10
	5	29	8	41	16	8
	15	25	7	36	14	7
Освітлення, системи керування, витрати інші	1	4	4	4	4	4
	5	3	3	3	3	3
	15	3	3	3	3	3
ВСЬОГО	1	168	123	208	174	87
	5	142	105	175	118	63
	15	127	94	156	94	51

Доставка пеллет



Доставка пеллет насипом з
автоматизованим
завантаженням складу



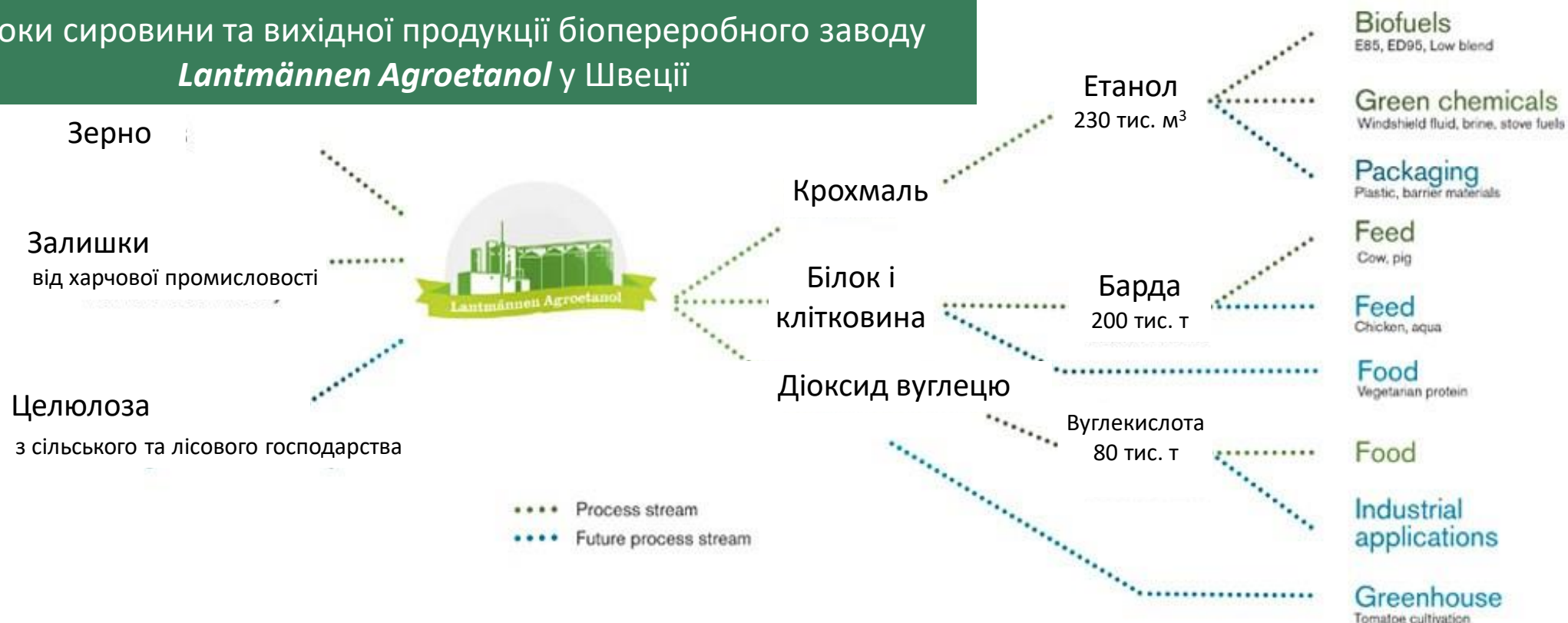


6 Підготовки біомаси у комплексних технологіях її переробки

Біопереробні заводи (Biorefinery)

Сучасні біопереробні заводи (*biorefinery*) – це об'єкти комплексної переробки біомаси у декілька товарних біопродуктів (харчові і кормові добавки, хімічні речовини, матеріали, мінерали, CO₂) та біоенергетику (біопаливо, електроенергія, тепло).

Потоки сировини та вихідної продукції біопереробного заводу
Lantmännen Agroetanol у Швеції



Переваги та недоліки різних технологій підготовки біомаси

Спосіб підготовки	Переваги	Недоліки
Фізична обробка	<ul style="list-style-type: none">• Простий і легкий процес• Можна переробляти дуже великі обсяги біомаси• Збільшує площу поверхні та розмір пор• Збільшує об'ємну та енергетичну щільність• Зменшує кристалічність целюлози• Не передбачає використання хімікатів	<ul style="list-style-type: none">• Енергоспоживання досить високе• Вимагає додаткових етапів попередньої обробки
Хімічна обробка	<ul style="list-style-type: none">• Підвищує доступність целюлози• Змінює структуру лігніну• Гідролізує геміцелюлозу у різні фракції цукру	<ul style="list-style-type: none">• Висока вартість хімікатів• Проблеми з корозією обладнання• Процес схильний до утворення інгібіторних речовин• Вимагає тривалого перебування (вимагає багато часу)
Біологічна обробка	<ul style="list-style-type: none">• Просте обладнання• Ефективно розкладає як целюлозу, так і геміцелюлозу• Підходить як для високої, так і для низької вологості біомаси• Низькі потреби в енергії	<ul style="list-style-type: none">• Незначно руйнує лігнін• Дуже повільна швидкість гідролізу• Процес вимагає великого простору• Вимагає тривалого перебування

Джерело: <https://www.intechopen.com/chapters/73215>



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую!

Семен Драгнєв



Експерт UABIO, к.т.н.



+380 66 324 84 80



dragnev@uabio.org



<https://uabio.org>

