https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.036

УДК 625.168

Каськів В. І., *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Копинець І. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Соколов О. В., *https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МІНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКУ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Анотація

Вступ. Мінеральний порошок є важливим складником асфальтобетонної суміші, що виконує велику роль в забезпеченні якості асфальтобетонних сумішей. Питома поверхня мінерального порошку становить близько 90 % питомої поверхні мінеральних матеріалів у складі асфальтобетонної суміші. У складі асфальтобетонної суміші мінеральний порошок виконує дві ролі – заповнює пори між дрібним та крупним заповнювачем і структурує бітум. Останнім часом значна кількість робіт присвячується дослідженню відходів промисловості як сировини для виробництва мінерального порошку. Насамперед ці дослідження пов'язані з оцінюванням безпосереднього впливу мінерального порошку переважно на об'ємні властивості асфальтобетону або ж на його міцнісні властивості. Оскільки одним із призначень мінерального порошку є структурування бітуму, то значну увагу під час дослідження альтернативної сировини доцільно приділяти структурувальній здатності отримуваного мінерального порошку, оскільки недостатня структурувальна здатність мінерального порошку може стати причиною утворення пластичних деформацій, а надто велика структурувальна здатність — причиною зростання жорсткості асфальтобетону та зниження його низькотемпературної тріщиностійкості.

Проблематика. З метою оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку переважно використовують «метод кільця і кулі», за якого структурувальну здатність оцінюють приріст температури розм'якшеності бітуму після змішування з мінеральним порошком. Однак, даний метод характеризує виключно вплив мінерального порошку на властивості бітуму за високих температур експлуатації, і не враховує можливу зміну властивостей бітуму за низької температури експлуатації та за технологічних температур.

Мета. Дане дослідження було присвячено оцінюванню впливу мінерального порошку різного походження на структурування бітуму за низької та високої температури експлуатації, а також за технологічних температур виробництва асфальтобетонних сумішей.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку, граніту, кварциту, золи-винесення, механоактивованої золи-винесення, золи з гідровідвалу, доменного шлаку та цементу.

Результати. Результати досліджень засвідчили про значний вплив походження мінерального порошку на його структурувальну здатність. Структурувальна здатність мінерального порошку зростає із підвищенням температури, тобто за низької температури експлуатації мінеральний порошок практично не впливає на властивості бітуму, а з підвищенням температури до високої температури експлуатації та до технологічних температур виробництва асфальтобетонних сумішей, вплив мінерального порошку на властивості бітуму стає в рази суттєвішим.

Висновки. Дослідження структурувальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності різного походження засвідчили можливість використання для

виробництва мінерального порошку сировини різного походження, а саме: сировини з гірських порід (осадових, вивержених та метаморфічних), сировини з вторинних продуктів промисловості (золи-винесення, золи з гідровідвалу та металургійних шлаків), а також фактично готовий будівельний продукт (цемент).

Для оцінювання ефективності мінерального порошку можна досліджувати його структурувальну здатність за зміною температури крихкості, оскільки під час визначення даного показника можна оцінити ефект від структурування, що полягає у збереженні однорідності асфальтов'яжучого під час підготування пластин.

Ключові слова: асфальтов'яжуче, бітум, вапняк, динамічна в'язкість, доменний шлак, зола-винесення, зола з гідровідвалу, мінеральний порошок, температура крихкості, структурувальна здатність.

Вступ

Мінеральний порошок є важливим складником асфальтобетонної суміші, що виконує велику роль у забезпеченні якості асфальтобетонних сумішей [1]. Питома поверхня мінерального порошку становить близько 90 % питомої поверхні мінеральних матеріалів у складі асфальтобетонної суміші [2, 6]. У складі асфальтобетонної суміші мінеральний порошок виконує дві ролі — заповнює пори між дрібним та крупним заповнювачем і структурує бітум [2–5, 7]. Залежно від регіону під мінеральним порошком розуміють матеріал, більша частина якого проходить через сито з розміром отворів 0,075 мм [8], через сито з розміром отворів 0,071 мм [9] або через сито з розміром отворів 0,063 мм [10]. Сировиною для виробництва мінерального порошку можуть бути гірські породи, шлаки, лес та інші подібні матеріали [8], бітумінозні породи, осадові карбонатні гірські породи, суміш некарбонатних гірських порід з карбонатними, відходи промисловості у вигляді основних металургійних шлаків, а також цемент [9]. Стандарт [10] не встановлює вимоги до сировини, натомість даним стандартом передбачено можливість установлення вимог до вмісту карбонату кальцію або до вмісту гідроксиду кальцію. Останнім часом все більший інтерес проявляється до альтернативної сировини для виробництва мінерального порошку [11–13, 16, 20, 21]. Як альтернативну сировину також розглядають кварцовий пісок [14, 15], рисове лушпиння [17], відходи виробництва скла, цементу та керамічних виробів [18], вапняковий пісок коралових рифів [19]. Насамперед ці дослідження пов'язані з оцінюванням безпосереднього впливу мінерального порошку переважно на об'ємні властивості асфальтобетону або ж на його міцністні властивості. Однак також є дослідження, що присвячені комплексному дослідженню суміші мінерального порошку та бітуму [1, 2, 22]. Оскільки одним із призначень мінерального порошку є структурування бітуму, то значну увагу під час дослідження альтернативної сировини доцільно приділяти саме структурувальній здатності отримуваного мінерального порошку, оскільки недостатня структурувальна здатність мінерального порошку може стати причиною утворення пластичних деформацій, а надто велика структурувальна здатність — причиною зростання жорсткості асфальтобетону та зниження його низькотемпературної тріщиностійкості. З метою оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку переважно використовують «метод кільця і кулі», який дозволяє оцінити цю характеристику за приростом температури розм'якшеності бітуму після змішування з мінеральним порошком [9, 10]. Однак, даний метод характеризує виключно вплив мінерального порошку на властивості бітуму за високих температур експлуатації, та не враховує можливу зміну властивостей бітуму за низької температури експлуатації та за технологічних температур. У зв'язку з цим, дане дослідження було присвячено оцінюванню впливу мінерального порошку різного походження на структурування бітуму за низької та високої температури експлуатації, а також за технологічних температур виробництва асфальтобетонних сумішей.

Основна частина

Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку, граніту, кварциту, золи-винесення, механоактивованої золи-винесення, золи з гідровідвалу, доменного шлаку та цементу. Мінеральні порошки з кварциту, граніту, доменного шлаку та механоактивованої золи-винесення було отримано в лабораторних умовах з використанням кулькового млина.

Також для досліджень було прийнято базовий бітум марки БНД 70/100, що характеризується глибиною проникності голки за температури 25 °С 74 × 0,1 мм, температурою розм'якшеності 48 °С та температурою крихкості мінус 19 °С.

Суміш мінерального порошку та бітуму (асфальтов'яжуче) отримували шляхом змішування 60 % мінерального порошку з 40 % бітуму за температури близько 150 °С. Оскільки в роботі [2] було показано, що на структурувальну здатність мінерального порошку впливає розмір його часток, то для більш точного порівняння було взято мінеральний порошок з розміром часток менше ніж 0,071 мм.

Структурувальну здатність мінерального порошку за низьких експлуатаційних температур оцінювали за різницею температури крихкості асфальтов'яжучого та бітуму. Структурувальну здатність мінерального порошку за високих експлуатаційних температур оцінювали за різницею температури розм'якшеності асфальтов'яжучого та бітуму, а також за відношенням динамічної в'язкості асфальтов'яжучого та бітуму за температури 70 °С. Структурувальну здатність мінерального порошку за технологічних температур оцінювали за відношенням динамічної в'язкості асфальтов'яжучого та бітуму за температури 165 °С. В усіх випадках для забезпечення потрібної товщини плівки асфальтов'яжучого або ж його обсягу, враховували його дійсну щільність.

Вимогами [9] установлено, що структурувальна здатність мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності повинна становити від 10 °С до 20 °С. Результати досліджень показали, що всі мінеральні порошки за структурувальною здатністю за високих експлуатаційних температур на основі зміни температури розм'якшеності відповідають вимогам [9] (**табл. 1** та **рис. 1**).

Таблиця 1

Структурувальна здатність мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності

Сировина для виробництва мінерального порошку	Вапняк	Граніт	Кварцит	Зола-винесення	Механо-активована зола-винесення	Зола з гідровідвалу	Доменний шлак	Цемент
Структурувальна здатність, °С	12,4	12,5	13,5	13,0	14,5	15,3	12,5	10,3

Найбільшою структурувальною здатністю за температурою розм'якшеності відзначається мінеральний порошок із золи гідровідвалу (15,3 °С), а найменшою — з цементу (10,3 °С). При цьому, мінеральний порошок з вапняку, граніту та доменного шлаку має практично однакову структурувальну здатність, а мінеральний порошок з кварциту, золи-винесення та механоактивованої золи-винесення відзначаються на (1,0–2,0) °С вищою структурувальною здатністю. Вищі значення структурувальної здатності мінерального порошку можуть свідчити про більшу пористість відповідного мінерального порошку, наближення форми часток мінерального порошку до округлої форми (підтвердженням чому може бути зниження структурувальної здатності мінерального порошку із золи-винесення під час механоактивації), а також різний зерновий склад мінерального порошку в межах до 0,071 мм.

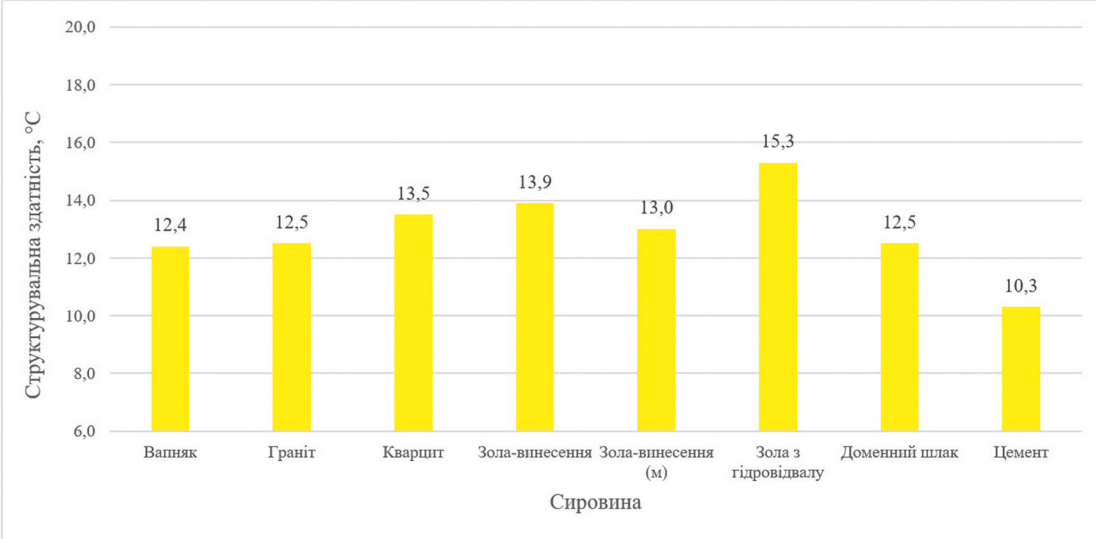

Рисунок 1 — Порівняння структурувальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності

Розглянемо структурувальну здатність мінерального порошку за високої температури експлуатації за відношенням динамічної в'язкості за температури 70 °C (**табл. 2** та **рис. 2**).

Таблиця 2

Структурувальна здатність мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості (висока температура експлуатації)

Сировина для виробництва мінерального порошку	Вапняк	Граніт	Кварцит	Зола-винесення	Механо-активована зола-винесення	Зола з гідровідвалу	Доменний шлак	Цемент
Структурувальна здатність	4,30	6,80	6,75	5,00	4,70	7,60	6,40	5,60

Найбільшою структурувальною здатністю за відношенням динамічної в'язкості відзначається мінеральний порошок із золи гідровідвалу (7,6), а найменшою — з вапняку (4,3), тобто структурувальна здатність мінерального порошку із золи з гідровідвалу є практично в два рази більшою за структурувальну здатність мінерального порошку з вапняку. Близькою до структурувальної здатності мінерального порошку з вапняку є структурувальна здатність золи-винесення (5,0) та механоактивованої золи-винесення (4,7), а до значень структурувальної здатності мінерального порошку із золи гідровідвалу наближається структурувальна здатність мінерального порошку з іншої сировини. Варто зазначити, що результати оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності та відношенням динамічної в'язкості мають суттєві відмінності. Якщо за зміною температури розм'якшеності мінеральний порошок з вапняку, граніту та доменного шлаку має близькі значення структурувальної здатності, то за відношенням динамічної в'язкості мінеральний порошок з граніту та доменного шлаку має в (1,5–1,6) рази більшу структурувальну здатність.

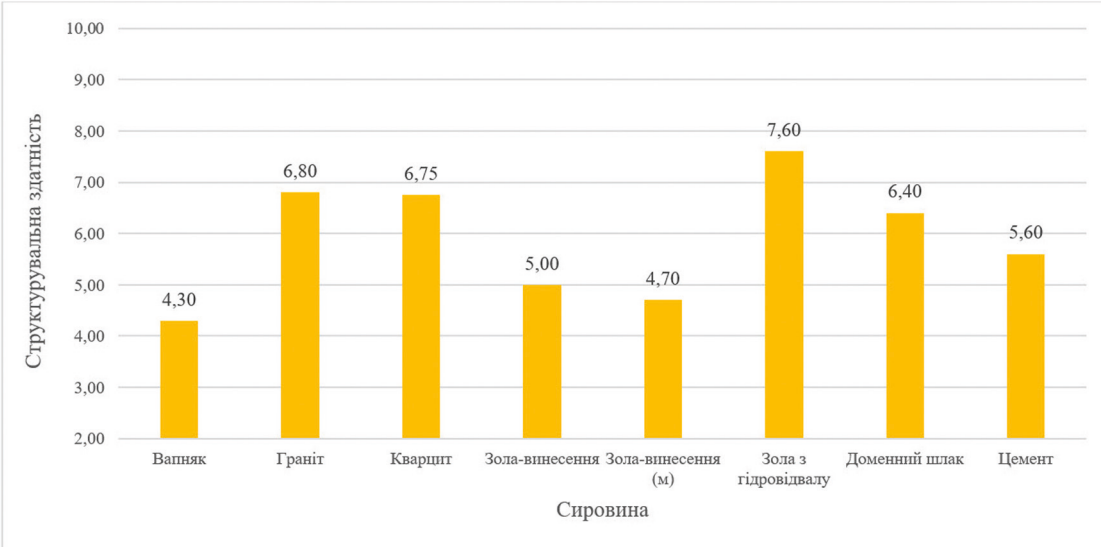

Рисунок 2 — Порівняння структурувальної здатності мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості за високої температури експлуатації

Ще більш цікавими виявилися результати визначення структурувальної здатності мінерального порошку за технологічних температур (**табл. 3** та **рис. 3**). За температури 165 °С структурувальна здатність мінерального порошку є більше ніж в два рази вищою за структурувальну здатність мінерального порошку за температури 70 °С, тому варто очікувати, що за низької температури експлуатації структурувальна здатність мінерального порошку буде найнижчою. Також варто зазначити, що характер структурувальної здатності мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості за температури 70 °С та 165 °С є однаковим.

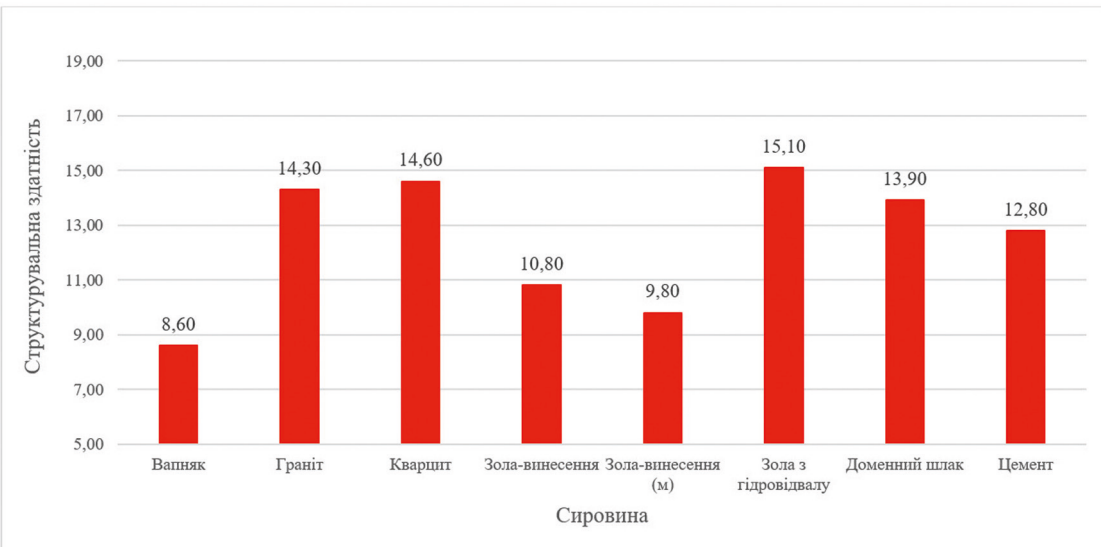

Рисунок 3 — Порівняння структурувальної здатності мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості за технологічної температури

Таблиця 3

Структурувальна здатність мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості (технологічна температура)

Сировина для виробництва мінерального порошку	Вапняк	Граніт	Кварцит	Зола-винесення	Механо-активована зола-винесення	Зола з гідровідвалу	Доменний шлак	Цемент
Структурувальна здатність, °C	8,60	14,30	14,60	10,80	9,80	15,10	13,90	12,80

Результати визначення структурувальної здатності мінерального порошку за низької температури експлуатації (**табл. 4** та **рис. 4**) засвідчили правдивість висловленого припущення щодо можливої нижчої структурувальної здатності мінерального порошку за низької температури експлуатації.

Таблиця 4

Структурувальна здатність мінерального порошку за зміною температури крихкості

Сировина для виробництва мінерального порошку	Вапняк	Граніт	Кварцит	Зола-винесення	Механо-активована зола-винесення	Зола з гідровідвалу	Доменний шлак	Цемент
Структурувальна здатність, °C	3,0	4,9	4,0	4,2	3,8	5,2	4,2	4,2

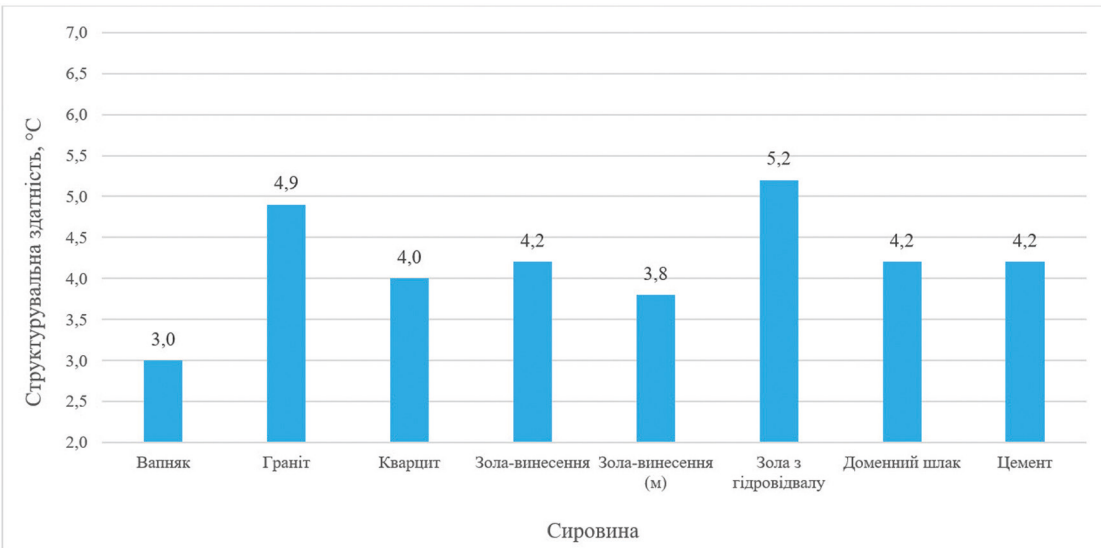

Рисунок 4 — Порівняння структурувальної здатності мінерального порошку за різницею температури крихкості

Якщо структурувальна здатність мінерального порошку за температурою розм'якшеності становить від 10,3 °C (з цементу) до 15,2 °C (із золи з гідровідвалу), то структурувальна здатність за температурою крихкості становить від 3,0 °C (з вапняку) до 5,2 °C (із золи з гідровідвалу).

У процесі даного випробування було встановлено, що під час підготування пластин з асфальтов'яжучим відбувається його розшарування (виняток має місце у випадку мінерального порошку з вапняку, кварциту та механоактивованої золи-винесення), тобто можна стверджувати, що значною мірою має місце не структурування в'яжучого, а його

наповнення мінеральним порошком. Це, в свою чергу, може впливати на достовірність результатів випробування, зокрема, під час визначення структурувальної здатності за відношенням динамічної в'язкості в результаті осідання мінерального порошку, що може пояснити більшу структурувальну здатність мінерального порошку за технологічної температури. Крім того, під час використання відповідного мінерального порошку за технологічної температури можливе часткове відділення бітуму від асфальтов'яжучого та сегрегація асфальтобетонної суміші за в'яжучим.

У результаті об'єднання мінерального порошку з бітумом відбуваються позитивні зміни останнього, що проявляється в більшому зростанні температури розм'якшеності ніж температури крихкості, тобто асфальтов'яжуче має більший інтервал пластичності ніж бітум (**табл. 5** та **рис. 5**).

Таблиця 5

Результати визначення інтервалу пластичності

Сировина для виробництва мінерального порошку	Вапняк	Граніт	Кварцит	Зола-винесення	Механо-активована зола-винесення	Зола з гідровідвалу	Доменний шлак	Цемент
Інтервал пластичності, °С	67	76,4	74,6	76,5	76,7	76,2	77,1	75,3
Різниця між інтервалом пластичності бітуму та асфальтов'яжучого	9,4	7,6	9,5	9,7	9,2	10,1	8,3	6,1

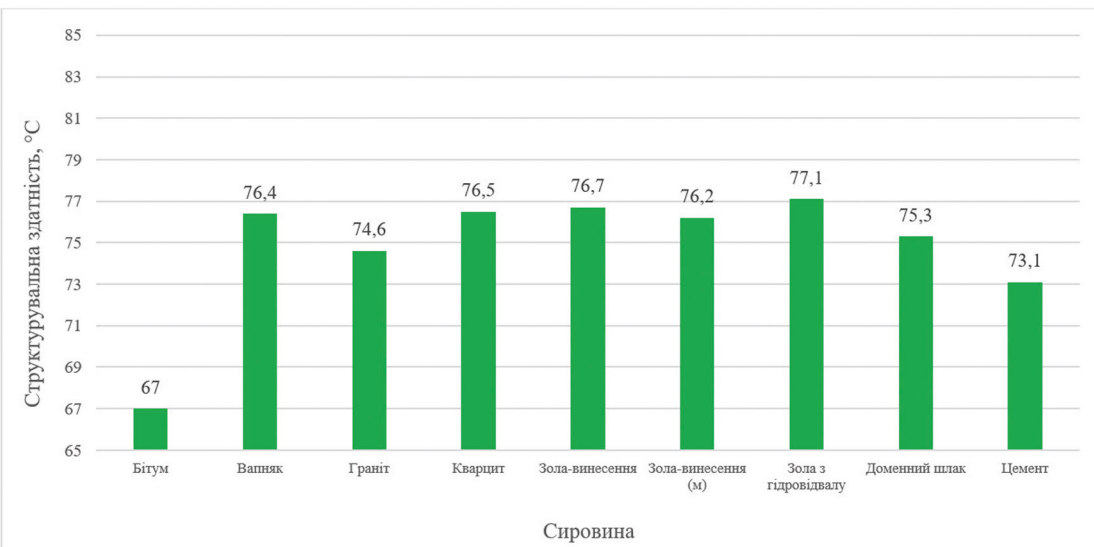

Рисунок 5 — Порівняння інтервалу пластичності бітуму та асфальтов'яжучого

У цілому інтервал пластичності асфальтов'яжучого є більшим в межах до 10,1 °С. Зважаючи на те, що найменше підвищення температури крихкості має місце у випадку асфальтов'яжучого з мінеральним порошком з вапняку, а також спостереження під час визначення даного показника, то даний мінеральний порошок можна вважати найбільш привабливим до використання, принаймні для асфальтобетону шару покриття. Також доцільно звернути увагу на мінеральний порошок з кварциту та механоактивованої золи-винесення.

Відомо [23], що під час виробництва асфальтобетонних сумішей під впливом температури та кисню відбувається старіння бітуму, тому дану особливість доцільно враховувати і під час оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку, а також під час оцінювання впливу мінерального порошку на старіння асфальтобетону в цілому [24–29]. Це означає, що як підвищення температури крихкості, так і зростання температури розм'якшеності певною мірою може бути пов'язане зі старінням бітуму.

Висновки

Мінеральний порошок є важливим складником асфальтобетонних сумішей, який заповнює пори між дрібним і крупним заповнювачем, структурує бітум, а також значним чином впливає на коліє- та тріщиностійкість асфальтобетонів.

В Україні в якості сировини для виробництва мінерального порошку переважно використовують осадові карбонатні гірські породи, тобто матеріал природного походження. У той же час, Україна має великий ресурс вторинних продуктів промисловості, який може бути використаний для виробництва мінерального порошку.

Дослідження структурувальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності різного походження засвідчили можливість використання для виробництва мінерального порошку сировини різного походження, а саме: сировини з гірських порід (осадових, вивержених і метаморфічних), сировини з вторинних продуктів промисловості (золи-винесення, золи з гідровідвалу та металургійних шлаків), а також фактично готовий будівельний продукт (цемент).

Для оцінювання ефективності мінерального порошку можна досліджувати його структурувальну здатність за зміною температури крихкості, оскільки під час визначення даного показника можна оцінити ефект від структурування, що полягає у збереженні однорідності асфальтов'яжучого під час підготування пластин.

Додаткового дослідження потребує підтвердження доцільності оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості, оскільки під час цього випробування можливе розшарування асфальтов'яжучого та спотворення результатів досліджень.

Наступні дослідження будуть присвячені оцінюванню старіння бітуму в результаті змішування з мінеральним порошком, а також оцінюванню впливу мінерального порошку на старіння бітуму в процесі експлуатації асфальтобетону.

Список літератури

1. Пыриг Я. И., Кудрявцева-Вальдес С. В., Галкин А. В., Косьмин А. В., Золотарев В. А., Кищинский С. В., Протопопова Т. М. Влияние природы минерального порошка на его структурирующую способность, гидрофобность и водоустойчивость асфальтовяжущего. *Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений:* Материалы международной науч.-практич. конференции. Белгород: БГТИ, 2013. Том 1. С. 225–235.

2. Пыриг Я.І. О структурирующей способности минеральных порошков. *Вестник ХНАДУ*. 2014. Вып. 67.

3. Yu Chen, Shibing Xu, Gabriele Tebaldi & Elena Romeo (2022) Role of mineral filler in asphalt mixture. *Road Materials and Pavement Design*, 23:2, 247–286. DOI: 10.1080/14680629.2020.1826351.

4. Faheem, A. F., Wen, H., Stephenson, L., & Bahia, H. U. (2008). Effect of mineral filler on damage resistance characteristics of asphalt binders. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 77, 885–907.

5. Wang, H., Al-Qadi, I. L., Faheem, A. F., Bahia, H. U., Yang, S. H., & Reinke, G. H. (2011). Effect of mineral filler characteristics on asphalt mastic and mixture rutting potential. *Transportation Research Record*, 2208(1), 33–39. DOI: https://doi.org/10.3141/2208-05.

6. M. Guo and Y. Tan, "Interaction between asphalt and mineral fillers and its correlation to mastics' viscoelasticity," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 22, no. 1. 2021. P. 1–10.

7. Eman Abdul Al-Hasan Mohammed *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*

8. Standard Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures. ASTM D 242-04. 2004. (Інформація та документація).

9. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2015. 42 с. (Інформація та документація).

10. EN 13043:2002/AC:2004 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas (Інформація та документація).

11. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження властивостей пилуватих відходів з електрогенеруючих підприємств України. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 94–101.

12. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С. 40–47.

13. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Використання побічних відходів промисловості в якості мінерального порошку в дорожньому будівництві. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С. 183–192.

14. Shuaibu A. A., Mohammed A. I., Hassan U., Amartey B. H. S., Wada S. A., Mohammed A., & Rimi A. M. (2021). An Experimental Study on the Performance of Bituminous Concrete Mixtures with Silica Sand as Filler Replacement. *ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT*. *17*(4). P. 453–468.

15. Adanikin A., Oyedepo O. J., Ajayi J. A., & Agbetanmije K. (2019). Laboratory study of the use of alternative materials as fillers in asphaltic concretes. *International journal of scientific research engineering and technology* (IJSRET), 8(6). P. 249–261.

16. Mehari, Zemichael Berhe (2007) Effect of Different Types of Filler Materials on Characteristics of Hot-Mix-Asphalt Concrete. Masters thesis, Addis Ababa University.

17. Aliyu Yaro, Nura Shehu & Sutanto, Muslich & Usman, Aliyu & Jagaba, A. H. & Sakadadi, M. (2022). The Influence of Waste Rice Straw Ash as Surrogate Filler for Asphalt Concrete Mixtures. 2. P. 118–125. DOI: 10.15282/cons.v2i1.7624.

18. Androjić, Ivica & Kaluder, Gordana. (2017). Influence of recycled filler on asphalt mix properties. *Gradjevinar*. 69. P. 207–214. DOI: 10.14256/JCE.1601.2016.

19. Zenggang, Zhao & Wu, Shaopeng & Liu, Quantao & Xie, Jun & Yang, Chao & Wan, Pei & Guo, Shuaicheng & Ma, Wenbo. (2021). Characteristics of calcareous sand filler and its influence on physical and rheological properties of asphalt mastic. *Construction and Building Materials*. 301. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124112.

20. Oba, Kenneth & Longjohn, Tamunoemi & Ijeje, Kaniyeh. (2022). Suitability of Saw Dust Ash and Quarry Dust as Mineral fillers in Asphalt Concrete. *International Journal of Engineering and Management Research*. 12. P. 24–29. DOI: 10.31033/ijemr.12.2.4.

21. Tarbay, Eman & Azam, Abdelhalim & El-Badawy, Sherif. (2019). Waste materials and by-products as mineral fillers in asphalt mixtures. *Innovative Infrastructure Solutions*. 4. DOI: 10.1007/s41062-018-0190-z.

22. NCHRP 09-45. Test Methods and Specification Criteria for Mineral Filler Used in HMA. University of Wisconsin-Madison. 2011.

23. Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Iryna Gudyma, Alina Yunak Laboratory studies to reduce the technological aging of bitumen. *Дороги і мости*. Київ, 2018. Вип. 18. С. 107–118.

24. Fan Zhenyang & Wang Xuancang & Zhang Zhuo & Zhang Yi. (2019). Effects of Cement–Mineral Filler on Asphalt Mixture Performance under Different Aging Procedures. *Applied Sciences*. 9. 3785. DOI: 10.3390/app9183785.

25. Moraes Raquel & Bahia Hussain. (2013). Investigation of Effect of Mineral Fillers on the Oxidative Aging of Asphalt Binders.

26. Moraes, Raquel & Bahia, Hussein. (2015). Effect of Mineral Fillers on the Oxidative Aging of Asphalt Binders - Laboratory Study with Mastics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2506. P. 19–31. DOI: 10.3141/2506-03.

27. Moraes Raquel & Bahia Hussain. (2014). Effect of Mineral Filler on Changes in Aging Indexes & Molecular Size of Asphalts during Aging.

28. Mastoras Filippos & Varveri Aikaterini & Tooren Maaike & Erkens Sandra. (2021). Effect of mineral fillers on ageing of bituminous mastics. *Construction and Building Materials*. 276. 122215. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122215.

29. Alfaqawi Rami & Airey Gordon & Grenfell James. (2017). Effects of mineral fillers and bitumen on ageing of asphalt mastics properties. DOI: 10.1201/9781315100333-41.

References

1. Pyryh Ya. I., Kudryavtseva-Valdes S. V., Halkin A. V., Kosmin A. V., Zolotarev V. A., Kyshchynskii S. V., Protopopova T. M. Vlyyanye pryrody mineralnoho poroshku na yoho strukturnu zdatnist, hidrofobnist i vodostoykost asfaltovyazhushcheho [Influence of the nature of the mineral powder on its structuring ability, hydrophobicity and water resistance of the asphalt binder]. *Innovatsiyni materialy, tekhnolohiyi ta obladnannya dlya budivnytstva suchasnykh transportnykh sporud*: Materialy mizhnarodnoyi nauk.-prakt. konferentsiyi. Belhorod: BHTY, 2013. Tom 1. P. 225–235 [in Russian].

2. Pyryh Ya.I. O strukturuyuchoyi zdatnosti mineralnykh poroshkiv [On the structuring ability of mineral powders]. *Vestnyk KHNADU*. 2014. Iss. 67. [in Russian].

3. Yu Chen, Shibing Xu, Gabriele Tebaldi & Elena Romeo (2022) Role of mineral filler in asphalt mixture, *Road Materials and Pavement Design*, 23:2, P. 247–286. DOI: 10.1080/14680629.2020.1826351 [in English].

4. Faheem, A. F., Wen, H., Stephenson, L., & Bahia, H. U. (2008). Effect of mineral filler on damage resistance characteristics of asphalt binders. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 77. P. 885–907 [in English].

5. Wang, H., Al-Qadi, I. L., Faheem, A. F., Bahia, H. U., Yang, S. H., & Reinke, G. H. (2011). Effect of mineral filler characteristics on asphalt mastic and mixture rutting potential. *Transportation Research Record*, 2208(1), 33–39. DOI: https://doi.org/10.3141/2208-05 [in English].

6. M. Guo and Y. Tan. Interaction between asphalt and mineral fillers and its correlation to mastics' viscoelasticity. *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 22, no. 1. 2021. P. 1–10 [in English].

7. Eman Abdul Al-Hasan Mohammed *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* [in English].

8. Standard Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures. ASTM D 242-04. 2004 (Information and documantation) [in English].

9. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Poroshok mineralnyy dlya asfaltobetonnykh sumishey. Tekhnichni umovy [Mineral filler for asphalt concrete mixtures. Specifications]. Kyyiv, 2015. 42 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

10. EN 13043:2002/AC:2004 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas (Information and documantation) [in English].

11. Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov Study of properties of dusty wastes from power generating plants of Ukraine. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2021. Iss. 23. P. 94–101 [in Ukrainian].

12. Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov. Study of fly ash from power generating enterprises to use it as an alternative to lime mineral filler for the production of asphalt mixtures. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2021. Iss. 24. P. 40–47 [in Ukrainian].

13. Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov. Use of industrial by-products as mineral powders in road construction. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2021. Iss. 24. P. 183–192 [in Ukrainian].

14. Shuaibu A. A., Mohammed A. I., Hassan U., Amartey B. H. S., Wada S. A., Mohammed A., & Rimi A. M. (2021). An Experimental Study on the Performance of Bituminous Concrete Mixtures with Silica Sand as Filler Replacement. *ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT*. *17*(4). P. 453–468 [in English].

15. Adanikin A., Oyedepo O. J., Ajayi J. A., & Agbetanmije K. (2019). Laboratory study of the use of alternative materials as fillers in asphaltic concretes. *International journal of scientific research engineering and technology* (IJSRET), 8(6), P. 249–261 [in English].

16. Mehari, Zemichael Berhe (2007) Effect of Different Types of Filler Materials on Characteristics of Hot-Mix-Asphalt Concrete. Masters thesis, Addis Ababa University [in English].

17. Aliyu Yaro, Nura Shehu & Sutanto, Muslich & Usman, Aliyu & Jagaba, A. H. & Sakadadi, M. (2022). The Influence of Waste Rice Straw Ash as Surrogate Filler for Asphalt Concrete Mixtures. 2. P. 118–125. DOI: 10.15282/cons.v2i1.7624 [in English].

18. Androjić, Ivica & Kaluder, Gordana. (2017). Influence of recycled filler on asphalt mix properties. *Gradjevinar*. 69. P. 207–214. DOI: 10.14256/JCE.1601.2016 [in English].

19. Zenggang, Zhao & Wu, Shaopeng & Liu, Quantao & Xie, Jun & Yang, Chao & Wan, Pei & Guo, Shuaicheng & Ma, Wenbo. (2021). Characteristics of calcareous sand filler and its influence on physical and rheological properties of asphalt mastic. *Construction and Building Materials*. 301. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124112 [in English].

20. Oba, Kenneth & Longjohn, Tamunoemi & Ijeje, Kaniyeh. (2022). Suitability of Saw Dust Ash and Quarry Dust as Mineral fillers in Asphalt Concrete. *International Journal of Engineering and Management Research*. 12. P. 24–29. DOI: 10.31033/ijemr.12.2.4 [in English].

21. Tarbay, Eman & Azam, Abdelhalim & El-Badawy, Sherif. (2019). Waste materials and by-products as mineral fillers in asphalt mixtures. Innovative Infrastructure Solutions. 4. DOI: 10.1007/s41062-018-0190-z [in English].

22. NCHRP 09-45. Test Methods and Specification Criteria for Mineral Filler Used in HMA. University of Wisconsin-Madison. 2011 [in English].

23. Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Iryna Gudyma, Alina Yunak Laboratory studies to reduce the technological aging of bitumen. *Dorogi i mosti [Roads and bridges].* Kyiv, 2018. 18. P. 107–118 [in English].

24. Fan Zhenyang & Wang Xuancang & Zhang Zhuo & Zhang Yi. (2019). Effects of Cement–Mineral Filler on Asphalt Mixture Performance under Different Aging Procedures. Applied Sciences. 9. 3785. DOI: 10.3390/app9183785 [in English].

25. Moraes Raquel & Bahia Hussain. (2013). Investigation of Effect of Mineral Fillers on the Oxidative Aging of Asphalt Binders [in English].

26. Moraes, Raquel & Bahia, Hussein. (2015). Effect of Mineral Fillers on the Oxidative Aging of Asphalt Binders - Laboratory Study with Mastics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2506. 19-31. DOI: 10.3141/2506-03 [in English].

27. Moraes Raquel & Bahia Hussain. (2014). Effect of Mineral Filler on Changes in Aging Indexes & Molecular Size of Asphalts during Aging [in English].

28. Mastoras Filippos & Varveri Aikaterini & Tooren Maaike & Erkens Sandra. (2021). Effect of mineral fillers on ageing of bituminous mastics. Construction and Building Materials. 276. 122215. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122215 [in English].

29. Alfaqawi Rami & Airey Gordon & Grenfell James. (2017). Effects of mineral fillers and bitumen on ageing of asphalt mastics properties. DOI: 10.1201/9781315100333-41 [in English].

Volodymyr Kaskiv, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Ivan Kopynets, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Oleksii Sokolov, *https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*

M.P. Shulgin State Road Research Institute – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

STUDY OF STRUCTURIZING CAPACITY OF MINERAL FILLER OF DIFFERENT ORIGIN

Abstract

Introduction. Mineral filler is an important component of asphalt mixture which plays an important role in ensuring the quality of asphalt mixtures. The specific surface of mineral filler is about 90 % of the specific surface of aggregates in asphalt mixture. Being a part of asphalt mixture, mineral filler performs two roles: it fills the pores between fine grained and coarse-grained aggregate and structurizes bitumen. Recently, a significant amount of works has been devoted to the study of industrial waste as a raw material for the production of mineral filler. First of all, these studies are related to the evaluation of the direct effect of mineral filler mainly on the volumetric properties of asphalt concrete or on its strength properties. Since one of the purposes of mineral filler is structurizing of bitumen, it is reasonable to pay considerable attention when studying the alternative raw materials, to the structurizing ability of the obtained mineral filler, as insufficient structurizing ability of mineral filler can cause plastic deformations, and too high structurizing ability causes the decreasing of its low-temperature crack resistance.

Problem statement. In order to evaluate the structurizing ability of the mineral filler, the «ring and ball method» is preferably used, in which the structurizing ability is evaluated by ane increase in the softening point of bitumen after mixing with the mineral filler. However, this method characterizes only the effect of mineral filler on the properties of bitumen at high operating temperatures, but it does not consider the possible change in the properties of bitumen at low operating temperatures and at process temperatures.

Objective. This study explores the evaluation of the effect of mineral filler of different origin on the structuring of bitumen at low and high operating temperatures, as well as at process temperatures for the production of asphalt mixtures.

Materials and methods. Mineral filler of limestone, granite, quartzite, fly ash, mechanically activated fly ash, the ash from hydraulic waste disposal, blast furnace slag and cement had been used for research.

Results. The results of researches showed a significant effect of the mineral filler origin on its structurizing capacity. The structurizing capacity of mineral filler increases with growing temperature; so at low operating temperature mineral filler has almost no effect on the properties of bitumen, and with the increase of temperature to the values of high operating temperature and process temperatures of asphalt mixtures production, the effect of mineral filler on bitumen properties becomes much more significant.

Conclusions. Studies of the structurizing capacity of mineral filler of different origins by changing the softening point had shown the possibility of using the raw materials of different origins for the production of mineral filler namely: raw materials from rock (sedimentary, erupted and metamorphic), raw materials from industrial by-products (fly ash, ash from hydraulic waste disposal, blast furnace slag), and also practically finished construction product (cement).

For evaluation of the effectiveness of mineral filler, it is possible to study its structurizing capacity by changing the brittleness temperature, as during determination of this indicator, it is possible to evaluate the effect of structuring, which consists in maintaining the homogeneity of asphalt binder during the preparation of plates.

Keywords: asphalt binder, bitumen, limestone, dynamic viscosity, blast furnace slag, fly ash, ash from hydraulic waste disposal, mineral powder, brittleness temperature, structuring ability.