



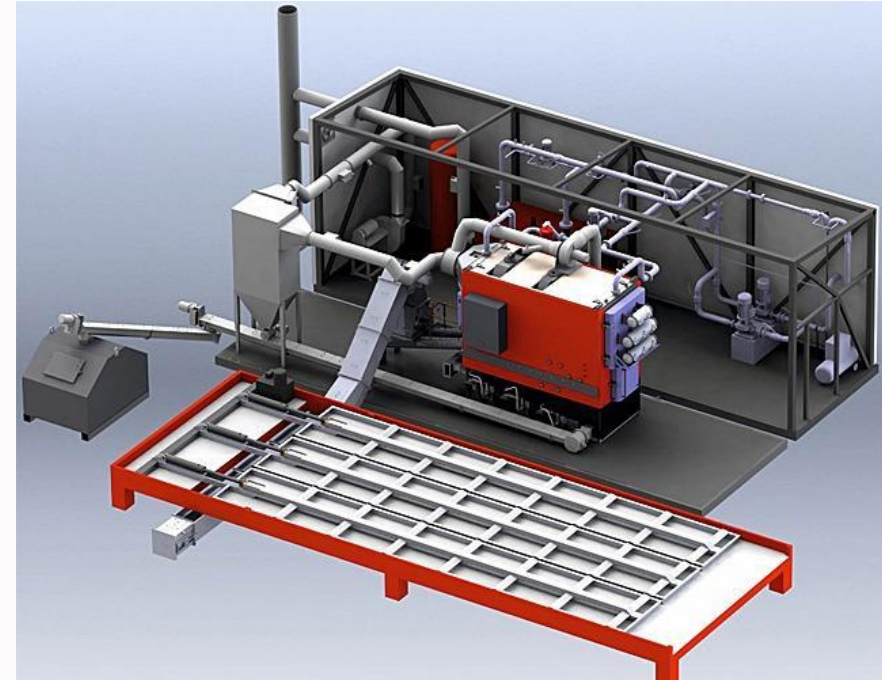
European Bank  
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

## Очищення димових газів і поводження з золою

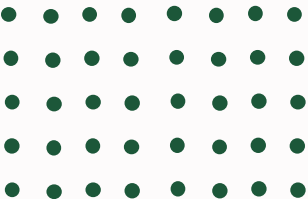
Володимир Крамар, к.т.н.,  
ТОВ «НТЦ «Біомаса»,  
Біоенергетична асоціація  
України





# Зміст

- 01** Основи законодавства в сфері охорони атмосферного повітря
- 02** Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин
- 03** Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси
- 04** Методи зменшення вмісту забруднюючих речовин у продуктах згорання
- 05** Поводження з золою. Характеристики золи біомаси
- 06** Напрямки утилізації золи біомаси. Використання золи як добрива
- 07** Література



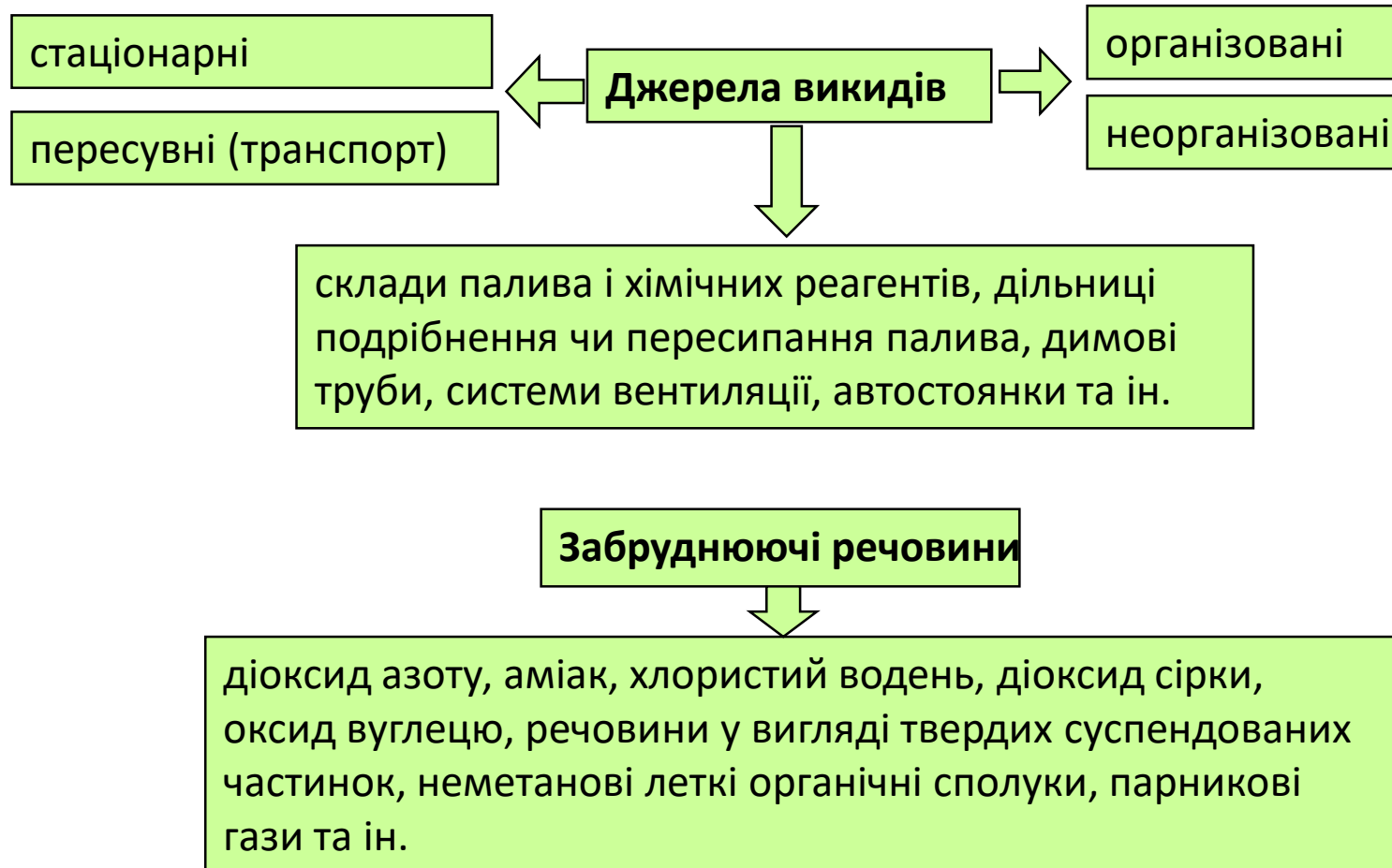
# Основи законодавства в сфері охорони атмосферного повітря

- ❖ **Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища"** від 25. 06.1991 № 1264-XII - комплексний екологічний закон, що містить чимало положень принципового характеру, в тому числі щодо охорони атмосферного повітря, встановлюючи тим самим основні напрями державної політики у сфері взаємодії суспільства і природи.
- ❖ **Закон України "Про охорону атмосферного повітря"** від 16.10.1992 року № 2707-XII, прийнятий у новій редакції 27.07.2022 р. визначає загальні положення, а також регулює питання стандартизації і нормування в галузі охорони атмосферного повітря, організаційно-правові заходи щодо охорони атмосферного повітря, дотримання правових вимог при проєктуванні, будівництві та реконструкції промислових об'єктів.
- ❖ Цей закон виступає безпосередньою основою для **організації охорони атмосферного повітря** та передбачає **систему правових заходів**: дозвільного, попереджувального (превентивного), контрольного, стимулюючого характеру (заохочення й відповідальність), поновлювального (відтворювального), заборонного характеру .
- ❖ До заходів попереджувального (превентивного) характеру належить планування, стандартизація, нормування, проєктування, будівництва та реконструкції підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря, **встановлення санітарно-захисних зон, державна екологічна та санітарно-гігієнічна експертиза, державний облік, моніторинг тощо.**
- ❖ До заходів дозвільного характеру належить отримання **дозволу на викиди забруднюючих речовин** в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, який видається спеціально уповноваженими органами.
- ❖ Використання атмосферного повітря для викиду і розповсюдження забруднюючих речовин вважається спеціальним видом використання атмосферного повітря і потребує **отримання дозволу і сплати збору.**
- ❖ Право на викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря виникає після отримання відповідними юридичними і фізичними особами **дозволу на викид** у порядку , визначеному затвердженим Постановою КМУ від 28.12.2001 № 1780 (редакція від 16.06.2004) Положенням про порядок розроблення та затвердження нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел.

# Основи законодавства в сфері охорони атмосферного повітря.

## Джерела викидів та основні забруднюючі речовини

**Забруднююча речовина** - речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища



### Найбільш поширені забруднюючі речовини

Оксиди азоту  
Бенз(а)пірен  
Діоксид та інші сполуки сірки  
Оксид вуглецю  
Озон  
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)  
Свинець та його сполуки  
Формальдегід

### Небезпечні забруднюючі речовини

Метали та їх сполуки  
Органічні аміни  
Леткі органічні сполуки  
Стойкі органічні сполуки  
Хлор, бром та їх сполуки  
Фтор та його сполуки  
Ціаніди  
Фреони  
Арсен та його сполуки

# Основи законодавства в сфері охорони атмосферного повітря

- ❖ Котельні входять до ПЕРЕЛІКУ типів устаткування, для яких розробляються нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел (**Наказ мінприроди N317 від 16.08.2004 р.**)
- ❖ Дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря видаються за таких умов:
  - неперевикнення протягом строку його дії встановлених нормативів екологічної безпеки;
  - неперевикнення нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел.
- ❖ Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел затверджені **наказом Мінприроди від 27.06.2006 р. N 309.**
- ❖ Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт, затверджені **наказом Мінприроди від 22.10.2008 г. N 541**

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України 27.06.2006 № 309.

## Граничнодопустимі викиди при спалюванні твердих палив від стаціонарних джерел

Назва речовини	Величина годинного викиду, г/год	Гранично допустима концентрація в димових газах, мг/м <sup>3</sup>
Тверді частки, недиференційовані за складом	Більше 500	50
	Менше 500	150
Оксиди сірки в перерахунку на SO <sub>2</sub>	5000 і більше	500
Оксиди азоту в перерахунку на NO <sub>2</sub>	5000 і більше	500
Оксид вуглецю	5000 і більше	250

Граничнодопустима концентрація викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря досягається без розбавлення повітря і ґрунтується на величинах об'єму газів, які приведені до таких нормальних умов: якщо газоподібні продукти горіння, - температура 273 К, тиск 101,3 кПа, сухий газ; 3 % кисню для рідкого і газоподібного палива, 6 % кисню для твердого палива; 15 % кисню для газових турбін і дизельних двигунів.

# Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт

Забруднююча речовина	Номінальна теплова потужність установки (P), МВт	Технологічний норматив, мг/нм <sup>3</sup>	
		Нові установки	Модернізовані установки
Діоксид сірки SO <sub>x</sub>	50 ≤ P ≤ 100	200	200
	100 < P ≤ 300	200	200
	300 < P	150	200
Оксиди азоту NO <sub>x</sub>	50 ≤ P ≤ 100	250	300
	100 < P ≤ 300	200	250
	300 < P	150	200
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	50 ≤ P ≤ 100	20	30
	100 < P ≤ 300	20	20
	300 < P	10	20

# Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря із котелень, що працюють на лушпинні соняшнику

Наказ Мінприроди від 13.10.2009 №540

Код	Речовина	Клас	Поточні нормативи (до 31.12.2017)		Перспективні нормативи (після 1.01.2018)	
			Потуж. Котельної МВт	Техн. норматив мг/м <sup>3</sup>	Потуж. Котельної МВт	Техн. норматив мг/м <sup>3</sup>
301	Азоту оксиди NO <sub>x</sub>	3	<50	300	0-50	300
330	Ангідрид сірчистий SO <sub>2</sub>	3	<50	250	0-50	250
337	Вуглецю оксид CO	4	<50	750 <sup>1</sup> 2250 <sup>2</sup>	0-50	250
2902	Тверді частки недиференційовані за складом	3	<50	100 <sup>3</sup> 600 <sup>4</sup>	<5	100
					5-50	50

*Примітка: 1 – спалювання у шарі; 2 – спалювання у вихорі; 3 – для електрофільтру; 4 – для циклону.*

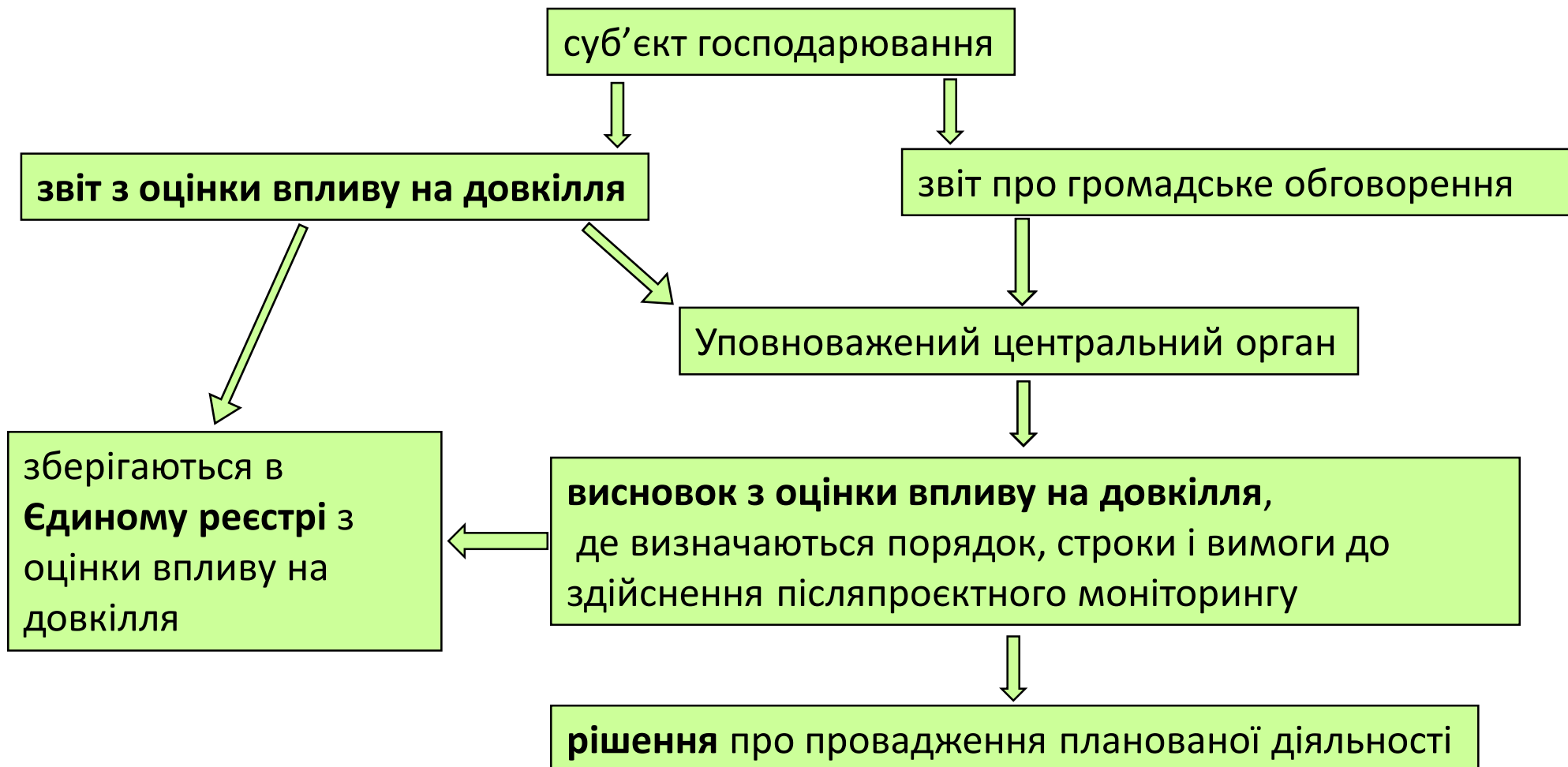
# Основи законодавства в сфері охорони атмосферного повітря

- ❖ Котельні (теплові станції, які мають одну або кілька теплових установок, споживають органічне паливо і виробляють теплову енергію), для яких розробляються документи з обґрунтуванням обсягів викидів, для отримання дозволу на викиди **поділяють на три групи**:
  - а) перша група - котельні, у складі яких є технологічне обладнання (котлоагрегат, газотурбінна установка, установка комбінованого циклу і т. п.), яке призначене для вироблення теплової, механічної енергії, в тому числі і когенераційні установки, шляхом перетворення хімічної енергії палива, загальна сумарна потужність якого більше 50 МВт;
  - б) друга група - котельні, загальна сумарна потужність яких менше 50 МВт і які взяті на державний облік. Для цих котелень найкращі доступні технології та методи управління не розробляються, а з метою реалізації вимог щодо скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря розробляються і впроваджуються заходи, які передбачені в типових проектах;
  - в) третя група - котельні, загальна сумарна потужність яких менше 50 МВт і які не взяті на державний облік.
- ❖ Для отримання дозволу необхідно, зокрема: підготувати документи, у яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин, провести інвентаризацію стаціонарних джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, оцінку впливу викидів забруднюючих речовин на стан атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони, розробити плани заходів щодо досягнення встановлених нормативів гранично допустимих викидів для найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, обґрунтувати розміри нормативних санітарно-захисних зон, підготувати інформацію про отримання дозволу для ознайомлення з нею громадськості відповідно до законодавства.
- ❖ Вимоги щодо розміру **санітарно-захисної зони (СЗЗ)** містяться в Державних санітарних правилах планування та забудови населених пунктів (*затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. № 173* . Розміри СЗЗ можна визначити згідно з **ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій**, відповідно до яких СЗЗ для котелень має бути не меншою від 50 м та/або визначена на основі результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.



# Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»

*Підлягають, зокрема: теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ) та інші потужності для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива*



# Коди, клас небезпечності, граничнодопустимі концентрації, орієнтовні безпечні рівні діяннн та гранично допустимі викиди забруднюючих речовин

Код	Речовина	Клас	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Масова витрата, г/год	Граничнодопустимі викиди, мг/м <sup>3</sup>
301	Азоту оксиди NO <sub>x</sub>	3	0,2	≥ 5000	500
330	Ангідрид сірчистий SO <sub>2</sub>	3	0,5	≥ 5000	500
337	Вуглецю оксид CO	4	5	≥ 5000	250
410	Метан	–	50	–	–
303	Аміак NH <sub>3</sub>	4	0,2	–	–
316	Хлористий водень HCl	2	0,2	≥ 300	30
328	Сажа	3	0,15	–	–
2902	Тверді частинки, недиференційовані за складом	3	0,5	≤ 500	150
				> 500	50
–	Зола подова та циклонна (код відходів 9010.2.9.04)	4	–	–	–
10293	Пил деревини	–	0,1	–	–

Наказ Мінприроди від 27.06.2006 № 309 «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел».

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06>.

Міністерство надзвичайних ситуацій України, Наказ "Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин" від 22.03.2012 N 627)

# Хімічний склад основних видів біомаси

Вид палива	Мул	Деревина	Трава	Солома	Лушпиння	Кора	Торф	Вугілля
Волога (W), мас%	64,3	15,9	30,7	10,4	9,0	13,0	41,2	8,1
Зола (A), мас% dry	19,4	0,6	3,6	8,6	10,8	3,7	5,5	11,8
Леткі, мас% daf	87,8	84,1	83,5	81,1	79,8	76,5	73,9	38,4
$Q_b^p$ , МДж/кг daf	18,8	20,3	19,7	19,5	20,5	21,3	22,9	33,8
$Q_n^p$ , МДж/кг daf	17,9	19,0	18,5	18,1	19,1	19,7	21,4	31,1
C, мас% daf	51,2	51,2	49,6	48,8	50,4	53,8	57,4	79,4
H, мас% daf	6,24	6,15	5,72	5,99	6,28	5,84	6	5,29
O, мас% daf	41,4	42,4	43,9	43,9	42,6	40	35,5	12,2
N, мас% daf	<1,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<0,5	1,9	1,5
S, мас% daf	<1,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,3	1,4
Cl, мас% daf	0,43	0,027	0,196	0,496	0,143	0,022	0,059	0,25
Si, мг/кг dry	46000	Н/Д	6775	17025	14000	422	12615	25148
Al, мг/кг dry	27700	Н/Д	100	1579	2700	188	4181	13123
Fe, мг/кг dry	1747	Н/Д	109	1417	2300	90	6387	7255
Ca, мг/кг dry	88600	Н/Д	1273	4694	13000	13622	6200	5421
Mg, мг/кг dry	2870	Н/Д	534	1818	5100	728	634	1666
Na, мг/кг dry	1725	30	319	610	1090	40	144	1142
K, мг/кг dry	1652	680	7633	11634	22233	1627	548	1287

dry – на суху масу; daf – на суху беззольну масу

Вища теплота згорання палива  $Q_b^p$  – теплота, що виділяється при повному окисленні горючих складових палива, плюс теплота, що виділяється при конденсації водяної пари, що міститься в продуктах згорання палива.

Нижча теплота згорання палива  $Q_n^p$  – теплота, що виділяється при повному окисленні всіх горючих складових палива.

# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

**Утворення забруднюючих речовин відбувається з трьох причин:**

- ❖ Неповне згоряння може призвести до високих викидів незгорілих забруднюючих речовин, таких як СО, леткі органічні сполуки (ЛОС), сажа, органічні сполуки, що конденсуються (КОС, також називаються «смолою»), і поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).
- ❖ Забруднювачі, такі як NO<sub>x</sub> і неорганічні частинки, утворюються в результаті наявності природних компонентів палива, таких як N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P і S.
- ❖ Біопаливо може бути носієм додаткових забруднюючих речовин, таких як важкі метали або хлор, що може призвести до високих викидів важких металів, HCl і потенційно високотоксичних поліхлорованих дибензодіоксинів і фуранів (ПДПД/Ф).

Результат реакції	Складові	Передумови утворення
Водяна пара	H <sub>2</sub> O	Речовини повного згоряння основних компонентів палива (С, Н, О)
Вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	
Окис вуглецю	CO	Неповне згоряння
Вуглеводні	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Неповне згоряння
Лужні сполуки	HCl, KCl, КОН	Висока залежність від вмісту Cl і K у паливі
Діоксини, фурани		Невелика залежність від палива, висока температурна залежність.
Сполуки сірки	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>	Залежно від вмісту сірки в паливі
	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Нижче точки роси SO <sub>2</sub> і SO <sub>3</sub> реагують з водяною парою, стаючи корозійними
Оксиди азоту	NO, N <sub>2</sub> O, NO <sub>2</sub>	З N, що міститься в паливі, або N <sub>2</sub> , що присутній у повітрі для горіння

**В результаті процесу горіння можна виділити різні типи забруднюючих речовин:**

- ❖ Незгорілі забруднюючі речовини, такі як СО, ЛОС, РАН, КОС, сажа, вуглець, Н<sub>2</sub>, HCN, NH<sub>3</sub> та N<sub>2</sub>O
- ❖ Забруднювачі від повного згоряння, такі як NO<sub>x</sub> (NO і NO<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, і
- ❖ Зола та забруднювачі, KCl, HCl тощо, SO<sub>2</sub>, ПДПД/Ф, Cu, Pb, Zn, Cd тощо.

# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

## Основні компоненти продуктів згорання біомаси

Компонент	Джерело утворення	Вплив
Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ )	Основний продукт згорання всіх видів паливної біомаси	Клімат: Газ прямої парникової дії, але, оскільки біомаса вважається $\text{CO}_2$ -нейтральним паливом, не враховується його вплив на клімат
Оксиди азоту ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ )	Побічний продукт згорання всіх видів паливної біомаси. За певних умов додаткова кількість $\text{NO}_x$ може утворюватися з азоту повітря	Клімат і навколишнє середовище: Непрямий парниковий ефект через вплив на утворення озону. Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини
Закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ )	Побічний продукт згорання всіх видів паливної біомаси, що містять азот	Клімат: Газ прямої парникової дії. Це анестезуючий і нейротоксичний газ, який може мати шкідливий вплив на здоров'я
Оксиди сірки ( $\text{SO}_x = \text{SO}_2 + \text{SO}_3$ )	Побічний продукт згорання всіх видів паливної біомаси, що містять сірку	Клімат і навколишнє середовище: Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини, викликають астму
Оксид вуглецю ( $\text{CO}$ )	Неповне згорання всіх видів паливної біомаси	Клімат: Газ непрямої парникової дії, впливає на утворення озону Здоров'я: Може викликати напади задухи у разі накопичення в закритих приміщеннях

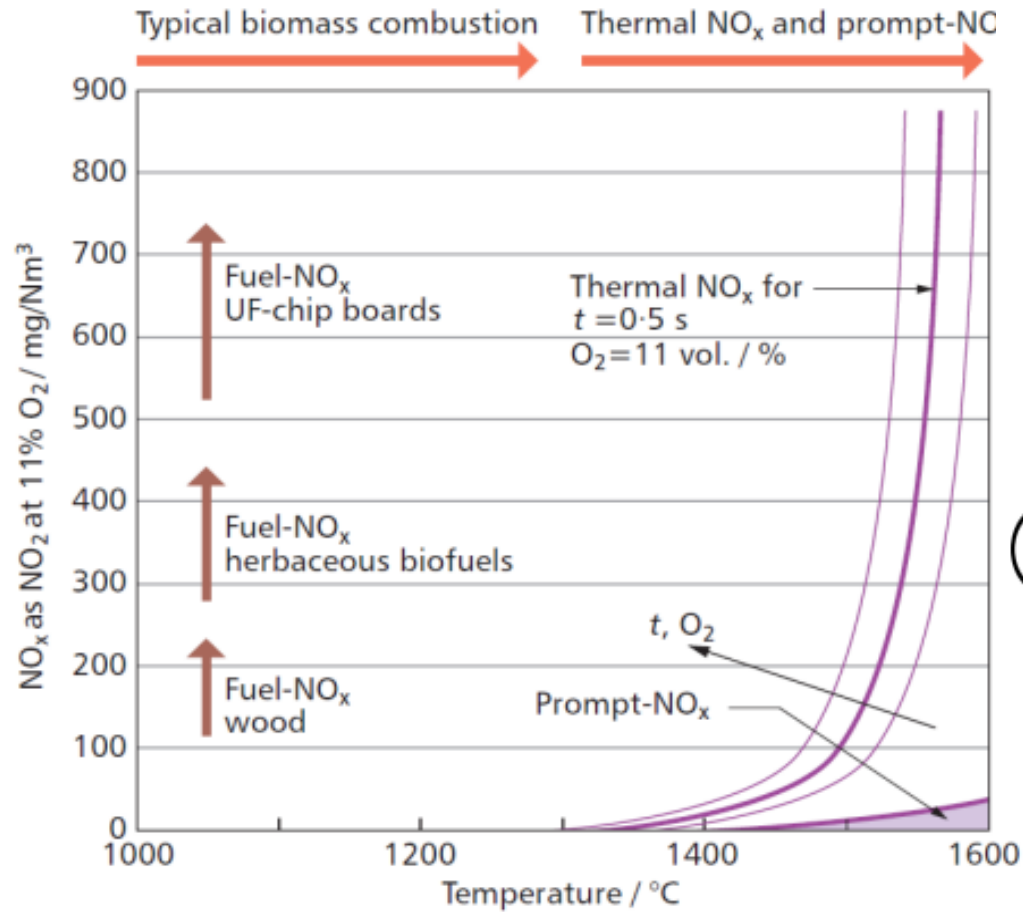
# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

## Основні компоненти продуктів згорання біомаси (Продовження)

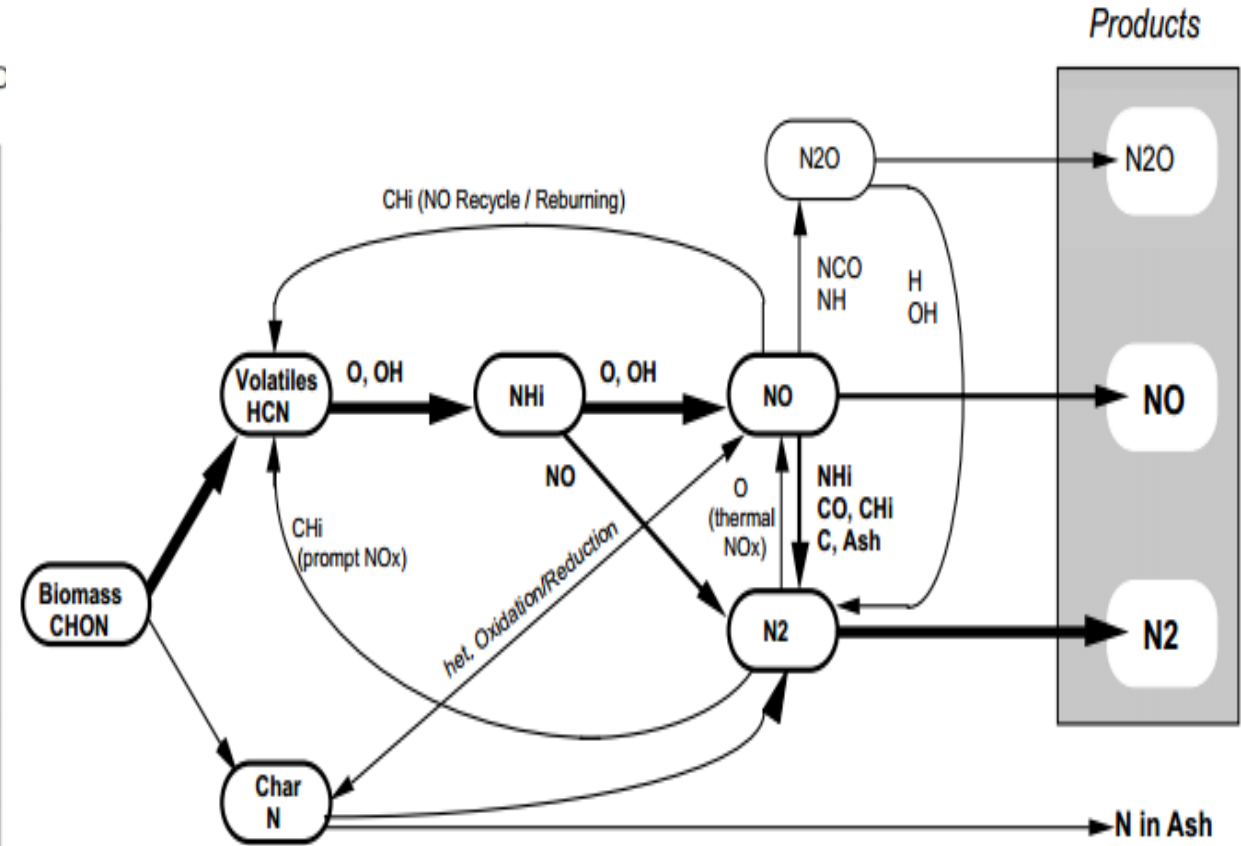
Компонент	Джерело утворення	Вплив
Метан (CH <sub>4</sub> )	Неповне згорання всіх видів паливної біомаси	Клімат: Газ прямої парникової дії. Здоров'я: Може викликати напади задухи у разі накопичення в закритих приміщеннях
Аміак (NH <sub>3</sub> )	Неповне перетворення NH <sub>3</sub> при піролізі чи газифікації	Навколишнє середовище: Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Токсичний
Хлористий водень (HCl)	Побічний продукт згорання всіх видів паливної біомаси, що містять хлор	Навколишнє середовище: Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Токсичний
Тверді частки	Сажа та конденсат важких вуглеводнів (смоли), що утворюються при неповному згоранні усіх видів паливної біомаси	Клімат і навколишнє середовище: Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Непрямий ефект – можливий значний вміст важких металів в завислих частках Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини
Не метанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)	Неповне згорання всіх видів паливної біомаси	Клімат: Гази непрямої парникової дії, впливає на утворення озону Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини

# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

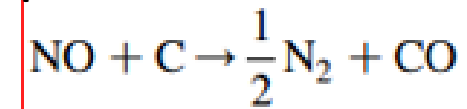
Утворення паливних, термічних та швидких NOx [1]



Перетворення паливного азоту при спалюванні біомаси [2]

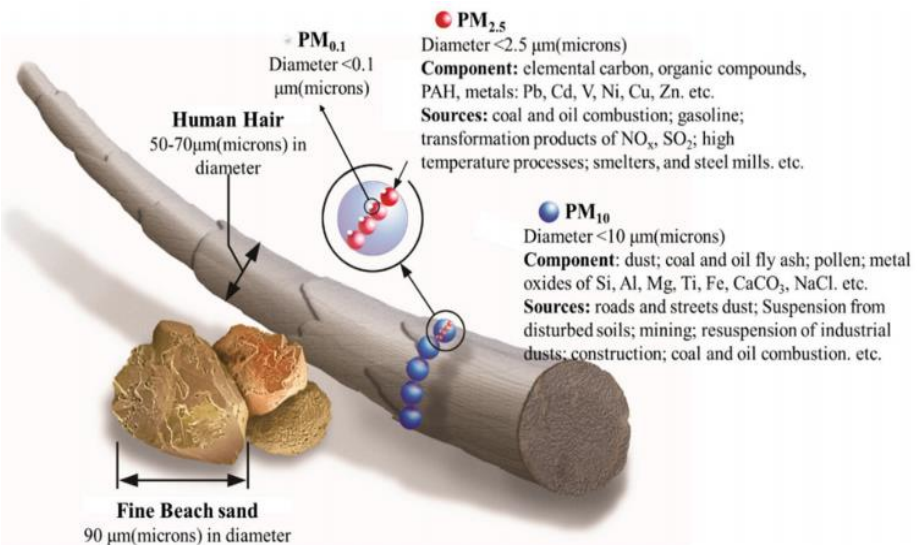


Відновлення NO до N<sub>2</sub> при взаємодії з коксозольним залишком в шарі палива:

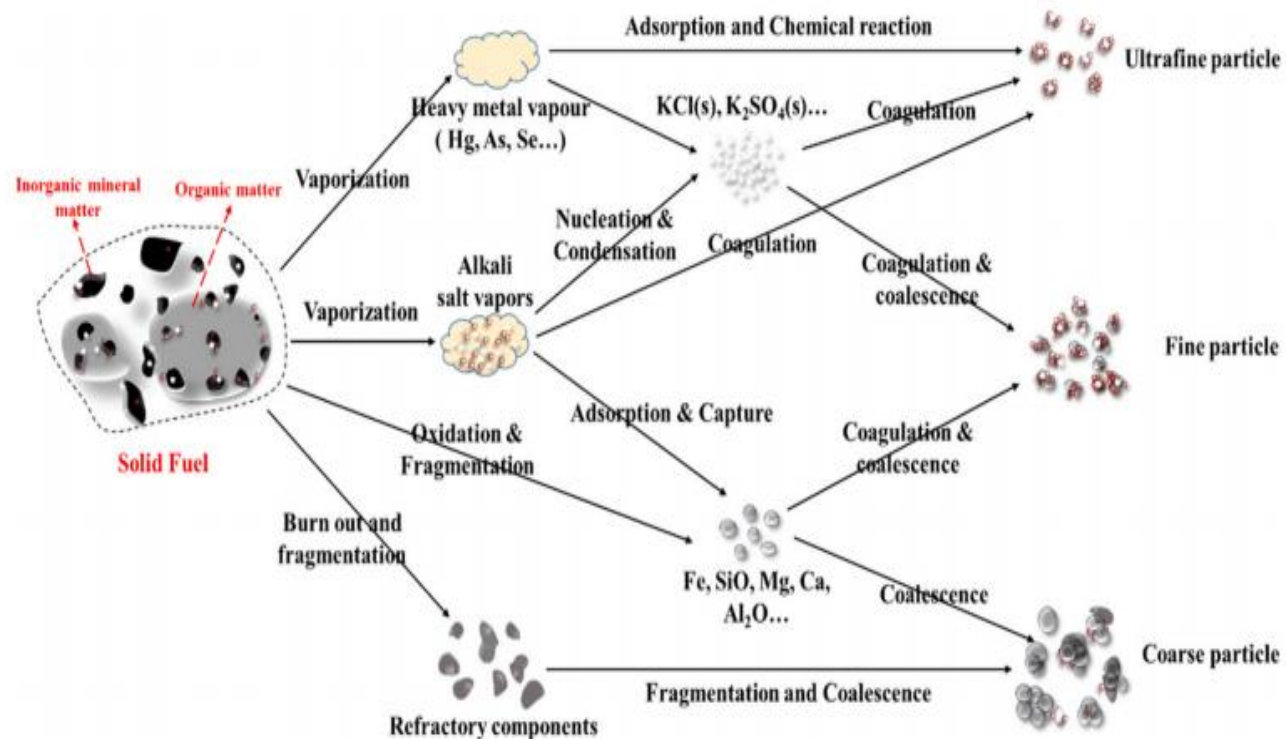


# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

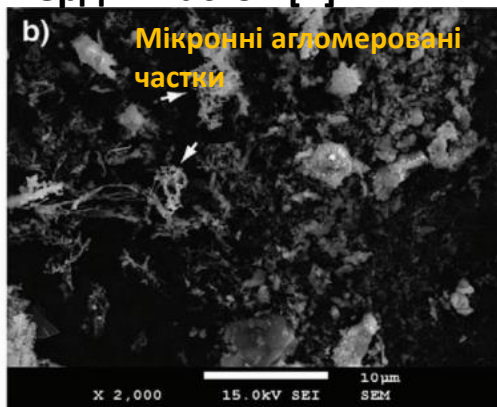
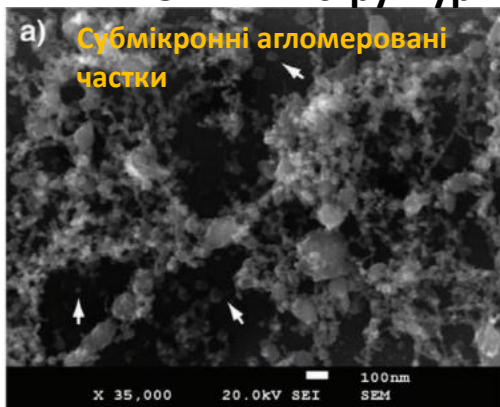
## Порівняння розмірів твердих часток [3]



## Схема утворення твердих часток різних розмірів (PM<sub>10</sub>) [3]



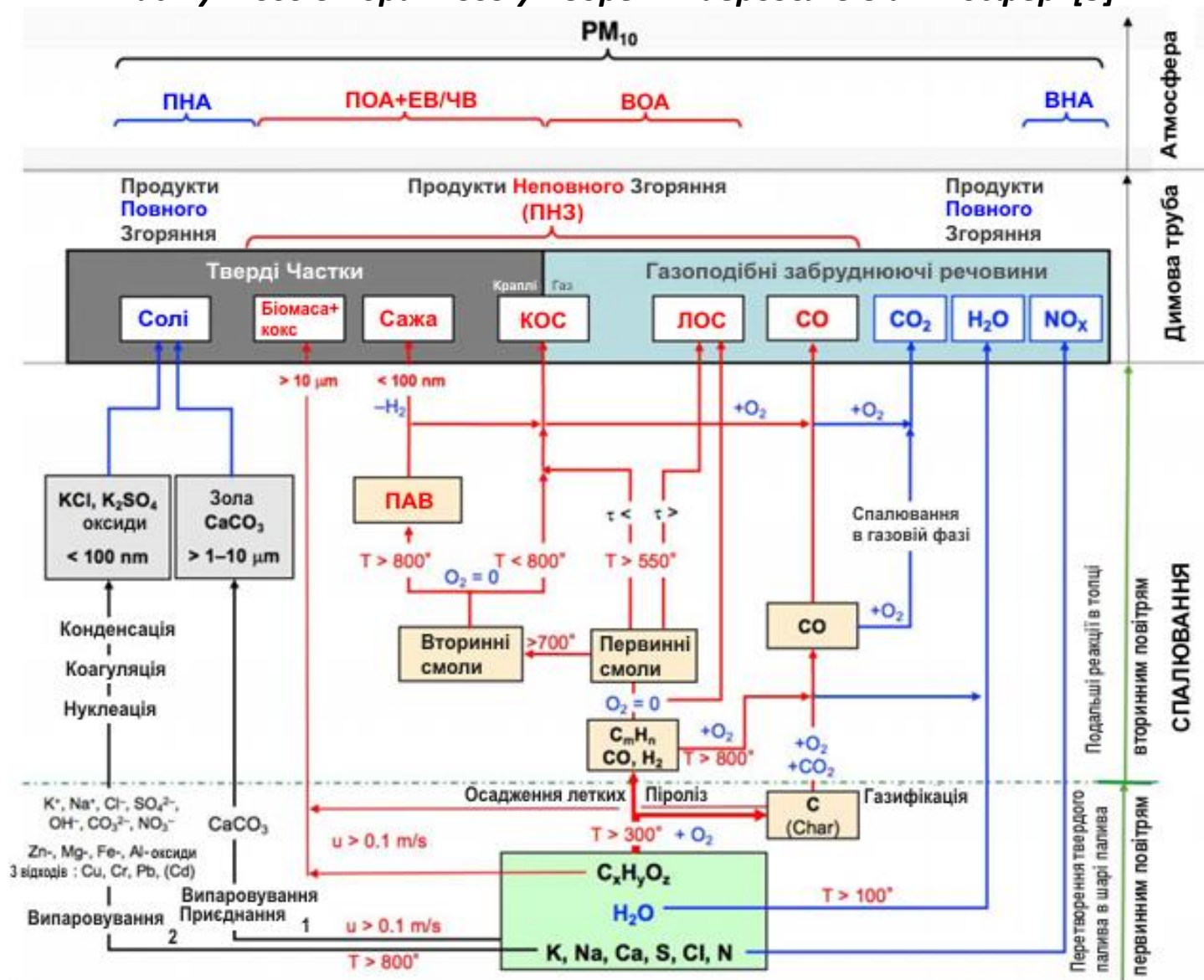
## Різні типи структури твердих часток [4]





# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

Механізми утворення твердих часток при горінні біомаси та наступного вторинного утворення аерозолів в атмосфері [5]

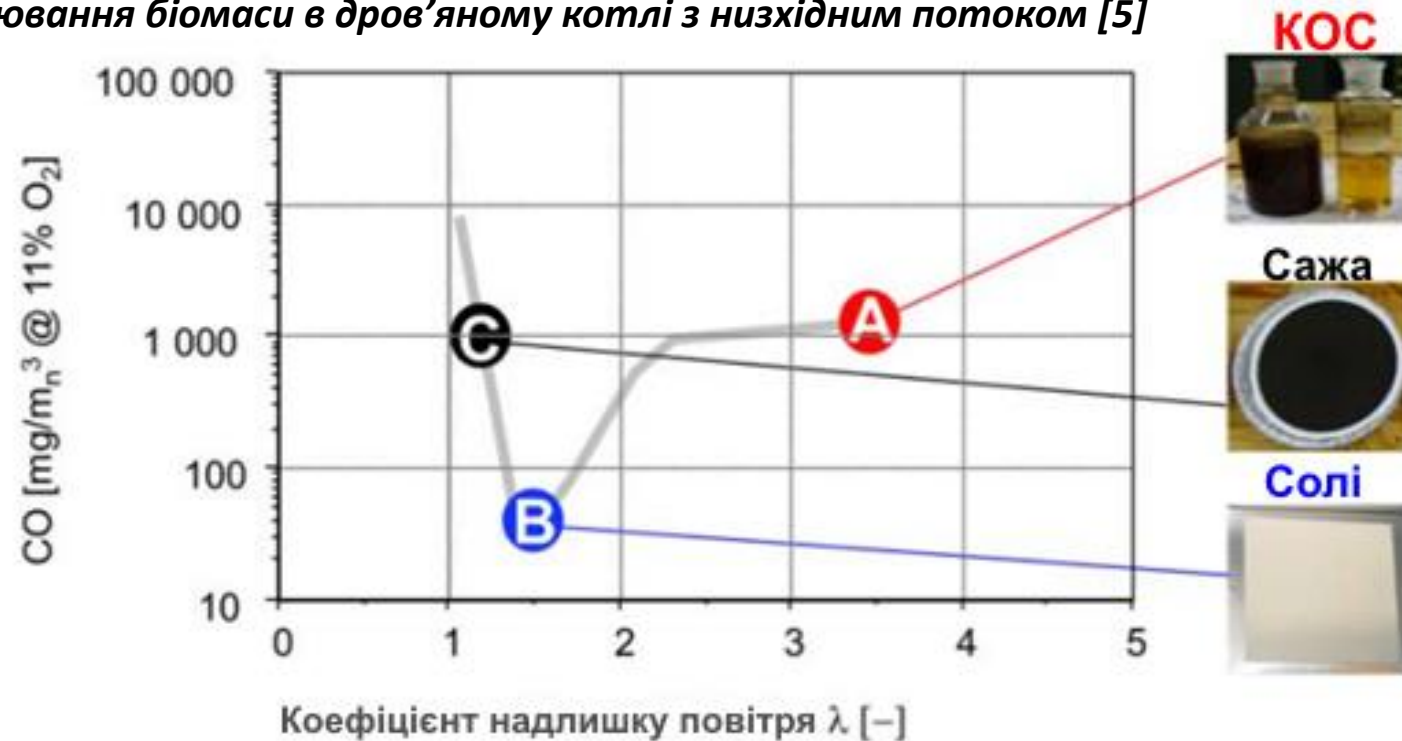


**Умовні позначення:**

- ВНА - вторинні неорганічні аерозолі;
- ВОА - вторинні органічні аерозолі;
- ЕВ- елементарний вуглець;
- КОС - конденсовані органічні сполуки;
- ЛОС – леткі органічні сполуки
- ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні;
- ПНА - первинні неорганічні аерозолі;
- ПНЗ – продукти неповного згоряння;
- ПОА- первинні органічні аерозолі;
- ЧВ – чорний вуглець;
- T – температура, °C;
- $\tau <$  - короткий час перебування;
- $\tau >$  - довгий час перебування;
- u – швидкість газового потоку, м/с;
- 1 – шлях утворення твердих часток;
- 2- шлях утворення випаровуваних твердих часток

# Утворення забруднюючих речовин при спалюванні біомаси

Вміст оксиду вуглецю в димових газах як функція коефіцієнта надлишку повітря ( $\lambda$ ) при спалювання біомаси в дров'яному котлі з низхідним потоком [5]

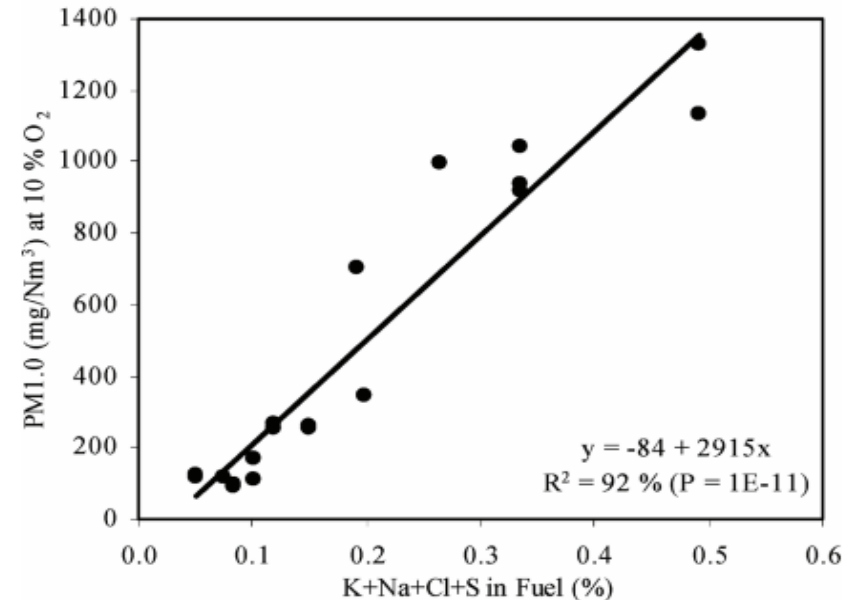
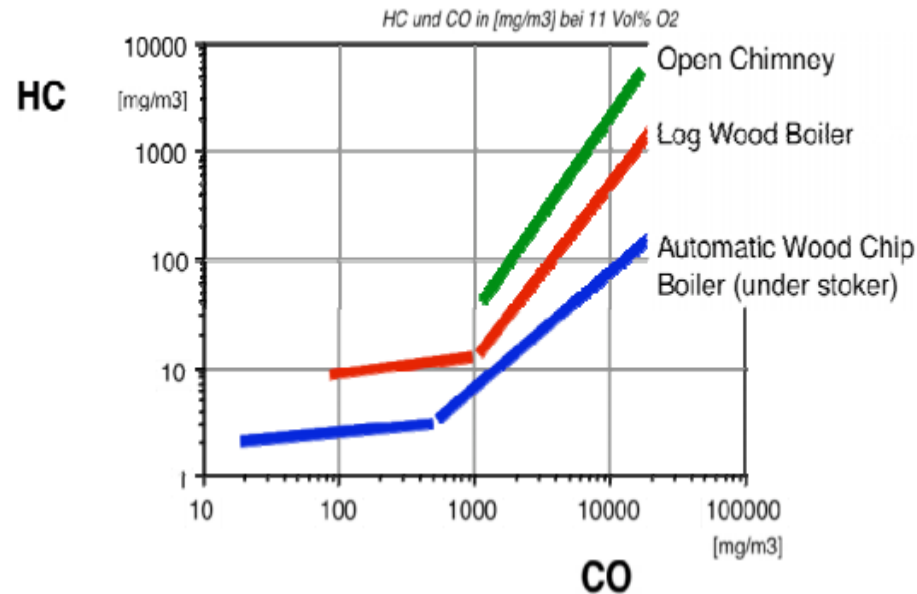
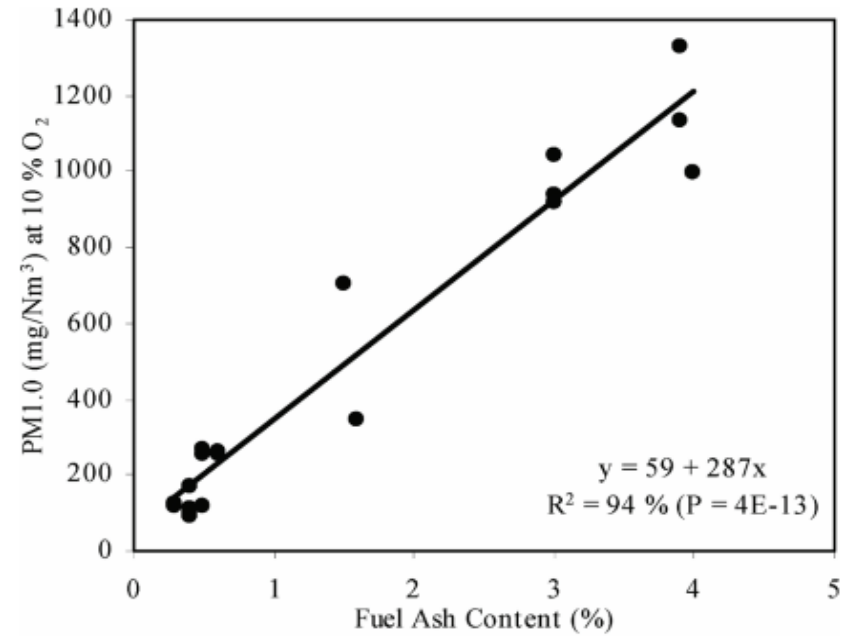
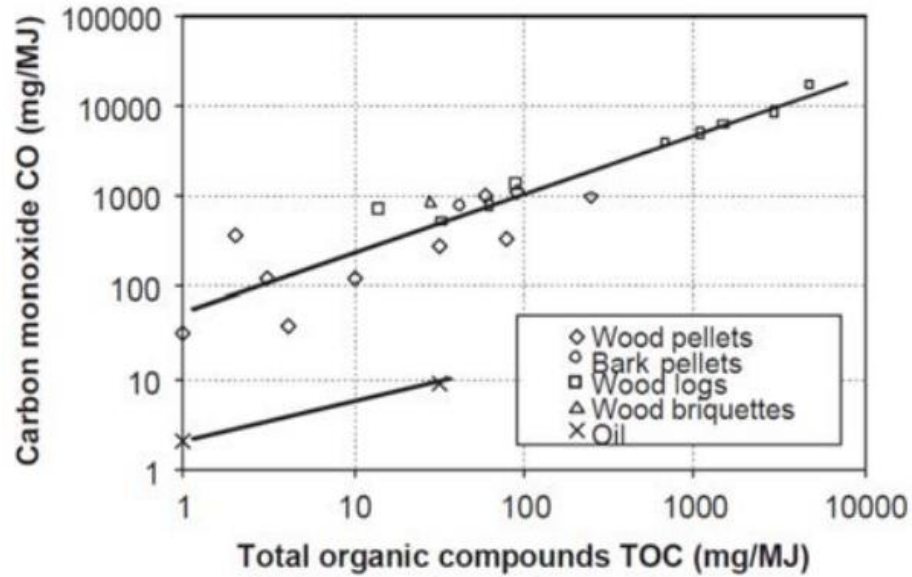


Для таких умов часто можна виділити три різні режими горіння:

- ❖ Режим А: низька температура, напр. виникає під час холодного запуску, що призводить до високої концентрації КОС.
- ❖ Режим В: Правильна робота з оптимальними умовами, що призводить до майже повного згорання з низьким утворенням ПНЗ, але відповідними концентраціями переважно солей, що містяться в частинках газової фази.
- ❖ Режим С: нестача кисню при високій температурі в полум'ї, напр. через занадто перекритий потік повітря, що спричиняє високу концентрацію сажі.

# Залежність утворення твердих часток від різних факторів [2, 4, 5]

## Окис вуглецю як індикатор якості горіння



# Вплив технологій та виду палива на викиди ЗР

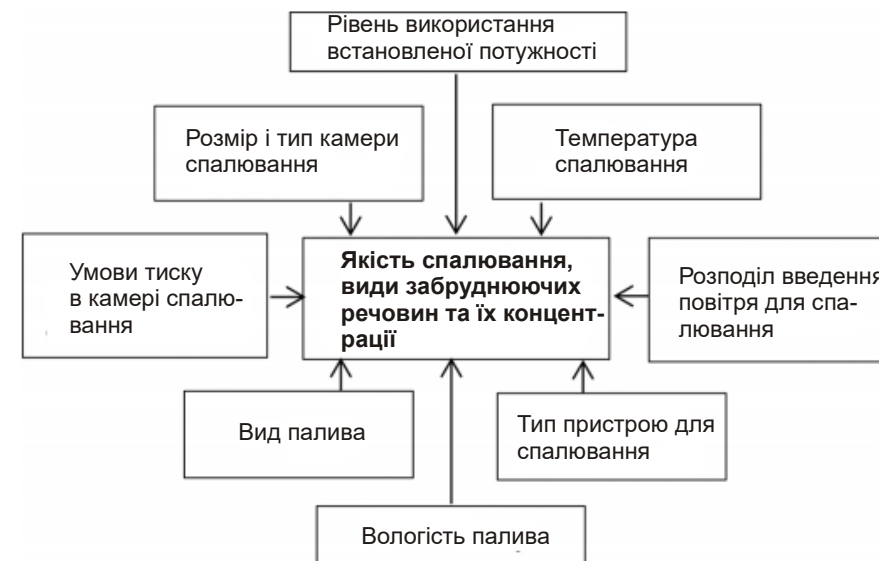
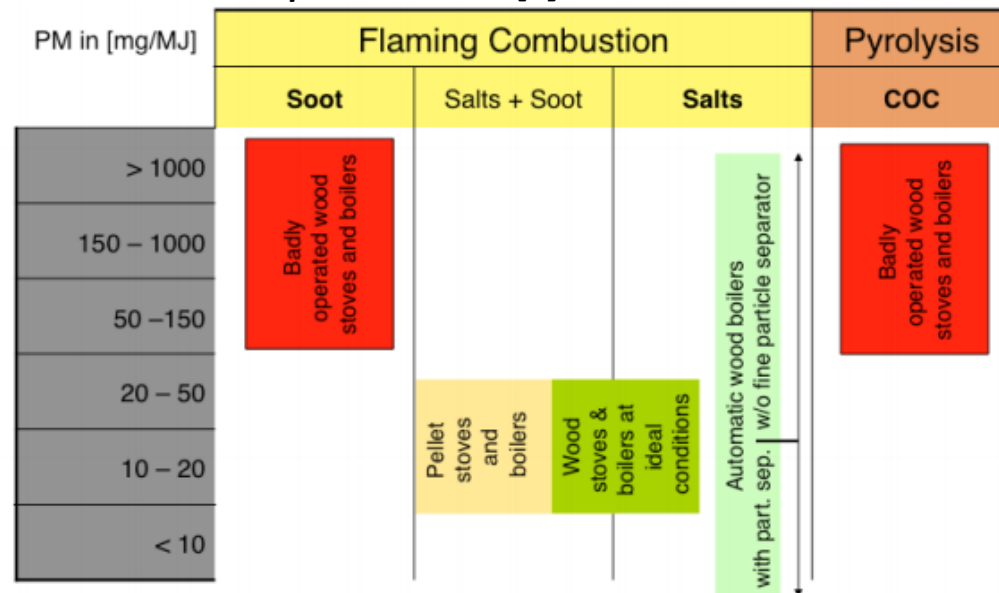
## Викиди шкідливих речовин під час спалювання різних видів палива

Вид викиду	Деревина (мг викидів/ кВтгод)	Вугілля (мг викидів/ кВтгод)	Природний газ (мг викидів/ кВтгод)
Оксиди азоту	154,77	588,12	12,69
Монооксид вуглецю	541,69	38,69	7,74
Сірчистий газ	38,69	278,58	4,33
Тверді частки	30,95	30,95	12,85
Метан	30,95	3,40	13,00
Закис азоту	20,12	23,33	3,10
Діоксид вуглецю	0,00	331 202,00	181 078,00

## Викиди шкідливих речовин при спалюванні різних видів палива в котлоагрегатах, кг/т палива (розрахунковий метод [6])

Назва поллютанту	Відходи деревини	Солома	Костриця льняна	Лузга соняшника	Природний газ
Суспендовані тверді частинки	0,027	0,171	0,110	0,091	-
Діоксиди сірки	-	2,00	2,00	3,20	-
Оксиди азоту	2,46	1,38	1,40	1,36	6,68
Оксиди діазоту	0,049	0,079	0,080	0,077	0,004
Оксиди вуглецю	2,35	1,85	1,87	1,81	0,76
Діоксиди вуглецю	1267,39	1564,10	1593,40	1556,78	2662,57
Метан	0,062	0,141	0,143	0,139	0,045
НМЛОС	0,554	0,785	0,797	0,772	0,224
Ртуть	-	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-6}$

## Залежність викидів шкідливих речовин від режиму спалювання деревних палив [2]



# Порівняння технологій спалювання біомаси

## Котли з верхньою подачею палива

Тип котла	Властивості
Котел зі стокерним пальником	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Найпростіша технологія – верхня стокерна подача з найнижчими капітальними витратами</li> <li>• Паливо- деревна тріска або деревні гранули</li> <li>• Паливо до 30% вологості та з дрібним розміром частинок</li> <li>• <b>Первинне та вторинне повітря неможливо контролювати незалежно, і це може призвести до неповного згоряння та низького рівня ефективності</b></li> <li>• Як правило, до 1 МВт</li> </ul>
Ступінчаста колосникова решітка	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гнучкість конструкції котла - може працювати з паливом різного розміру та якості</li> <li>• Можна спалювати деревну тріску</li> <li>• Допустиме паливо до 55% вологості</li> <li>• <b>Подача первинного та вторинного повітря може змінюватися, що забезпечує оптимізацію згоряння</b></li> <li>• Доступні в діапазоні розмірів до 10 МВт</li> </ul>
Котел з ланцюговою решіткою	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Конструкція котла включає ланцюгову решітку, що постійно рухається</li> <li>• Допускає різні види паливної біомаси</li> <li>• Допускає паливо з вмістом води до 55% - необхідний розмір палива залежить від потужності котла</li> </ul>
Котел з ротаційною камерою згоряння з рухомою решіткою	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологія, яка забезпечує повне згоряння та високий рівень ефективності</li> <li>• <b>Повне згоряння та постійні оптимальні температури забезпечують низькі рівні викидів</b></li> <li>• Допускають паливо до 40% вологості</li> </ul>

### Питомі викиди при спалюванні біомаси, г/ГДж

Викиди	Решітка		КШ		ЦКШ	
	min	max	min	max	min	max
NO <sub>x</sub>	95	206	64	107	43	64
CO	64	193	21	64	21	64

## Методи зменшення вмісту забруднюючих речовин у продуктах згорання

- ✓ **первинні методи** — організаційно-підготовчі та режимні заходи, спрямовані на підготовку палива та організацію процесу спалювання в топковій камері, в тому числі вибір конструктивних рішень котлів (*менш витратні, однак характеризуються низькою ефективністю і мають ряд недоліків: можливе зниження ККД котла і труднощі з регулюванням технологічних процесів*);
- ✓ **вторинні методи** — технічні заходи зі зменшення концентрації утворених забруднюючих речовин у димових газах завдяки застосуванню спеціалізованого газоочисного обладнання (*для ТЕЦ та ТЕС, де доцільне встановлення циклонів та мультициклонів, скрубєрів, рукавних фільтрів та електрофільтрів*).

# Первинні методи зменшення вмісту забруднюючих речовин у продуктах згорання

*Основні первинні методи, що застосовуються для забезпечення оптимального спалювання:*

- ❖ **Розподіл повітря**, який сприяє посиленню турбулентності, заснований на впорскуванні повітря для горіння через різні зони топки для сприяння повному вигоранню речовин, частково окислених під час перших етапів горіння. Це рішення ефективно зменшує викиди CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> і PM.
- ❖ **Поетапне спалювання палива**, щоб забезпечити зменшення NO<sub>x</sub> до N<sub>2</sub>. Ця техніка працює в поєднанні з правильним повітророзподілом, що дозволяє посилити зниження NO<sub>x</sub>.
- ❖ **Рециркуляція димових газів**. Повторне надходження частини газу згорання, змішаного з повітрям, що горить, для зменшення, головним чином, утворення NO<sub>x</sub>. Цей метод також застосовують у газових турбінах, цементних печах або великомасштабних вугільних установках.
- ❖ **Попереднє нагрівання повітря** за допомогою систем рекуперації тепла димових газів, як було доведено, підвищує ефективність котла. Підвищення температури окислювача полегшує повне окислення C-до CO<sub>2</sub>, таким чином зменшуючи викиди CO.
- ❖ **Спалювання на основі підвищеного вмісту кисню**, яке часто використовується в системах спільного спалювання вугілля, базується на впорскуванні суміші O<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub> як окислювача замість навколишнього повітря. Допалювання CO було досягнуто за об'ємної частки кисню 25%. Це досить зріла технологія, яка вийшла з ужитку через економічні причини, але зараз може бути використана знову.

# Первинні методи зменшення вмісту забруднюючих речовин у продуктах згорання

- ❖ **Зниження температури шару**, яке зменшує в основному випаровування неорганічних сполук. Наприклад, тліюче горіння, яке базується на введенні інертного матеріалу для зменшення дифузії кисню, а отже, швидкості реакції; або пряме охолодження паливного шару, що дозволяє утримувати ТЧ і неорганічні речовини в шарі.
- ❖ Інші засоби, наприклад пінокерамічні фільтри, досліджуються для можливості застосування у малих котлах.

Крім того, утворення небажаних сполук можна уникнути не лише шляхом зміни процесу згорання, але й шляхом *попередньої обробки палива*.

Це стосується таких методів:

- ❖ Введення добавок, головна роль яких базується на захопленні цих проблемних видів золи за допомогою механізмів адсорбції або реакції. Доведено, що мінерали на основі кальцію, такі як вапно та вапняк ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ), ефективно зменшують проблеми шлакування та спікання завдяки їхньому внеску в утворення золи з вищими температурами плавлення. Сполуки на основі кальцію також часто використовуються для адсорбції серу при зменшенні виділення  $\text{SO}_x$ . Речовини на основі алюмосилікатів, головним чином каолін ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), були виявлені як потенційні відновники РМ, показуючи результати, які досягли 50%.
- ❖ Вилуговування, яке полягає в промиванні біомаси водою для видалення певних водорозчинних елементів, таких як K, Cl, S, Na, P або Mg. Згідно з багатьма дослідженнями, проблеми плавлення золи або виділення лугу можна успішно мінімізувати за рахунок зменшення вмісту цих хімічних речовин у складі біомаси.

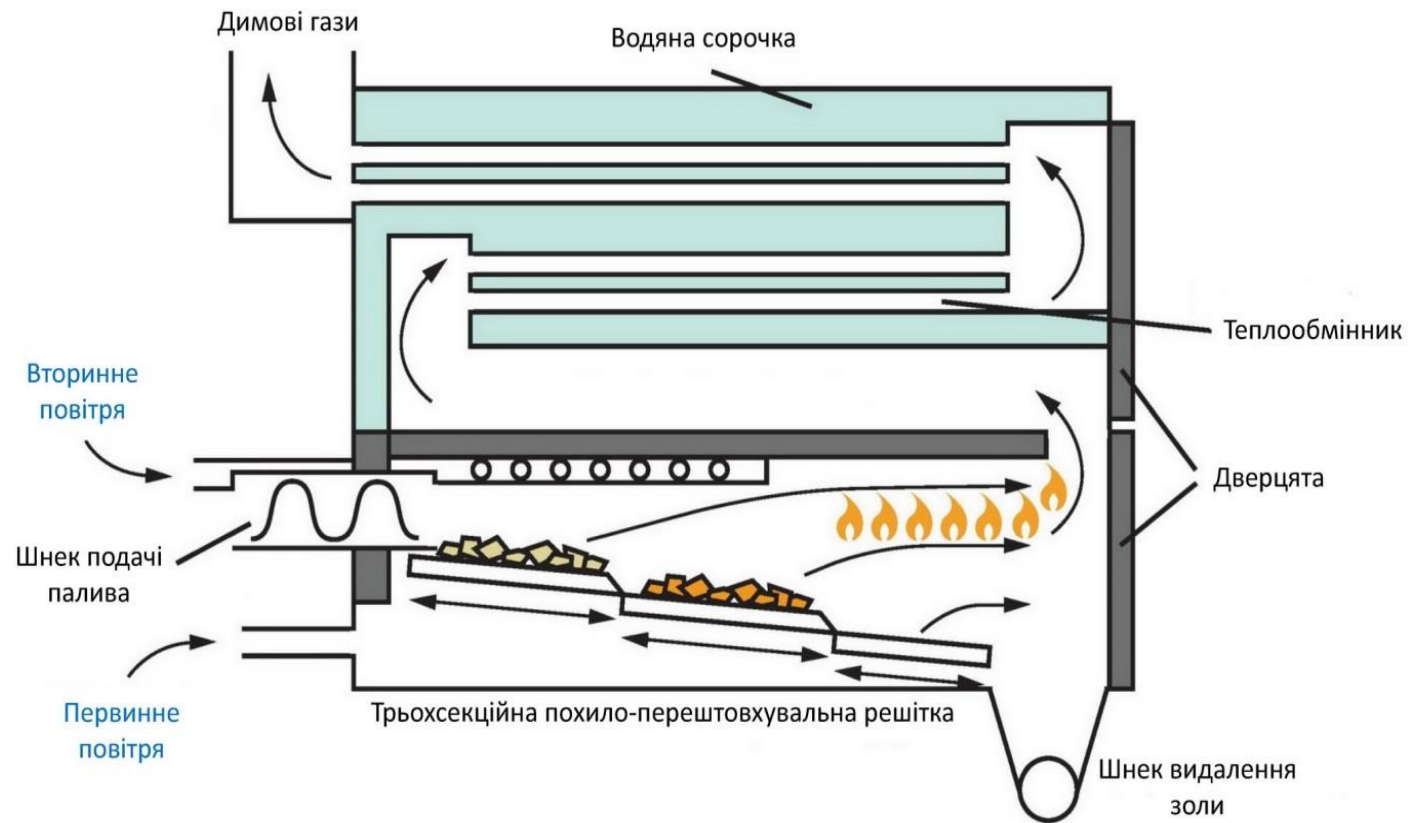


# Первинні методи зниження оксидів азоту (NOx)

## Основні первинні методи по зниженню оксидів азоту:

- ✓ Належна підготовка палива;
- ✓ Зменшення температури в камері згорання;
- ✓ Оптимізація коефіцієнту надлишку повітря;
- ✓ Рециркуляція димових газів;
- ✓ Вприскування води;
- ✓ Багатоступенева подача повітря в котел.

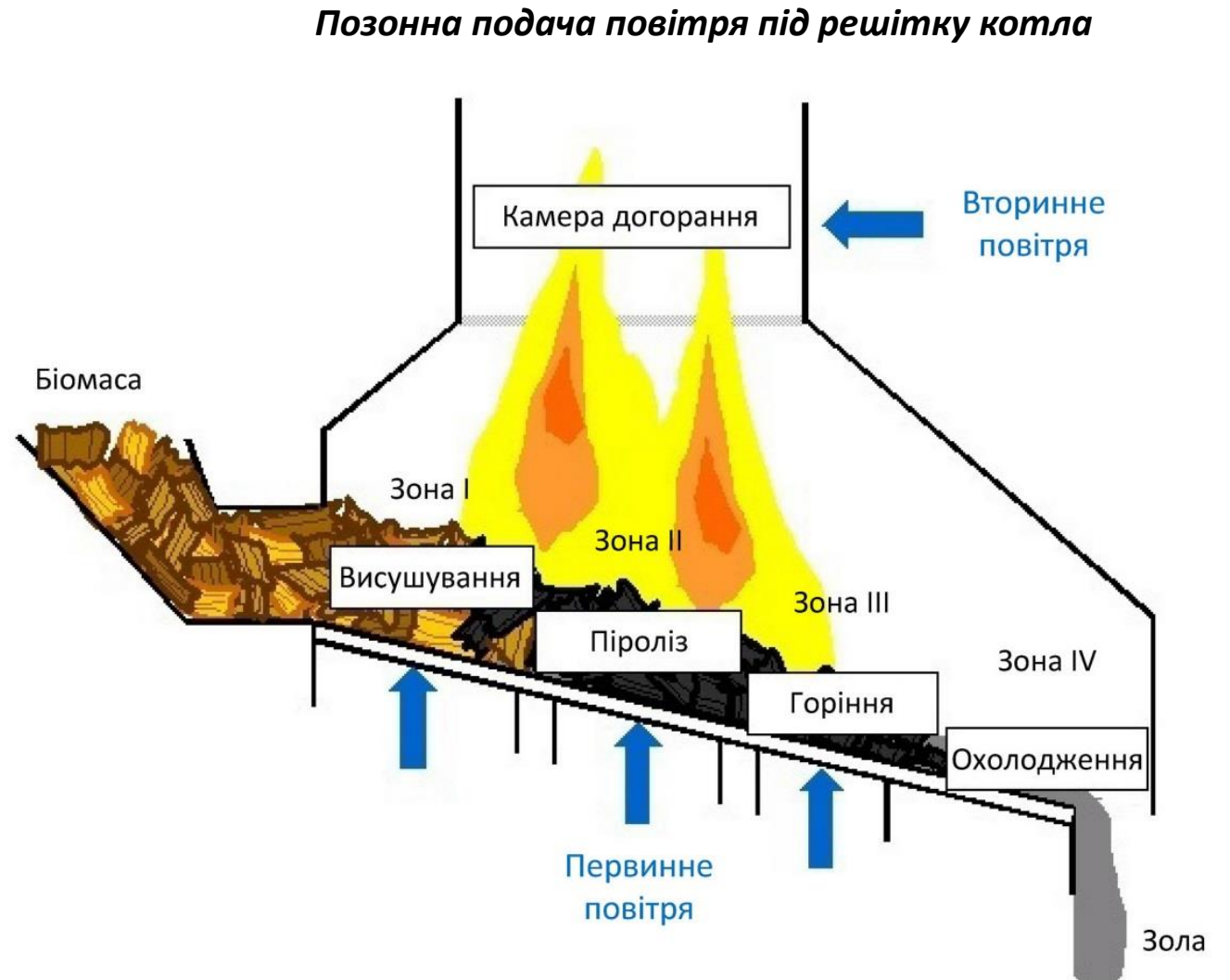
## Двостадійна подача повітря в котлі



# Первинні методи зниження оксидів вуглецю (CO)

## Основні первинні методи по зниженню оксидів вуглецю:

- ✓ Подрібнення та підсушування палива до вологості 15-20%;
- ✓ Оптимізація способу подачі палива і запобігання перевантаженню топки;
- ✓ Оптимізація розмірів колосникової решітки;
- ✓ Багатоступенева подача повітря;
- ✓ Позонна подача повітря та регулювання його кількості.



# Порівняння ефективності зниження викидів



Технологічні заходи зниження викидів оксидів азоту при спалюванні біомаси на ТЕЦ, ТЕЦ та когенераційних станціях

Захід	Реалізація	Зниження викидів NO <sub>x</sub>	Недоліки
Стадійна подача повітря	Встановлення гострого дуття повітря над шаром палива	20 – 40%	Необхідність установки додаткових трубопроводів, неможливість реалізації у ЦКШ
Рециркуляція димових газів	Подача частини димових газів з вихлопу димососу на всас дуттьового вентилятора	30 – 50%	Зниження ККД котла, необхідний запас по тязі та дуттю, збільшення витрати енергії на власні потреби

# Вторинні методи. Класифікація методів очищення димових газів

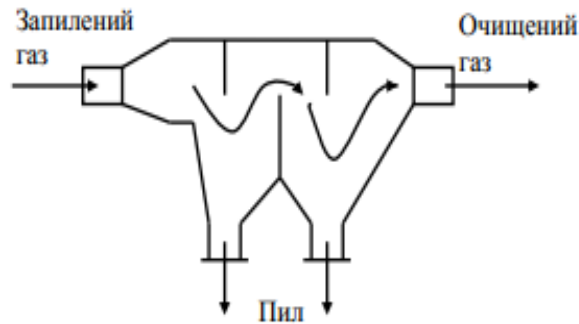
Забруднювач	Апарат/процес	Принцип
Частинки та важкі метали, пов'язані з частинками	Циклон	Відцентрова сила, інерція
	Тканинний фільтр	фільтрація
	Електростатичний фільтр	Електричне тяжіння
	Мокрий сепаратор	Гетерокоагуляція
NO <sub>x</sub>	Селективне некаталітичне відновлення (SNCR)	Газофазова реакція
	Селективне каталітичне відновлення (SCR)	Гетерогенний каталіз (хімічна адсорбція)
HCl, HF, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>	Мокра обробка димових газів	Абсорбція
	Напівсухе очищення димових газів	Абсорбція та адсорбція
	Суха обробка димових газів	Хімічна адсорбція
Органічні забруднювачі та важкі метали	Абсорбер стиснутого потоку	Фізична адсорбція
	Адсорбер з нерухомим або рухомим шаром	



# Апарати для відділення твердих часток з димових газів [ 7 ]

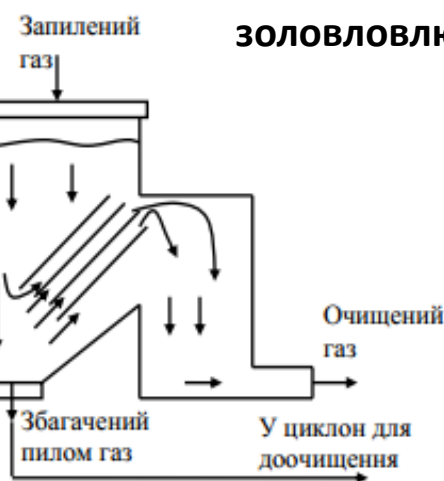
## Скрубери

### Пилоосаджувальна камера

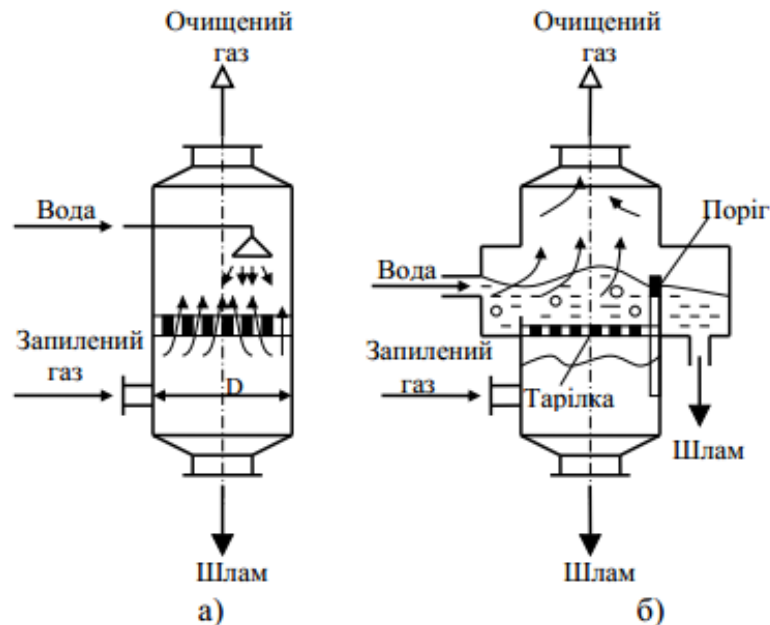


### Жалюзійний

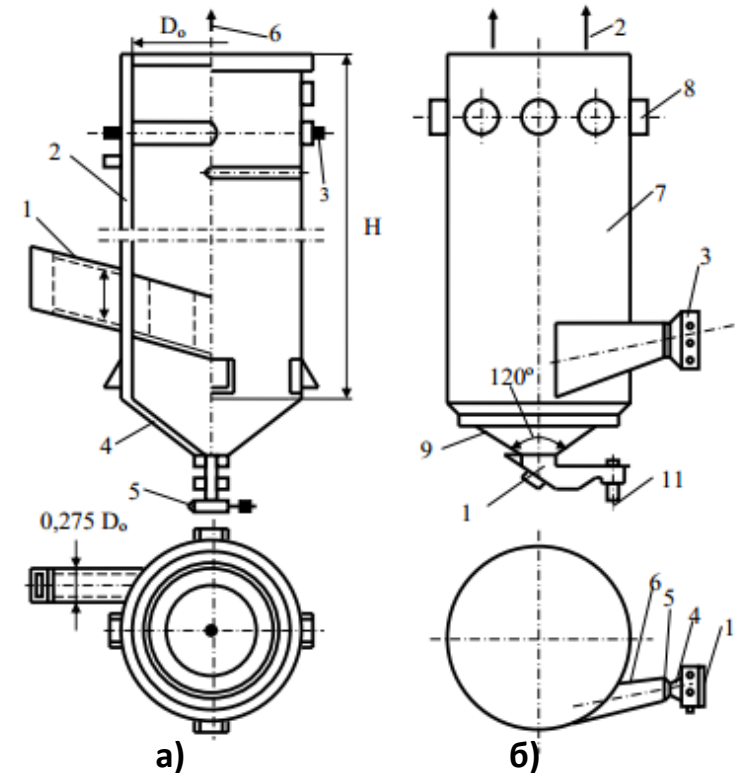
### золловлювач



### Пінні золловлювачі

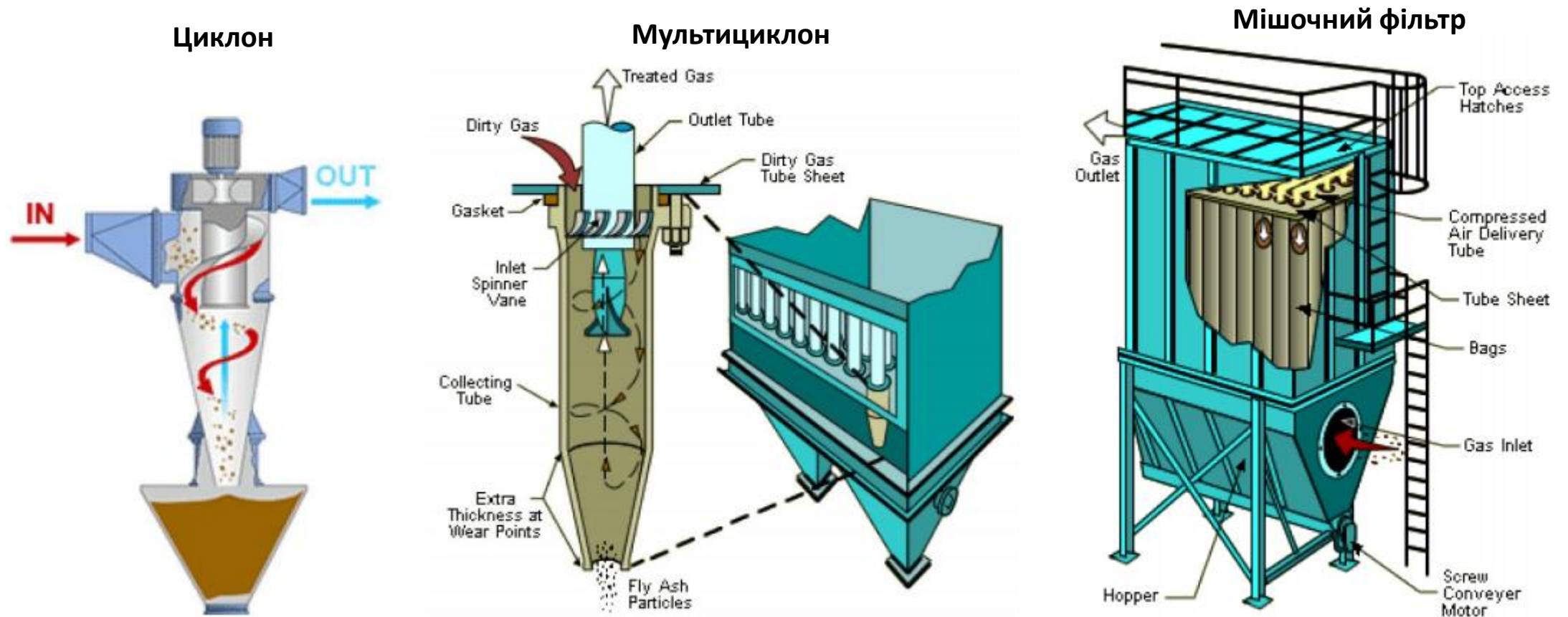


а) з провальною тарілкою; б) з переливною тарілкою



а) відцентровий скрублер: 1 – вхідний патрубков; 2 – корпус скрубера; 3 – підведення зрошувальної води; 4 – бункер; 5 – гідрозатвор; 6 – вихід очищеного газу;  
 б) швидкісний золловлювач з трубою Вентурі: 1 – вхід запиленого газу; 2 – вихід очищеного газу; 3 – подача розпиленої води через форсунки; 4 – конфузори; 5 – горловина; 6 – дифузори; 7 – корпус краплевловлювача; 8 – сопла, які зрошують стінки скрубера; 9 – бункер для золи; 10 – гідрозатвор; 11 – видалення пульпи у канал золловлювача

# Апарати для відділення твердих часток з димових газів [ 1 ]



$$\Pi = K \cdot \Phi = \frac{\tau_p \cdot \omega_0}{R} \cdot \frac{2\pi \cdot n}{1 - D_0},$$

Ступінь вловлювання в циклоні ( $\Pi$ ) зростає при зростанні часу розгону частинки до заданої швидкості ( $\tau_p$ ), зростанні швидкості частинки ( $\omega_0$ ) та зменшенні радіуса циклона ( $R$ )

# Апарати для відділення твердих часток з димових газів [ 1 ]

## Електростатичний осаджувач (електрофільтр)

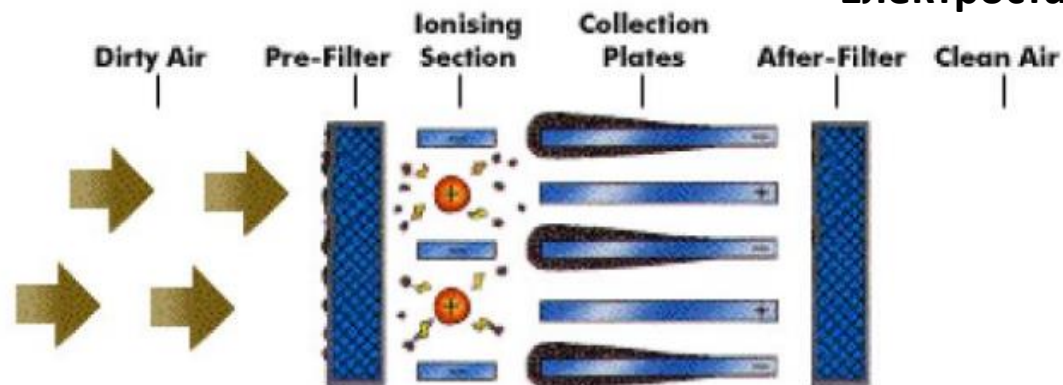
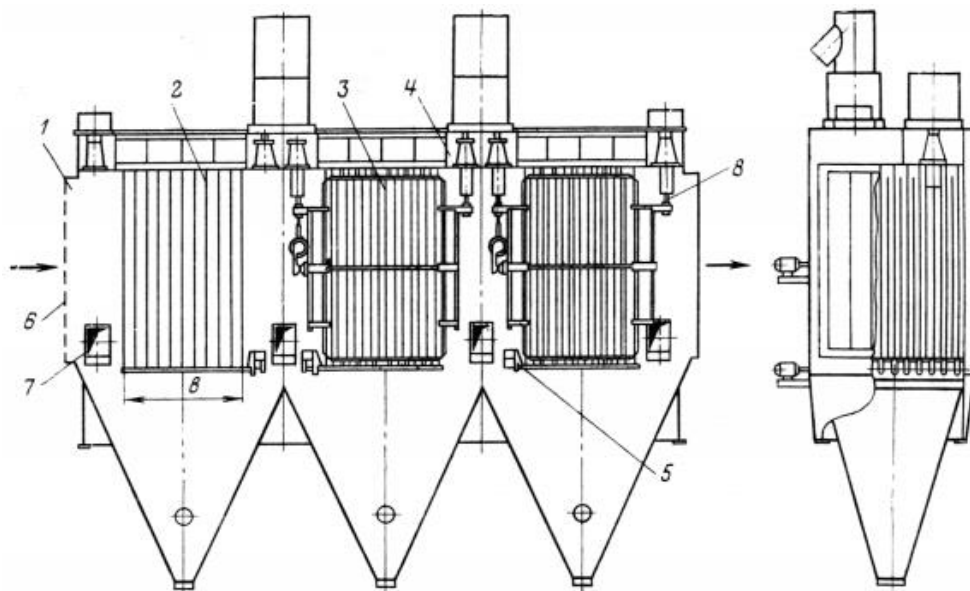
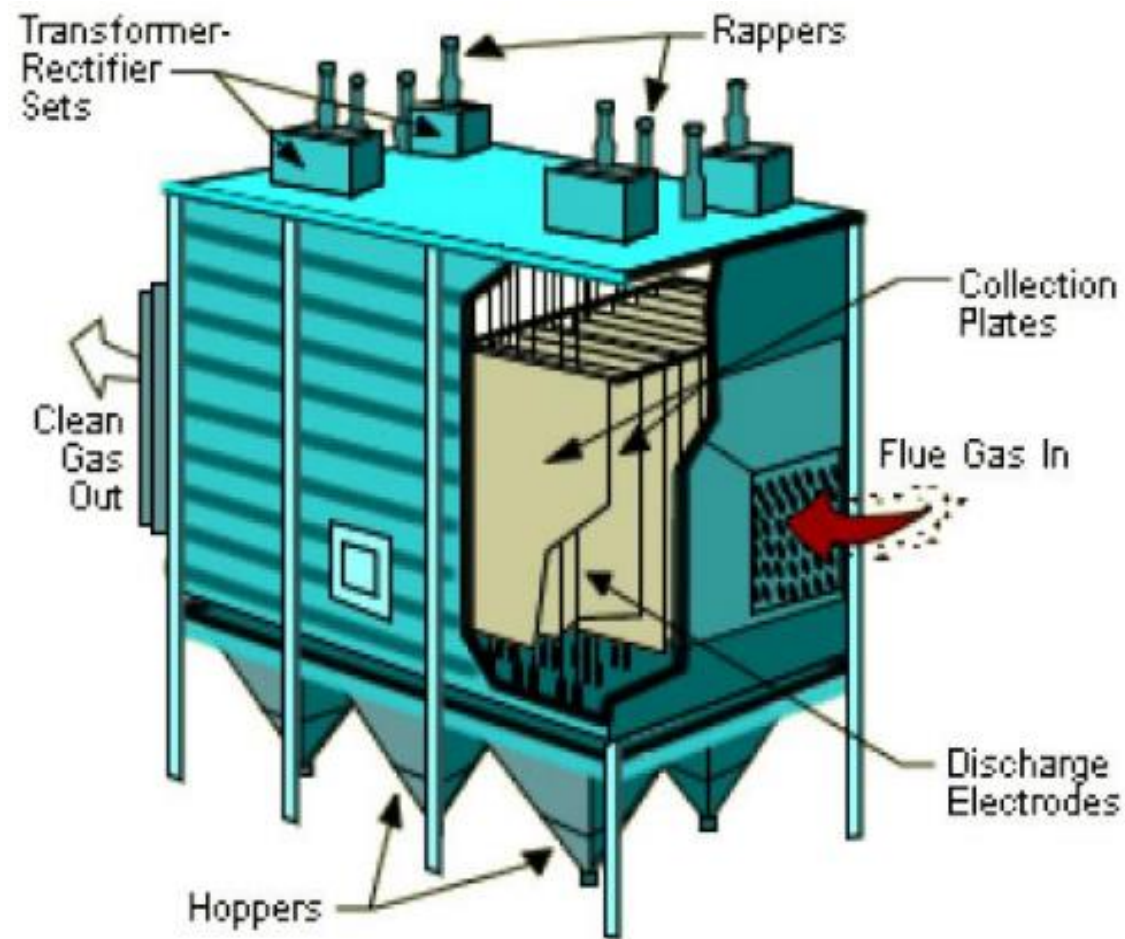


Схема електрофільтра типу УГ [7]

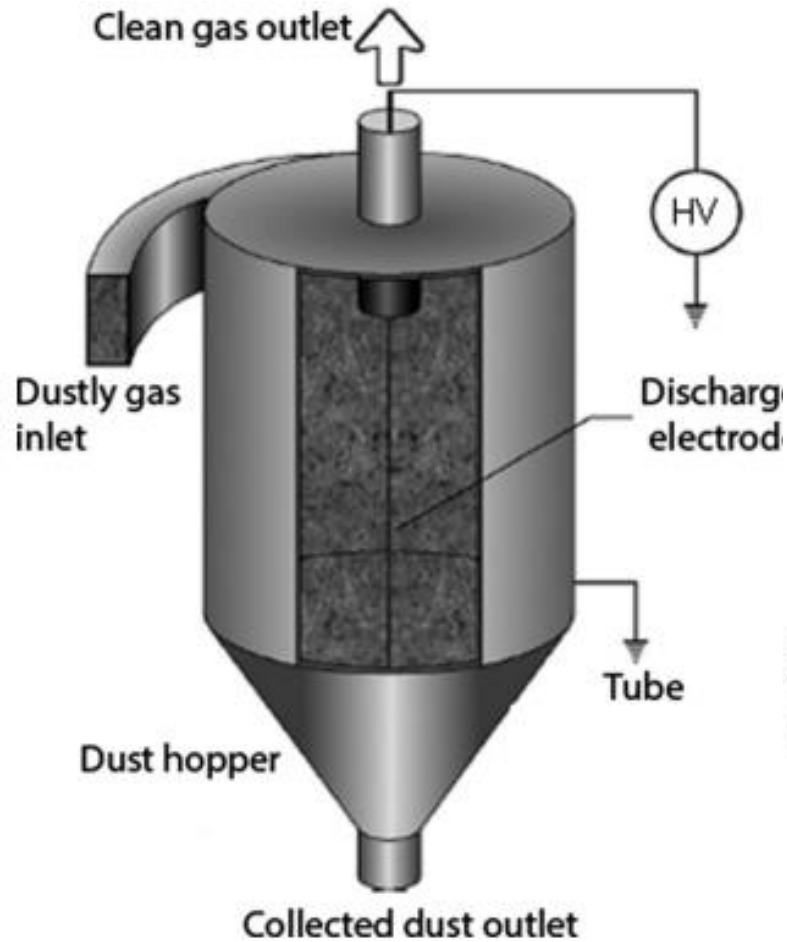


1 – корпус; 2 – електрод осаджувальний; 3 – електрод коронуючий; 4, 5 – механізми струшування; 6 – газорозподільний пристрій; 7 – бункер для золи; 8 – ізолятор

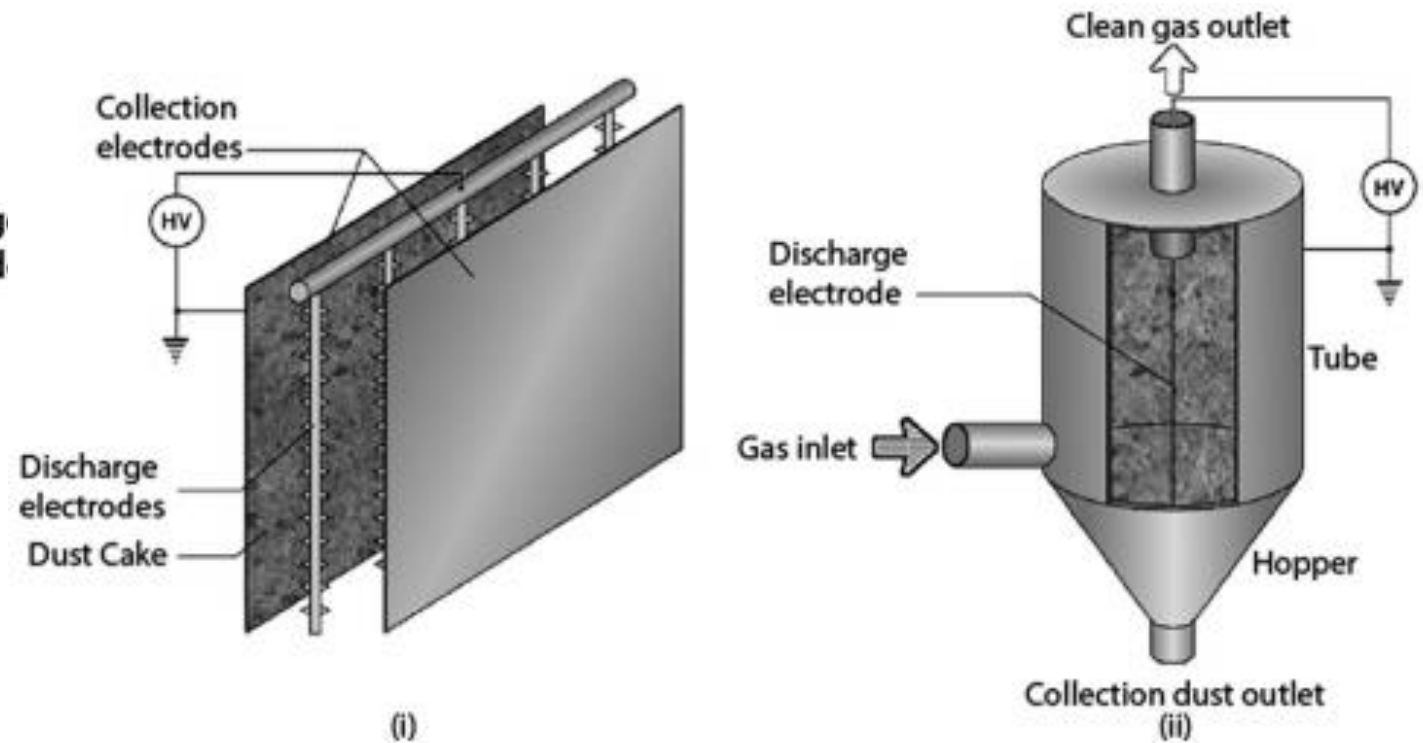


# Апарати для відділення твердих часток з димових газів [ 8 ]

## Електроциклон



## Типи електроосаджувачів- з паралельними та циліндричними поверхнями





# Вторинні методи



Циклони та мультициклони



Рукавні фільтри



Конденсаційний економайзер



Скрюбер Вентурі



Електрофільтри

## Вторинні методи



Сухий електрофільтр (KARA)

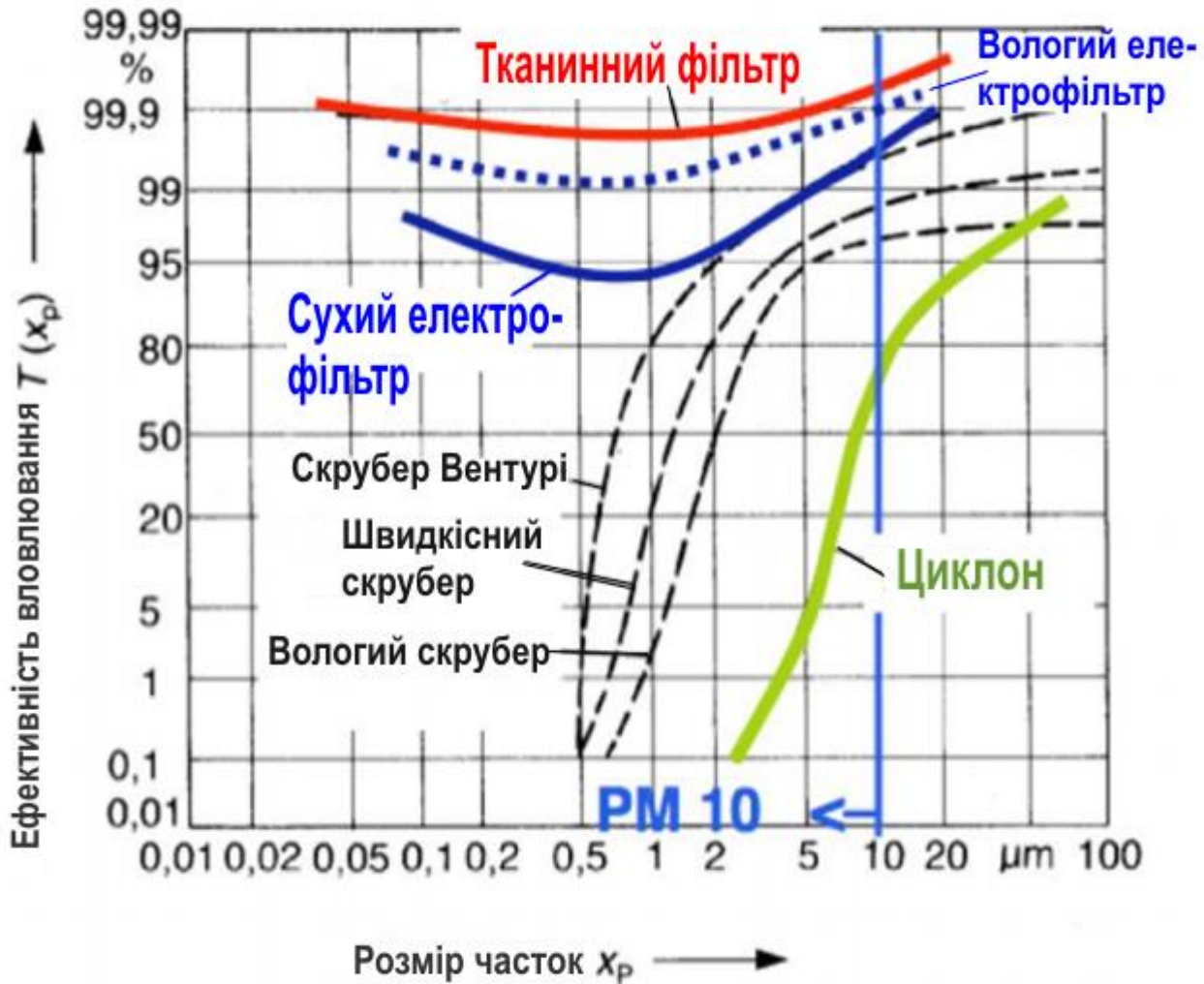


Вологий електрофільтр Wet ESP (Scheuch)



Мішечний фільтр (Scheuch)

# Ефективність апаратів для відділення твердих часток [ 1 ]



## Ефективний розмір часток для вловлювання

- ❖ Інерційні вловлювачі:
  - Осаджувальна камера – більше 50 мкм
  - Циклон – більше 5 мкм
- ❖ Фільтри (поверхневі, тканеві, шільного шару): більше 0,01 мкм
- ❖ Електростатичні осаджувачі: більше 0,01 мкм
- ❖ Вологі скрубери (насадкові, або з трубою Вентурі): більше 1 мкм

## Типова ефективність різних газоочисних систем

Назва газоочисної системи	Загальна ефективність очищення, %	Ефективність очищення для твердих частинок різних розмірів, %					Аеродинамічний опір, Па	
		10 мкм	2 мкм	1 мкм	0,5 мкм	0,1 мкм	Мін.	Макс.
Циклон	60	90	40	30	10	1	498	1 993
Мультициклон	65—95	95	60	50	20	1	498	1 993
Скрубер Вентурі	87	99,6	99,6	96	90	24	1 245	14 946
Рукавний фільтр	98	99,9	99,9	99	97	95	996	2 491
Електрофільтр	98—99,5	99,9	98	97,5	97	95	125	996

# Аналіз недоліків та переваг основних типів газоочисного обладнання

Тип газоочисного обладнання	Переваги	Недоліки
Циклони (очищення газів від часток під впливом відцентрової сили)	Збирають більшість часток розміром до 20 мкм	Не уловлюють значну частину часток з розмірами 10 мкм та менших. Не очищують від домішок газів, включаючи NO <sub>x</sub> .
Рукавні фільтри (фільтрація твердих часток за допомогою фільтрувальної тканини)	Уловлюють більшість часток розміром до 1 мкм та практично всі частки розмірами 10 мкм та 2,5 мкм.	Потребують періодичного очищення. Бажано використовувати разом з циклоном для зменшення навантаження по більш крупним часткам. Не очищують від домішок газів, включаючи NO <sub>x</sub> Можуть викликати суттєві втрати тиску, якщо повинні бути відокремлені дуже мілкі частинки - це потребує роботи потужного димососу. Якщо температура димових газів перевищує 200°C виникають складнощі при експлуатації.
Електрофільтри (сепарація твердих часток за допомогою електричного поля)	Уловлюють практично всі тверді частки, в тому числі менші за 2,5 мкм.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Не очищують від домішок газів, включаючи NO <sub>x</sub>
Скрубери (мокрый спосіб очищення газів від домішок)	Уловлюють практично всі тверді частки, в тому числі менші за 2,5 мкм. Очищують димові гази від газових домішок, в тому числі CO <sub>2</sub> та NO, (але менш ефективно). Забезпечують високий ступінь утилізації тепла димових газів.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Потребується очищення води після скрубера від солей та кислоти, що утворюється внаслідок розчинення газів. Значно знижується «легкість» димових газів.
Керамічні фільтри (очищення газів завдяки застосуванню пористих або волокнистих керамічних матеріалів)	Здатні видалити більшість часток із димових газів з високою температурою. Тривалий період експлуатації.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Не очищують від домішок газів, включаючи NO <sub>x</sub> . Висока вартість.

## Рекомендоване газоочисне обладнання та середня вартість системи очищення димових газів для котелень на деревній трісці

Потужність котла, кВт	Обсяг утворення димових газів при $\alpha = 1,4$ , $T = 200$ °С, тис. м <sup>3</sup> /год	Рекомендоване газоочисне обладнання	Вартість котла, тис. євро	Вартість системи очищення, тис. євро	Частка від вартості котла, %
500	1,6	циклон	9,4–22,1	0,4	2–4
1 000	3,3	мультициклон	19,7–170,5	1,8	1–9
1 500	4,9	мультициклон	27,0–330,0	2,7	1–10
2 000	6,5	мультициклон	30,2–376,0	3,6	1–12
4 000	13,0	економайзер	226,1–564,0	200,0	35–90
8 000	23,0	мультициклон + рукавний фільтр	584,5–891,0	12,6 + 138,0	17–25
10 000	32,5	мультициклон + електрофільтр	730,5–950,0	33,1 + 325,0	40–50

# Приклади використання газоочисного обладнання



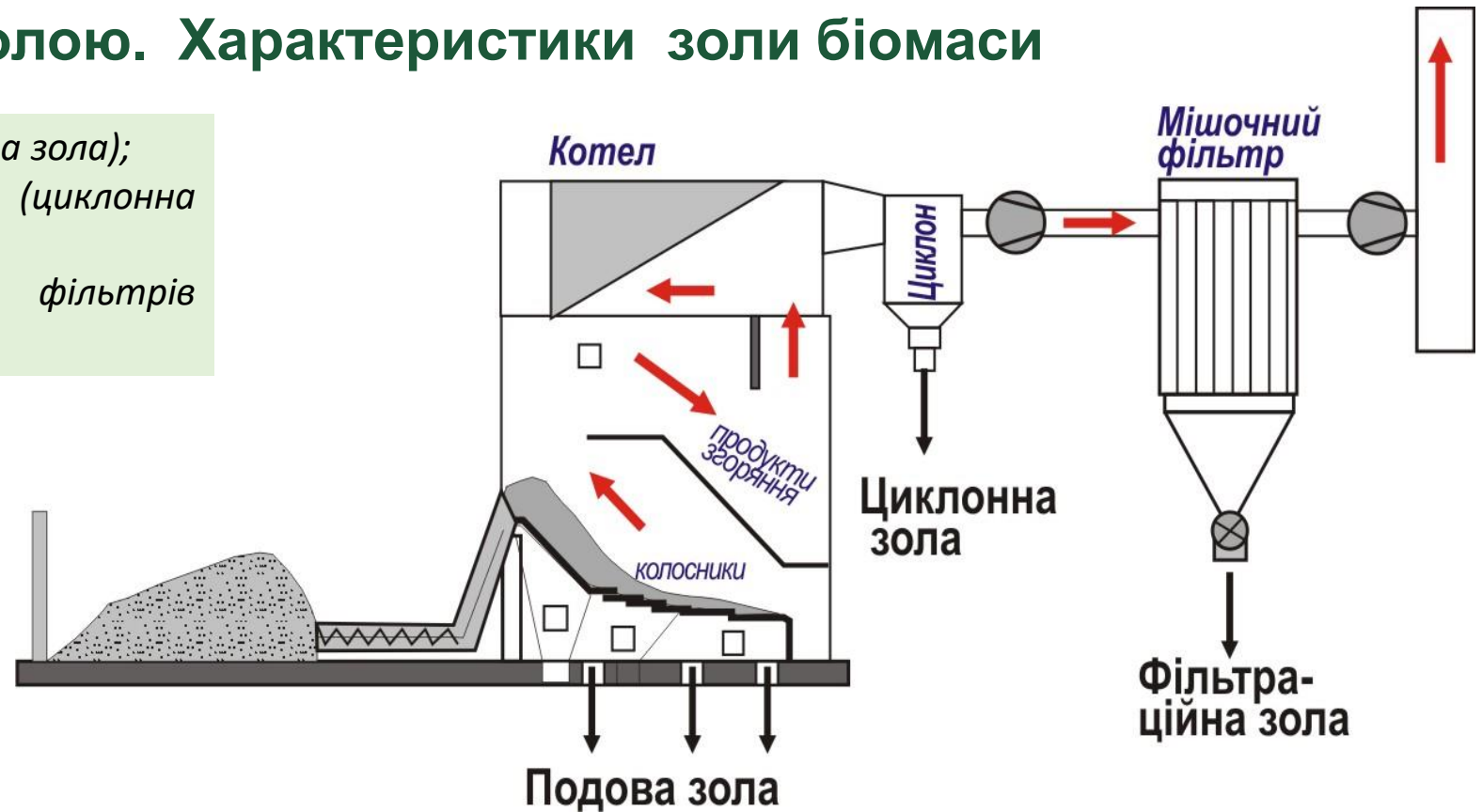
<b>Встановлена потужність</b>	<b>5500 кВт</b>
<b>Витрата палива</b>	<b>5000 т/рік</b>
<b>Тип котла</b>	<b>ДКВР-10/13</b>
<b>ККД котла</b>	<b>86%</b>
<b>Система очистки</b>	<b>мультициклон</b>
<b>Оксиди азоту (NOx)</b>	<b>260 мг/м<sup>3</sup></b>
<b>Оксиди вуглецю (CO)</b>	<b>1280 мг/м<sup>3</sup></b>
<b>Тверді частки</b>	<b>34 мг/м<sup>3</sup></b>



<b>Встановлена потужність</b>	<b>5200 кВт</b>
<b>Витрата палива</b>	<b>6500 т/рік</b>
<b>Тип котла</b>	<b>Vitoflex 2600-LW</b>
<b>ККД котла</b>	<b>90%</b>
<b>Система очистки</b>	<b>мультициклон електрофільтр</b>
<b>Оксиди азоту (NOx)</b>	<b>375 мг/м<sup>3</sup></b>
<b>Оксиди вуглецю (CO)</b>	<b>375 мг/м<sup>3</sup></b>
<b>Тверді частки</b>	<b>30 мг/м<sup>3</sup></b>

# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

- ❑ зольний залишок (подова зола);
- ❑ зола виносу з циклонів (циклонна зола);
- ❑ зола виносу з фільтрів (фільтраційна зола).



Кількість і елементний склад утвореної золи, а також інші її властивості залежать від наступних основних факторів:

- **видів спалюваної біомаси** (види і походження рослин; частини спалюваних рослин; форми і технології зберігання біомаси для спалювання);
- **технології спалювання** (спалювання на решітці або в киплячому шарі; конструкції камери згоряння і котлів; параметри процесу спалювання: температура горіння, витрата повітря, а також і інші параметри);
- **технології уловлювання золи** з димових газів (циклони, різні фільтри);
- **додаткових технологій** щодо запобігання наднормативних викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря (введення аміачної води або доломіту у шар спалювання).



# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

спікання золи (паливо-солома пшениці)



подова зола



летка зола



## Середня густина частинок і об'ємна (насипна) щільність золи біомаси

Зольна фракція	Середня густина частинок кг/м <sup>3</sup>	Об'ємна (насипна) щільність	
		Середнє значення	Стандартне відхилення
		кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>
Подова зола	2600 – 3000	950	200
Циклонна зола	2400 – 2700	650	120
Зола тонкої фільтрації	2300 – 2600	350	120

## Вплив розміру часток золи на її насипну щільність

Вид палива	Фракція золи	Розмір часток, мкм	Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>
Тирса	Подова зола	10-30 000	662
	Циклонна зола	2-100	283
Подрібнена деревина	Подова зола	15-15 000	960
	Циклонна зола	2-160	430

# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

## Середні фізичні характеристики золи деяких видів біомаси (на суху масу)

Вид біомаси	Калорійність, МДж/кг	Вміст золи, %	Температура плавлення, °С
Листяна деревина	18,8	тріска з корою: 1,0-2,5 тріска без кори: 0,8-1,4 тирса: 0,5-1,1	1426
Хвойна деревина	18,4		1340
Кора	19,2	5,0-8,0	1440
Солома	17,2	4,0-7,0	998
Лушпиння соняшнику	16,8	3,0-4,0	960
Міскантус	17,6	2,0-5,0	973
Верба енергетична	18,4	1,0-2,5	1283
Виноградна тріска	19,8	2,0-3,0	1450

## Типовий хімічний склад золи після спалювання деяких видів біомаси (% до маси сухої речовини)

Елемент	Тріска хвойних порід	Кора деревини хвойних порід	Солома зернових (пшениця, жито, ячмінь)	Лушпиння соняшнику
Ca	26,0–38,0	24,0–36,0	4,5–8,0	3,7
K	4,9–6,3	5,0–9,9	10,0–16,0	28,8
Mg	2,2–3,6	2,4–5,6	1,1–2,7	1,2
Na	0,3–0,5	0,5–0,7	0,2–1,0	0,8
P	0,8–1,9	1,0–1,9	0,2–6,7	0,3
Si	4,0–11,0	7,0–17,0	16,0–30,0	21,3
C <sub>org</sub>	0,2–3,1	0,2–1,1	9,0–16,6	н/д

# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

Середня концентрація поживних речовин в різних зольних фракціях, %

Поживні речовини	Зольний залишок	Пил золи в циклоні	Пил золи в фільтрі тонкого очищення
MgO	6,0 ± 1,2	4,4 ± 0,9	3,6 ± 0,7
K <sub>2</sub> O	6,4 ± 2,1	6,8 ± 2,3	14,3 ± 7,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,6 ± 1,0	2,5 ± 0,9	2,8 ± 0,9
Na <sub>2</sub> O	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,6

Розподіл зольних фракцій, %

Зольна фракція	Кора	Деревна тріска	Тирса
Подова зола	65-85	60-90	20-30
Циклонна зола	10-25	10-30	50-70
Зола тонкої фільтрації	2-10	2-10	10-20

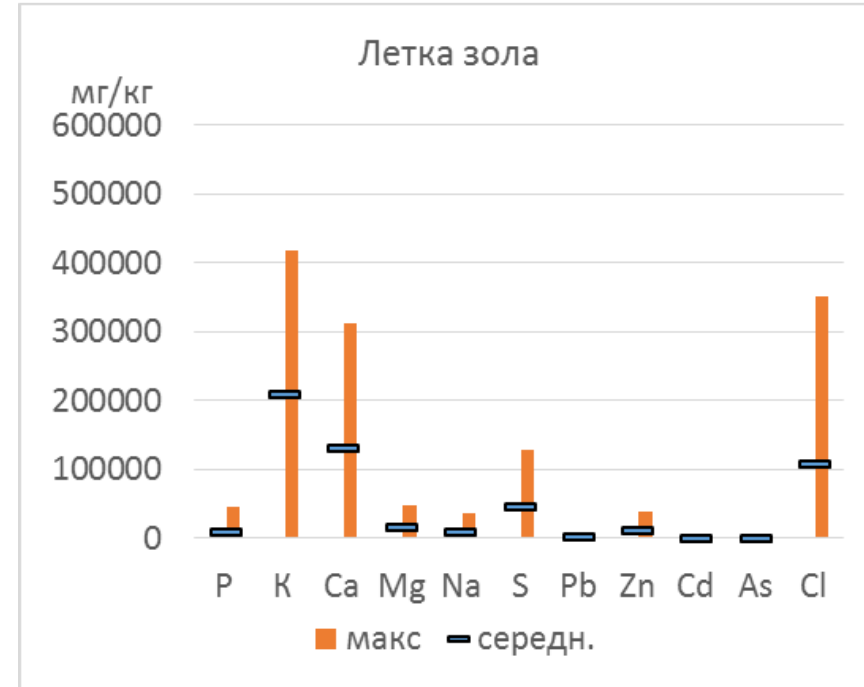
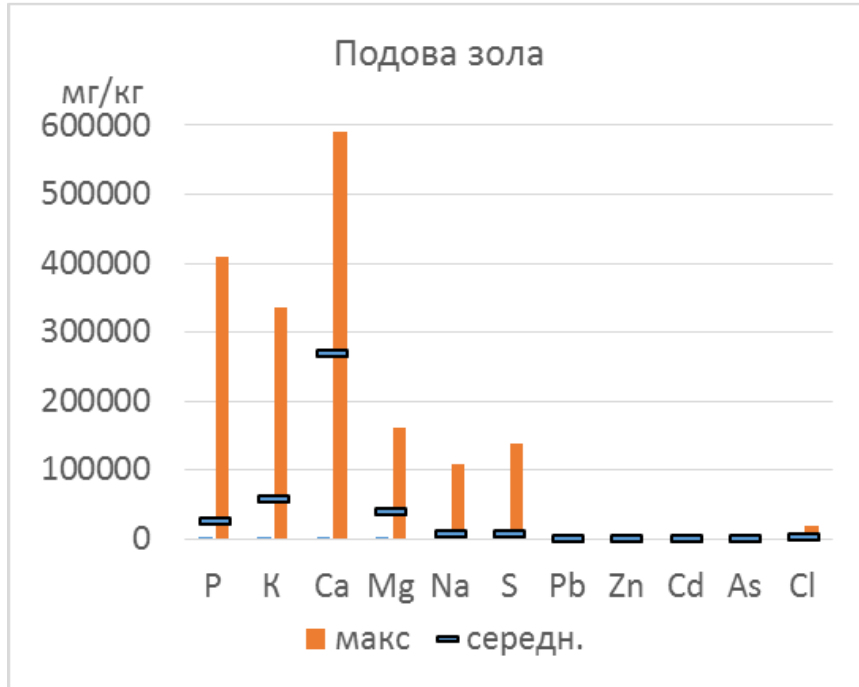
Тип котла	Подова зола (%)	Летка зола (%)
спалювання в шарі	60-90	10-40
стокерна подача	40-50	50-60
пилове спалювання	10	90
циркулюючий киплячий шар (CFB)	10-20	80-90

Хімічний склад золи різних видів біомаси, мас.%

Вид біомаси	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Mn <sub>3</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
Солома пшениці	3,09	3,26	51,43	0,75	1,18	8,46	2,2	1,17	18,14	н.д.	0,09
Солома кукурудзи (сорт КВС-380)	4,36	3,37	55,9	3,99	4,46	9,45	4,28	1,3	7	0,12	0,24
Стрижень кукурудзи (сорт КВС-380)	3,65	1,66	67,36	4,99	5,08	2,8	3,53	0,85	5,75	0,09	0,45
Тріска сосни	1,53	3,26	29,95	2,62	5,16	20,29	3,65	0,65	8,15	н.д.	0,3

# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

## Граничні та середні значення вмісту хімічних елементів в золі біомаси



## Приклад розподілу вмісту важких металів у зольних фракціях

Вміст елементів, мг/кг сухої речовини	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Hg	As
Подова зола	1	22	500	40	100	45	0.03	3
Летка зола	9	85	1150	70	130	62	0.23	4

# Поводження з золою. Характеристики золи біомаси

Середня концентрація важких металів в різних зольних фракціях, мг/кг

Важкі метали	Зола соломи	Зола деревини		
		Подова	Циклонна	Фільтраційна
Cu	30	165	143	389
Zn	140	432	1870	12980
Co	н.д.	6,5	19	17,5
Mo	н.д.	2,8	4,2	13,2
As	н.д.	4,1	6,7	37,4
Ni	5	66	59,6	63,4
Cr	2	325	158,4	231
Pb	9	13,6	57,6	1053,3
Cd	2	1,2	21,6	80,7
V	н.д.	43	40,5	23,6
Hg	0,1	0,01	0,04	1,47

## Правила та вимоги до поводження з золою

Відповідно до **державного класифікатору відходів ДК 005-96** до відходів належать новоутворені речовини та їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах і які не є метою даного виробництва (шлак, **зола**, кубові залишки, інші тверді та пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі).

Чинний ДК 005-96 «Класифікатор відходів» встановлює **лише кодифікацію відходу**.

За існуючою практикою, золу біомаси в основному відносять до відходів за **групою 90** (Відходи вторинні від надання послуг зі збирання, видалення та оброблення відходів). При цьому, для золи біомаси відповідно до класу застосовують такі коди:

- **9010.2.9.01** – Залишок нелеткий та шлак
- **9010.2.9.04** – Зола летка

Також зустрічаються випадки віднесення золи біомаси до **групи 40** (відходи виробництва і розподілу енергії електричної, газу, пари та води гарячої) та присвоєння їй таких кодів:

- **4010.2.3.04** – Відходи тверді процесу очищення газів топкових інші (зола, вловлена циклонами та фільтрами на виході із котла)
- **4010.2.8.01** – Шлак паливний (власне зола із топки котла – подова зола)

## Правила та вимоги до поводження з золою

Нормативний документ, який встановлював би клас небезпеки для кожного найменування відходу, в Україні на сьогодні відсутній. **Визначати склад і властивості відходів, що утворюються, а також ступінь небезпеки відходів** для навколишнього природного середовища та здоров'я людини відповідно до нормативно-правових актів, які затверджуються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері санітарного та епідемічного благополуччя населення, за погодженням із центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища **повністю покладено на суб'єктів господарської діяльності (згідно з п. «в» ст. 17 Закону № 187/98).**

Згідно змісту листа Мінприроди України від 20.04.2016 року № 7/1254-16 «Щодо неможливості визначення класу небезпеки відходів» на сьогодні на державному рівні не затверджено перелік (класифікатор) відходів зі встановленими класами небезпеки, хоча в окремих регіонах використовуються такі **локальні переліки в межах функціонування регіональних систем управління відходами** для визначення класу небезпеки відходів)

<https://ecolog-ua.com/consultation/yak-pidpryemstvu-vyznachyty-klas-nebezpeky-utvorenyh-vidhodiv>

<https://ecolog-ua.com/news/na-pidstavi-yakyh-normatyvno-pravovyh-dokumentiv-skladayetsya-instrukciya-shchodo-umov-i-pravyl>

# Пропозиції щодо використання та утилізація золи

Кінцевим результатом поводження з відходами можуть бути їх:

- **утилізація** - використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів;
- **видалення** - здійснення операцій з відходами, що не призводять до їх утилізації;
- **захоронення** - остаточне розміщення відходів при їх видаленні у спеціально відведених місцях чи на об'єктах таким чином, щоб довгостроковий шкідливий вплив відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини не перевищував установлених нормативів.

**Використовувати та утилізувати золу можна в таких галузях промисловості:** в сільському господарстві, будівельній, енергетичній, металургійній тощо.

## **Сільське і лісове господарство:**

- ✓ сировина (джерело поживних речовин) для виробництва добрив, які будуть використовуватися на полях та в лісі;
- ✓ дослідницькі ділянки з вирощування та культивування нових видів рослин.

## **Будівельна промисловість:**

- ✓ виробництво клінкеру цементу, зола використовується як домішок для підвищення вмісту магнею та піску;
- ✓ виробництво цегли, зола використовується в якості заміни піску;
- ✓ виробництво альтернативних сполучних матеріалів(полімери, тощо);
- ✓ виробництво синтетичних агрегатів холодного склеювання або спікання, зола використовується в якості заміника піску;
- ✓ виробництво неармованого збірного бетону.



# Граничні значення для важких металів і поживних речовин золи біомаси для застосування як добрива на сільськогосподарських та лісових землях

Показник	Німеччина <sup>1</sup>	Австрія <sup>2</sup>	Данія <sup>3</sup>	Швеція <sup>4</sup>	Фінляндія <sup>5</sup>
Поживні речовини (% мін.)		Клас А/В			AGR/FOR
Ca	15 <sup>1</sup> (CaO)			12,5	10 <sup>5</sup> /6
K	3 <sup>1</sup> (K <sub>2</sub> O)			3,0	-/2 (K+P)
Mg				1,5	
P	2 <sup>1</sup> (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			0,7	-/2 (K+P)
N	3 <sup>1</sup>				
Zn				0,05	
<b>Важкі метали (мг/кг макс.)</b>					
As	40	20/20		30	25/40
B				800	
Cd	1,5	5/8	5 <sup>a</sup> /20	30	2,5/25
Crtot		150/250	100	100	300/300
Cr (VI)	2				
Cu		200/250		400	600/700
Hg	1		0,8	3	1,0/1,0
Ni	80	150/200	60	70	100/150
Pb	150	100/200	120/250 <sup>b</sup>	300	100/150
Ti	1				
V				70	
Zn		1200/1500		7000	1500/4500

\* мг/кг або % по сухій масі

## Напрямки утилізації золи біомаси в деяких країнах

Країна	Австрія	Канада	Данія	Німеччина	Італія	Нідерланди	Швеція
<b>Спосіб утилізації</b>							
Полігони, звалища	<b>Так (К)</b>	<b>Так (К)</b>	Так (К)	Так (К)	Так (К)	Так (К)	<b>Так (К)</b>
Добавка в цементне сире борошно	Так (Т)	Так (Т)			Так (Т)		Ні
Заповнювач цементів і бетонів					Можливо (Т)	Так (Т)	
Лісове господарство	Ні		<b>Так (К)</b>			Можливо (Т/З)	Так (К)
Добриво/ покращувач ґрунтів	Так (Т)	Так (К)	<b>Так (К/З)</b>	Так (К)	Так (К)	<b>Так (З)</b>	Ні
Добавка в компост	Так				Можливо	Можливо (Т/З)	
Заповнювач асфальту	Можливо (В)	Ні			Так (Т)	Так (Т)	Ні
Заповнювач шахтних виробок				Так (К)	Ні	Так (К)	Ні
Цивільне будівництво	Так (К)	Так (К)	Так (К)	Так (К)	Так (К)	Так (К)	Так (К)
Інші будівельні матеріали	Так (Т/З)				Можливо (Т/З)	Так (Т/З)	Ні
Інше використання (точно не визначене)		Так (Т/З)					
Експорт (точно не визначений)					<b>Так (К/З)</b>		Так (К/З)

Так – застосовується в даній країні; **Так (виділено жирним шрифтом)** – основний спосіб застосування; Можливо – можливість застосування вивчається, досліджується; К – кінцеве використання; Т – в залежності від технологічних вимог; З - в залежності від законодавчих вимог

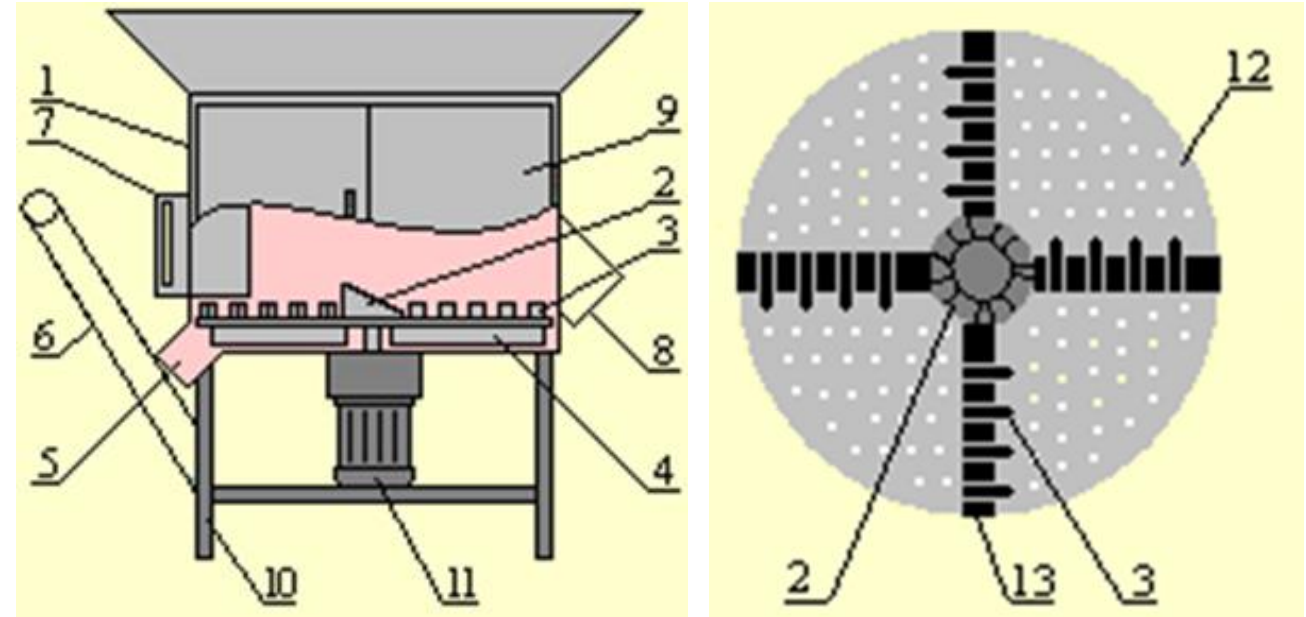
# Приклади використання існуючого в агрогосподарствах устаткування та техніки



Перевезення золи як рідкого добрива



Змішування золи з рідким ферментованим гноєм



- 1 – ємкість; 2 – фреза; 3 – ножі; 4 – лопатки;  
5 – вивантажувальне вікно; 6 – вивантажувальний транспортер; 7 – шибер; 8 – вікно для вивантаження відходів; 9 – дверцята для обслуговування; 10 – рама;  
11 – привід (від ВОМ або ел. двигуна); 12 – змінні сектора з отворами; 13 – хрестовина

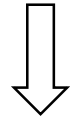
## Подрібнювач злежаних добрив

# Рекомендації щодо внесення золи в ґрунт

## Концепція «4-х правил добрив»:

- внесення кращої форми удобрення
- у оптимальній дозі
- у необхідні строки
- найбільш придатним способом

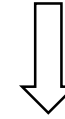
**ДОЦІЛЬНО**



**змішувати: зола + калійні добрива**

**зола + азот у зв'язаному стані**  
(зола з торфом, ферментованим гноєм або компостом в співвідношенні 1:2; 1:4)

**НЕДОЦІЛЬНО**



**змішувати: зола + вапно**  
*зниження ефективності золи*

**ВНОСИТИ золу на лужних ґрунтах (pH>7)**  
*перешкоджає засвоєнню рослинами поживних речовин (особливо для культур, яким корисні ґрунти з підвищеною кислотністю)*

**змішувати: зола + азот в аміачній формі**  
*втрата значної кількості азоту*  
(тобто, треба окремо вносити аміачну селітру, сульфат амонію і хлористий амоній, а з органічних добрив - гнойову рідину і пташиний послід )

**змішувати: зола + фосфоритне борошно і томасшлак**  
*зниження доступності фосфору для рослин*

# Способи покращення споживчих якостей золи біомаси

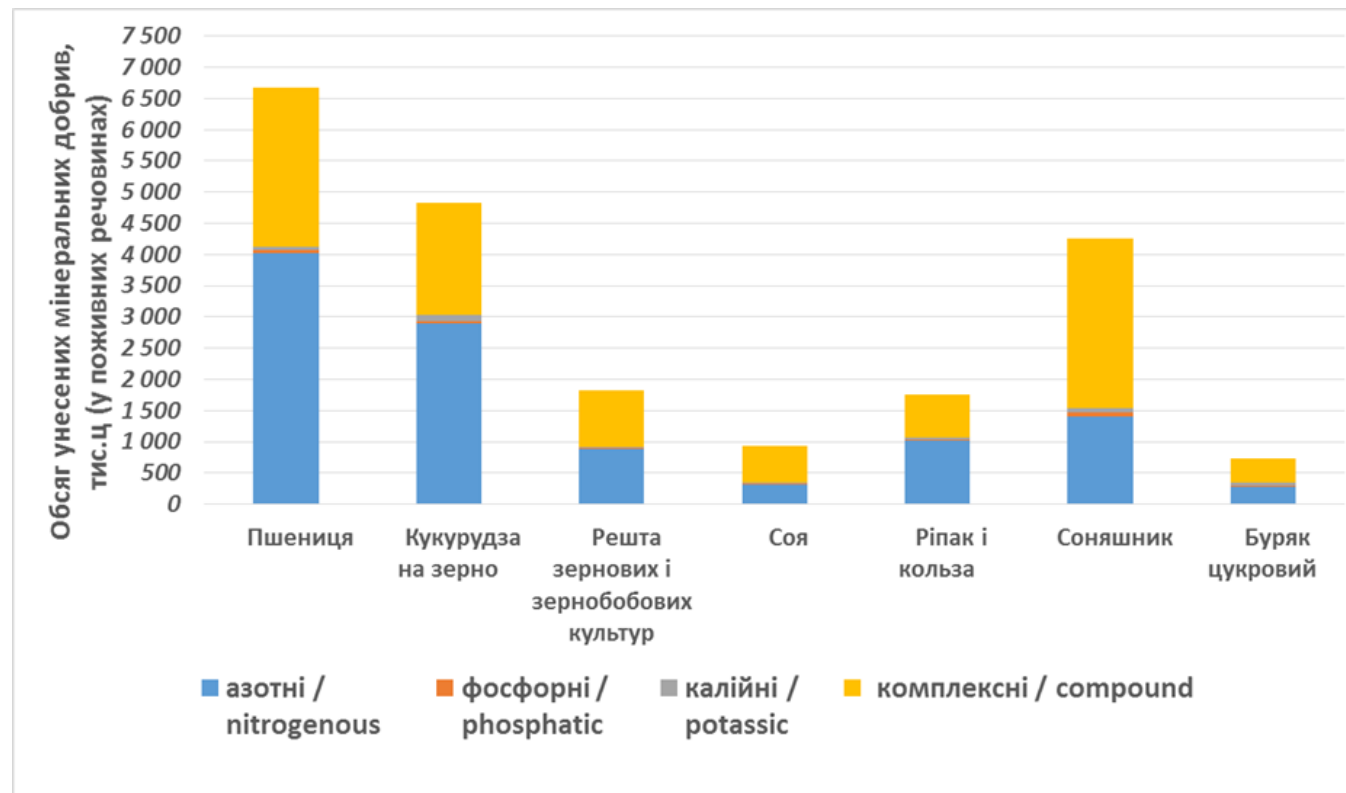
Спосіб поводження із золюю	Корисний результат	Необхідні передумови
Контроль стану та складу золи на котельні	Зола однорідна за гранулометричним складом, з регульованим (в певних межах) вмістом різних компонентів.	Контроль режимів спалювання біомаси, відповідна конструкція обладнання, додавання спец. речовин для зменшення спікання золи, контроль хім. складу паливної біомаси. Співпадіння з умовами ефективного виробництва теплової енергії
Розмелювання, просіювання	Відділення великих часток, баласту та сміття, покращення реагуючої здатності	Трудовитрати (обладнання, як правило, є в агрогосподарствах)
Зменшення лужності при тривалому зберіганні та зволоженні («ageing»)	Зменшення лужності, сумісність з азотними добривами, можливість застосування не тільки на кислих ґрунтах, зменшення пилоутворення, регулювання розчинності	Необхідно забезпечити потрібні умови зволоження, але не допустити злежування. Застосування спец. обладнання типу бетонозмішувачів. Необхідна тривалість зберігання 8-12 тижнів.
Нейтралізація кислотами	Те ж	Додаткові витрати на обладнання, технології, реактиви
Змішування з вапном для вапнування ґрунту	Відносне зменшення баластних речовин у суміші, використання лужних властивостей золи	Кислі ґрунти
Рідке добриво на основі золи (водний екстракт)	Відносне зменшення баластних речовин, зменшення пилоутворення, можливість застосування разом з рідкими органічними добривами тим же способом, сприяє використанню в посушливу погоду	Практика застосування рідких добрив в агрогосподарстві. Слід мати на увазі, що в розчин переходять лише найбільш розчинні сполуки, що зменшує цінність добрива

# Способи покращення споживчих якостей золи біомаси

Спосіб поводження із золою	Корисний результат	Необхідні передумови
Змішування та внесення з гноєм, торфом, рослинними залишками, або, за їх відсутності, змішування з вологим ґрунтом	Отримуємо добриво більш збалансоване за кислотністю та складом поживних речовин. Менше пилоутворення, більш зручне внесення в ґрунт (стандартними розкидачами)	Наявність в агрогосподарстві торфу, гною, тощо. Для зменшення втрат азоту, суміш із гноєм готується безпосередньо перед внесенням. Краще застосовувати ферментований гній.
Приготування компостів рослинних залишків із золою. Торфозольні компости	Пришвидшується розкладання рослинних решток, отримуємо більш збалансоване добриво за складом. Перехід частини поживних речовин в більш доступну форму (особливо фосфору).	Застосування компостів та технологій їх отримання в агрогосподарстві. Добування торфу в безпосередній близькості (окреме виробництво). Час визрівання торфозольної суміші- 6-12 міс.
Вермікомпости	Те ж	Те ж
Гранулювання золи біомаси, із закріплюючими речовинами або додаванням інших добрив	Уніфікація гранулометричного складу, підвищення насипної щільності, часткова зміна хімічного складу, сповільнення розчинення в ґрунті, стандартні способи зберігання та внесення в ґрунт	Придбання відповідного обладнання та освоєння технології (основні стадії аналогічні виробництву пелет). Необхідність додаткових матеріалів-скріплювачів гранул. Економічна доцільність, з урахування додаткових витрат на гранулювання
Виробництво органомінеральних добрив	Можливість підбором компонентів досягти заданого вмісту діючих речовин, потрібної кислотності. Збагачення органічними компонентами різного призначення (наприклад, гуміновими кислотами)	Промислове виробництво. Економічна доцільність використання золи як сировини
Застосування як сировини для виробництва калійних чи фосфорних добрив	Приведення до діючих стандартів агрономічної практики: збільшення вмісту діючих та зменшення баластних речовин, передбачувані фізико-хімічні характеристики, стандартні підходи до внесення в ґрунт	Промислове виробництво (або цех на ОЕЗ). Економічна доцільність використання золи як сировини

## Як внесення золи може доповнити комплексне використання добрив

- Зола - цінне місцеве **калійно-фосфорно-вапняне** добриво, що не містить хлору.
- **Калій** в золі знаходиться у вигляді поташу ( $K_2CO_3$ ), що **добре розчиняється у воді**.
- Близько  $\frac{3}{4}$  всього **фосфору**, що міститься в золі, знаходиться в **доступній для рослин формі**.
- Зола в ґрунті створює **сприятливі умови** для **діяльності корисних мікроорганізмів**.
- Зола **розпушує ґрунт** і змінює його структуру, роблячи його легким, волого- і повітропроникним.
- Наслідки внесення золи позначаються **протягом чотирьох років**.



Внесення мінеральних добрив під різні культури в Україні у 2018 р.

## Питоме використання фосфорних та калійних добрив в Україні на одиницю удобреної площі під різні культури (2018 р.)

Культури	Внесено фосфорно-калійних добрив у фізичній масі, тис.т	Удобрені площі, тис.га	Використання добрив, кг/га	Еквівалентна кількість золи біомаси, тис.т (коэф. перерах. 4,5)
Культури овочеві закритого ґрунту	1,0	0,2	5155,30	4,64
Коренеплоди та бульби їстівні з високим вмістом крохмалю та інуліну	2,5	12,1	207,36	11,29
Буряк цукровий	19,6	231,6	84,71	88,29
Культури овочеві відкритого ґрунту, включаючи насінники та маточники	1,7	27,6	60,93	7,57
Культури багаторічні	0,7	33,2	21,30	3,18
Ріпак і кольза	16,9	919,2	18,38	76,01
Кукурудза на зерно	39,0	3105	12,56	175,45
Соняшник	50,3	4132,1	12,17	226,30
Соя	12,2	1136,3	10,73	54,85
Решта зернових і зернобобових культур	14,4	1625,5	8,85	64,72
Пшениця	37,7	4492,7	8,39	169,67
Решта технічних культур	0,5	67,5	7,65	2,32
Культури баштанні продовольчі	0,0	1,4	0,00	0,00
Культури кормові	1,5	328,1	4,60	6,79
Сумарні та середні значення	198,0	16112,5	12,3 (сер.)	891,1



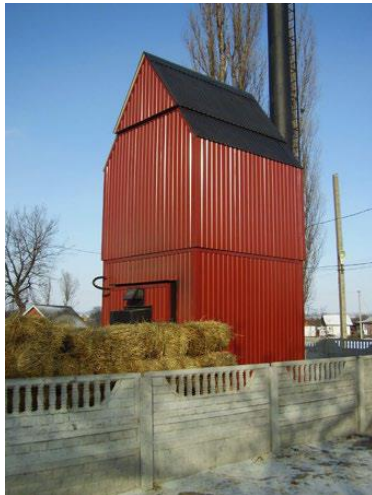
## Вимоги до добрив із золи

Для виробництва та продажу як добриво, препарат із золи має бути внесений до Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів та задовольняти наступним вимогам:

- відповідати за своїм складом потребам рослин (задовольняє частково);
- діючі речовини мають бути в доступній для рослин формі (задовольняє частково);
- ефективність застосування як добрива має бути підтверджена (задовольняє частково);
- може легко вноситись в ґрунт в правильних дозах (задовольняє, якщо відомий хімічний склад);
- вміст важких металів знаходиться в дозволених межах (задовольняє, за умови контролю походження та хімічного складу);
- не мати запаху, не нести загрозу для безпеки людей та навколишнього середовища (задовольняє);
- бути придатним до зберігання (задовольняє за відповідних умов).

# Застосування золи як добрива в Україні

**1 т золи** дозволяє зекономити на традиційних добривах близько **56% вартості фосфорно-калійного добрива**



агрофірма «Дім»



- ✓ Від **маленьких котельних** комунального теплопостачання чи бюджетних закладів немає можливості промислового використання золи.
- ✓ На **маленьких котельних** розповсюдженою практикою є безоплатна роздача золи місцевому населенню, що використовує її як **добриво на присадибних ділянках**.
- ✓ На **крупних підприємствах** (котельнях, ТЕЦ), особливо олійної галузі, є **умови для організації окремих виробничих ліній** не тільки для пакування золи, але і виробництва інших видів добрив на її основі (наприклад, гуматів).

## Фактори, що в майбутньому сприятимуть вирішенню проблеми утилізації золи біомаси в Україні, включаючи її використання як добрива

- Дефіцит застосування калійних та фосфорних добрив, їх висока ціна.
- Залежність від імпорту калійних та фосфорних добрив.
- Зростання світового дефіциту сировини для виробництва фосфорних добрив.
- Дефіцит землі для відкриття нових сміттєзвалищ.
- Збільшення використання паливної біомаси та, відповідно, утворення золи.
- Збільшення ставок податку за розміщення відходів на сміттєзвалищах.
- Тенденція до запровадження поводження з відходами згідно принципів циркулярної економіки (повернення поживних речовин в коло природного кругообігу, зменшення потреби в мінеральній сировині).

# Напрямки розширення можливостей корисної утилізації золи біомаси

- Стандартизація золи біомаси як добрива. Визначення критеріїв якості та походження золи для відокремлення тієї, що не може бути використана як добриво.
- Внесення стандартизованої золи до «Переліку агрохімікатів, дозволених до ввезення на митну територію України, виробництва, торгівлі, застосування та рекламування без їх державної реєстрації».
- Розглянути доцільність запровадження для золи біомаси окремої схеми сертифікації та забезпечення якості, подібно до системи ECN-QAS, запровадженої Європейським Товариством виробників компосту для дигестату з біогазових установок.
- Обґрунтування найбільш раціональних способів утилізації в інших галузях промисловості тієї золи, що не відповідає вимогам її використання в сільському господарстві.
- Заохочення проведення польових досліджень ефективності золи біомаси як добрива.
- Пропозиція внесення золи різних видів біомаси до переліку речовин, дозволених до використання в органічному виробництві.
- Розробка систем логістики для залучення золи біомаси з невеликих котельних до їх корисної утилізації.
- Дослідження та розвиток технологій покращення споживчих якостей золи як добрива.
- Розробка різних видів добрив на основі золи біомаси під різні типи ґрунту та різні види сільськогосподарських культур, з акцентом на кислі ґрунти, а також культури, вимогливі до калійно-фосфорного живлення, з великою інтенсивністю внесення цих добрив на одиницю площі. Розробка рекомендацій щодо їх використання, включаючи обґрунтовані співвідношення, згідно яких добривами на основі золи біомаси можна замінювати традиційні мінеральні добрива.
- Підвищення обізнаності серед потенційних груп споживачів про можливості застосування золи біомаси як добрива, розробка відповідних рекомендацій, що включали б технології застосування з підтвердженою ефективністю. Популяризація успішного досвіду агровиробників як України, так і інших країн.
- Подальша гармонізація норм України з ЄС щодо виробництва добрив та їх застосування. Наприклад, впровадження Національного Регламенту, адаптованого до Регламенту ЄС EU Fertilising Products Regulation ((EU) 2019/1009).

1. *Irish Bioenergy Association (IrBEA)*. Project Report for Biomass Combustion Emission Study. <http://www.irbea.org/wp-content/uploads/2016/12/IrBEA-BiomassEmissionsReport.pdf>
2. *Nussbaumer, Thomas*. “Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter.” (2010).
3. *Wu Yang, Deepak Pudasainee, et al.*, An overview of inorganic particulate matter emission from coal/biomass/MSW combustion: Sampling and measurement, formation, distribution, inorganic composition and influencing factors, *Fuel Processing Technology*, Volume 213, 2021, 106657, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106657>.
4. *A. Garcia-Maraver, J.A. Perez-Jimenez*, Biomass Pelletization. Standards and Production. WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering
5. *Thomas Nussbaumer*. Aerosols from Biomass Combustion – Technical report on behalf of the IEA Bioenergy Task 32.
6. *Левицька О. Г.* Порівняльний аналіз викидів шкідливих речовин при застосуванні альтернативних природному газу біопалив / О. Г. Левицька, О. В. Січевий // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.-2019.-№20.-С. 90-95. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh\\_2019\\_20\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh_2019_20_15)
7. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування: Навч. посібник / Н.А. Шаройко, А.О. Каграманян, І.П. Полтавський та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 395 с., табл. 18, рис. 52.
8. *Singh, Renu & Shukla, Ashish*. (2014). A review on methods of flue gas cleaning from combustion of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29. 854-864. 10.1016/j.rser.2013.09.005.
9. *Thomas Nussbaumer*. An overview on particle types and measures to reduce particle emissions. 20<sup>th</sup> ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles“ Zürich, June 13–16 2016.
10. *J.M. Jones et al.*, Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels, *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, DOI 10.1007/978-1-4471-6437-1\_1

11. *A. Williams, J.M. Jones, L. Ma, M. Pourkashanian*, Pollutants from the combustion of solid biomass fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 38, Issue 2, 2012, Pages 113-137, ISSN 0360-1285, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.10.001>.
12. *Pérez Orozco, Raquel*. Contributions to the reduction of particulate matter emissions in biomass combustion processes. 2020.
13. *Khodaei Jalalabadi, Hassan & Guzzomi, Ferdinando & Patiño, D. & Rashidian, Babak & Yeoh, Guan. (2017)*. Air staging strategies in biomass combustion-gaseous and particulate emission reduction potentials. *Fuel Processing Technology*. 157. 29-41. 10.1016/j.fuproc.2016.11.007.
14. *Yishu Xu, Xiaowei Liu, Jiuxin Qi, Tianpeng Zhang, Jingying Xu, Chang Wen, Minghou Xu*, Characterization of fine particulate matter generated in a large woody biomass-firing circulating fluid bed boiler, *Journal of the Energy Institute*, Volume 96, 2021, Pages 11-18, ISSN 1743-9671, <https://doi.org/10.1016/j.joei.2021.02.004>.
15. *Houshfar, E., Skreiberg, Ø., Løvås, T., Todorović, D., & Sørum, L. (2011)*. Effect of Excess Air Ratio and Temperature on NO<sub>x</sub> Emission from Grate Combustion of Biomass in the Staged Air Combustion Scenario. *Energy & Fuels*, 25(10), 4643–4654. doi:10.1021/ef200714d.
16. *Жовмір М. М.* Особливості застосування нормативних документів щодо обмеження емісії забруднюючих речовин при спалюванні біомаси / М. М. Жовмір, М. О. Будько // *Відновлювана енергетика*. - 2019. - № 2. - С. 79-90. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien\\_2019\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2019_2_12).
17. *Díaz-Ramírez, Maryori & Sebastián, Fernando & Javier, Royo & Rezeau, Adeline. (2014)*. Influencing factors on NO<sub>x</sub> emission level during grate conversion of three pelletized energy crops. *Applied Energy*. 115. 360-373. 10.1016/j.apenergy.2013.11.011.
18. *Котельні установки : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. –Вінниця :ВНТУ, 2016. –185с.*

19. *Simões Amaral, Simone & Carvalho, Joao & Costa, Maria & Pinheiro, Cleverson. (2016). Particulate Matter Emission Factors for Biomass Combustion. Atmosphere. 7. 141. 10.3390/atmos7110141.*
20. *Ruppert, Hans & Kappas, Martin & Ibendorf, Jens. (2013). Sustainable Bioenergy Production - An Integrated Approach. 10.1007/978-94-007-6642-6.*
21. *M. A. Abdoli et al., Wood Pellet as a Renewable Source of Energy, University of Tehran Science and Humanities Series, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74482-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74482-7_9).*
22. *Hroncová, Emília et al. "Combustion of Biomass Fuel and Residues: Emissions Production Perspective." (2016).*
23. *Zhou, Haosheng & Jensen, Anker & Glarborg, P. & Kavaliauskas, A.. (2006). Formation and reduction of nitric oxide in fixed-bed combustion of straw. Fuel. 85. 705-716. 10.1016/j.fuel.2005.08.038.*
24. *Yin, Chungeng & Rosendahl, Lasse & Kær, Søren. (2008). Grate-firing of biomass for heat and power production. Progress in Energy and Combustion Science. 34. 725-754. 10.1016/j.pecs.2008.05.002.*
25. *Margit Löschau und Rudi Karpf. Flue Gas Treatment – State of the Art. [https://www.ete-a.de/img/Vortraege/50\\_Flue\\_gas\\_Treatment\\_-\\_State\\_of\\_the\\_Art.pdf](https://www.ete-a.de/img/Vortraege/50_Flue_gas_Treatment_-_State_of_the_Art.pdf)*
26. Біоенергетична асоціація України. Аналітична записка UABIO № 27 «Обґрунтування напрямків утилізації золи від спалювання біомаси. Зола біомаси як добриво в сільському господарстві.» [https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/12/AZ\\_Kramar\\_Zastosuvannyazoly-biomasy-yak-dobryva\\_fin\\_ukr2.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/12/AZ_Kramar_Zastosuvannyazoly-biomasy-yak-dobryva_fin_ukr2.pdf)
27. Гелету́ха Г., Крамар В., Епiк О., Антощук Т., Тiтков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси/Comprehensive analysis of the Ukrainian biomass pellets market. Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй, 2016.  
[https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii\\_analiz\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_pelet\\_z\\_biomasi.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/11/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf)



European Bank  
for Reconstruction and Development



IBBK  
BIOGAS

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

## Дякую за увагу!

**Володимир Крамар, к.т.н.,**  
НТЦ «Біомаса»,  
Біоенергетична  
асоціація України (UABIO)

<https://uabio.org>

<https://www.facebook.com/uabio>

