



World Science

e-ISSN: 2414-6404

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw,
Poland 00-773
+48 226 0 227 03
editorial_office@rsglobal.pl

ARTICLE TITLE

PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF FLY ASH DURING COLD
RECYCLING OF ROAD CLOTHING

ARTICLE INFO

Bykovets Mykola, Illiash Sergii. (2025) Practical Aspects of The Use of Fly Ash
During Cold Recycling of Road Clothing. *World Science*. 3(89). doi:
10.31435/ws.3(89).2025.3217

DOI

[https://doi.org/10.31435/ws.3\(89\).2025.3217](https://doi.org/10.31435/ws.3(89).2025.3217)

RECEIVED

25 March 2025

ACCEPTED

29 August 2025

PUBLISHED

30 September 2025

LICENSE



The article is licensed under a **Creative Commons Attribution 4.0
International License**.

© The author(s) 2025.

This article is published as open access under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), allowing the author to retain copyright. The CC BY 4.0 License permits the content to be copied, adapted, displayed, distributed, republished, or reused for any purpose, including adaptation and commercial use, as long as proper attribution is provided.

PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF FLY ASH DURING COLD RECYCLING OF ROAD CLOTHING

Bykovets Mykola

Acting head of the quality control laboratory of State enterprise "National Institute for Development Infrastructure" - SE "NIDI", Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-7490-7479

Illiash Sergii

Head of the Research center for the development and maintenance of infrastructure objects of State enterprise "National Institute for Development Infrastructure" - SE "NIDI", Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-9787-2523

ABSTRACT

The article examines the use of fly ash in materials produced by cold recycling technology. The ecological problem that arises during the storage of ash and slag materials has been studied. The question of the use of fly ash in road construction was considered. The composition of the mixture was selected, the consumption of materials was determined, samples were formed, which were then tested for compliance of their physical and mechanical characteristics with the requirements of national standards. After the arrangement of the experimental site, a number of field tests were conducted. Based on the results of research, it was established that fly ash mixtures meet the requirements of current regulatory documents in terms of their physical and mechanical properties and have characteristics no worse than mixtures made using the classic cold recycling technology.

KEYWORDS

Road, Construction, Road clothing, Ash and slag materials, Fly ash, Recycling

CITATION

Bykovets Mykola, Illiash Sergii. (2025) Practical Aspects of The Use of Fly Ash During Cold Recycling of Road Clothing. *World Science*. 3(89). doi: 10.31435/ws.3(89).2025.3217

COPYRIGHT

© The author(s) 2025. This article is published as open access under the **Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)**, allowing the author to retain copyright. The CC BY 4.0 License permits the content to be copied, adapted, displayed, distributed, republished, or reused for any purpose, including adaptation and commercial use, as long as proper attribution is provided.

1. Вступ.

Під час згоряння твердого палива, зокрема вугілля, на теплових електростанціях внаслідок складних хімічних і фазових перетворень утворюються такі побічні продукти як зола та шлак. В залежності від технології уловлювання золи розрізняють золу-винесення – уловлюється електрофільтрами та золу гідровидалення – видаляється у вигляді пульпи гідротранспортом [1]. Зола-винесення зберігається в спеціальних силосах з метою уникнення її розсіювання та відповідно забруднення навколишнього середовища. Зола гідровидалення зберігається на спеціальних полігонах у вологому стані, що зменшує ймовірність її розсіювання, проте підвищує ризик забруднення ґрунтових вод. Зберігання золи в силосах потребує витрат на їх закупівлю, монтаж та утримання [2].

Під час будівництва полігонів для зберігання золошлакових матеріалів відчужуються великі території, які фактично стають непридатними для корисного використання навіть після рекультивації. Утримання таких споруд потребує значних експлуатаційних витрат, що збільшує собівартість виробництва енергоносіїв. Крім того, золовідвали є постійним джерелом забруднення навколишнього середовища. Відбувається деформація поверхні та зміна рельєфу, що веде до формування техногенно змінених ландшафтів та антропогенно перетворених ґрунтів – хемоземів. Тому виникає питання

використання золи в різних галузях промисловості для уникнення шкідливих наслідків для довкілля та зменшення економічних витрат [3].

Основними напрямками використання золошлакових матеріалів є:

- у цивільному будівництві – виробництво цементу, цегли, пористого бетону, легких заповнювачів і стінових збірних панелей;
- у дорожньому будівництві – влаштування шарів дорожнього одягу та насипу земляного полотна [4].

Перспективними є дослідження використання золи-винесення в матеріалах, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу.

Холодний ресайклінг – технологія повторного використання шарів наявного дорожнього одягу зі зміною їх властивостей. Спеціальні машини – ресайклери подрібнюють старий покрив, додаючи в'язуче, таке як цемент, вапно, мелені доменні шлаки, бітум чи бітумну емульсію [5].

В Україні в 2021 році на ділянці автомобільної дороги загального користування державного значення Т-10-18 Бориспіль - Березань – Яготин, км 3+227 - км 5+227 було влаштовано шар дорожнього одягу з матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу з додаванням золи- винесення в якості експериментального впровадження.

2. Результати досліджень та обговорення

Перед влаштуванням дорожнього одягу було виконано підбір складу суміші. Для приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу використовували:

- золу-винесення;
- суміш фрезеровану;
- щебінь фракції 20-40 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-30;
- цемент ПЦ - 500 згідно з ДСТУ Б В.2.7-112.

Спочатку було визначено гранулометричний склад фрезерованої суміші (Таблиця 1).

Таблиця 1. Гранулометричний склад фрезерованої суміші

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм										
	40	20	10	5	2, 5	1, 25	0, 63	0, 315	0, 14	0, 071
Суміш фрезерована	100	100	84, 5	60, 4	37, 4	22, 4	16, 6	12, 4	8, 5	6, 0
Вимоги ДСТУ 8976	100-90	90-60	65-35	50-20	40-15	30-10	25-5	20-3	15-2	≤13
Відповідність до вимог ДСТУ 8976	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+

Гранулометричний склад суміші фрезерованої відповідав гранулометричному складу сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу згідно з ДСТУ 8976. Вміст бітуму в суміші фрезерованій становив 6, 3 % від маси мінеральних матеріалів.

Потім був визначений гранулометричний склад щебеню фр. 20-40 (Таблиця 2).

Таблиця 2. Гранулометричний склад щебеню фр. 20-40

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, даного розміру, мм			
	40	20	10
Щебінь фр. 20-40	19	63	18

Підібраний зерновий склад суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 40 мм згідно таблиці 1 ДСТУ 8976 наведений в таблиці 3.

Приготування зразків з сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу здійснювали згідно з ДСТУ 8977 з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій.

Таблиця 3. Підібраний зерновий склад суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу

	Вміст за масою, % мінеральних зерен, на ситі з розміром отворів, мм									
	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Часткові залишки а/б, 67 %	0,0	0,0	10,4	16,1	15,4	10,1	3,9	2,8	2,6	1,7
Часткові залишки, середні значення, 33 %	6,6	19,8	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Всього, повні залишки, %	6,6	26,4	43,4	59,5	74,9	85,0	88,9	91,7	94,3	96,0
Вимоги ДСТУ 8976	0-10	20-40	35-60	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-98	87-100
Відповідність до вимог ДСТУ 8976	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

На рисунку 1 наведено графік підбіру зернового складу суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу.

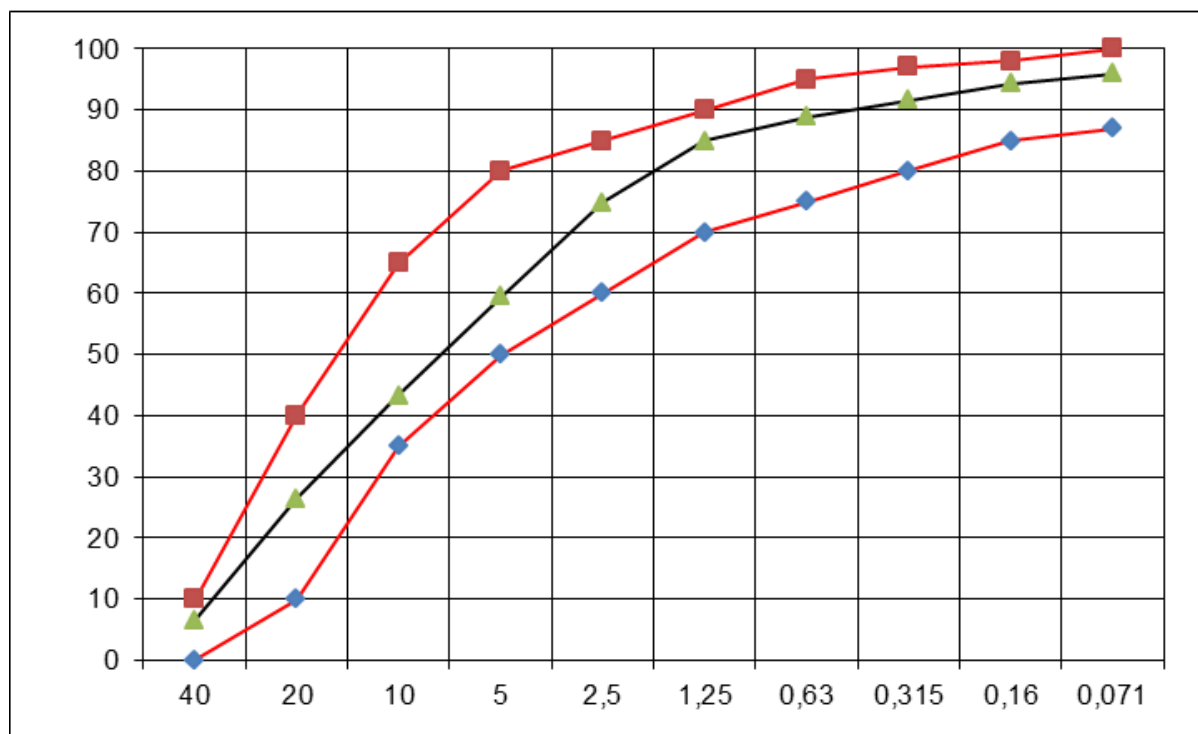


Рисунок 1. Графік підбіру зернового складу суміші

В таблиці 4 вказані витрати матеріалів для приготування 1 м³ МДХР.МВ.Кз.М40.

Таблиця 4. Витрати матеріалів для приготування 1 м³ МДХР.МВ.Кз.М40

Найменування матеріалу	Склад зверх 100 %, %	Склад на 100 %, %	Витрати на 1 м ³ , т	Насипна щільність, т/м ³	Витрати на 1 м ³ , м ³
1	2	3	4	5	6
Щебінь 20-40 мм	33	25, 882	0, 585	1, 6	0, 366
Зола- винесення	20	15, 686	0, 355	1, 1	0, 322
Фрезерований матеріал	67	52, 549	1, 188	1, 46	0, 813
Цемент ПЦ-500	7, 5	5, 882	0, 133	1, 1	0, 121
Всього:	127, 5	100, 00	2, 26		

Приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу згідно з ДСТУ 8976 різних складів виконували в наступній послідовності:

- перемішування суміші фрезерованої з додаванням нового кам'яного матеріалу;
- додавання золи-винесення при постійному перемішуванні;
- додавання цементу при постійному перемішуванні;
- додавання води для отримання оптимальної вологості суміші;
- приготування зразків суміші, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу.

Після формування зразків було виконано випробування ущільнених сумішей на відповідність їх фізико-механічних характеристик вимогам чинних нормативних документів. Випробування були проведенні на 7 добу (Таблиця 5) та 28 добу (Таблиця 6) набору міцності.

Таблиця 5. Випробування ущільнених сумішей на відповідність їх фізико-механічних характеристик (7 доба)

Найменування показників	Норми за ДСТУ 8976 (28 діб)	Фактичні показники зразків номеру			
		1	2	3	Середнє значення
Середня густина ущільненого матеріалу, г/см ³	Не нормується	2, 26	2, 26	2, 26	2, 26
Водонасичення, % за об'ємом, не більше	8, 5	6, 54	6, 59	6, 22	6, 44
Границя міцності при стиску водонасичених зразків за температури 20 °С, МПа	Від 4, 0 до 5, 9	3, 29	3, 44	3, 31	3, 34

Таблиця 6. Випробування ущільнених сумішей на відповідність їх фізико-механічних характеристик (28 доба)

Ч. ч.	Назва показника	Результати випробування ущільненої сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу з додаванням 20 % золи-винесення				
1	2	3	4	5	Середнє значення	Вимоги ДСТУ 8959
1	Середня густина, г/см ³	2, 20	2, 20	2, 20	2, 20	не нормується
2	Водонасичення, % за об'ємом	4, 33	4, 33	4, 35	4, 34	8, 5
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	5, 85	5, 85	5, 85	5, 85	від 4, 0 до 5, 9
4	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	2, 55	2, 55	2, 55	2, 55	не менше ніж 1, 5
5	Водостійкість при тривалому водонасиченні	0, 89	0, 89	0, 89	0, 89	0, 65
6	Морозостійкість	0, 88	0, 88	0, 89	0, 88	0, 55

Випробувані зразки відповідали вимогам чинних нормативних документів тому даний підбір суміші використовувався при будівництві.

Улаштування конструктивного шару із суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу з додаванням золи-винесення включало наступні технологічні операції:

- попереднє фрезерування шарів існуючого дорожнього одягу фрезею; планування поверхні автогрейдером;
- розподілення нового щебеневого матеріалу;
- розподілення золи-винесення; розподілення цементу;
- фрезерування, перемішування та укладання суміші ресайклером;
- планування та профілювання поверхні шару автогрейдером;
- ущільнення суміші відповідною ланкою котків.



Рисунок 2. Загальний вигляд влаштованого шару із МДХР.МВ.Кз.М40

На поверхні влаштованого шару із МДХР.МВ.Кз.М40 на 3 добу після вкладання було виміряно модуль пружності методом статичного навантаження за допомогою штапкового обладнання «Infratest». Результати вимірів наведені в таблиці 7.

Таблиця 7. Результати вимірів модулів пружності покриття

Ч.ч.	ПК+	Фактичний модуль пружності покриття, МПа	Примітка
1	2	3	4
1	5+00	221	Влаштований шар МДХР.МВ.Кз.М40
2	3+83	217	
3	2+04	213	
4	1+37	215	
5	0+21	205	

Також на даній ділянці були відібрані зразки-керни. Які були випробувані на відповідність фізичних властивостей чинним нормативним документам.

Таблиця 8. Результати випробувань зразків-кернів

Показник, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ 8976	Фактичні показники зразків-кернів номеру			
		I	II	III	Середнє значення
Середня густина ущільненого матеріалу, г/см ³	Не нормується	2, 19	2, 20	2, 20	2, 20
Водонасичення, % за масою, не більше	9, 0	6, 37	5, 25	6, 05	5, 89

3. Висновки.

Використання золи-виносу в матеріалах, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу має ряд переваг. Це дозволяє вирішити екологічну проблему яку створюють золовідвали та зменшити вартість влаштування дорожнього одягу. При цьому після виконаних лабораторних випробувань, польових випробувань та влаштування з неї шарів дорожнього одягу можна зробити висновок, що суміші із золою-виносом відповідають за своїми фізико-механічними властивостями вимогам чинних нормативних документів в Україні та мають характеристики не гірші ніж суміші виготовлені за класичною технологією холодного ресайклінгу.

REFERENCES

1. ДСТУ Б А.1.1-26-94 Система стандартизації та нормування в будівництві. Відходи промисловості для будівельних виробів. Терміни та визначення.
2. В. П. Ковальський, О.С. Сідлак, Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах//Науково-технічний збірник «сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві» - 2014 – С. 35- 40. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/3936>
3. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. Lahti, 1999. 7 p.
4. Xiaotong Ch., Jiexin Sh., Jun Zh., Rongsheng Ch., Younian D., Fan Zh. Dongnan daxue xuebao. Ziran kexue ban. J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed. 2001;31(3).
5. Santucci, L. Recycling Asphalt Pavement – A Strategy Revisited //Tech Topic, No 8. – P. 1-12.
6. СОУ 42.1-37641918-104:2013 Золи-виносу та суміші золошлакові теплових електростанцій для дорожніх робіт. Технічні умови.
7. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови.
8. ДСТУ 8977:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Методи випробування.