



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

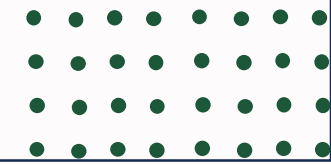
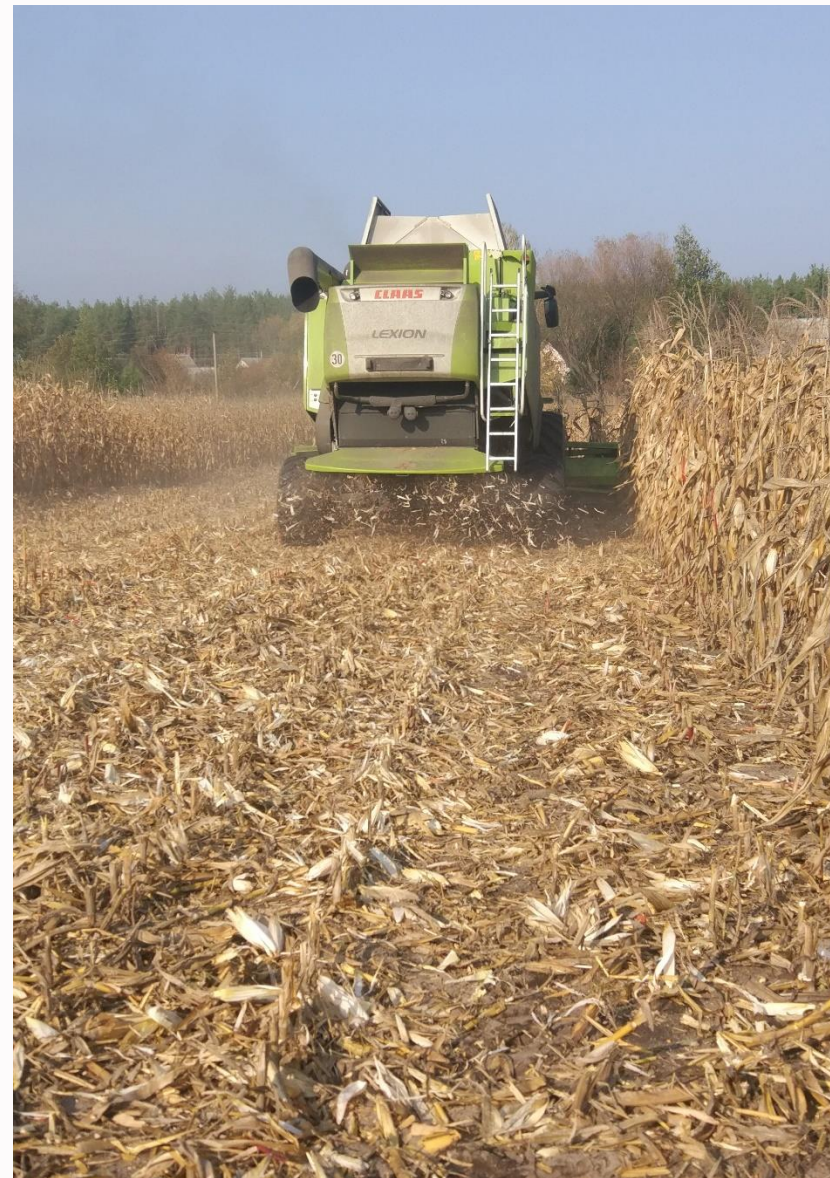
Заготівля та постачання післяжнивних решток для енергетичних потреб

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



Зміст

- 01** Класифікація видів агробіомаси та їх паливні характеристики
- 02** Торгові форми твердих біопалив з рослинних решток
- 03** Заготівля соломи зернових колосових
- 04** Заготівля кукурудзиння
- 05** Транспортування біомаси рослинних решток
- 06** Зберігання біомаси рослинних решток
- 07** Оцінка якості біомаси рослинних решток





1 Класифікація видів агробіомаси та їх паливні характеристики

Класифікація видів агробіомаси

Сільськогосподарські рештки і відходи:

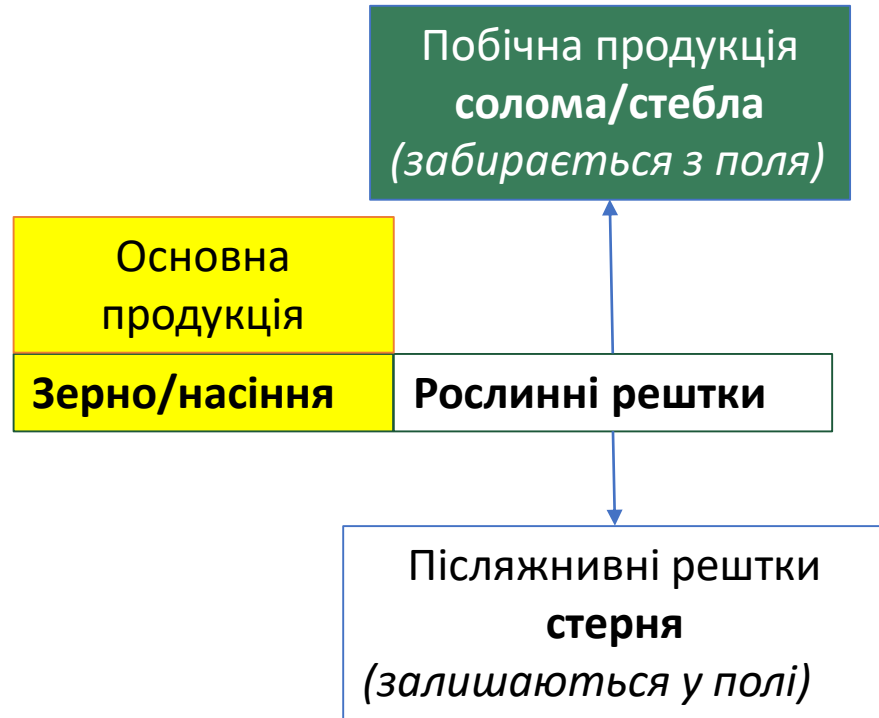
- ❖ **Первинні** (утворені в полі в процесі збирання врожаю рослинні рештки): солома, стебла/стрижні кукурудзи, стебла/кошики соняшника...
- ❖ **Вторинні** (утворені на підприємстві при переробці врожаю): лушпиння соняшника, жом цукрового буряку...
- ❖ **Гній** тварин.

Енергетичні рослини:

- ❖ **Традиційні** харчові (олійні, зернові).
- ❖ **Спеціально** вирощені нехарчові (швидкоростучі багаторічні трав'яні та деревні).



Рослинні рештки для енергетичного використання



Сільськогосподарська культура	Коефіцієнт виходу соломи до зерна
Пшениця, овес	1,0
Жито	1,3
Ячмінь, просо	0,8
Кукурудза	1,3
Соя	1,0
Соняшник	1,9
Ріпак	2,0
Рис	0,9
	Вихід лузги до насіння
Насіння соняшнику	0,15



Паливні характеристики біомаси

Параметри	Одиниці	Жовта солома	Сіра солома	Стрижні	Стебла кукурудзи	Стебла соняшнику	Кошики	Лузга соняшнику	Деревна тріска
Вологість	%	10-20	10-20	12,5	10-18	10,4	11,7	6,7	40-50
Нижча теплотворна здатність	МДж/кг	14,4	15	15,2	15-17	14,3	13,8	19,2	10,4
Зольність	мас. %	4	3	2,2	5-6,5	8,3	12,5	3,6	1
Вуглець	мас. %	42	43	41,3	41	44,6	44,3	54,4	50
Водень	мас. %	5	5	5,2	5,1	7,2	7,3	7,3	6
Кисень	мас. %	37	38	38,8	38	н.д.	н.д.	н.д.	38
Хлор	мас. %	0,75	0,2	0,14	0,13	0,13	0,3	0,05	0,02
Азот	мас. %	0,35	0,41	0,5	0,84	0,8	1,4	1,6	0,3
Сірка	мас. %	0,16	0,13	0,08	0,09	0,06	0,16	0,14	0,05
Калій (лужний метал)	мас. % сух.	1,03	0,61	0,48-1,02	0,61	н.д.	н.д.	н.д.	0,14
Температура деформації золи	°С	930	905	790-1200 (середнє значення 1033)	820-1160 (середнє значення 1070)	1100	1130	1002	1270

Джерело: https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/04/Maize-residues-to-Energy_ukr-web.pdf,
<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-ua.pdf>



2 Торгові форми твердих біопалив з рослинних решток

Торгові форми твердих біопалив з рослинних решток

Подрібнена
 $L = 10...200 \text{ мм}$



Прямокутні тюки малі
 $V = 0,1 \text{ м}^3$



Прямокутні тюки великі
 $V = 3,7 \text{ м}^3$



Круглі тюки (рулони)
 $V = 2,1 \text{ м}^3$



Гранули (пелети)
 $D < 25 \text{ мм}$

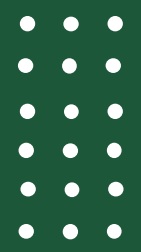


Брикети
 $D \geq 25 \text{ мм}$



Основні характеристики біопалив з сільськогосподарської біомаси

Тип біомаси	Торгові форми біомаси/біопалив	Вміст вологи, %	Насипна щільність, кг/м ³	Зольність, %	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Щільність енергії, ГДж/м ³
1. Солома пшениці/ячменю	Подрібнена	10-20	40-60	3-5	13-15	0,5-0,9
	Рулони	10-20	80-120		13-15	1,0-1,8
	Прямокутні тюки	10-20	110-210		13-15	1,4-3,2
	Брикети/Гранули	8-10	500-700		15-16	7,5-11,2
2. Стебла кукурудзи	Подрібнена	20-30	75-85	5-9	11-14	0,8-1,2
	Рулони	20-30	160-230		11-14	1,5-3,2
	Прямокутні тюки	20-30	180-270		11-14	2,0-3,8
	Брикети/Гранули	8-10	500-700		15-16	7,5-11,2
3. Стрижні качанів	Подрібнена	15-25	160-210	3-4	12-15	1,9-3,2
4. Стебла соняшнику	Подрібнена	20-40	75-100	5-9	9-14	0,7-1,1
5. Лузга соняшнику	Подрібнена	12-15	85-150	3-5	15-16	1,3-2,4
	Брикети/Гранули	8-10	500-700	3-5	16-17	8,0-12,0

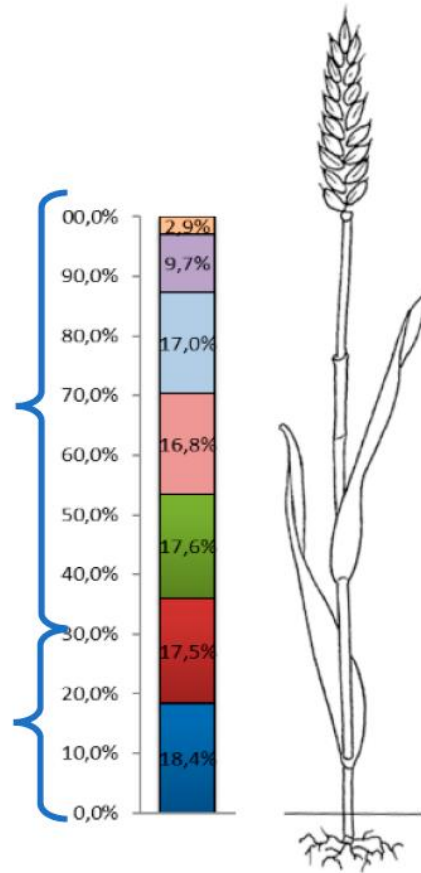


3 Заготівля соломи зернових КОЛОСОВИХ

Оцінка обсягів соломи

71% соломи
доступна для
тюкування

29% соломи
залишається у
стерні



■ 0/10cm ■ 10cm/20cm ■ 20cm/30cm
■ 30cm/40cm ■ 40cm/50cm ■ 50cm/60cm
■ 60cm/70cm

Незернова частина врожаю

25% Полова (частини
колосся, дрібні частки
листя, коротка
солома)

75% Солома (великі частини
стебел і листя)

За врожайності пшениці 7 т/га,
вихід соломи становить від 3,7 т/га



Схема заготівлі соломи



1. Укладання соломи у валок



2. Тюкування



3. Збирання тюків

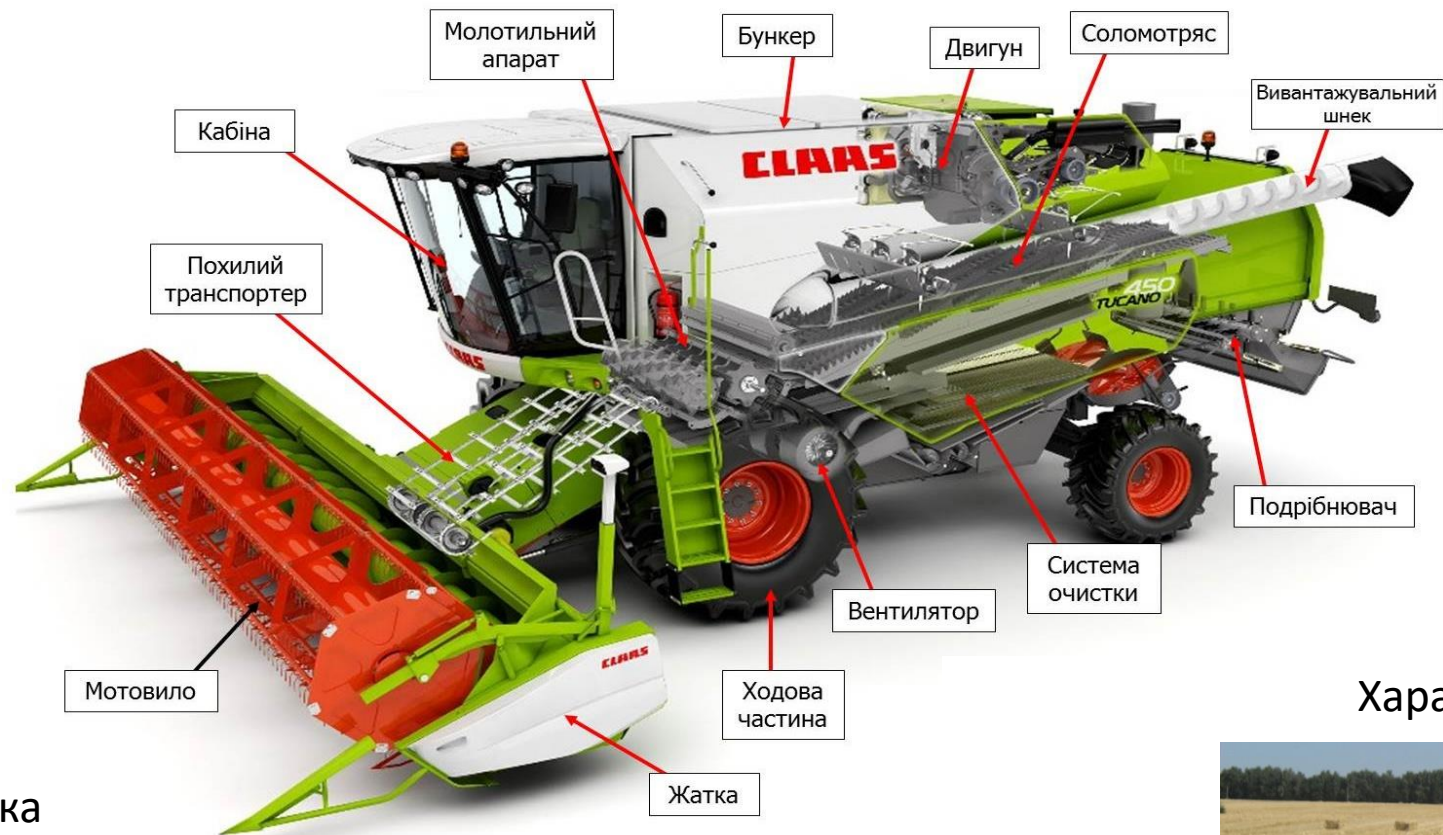


5. Зберігання



4. Транспортування

Утворення валків соломи

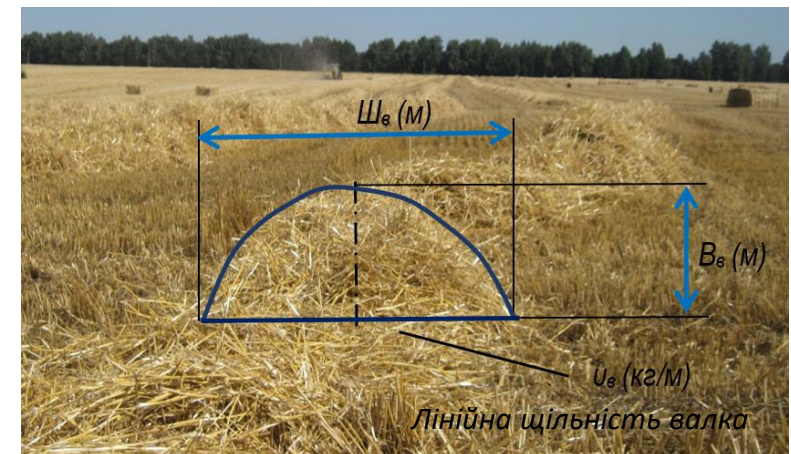


Флекс жатка



При укладанні соломи у валок зменшуються витрати палива комбайна на 15-20%, тому що не витрачається енергія на подрібнення та розкидання соломи. Продуктивність комбайна збільшується приблизно на 10%.

Характеристики валка



Переміщення і здвоєння валків

За хороших погодних умов під час збирання врожаю соломі можна тюкувати відразу після того, як комбайн сформував валки в полі. Якщо солома занадто волога (типова середня вологість вище 15%), їй потрібно дати час висохнути у валку перед тюкуванням. Якщо пройде сильний дощ, то, можливо, доведеться застосувати граблі раз або декілька разів.

Сучасні граблі призначені для того, щоб або розподілити соломі у валку по всій ширині граблів (для сушіння на повітрі), або збирати/перевертати соломі в валках.

**Валкоутворювач з чотирма роторам Kuhn
GA 15231** з шириною захвату 9,5-14,7 м
Трактор потужністю від 85 кВт



Джерело: <https://www.kuhn.com/en/hay-forage/rakes-mergers/four-rotor-rakes/ga-10231>

Валкувач STIRMOT BIG BULL для
прес-підбирача з шириною захвату
11,40 м, 12,60 м, і 13,80 м



Джерело: <https://ag-bag.ua/product/valkovateli-solomy--stirmot>

Ущільнення соломи у тюки

Класифікація прес-підбирачів



З постійною камерою пресування



Зі змінною камерою пресування

Прес підбирачі рулонні



Малих тюків (шириною 0,46 м)



Середніх тюків (шириною 0,8 м)

Прес підбирачі прямокутних тюків (поршневі)



Великих тюків (шириною 1,2 м)

Тип тюка	Розміри Д x Ш x В (см)	Вага, кг	Щільність, кг/м ³
Маленькі тюки	70-90 x 46 x 36	12-15	90-100
Рулони	120 x 170*	220-270	100-120
Середні тюки	200-240 x 80 x 80	200-250	110-150
Міні-великі тюки	230-250 x 120 x 70	300-450	160-215
Середньо-великі тюки	230-250 x 120 x 90	450-650	160-230
Великі тюки	230-250 x 120 x 130	450-650	140-170

Примітка:

* ширина x діаметр

Характеристики прес-підбирачів

Швидкість роботи у полі:

- прес-підбирач малих тюків 4-10 км/год, типова 6,5 км/год;
- прес-підбирач великих і середніх тюків 6,5-13 км/год, типова 8 км/год;
- рулонний прес-підбирач 5-13 км/год; *типова 8 км/год.*

За виходу соломи 4 т/га і тюкування після комбайна із 7,5 м жаткою. Орієнтовна ефективності роботи тюкового прес-підбирача у полі 80%, рулонного – 55-65%.

Продуктивність прес-підбирача великих прямокутних тюків:

$$7,5 \text{ м} * 8 \text{ км/год} : 10 * 80\% = 4,8 \text{ га/год}$$
$$4 \text{ т/га} * 4,8 \text{ га/год} = 19,2 \text{ т/год}$$

Критерії вибору прес-підбирача:

- розмір тюка відповідно до потреб;
- наявність подрібнювача;
- щільність і маса тюка;
- потужність трактора;
- довговічність і простота обслуговування;
- сервісна підтримка та наявність запчастин;
- ціна машини.



Krone BiG Pack High Speed 1290

Технічна характеристика	Значення
Ширина і висота прес каналу, мм	1200 x 900
Довжина тюка, мм	1000...2700
Ширина підбору, мм	2350
Запас шпагату у бобінах	32
Вузлов'язач	Подвійний
Рекомендована потужність трактора, к.с.	300

Джерело: https://www.farmyland.com.ua/uk/p2982-big_pack_krupnopakuyushchie_press-podborshchiki/

Відео роботи прес-підбирача



Матеріали для обв'язування тюків і рулонів

- **Шпагат** [$L = (\text{кількість в'язальних апаратів} * (\text{висота} + \text{довжина тюка}) * 2)$]

Марка шпагату	Вага бобіни, кг	Довжина, м	Міцність на розрив, кгс	Призначення
Extreme Super 110	10,5	1155	422	Тюки від 450 до 700 кг
Extreme 115	9	1035	410	Тюки від 400 до 450 кг
Magnum 122	9	1100	370	Тюки від 350 до 400 кг
Big Square 130	9	1170	360	Тюки від 250 до 350 кг
Original 145	9	1300	310	Тюки до 250 кг

- **Сітка** [$L = \pi * \text{діаметр тюка} * 4$]

KRONE excellent SmartEdge: довжина 3000 м; ширина 1245 мм;

мінімальна міцність на розрив 275 кгс

KRONE excellent Edge X-tra: довжина 2600/3600 м; ширина 1245 мм;

мінімальна міцність на розрив 290 кгс

KRONE excellent StrongEdge: довжина 2600/3600 м; ширина 1245 мм;

мінімальна міцність на розрив 305 кгс

- **Плівка** (4-6 шарів)

KRONE excellent RoundWrap: довжина 1800/2000 м; ширина 1280 мм;

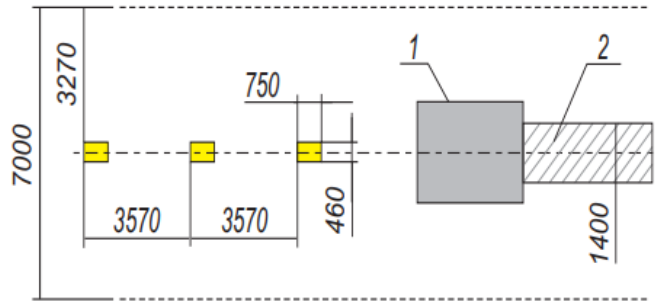
товщина 20/16 мкм; кількість шарів 5; колір білий



Розподіл тюків по полю

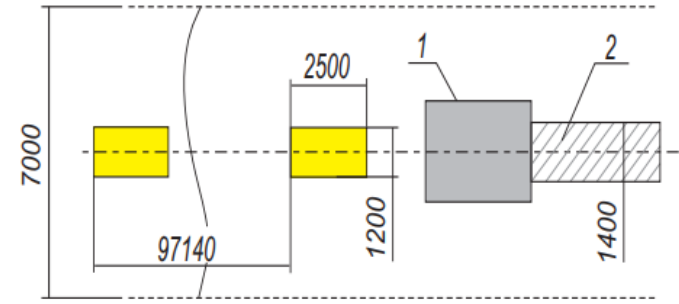
5 т/га
4 т/га
3 т/га

Малі тюки
12,5 кг



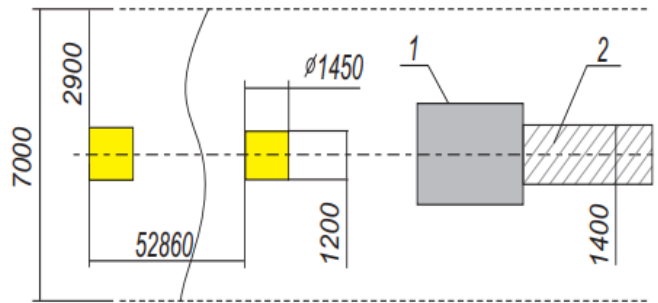
400 тюків/га
320 тюків/га
240 тюків/га

Середні тюки
340 кг



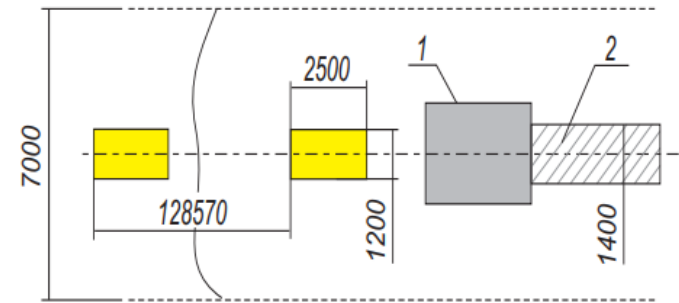
15 тюків/га
12 тюків/га
9 тюків/га

Рулони
185 кг



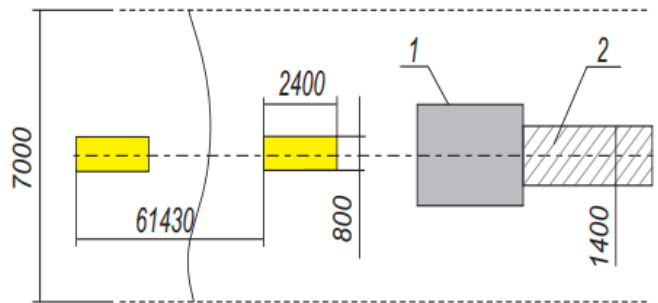
27 рулонів/га
22 рулонів/га
16 рулонів/га

Середні тюки
450 кг



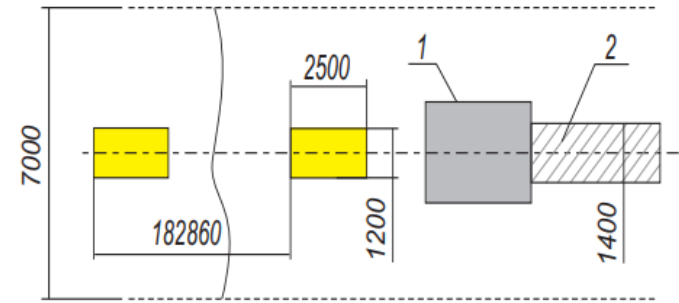
11 тюків/га
9 тюків/га
7 тюків/га

Середні тюки
215 кг



23 тюків/га
19 тюків/га
14 тюків/га

Великі тюки
640 кг



8 тюків/га
6 тюків/га
5 тюків/га

Збирання і завантаження тюків

Самозавантажувальний причеп тюковіз ТК-12

- Максимальна вага тюка 1360 кг
- Вантажопідйомність язика 2720 кг
- Вантажопідйомність платформи 11,34 т
- Потужність трактора від 185 к.с.
- Продуктивність 180 тюків/год
- Розвантаження 30-40 с



Джерело:

<https://kobzarenko.com.ua/ua/produkciya/tehnika-dlya-solomi/526-tk-12.html>

Телескопічний навантажувач



Фронтальний навантажувач



Трактор з навісним фронтальним навантажувачем



Вилковий навантажувач



Вибір техніки для завантаження

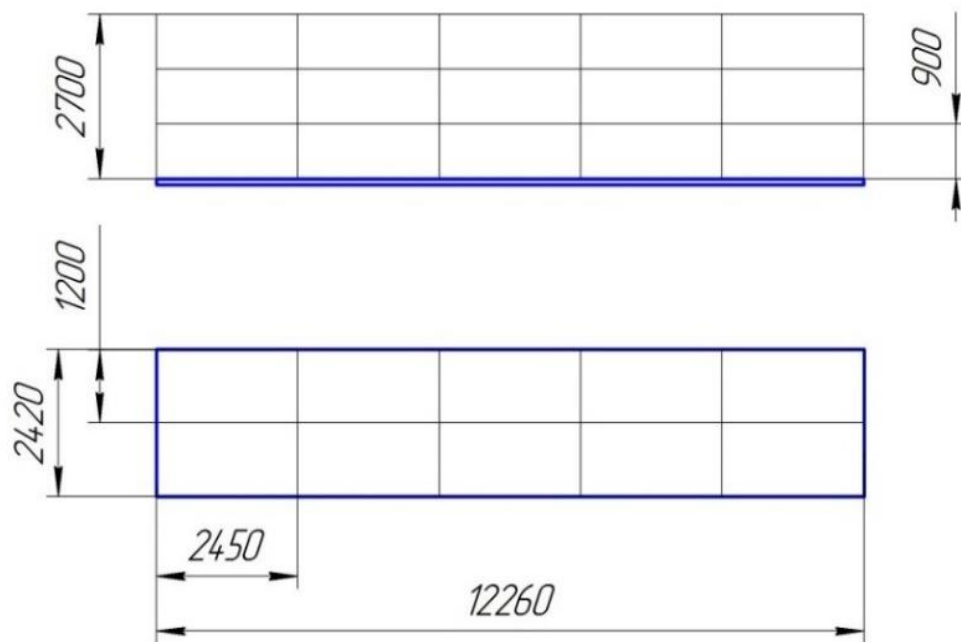
Показник	Вилковий навантажувач	Трактор з навісним фронтальним навантажувачем	Фронтальний навантажувач	Телескопічний навантажувач
Максимальна вантажопідйомність, кг	2000-5000	800-1600	2500-5000	3000-4200
Максимальна висота піднімання, м	3-5	3,2-3,5	2,8-3,7	6-7
Вантажопідйомність на максимальній висоті, кг	2000-5000	800-1600	2500-5000	3000-4200
Максимальний вильот, м	-	не менше 0,75	1-1,2	4
Вантажопідйомність на максимальному вильоті, кг	-	600	2500-5000	1000-1500
Максимальна швидкість руху, км/год.	19-23	10-16	35-40	35-40
Радіус розвороту, м	2,2	4,1	4,8	3,7
Маса, т	3,5-4,7	4,8	10-16	5,6-7
Потужність двигуна, к.с.	55-57	80-120	100-250	85-140
Дорожній просвіт, мм	110-310	465	530	440
Вартість, тис. дол. США	17-28	19-23	30-60	78-127
Тривалість піднімання стріли на макс. висоту, секунд	7	11	10	8
Продуктивність у полі, т/год.*	5,5	6,9	14	17
Витрати палива на тонну соломи, л/т*	1,1	1,4	0,8	0,6
Продуктивність на складі, т/год.*	33,1	11	37,7	41,4
Витрати палива на тонну соломи, л/т*	0,18	0,87	0,29	0,24

* Експертна оцінка для тюка 1,2 x 0,9 x 2,5 м масою 460 кг

Особливості перевезення тюків

Схема розміщення у напівпричепі тюків соломи шириною
1,2 м х висотою 0,9 м х довжиною 2,45 м

5 тюків у ряд * 2 ряди * 3 тюка у стопці = 30 тюків



Стяжні ремені для
закріплення вантажу

Дозволена висота транспортного засобу 4,0 м, а у разі погодження маршруту відповідно до Законодавства України можна без дозволу перевозити вантажі заввишки від поверхні дороги до 4,35 м включно.



Аналіз варіантів перевезення тюків

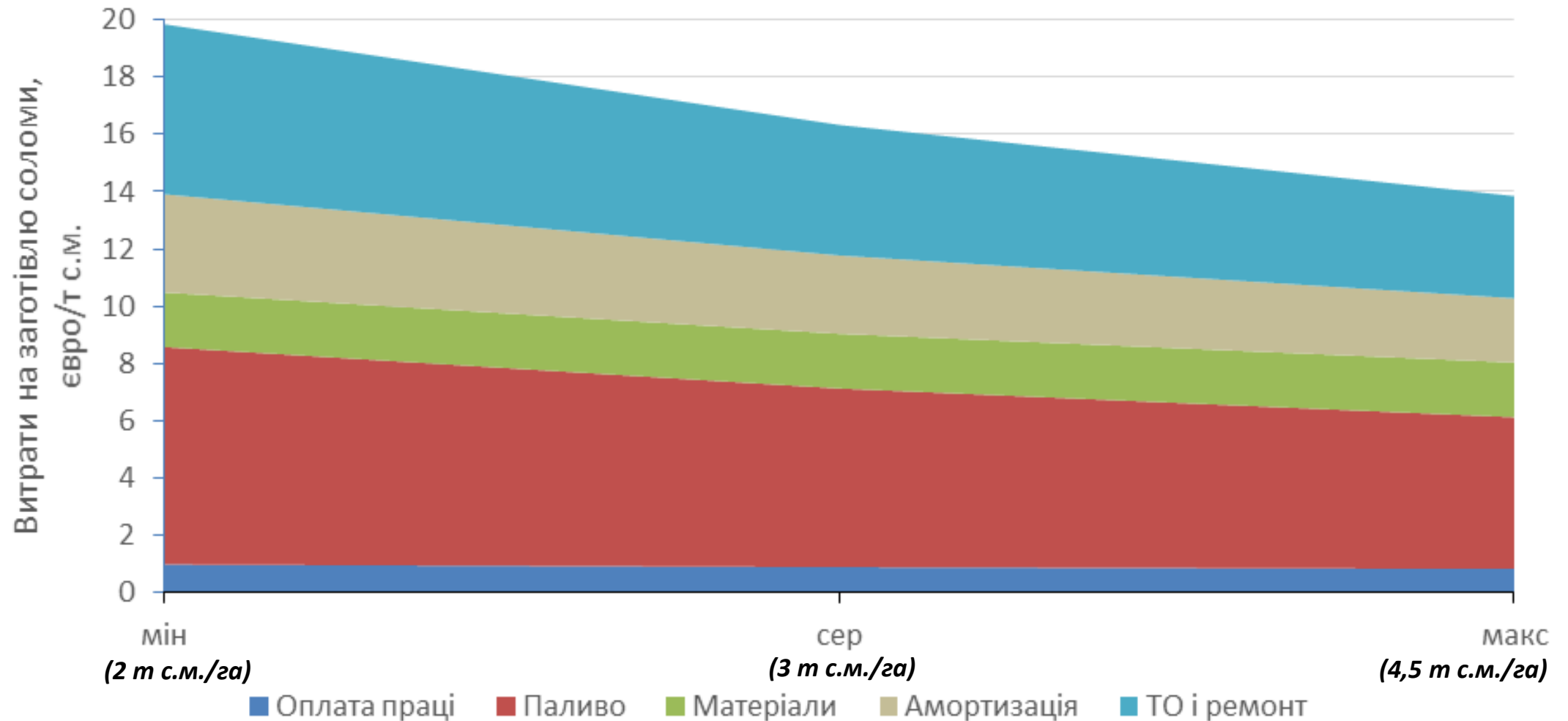
Показник	Транспортування вантажним автомобілем	Транспортування трактором з причепом	Транспортування трактором із самозавантажувальним причепом
Площа платформи, м ²	24-43	16,4-24	7,5-17,8
Потужність двигуна, к.с.	220-425	82-150	100-140
Вантажопідйомність, кг	14750-27900	7360-20000	4082-9250
Вантажопідйомність, тюків	30-40	16-30	8-20
Максимальна швидкість, км/год.	85-95	25-40	40
Дорожній просвіт, мм	260-300	465	340
Тривалість завантаження тюка, хв.	1-2	1-2	1
Тривалість розвантаження причепа, хв.	30-40*	16-30*	2
Вартість, тис. дол. США	70-122	31-124	30-184
Витрати палива*, л/(т·км)	0,018-0,022	0,057-0,066	0,08-0,128
Поле – Локальний склад (5 км)			
Витрати палива, л/т	0,18-0,22	0,57-1,16	0,8-1,28
Витрати часу, хв./т	7,6-8	8,3-9,8	3,3-4,6
Продуктивність, т/год.	7,5-7,9	6,1-7,2	13-18,2
Локальний склад – Центральний склад (30 км)			
Витрати палива, л/т	1,08-1,32	3,42-3,96	–
Витрати часу, хв./т	7,6-8,7	10,9-16,7	–
Продуктивність, т/год.	6,9-7,9	3,6-5,5	–

* Експертна оцінка для тюка 1,2 x 0,9 x 2,5 м масою 460 кг

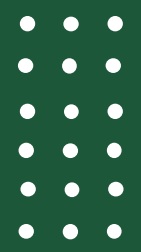
Відео заготівлі соломи у тюках із самозавантажувальним причепом



Витрати на заготівлю соломи у великих прямокутних тюках

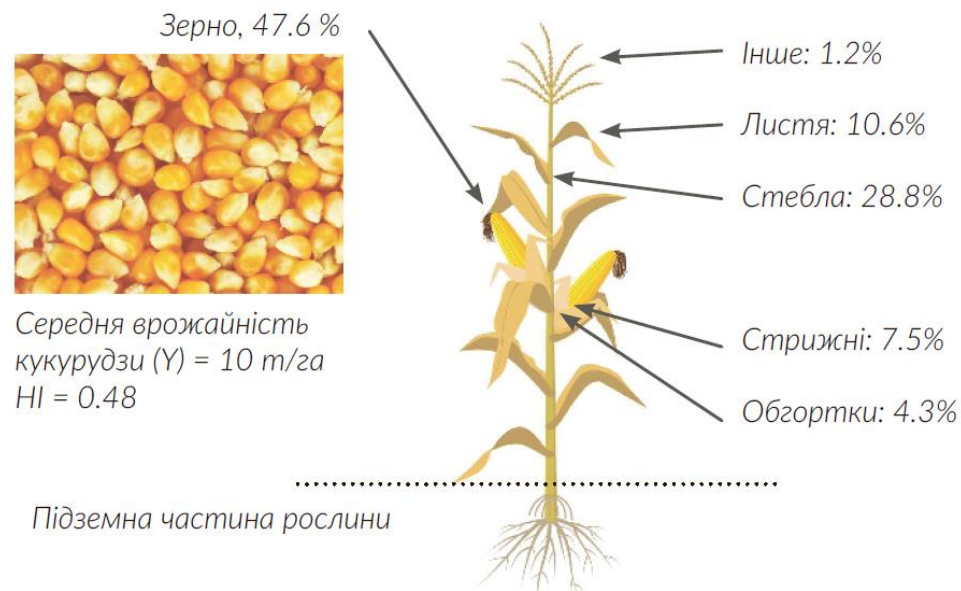


Відстань перевезення 10 км

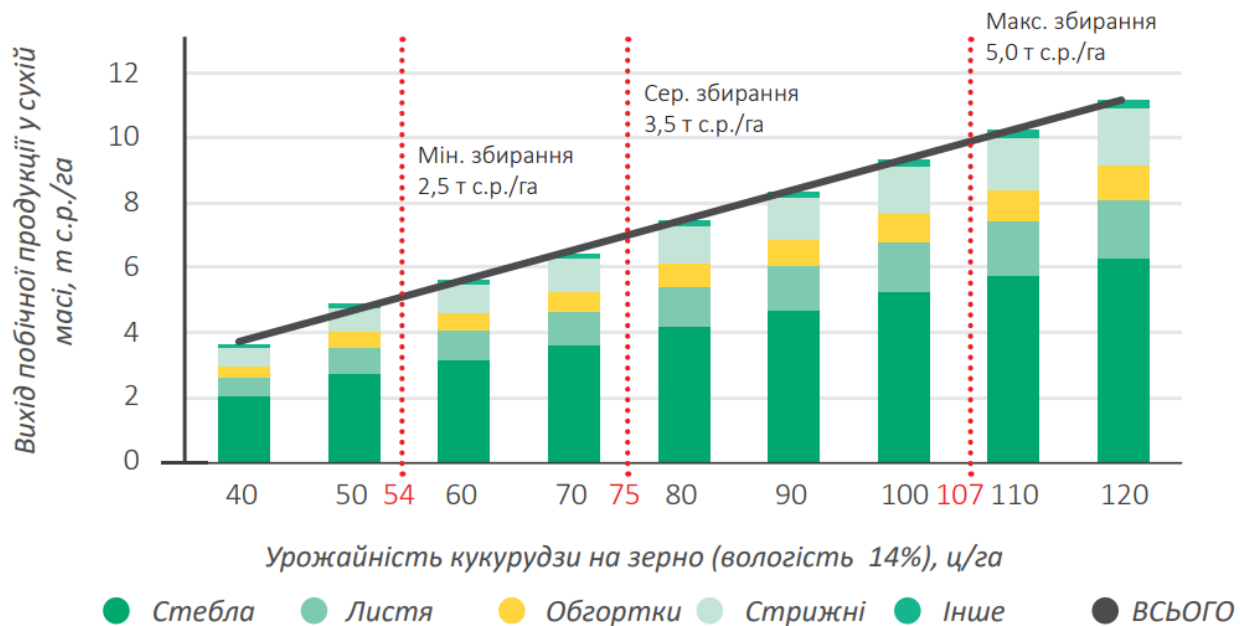


4 Заготівля кукурудзиння

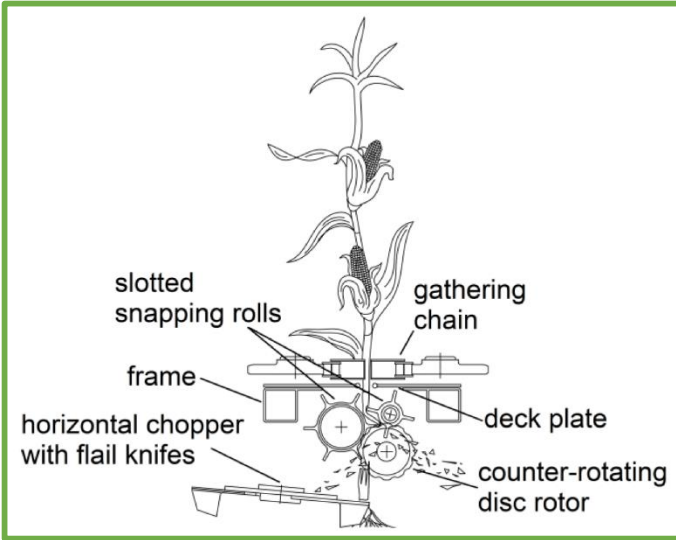
Оцінка обсягів кукурудзиння



Кукурудзиння



Формування валків



visuale interna



Робота мульчувача Berti LAND/P 600 BIOG

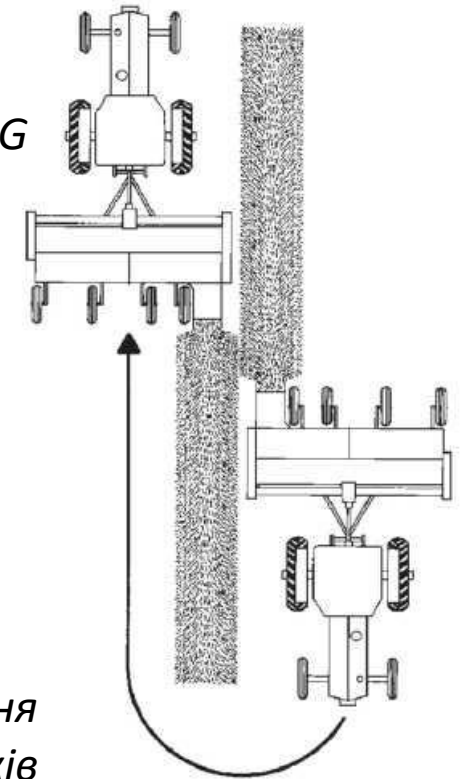


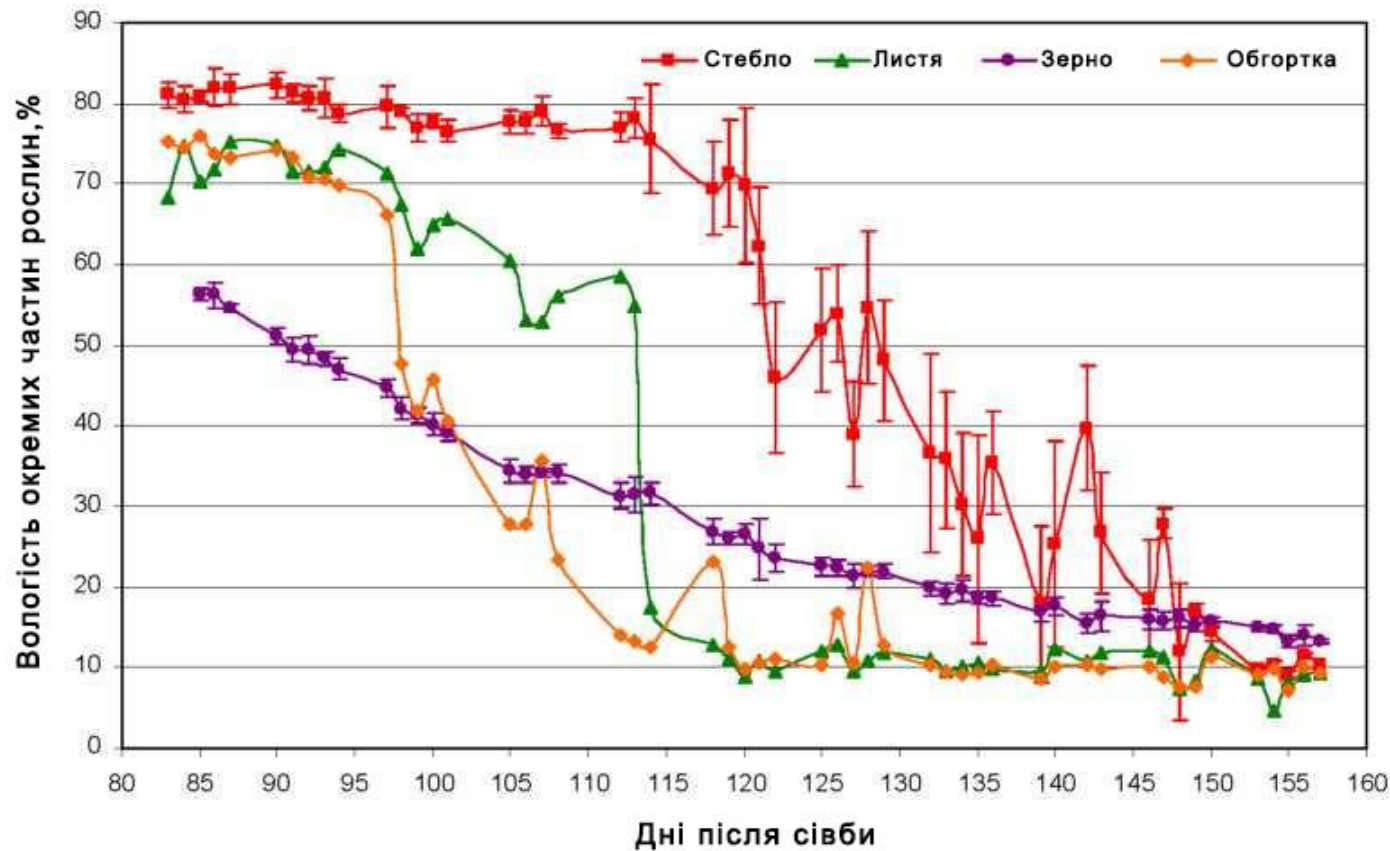
Схема здвоювання валків



Mod.	Working width <i>cm</i>	Power		Lateral displacement <i>mm</i>		Hammers T2 <i>n°</i>	Belts <i>n°</i>	Weight	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>			<i>min</i>	<i>max</i>
LAND/P SERIE BIOG	600	200	380	<u>3000</u>	<u>3000</u>	72	5+5	4400	4600

Джерело: https://catalogo.bertima.it/en/prodotti_scheda.php/Mulchers-LAND-P-SERIE-BIOG/?ID=43035

Вологість кукурудзиння при збиранні



Як правило вважається, що вологість стебел кукурудзи у 2 рази вище ніж вологість зерна.

Коли вологість зерна кукурудзи стає нижче 25% вологість кукурудзиння стрімко зменшується.

Після настання фізичної зрілості зерна кукурудзи вихід сухої маси кукурудзиння зменшується з орієнтовною швидкістю 1,6 ц/га за тиждень.

Кукурудзиння вранці вологіше ніж вдень до 7%.

Джерело: Vertical Mass and Moisture Distribution in Standing Corn Stalks / C. Igathinathane, Alvin R.Womac, Shahab Sokhansanj, Lester O.Pordesimo // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting (Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August, 2004). – 20 p.

Тюки кукурудзиння



Однопрохідна система для заготівлі кукурудзиння у тюках/рулонах



Двопрохідна система для заготівлі кукурудзиння у тюках/рулонах



Система для заготівлі подрібненого кукурудзиння у кормозбиральний причіп



Система для заготівлі кукурудзиння кормозбиральним комбайном



Система для заготівлі стрижнів та обгортки качанів кукурудзи



Технології заготівлі кукурудзиння

Варіант 1. Система на базі прес-підбирача великих прямокутних тюків: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + прес-підбирача+ причеп тюковіз + навантажувач + вантажні авто



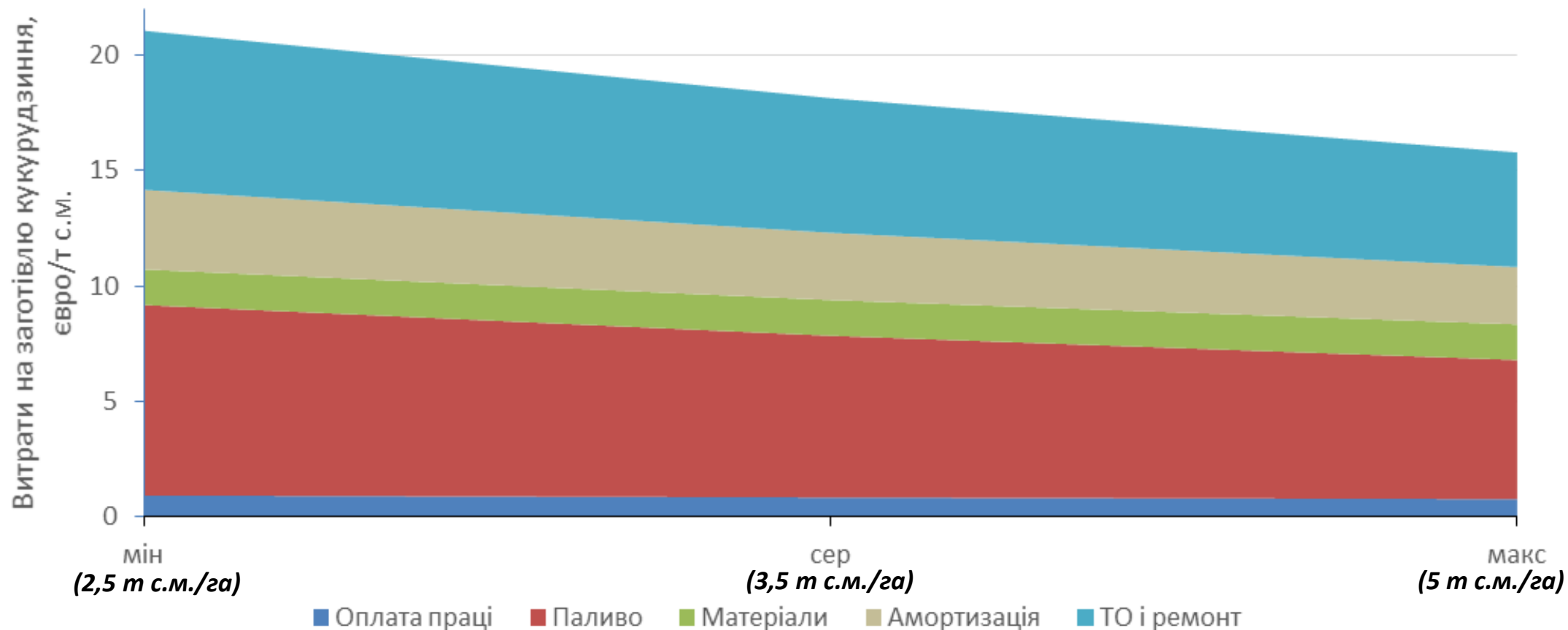
Варіант 2. Система на базі кормозбирального комбайна: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + кормозбиральний комбайн + трактор з причепом



Варіант 3. Система на базі кормозбирального причепа: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + кормозбиральний причеп

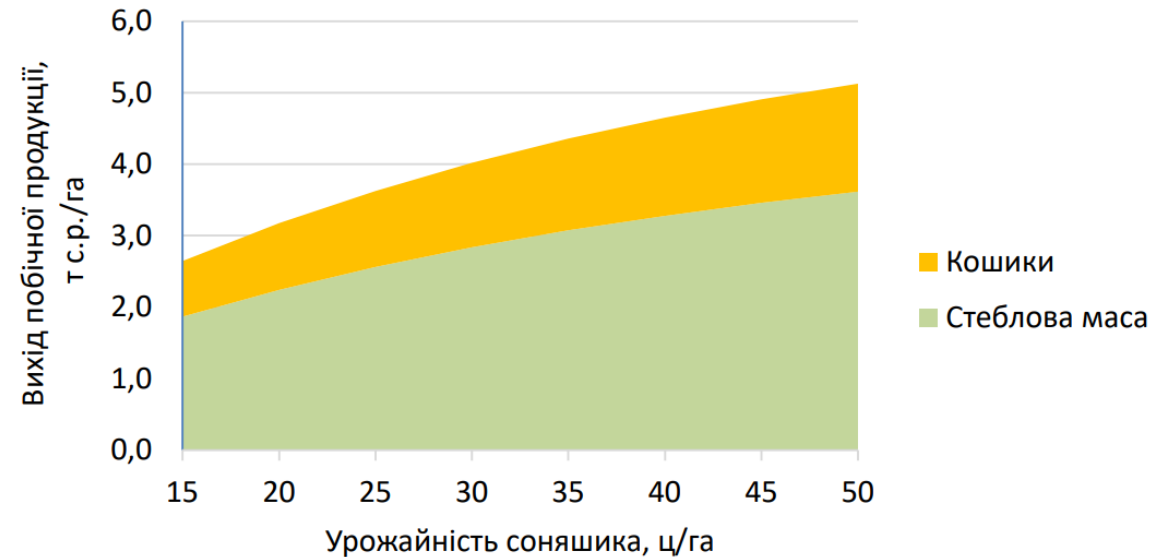
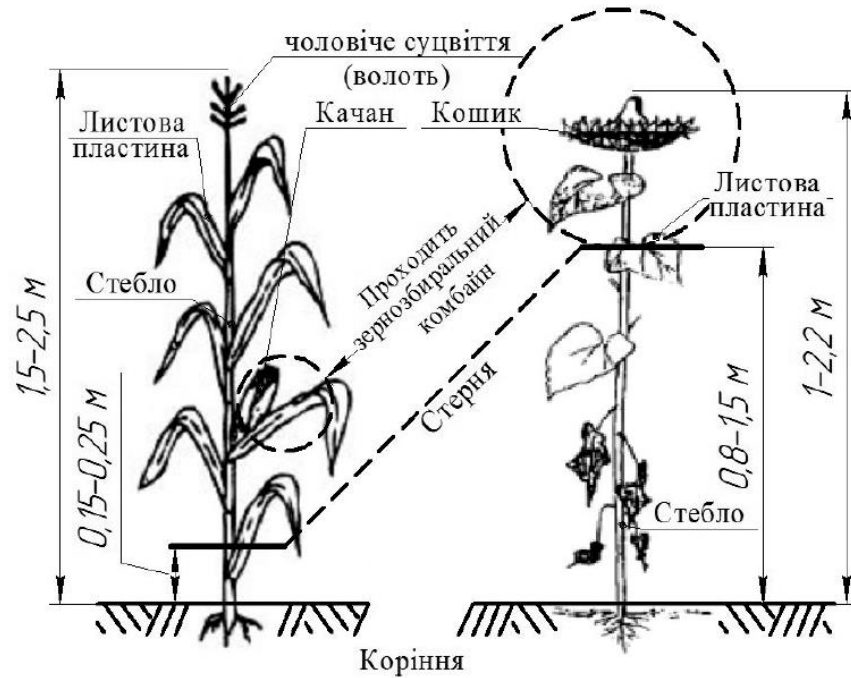


Витрати на заготівлю кукурудзиння у великих прямокутних тюках



Відстань перевезення 10 км

Можливості заготівлі решток соняшнику



Джерело: Адамчук В.В., Кузьменко В.Ф., Кузьмич А.Я., Максименко В.В. Аспекти процесів збирання незернової частини врожаю кукурудзи та соняшнику як твердого біопалива / Механізація та електрифікація сільського господарства. Випуск 9 (108);

Джерело: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-ua.pdf>

5 Транспортування біомаси рослинних решток



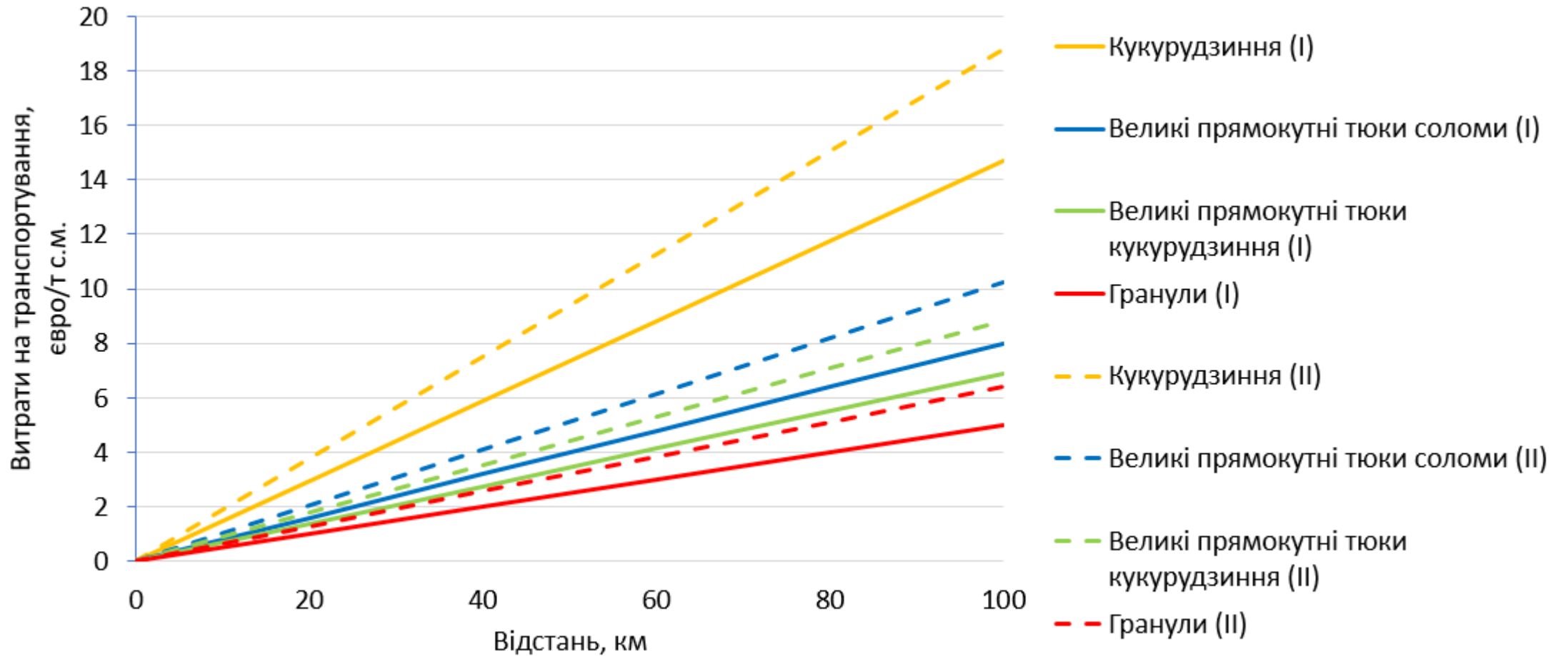
Трактор з причепом



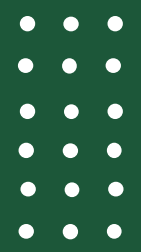
Автотранспорт



Витрати на транспортування агробіомаси та біопалив



I – власний транспорт; II – орендований транспорт



6 Зберігання біомаси рослинних решток

Типи складів

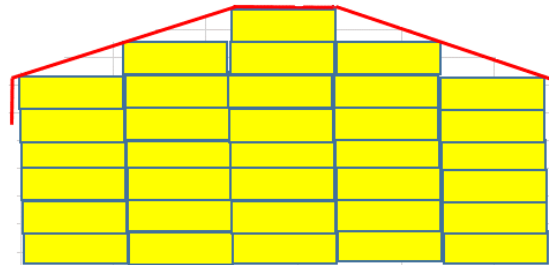


Закриті склади та навіси

Зберігання тюків/рулонів
на відкритому повітрі

Використання гнучкого
накриття і плівки для
захисту тюків

Зберігання біомаси у тюках



При організації зберігання потрібно враховувати вимоги Правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України.

8.2.5. Площа основи однієї скирти не повинна перевищувати 300 кв.м, а штабеля пресованого сіна чи соломи – 500 кв.м. Біля штабеля пресованого сіна чи соломи необхідно мати два гаки завдовжки не менше висоти штабеля.

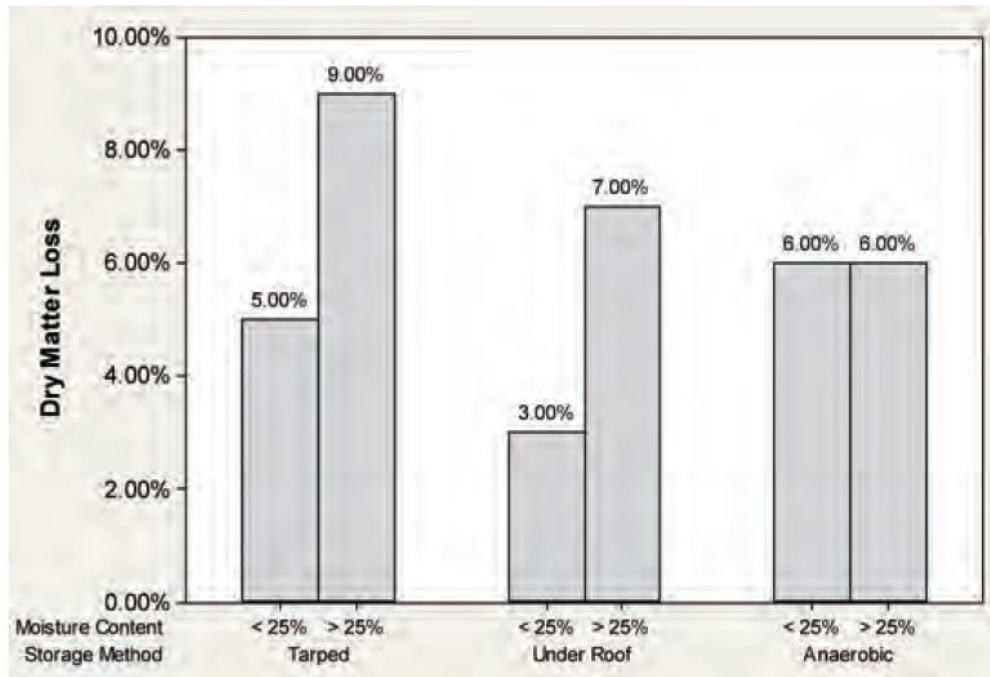
8.2.6. Протипожежні розриви між скиртами, штабелями мають бути не менше 20 м. Відстань від скирт, штабелів грубих кормів повинна бути не менше 15 м до ліній електропередач, 20 м – до доріг, 50 м – до будинків та споруд.

8.2.7. Сирти, штабелі дозволяється розташовувати попарно, при цьому розриви між скиртами, штабелями в одній парі мають бути не менше 6 м, а між сусідніми парами – не менше 30 м. Протипожежні розриви між двома парами повинні бути проорані смугою не менше 4 м завширшки на відстані 5 м від основи скирти, штабеля.

Зберігання вологого кукурудзиння

Мікробна активність сповільнюється, якщо **вміст води** у біомасі менше **22%** і стає майже неактивною за вологості **менше 18%**.

Типові втрати при зберіганні тюків кукурудзиння під гнучким накриттям, критому складі та в анаеробних умовах



Рішення для зберігання в анаеробній упаковці забезпечують найбільш ефективний варіант зберігання сировини, коли вологість тюків перевищує 25%.



7 Оцінка якості біомаси рослинних решток

1. Відбирання та підготовка проб

Мін. кількість проб = $10 + 0,04 \cdot [\text{Маса партії, т}]$

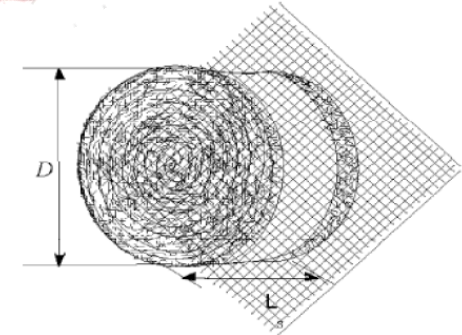
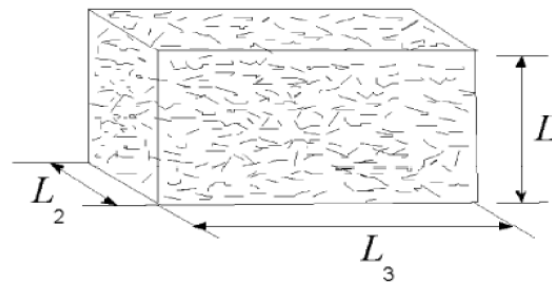
2. Огляд (колір, запах, однорідність, ураженість грибами)



3. Визначення вологості вологоміром



4. Вимірювання розміру та щільності тюків за допомогою рулетки та ваг (при закупівлі тюків)



Коефіцієнти для коригування вартості соломи залежно від її вологості

Орієнтовні коефіцієнти коригування вартості соломи для розрахунку з постачальниками залежно від її вологості:

Вологість, %	Нижча теплотворна здатність, ГДж/т	Коефіцієнт зміни ціни
11	15,00	1,055
12	14,80	1,041
13	14,61	1,028
14	14,41	1,014
15	14,22	1,000
16	14,02	0,986
17	13,82	0,972
18	13,63	0,959
19	13,43	0,945
20	13,24	0,931
21	13,04	0,917
22	12,84	0,903
23	12,65	0,890
24	12,45	0,876
25	12,26	0,862

При розрахунку коефіцієнтів, нижча робоча теплота згоряння соломи всіх видів зернових культур, прийнята однаковою і рівною 14,22 МДж/кг при вологості 15%.

Довідкова література

- Посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні» <https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/08/rea-handbook-biomass-to-heatin-ukraine-2015.pdf>
- Аналітична записка UABIO № 16 «Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні» <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-16-ua.pdf>
- Практичний посібник для представників агропромислового комплексу з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/biofin.pdf>
- Аналітична записка UABIO № 23 “Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно” <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-23-ua.pdf>
- Аналітична записка UABIO № 25 “Перспективи енергетичного використання побічної продукції від вирощування соняшнику” <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-ua.pdf>
- Енергія з соломи. Технології, стратегії та інновації у Данії. Друге видання. https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/02/Straw-to-Energy_AgroBioHeat_Ukrainian.pdf
- Посібник “Енергія з решток кукурудзи” https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/04/Maize-residues-to-Energy_ukr-web.pdf



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>

