

УДК 625.746.5

Нагребельна Л. П., *д-р філос. з транспортних технологій*, <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Кострульова Т. Є., <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Шпінь Д. М., <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>

Корчевська А. А., <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ВИМОГИ РІЗНИХ КРАЇН ДО ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ НА ВОЛОГОМУ ПОКРИВІ

Анотація

Вступ. Горизонтальна дорожня розмітка є важливим елементом безпеки дорожнього руху, яка забезпечує орієнтування учасників дорожнього руху на автомобільній дорозі. Дорожня розмітка дозволяє збільшити пропускну здатність автомобільної дороги більше ніж на 20 % та зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод.

Проблематика. Дорожня розмітка повинна залишатися добре видимою як у денний, так і в нічний час, а також за несприятливих погодних умов — зокрема під час дощу або туману. У задовільному стані розмітка зазвичай забезпечує належну нічну видимість на сухому покритті, однак її ефективність значно знижується в умовах зволоженої поверхні. Для покращення світлоповернення в темну пору доби в розмітці застосовуються мікросфери зі світлоповертального скла. Ці елементи ефективно функціонують на сухому асфальті, проте при наявності водяної плівки світло може частково відбиватися в протилежному напрямку, що зменшує яскравість маркування або викликає оптичні спотворення. Зниження видимості розмітки на вологій поверхні є поширеною проблемою, що впливає на безпеку дорожнього руху.

Мета. Проведення аналізу вимог різних країн до дорожньої розмітки на вологому покритті для встановлення відповідності вимог ДСТУ 2587 необхідних для забезпечення якісної роботи розмітки.

Матеріали та методи. Аналіз нормативних документів різних країн щодо вимог до дорожньої розмітки на вологому покритті.

Результати. Було розглянуто вимоги країн Європи, Австралії, деяких штатів США та України до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки на вологому покритті та під час дощу.

Висновки. З метою забезпечення достатньої видимості розмітки в темну пору доби в умовах зволоження та дощу пропонуємо вимоги за коефіцієнтом світлоповертання привести у відповідність до європейських, оскільки вони покращать безпеку дорожнього руху в Україні, що у свою чергу вплине на зниження виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: дорожня розмітка, дощ, пластик гарячого нанесення, пластик холодного нанесення, світлоповертання, фарба.

Вступ

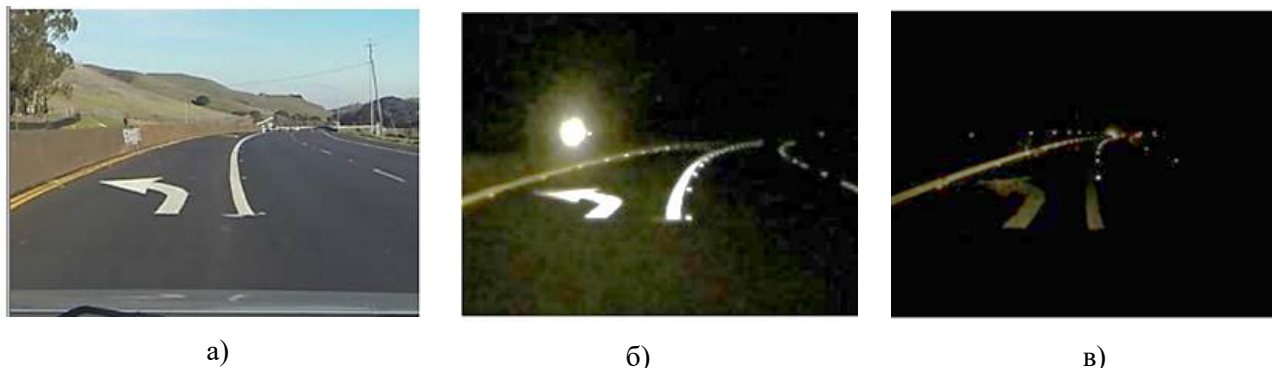
Інтерес до ефективності розмітки вночі в умовах зволоження зріс в останні роки. Десять років тому дослідження ефективності світлоповертальної розмітки в умовах зволоження практично не проводилися, але останнім часом було зроблено низку зусиль, спрямованих на краще розуміння ефективності розмітки в умовах зволоження. Значна частина досліджень пов'язана з покращенням видимості та підвищення довговічності розмітки вночі в умовах зволоження [1 – 5].

У [1] проєкт RAINVISION впродовж трьох років досліджував, як дорожня розмітка може впливати на поведінку водія за будь-яких нічних погодних умов (сухі умови, умови зволоження та дощ) і як різні вікові групи та групи за статтю адаптують свою поведінку на основі видимості та світлоповертання дорожньої розмітки.

У проєкті реалізовано три різні випробування: симуляційне випробування у Франції, випробування на треку в Австрії та випробування на дорозі у Сполученому Королівстві у співпраці з

місцевою владою. Для моделювання і випробувань було набрано більше 100 суб'єктів трьох вікових груп (20 – 40, 41 – 60 і 61+ років) та проведено кілька випробувань у різних умовах. Результати дослідження в цілому показують, що наявність дорожньої розмітки з підвищеними світлоповертальними властивостями за умов зволоження (тип 2) значно підвищила комфорт водіїв та позитивно впливала на суб'єктивне відчуття безпеки водіїв, особливо для старших водіїв.

У [2] автори наводять різницю між розміткою, що влаштована звичайними матеріалами та матеріалами з підвищеними світлоповертальними властивості за умов зволоження (рис. 1).



- а) Умови: день та сухі умови (стрілка та центральна лінія, нанесені звичайним матеріалом, та жовта крайова лінія, нанесена матеріалом з підвищеними світлоповертальними властивості за умов зволоження, мають гарну видимість);
- б) Умови: ніч та сухі умови (уся розмітка має гарну видимість);
- в) Умови: ніч та дощ (стрілка та центральна лінія майже невидимі, жовта крайова залишається видимою).

Рисунок 1 — Дорожня розмітка за різних умов

У [3, 4] дослідники, використовуючи інформацію, зібрану під час випробувань на закритій дорозі, попередні дослідження та дані Департаменту транспорту Міннесоти, визначили, що дорожня розмітка повинна мати рівень світлоповертання за умов зволоження щонайменше $50 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, щоб бути адекватно видимою вночі в умовах дощу. Після обговорення темпів погіршення світлоповертання розмітки з Департаментом транспорту Міннесоти та виробниками матеріалів для розмітки дослідники вибрали значення світлоповертання за умов зволоження на рівні $200 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ для нової дорожньої розмітки. Це значення забезпечить необхідний рівень світлоповертання за умов зволоження $50 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ впродовж усього строку експлуатування розмітки (чотири роки), у разі виконання розмітки довговічними матеріалами.

Світлоповертання розмітки на рівні у $150 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ забезпечувало адекватну видимість для швидкості руху автомобіля 55 миль/год у сухих умовах і 40 миль/год в умовах зволоження зі стандартними вимірюваннями світлоповертання в сухому стані та вимірюваннями для умов зволоження 1 дюйм/год. Це значення має бути мінімальним і зберігатись впродовж усього строку служби розмітки [5].

За останні роки було розроблено низку методик для покращення характеристик розмітки у вологих умовах вночі. Ці методи включають використання матеріалів з покращеними світлоповертальними властивостями за умов зволоження, профільована розмітка, використання більш широкіх ліній розмітки на шумових смугах [6].

Основна частина

Розглянемо вимоги до світлоповертання розмітки за умов зволоження у різних країнах.

У країнах Європи стандартом, який встановлює вимоги до світлоповертання дорожньої розмітки є EN 1436:2018 [7]. Вимоги до коефіцієнта світлоповертання за умов зволоження та дощу наведені у **табл. 1**.

Таблиця 1

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до EN 1436:2018 [7]

Умови зволоження		Умови дощу	
Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, не менше ніж	Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, не менше ніж
RW0	-	RR0	-
RW1	25	RR1	25
RW2	35	RR2	35
RW3	50	RR3	50
RW4	75	RR4	75
RW5	100	RR5	100
RW6	150	RR6	150

Із даних **табл. 1** видно, що вимоги до коефіцієнта світлоповертання можуть бути різними залежно від класу розмітки.

В Австралії діє стандарт AS 4049.4-2016 [8] відповідно до якого встановлені вимоги до високоефективних систем розмітки. До таких систем відносять і фарби, і пластики гарячого нанесення, і попередньо-сформовані вироби, і полімерні стрічки, і пластики холодного нанесення, і каталізатори й інші матеріали.

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання за умов зволоження відповідно до AS 4049.4-2016 [8] наведені у **табл. 2**.

Таблиця 2

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження відповідно до AS 4049.4-2016 [8]

Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, більше ніж		
	Початкове значення	Проміжне значення (у процесі експлуатування)	Остаточне значення (у кінці строку експлуатування)
RW0	80	80	80
RW1	160	130	100
RW2	240	180	120

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання можуть бути різними залежно від класу розмітки. Також вимоги для класів RW1 та RW2 послаблюються у процесі експлуатування розмітки.

Період для випробувань вибирають за **табл. 3**.

Таблиця 3

Періоди для випробувань дорожньої розмітки

Клас	Період випробувань						
	Початковий	Проміжний, місяців					Заклучний, місяців
		6	12	24	36	48	
1.1	До відкриття руху	X					12
1.2	До відкриття руху		X				24
1.3	До відкриття руху		X	X			36
1.4	До відкриття руху		X	X	X		48
1.5	До відкриття руху		X	X	X	X	60

Період випробувань залежить від виду матеріалу, яким нанесена розмітка.

У США вимоги до світлоповертання за умов зволоження не стандартизовані, однак департаменти деяких штатів на підставі власних досліджень рекомендують мінімальні значення. Наприклад, вимоги до коефіцієнтів світлоповертання у Техасі наведені у **табл. 4 – 6**.

Таблиця 4

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для пластиків гарячого нанесення та структурних пластиків гарячого нанесення, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	400	325
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832-12(2017) [10])	150	125

Таблиця 5

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для фарб на рівному покритті, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	350	275
Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])	350	275
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832-12(2017) [10])	100	75

Таблиця 6

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для фарб на шорсткому покритті, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	250	200
Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])	250	150 (у напрямку нанесення) 125 (у протилежному напрямку)
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832 [10])	75	75

Вимоги до коефіцієнтів світлоповертання у Джорджії наведені у **табл. 7**.

Таблиця 7

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для матеріалів з підвищеними властивостями світлоповертання в умовах зволоження, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])		Білий колір	Жовтий колір
Фарба	Початкові (впродовж 30 днів)	150	100
	Після 6 місяців	150	100
Пластик гарячого нанесення	Початкові (впродовж 30 днів)	150	125
	Після 6 місяців	150	125
Попередньо-сформовані вироби з пластику	Початкові (впродовж 30 днів)	250	200
	Після 6 місяців	250	200
Полісечовина	Початкові (впродовж 30 днів)	250	200
	Після 6 місяців	250	200

В Україні діють 2 стандарти, які стандартизують вимоги до світлоповертання дорожньої розмітки: ДСТУ EN 1436:2020 [12], який є гарманізованим європейським стандартом та ДСТУ 2587:2021 [13].

У ДСТУ EN 1436:2020 [12] вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу аналогічні вимогам розглянутого вище європейського стандарту EN 1436:2018 [7].

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до ДСТУ 2587:2021 [13] наведені у **табл. 8**.

Таблиця 8

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до ДСТУ 2587:2021 [13]

Умови зволоження		Умови дощу	
Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, мкд·м ⁻² ·лк ⁻¹ , не менше ніж	Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, мкд·м ⁻² ·лк ⁻¹ , не менше ніж
RW0	-	RR0	-
RW1	25	RR1	25
RW2	35	RR2	35
RW3	50	RR3	50
RW4	75	RR4	75

Відповідно до рекомендованої сфери застосування дорожньої розмітки різних класів (табл. 9) ДСТУ 2587:2021 [13]) для розмітки, що влаштована звичайними матеріалами, найвищим класом за коефіцієнтом світлоповертання за умов зволоження є RW2 (35 мкд·м⁻²·лк⁻¹), а за умов дощу взагалі не нормується (клас RR0).

Висновки

Для забезпечення належної видимості дорожньої розмітки в темну пору доби, особливо в умовах зволоження або дощу, доцільно переглянути вимоги до коефіцієнта світлоповертання, встановлені у ДСТУ 2587:2021 [13]. Пропонується гармонізувати ці вимоги з європейськими стандартами, які передбачають вищі класи світлоповертання. Окрім того, доцільно диференціювати вимоги залежно від типу матеріалів, що використовуються для розмітки (фарби, холодні та гарячі пластики, полімерні стрічки тощо). Такий підхід сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху та зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод.

Список літератури

1. Konstandinos Diamandouros, Michael Gatscha. Rainvision: The impact of road markings on driver behavior – wet night visibility. *Transportation Research Procedia*, 14. 2016. P. 4344–4353.
2. 3M Transportation Safety. Wet Retroreflective Pavement Markings. 2019. 13 p.
3. Elizabeth Dunlap Wet Retroreflective Pavement Markings Can Help Prevent Crashes. BETTER ROADS SAFER ROADS. 2020 Texas Department of Transportation. P 5–7.
4. Pike, A., Johnson, K. Identifying Wet Retroreflectivity Levels for Pavement Markings. Local Road Research Board. 2020. URL: <https://mdl.mndot.gov/items/202009TS>.
5. Ronald B. Gibbons, Brian Williams, Benjamin Cottrell. Refinement of Drivers' Visibility Needs during Wet Night Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2272, Issue 12012, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3141/2272-13>.
6. Ala R. Abbas, Priyanka Sarker «Nighttime Visibility of 3M AWP and 3M 380WR ES Durable Tape under Dry, Wet, and Rainy Conditions». Final Report No. 134563 Department of Civil Engineering The University of Akron. Akron, 2012. 99 p.

7. EN 1436:2018 Road marking materials — Road marking. Brussels, 2018. 29 p. (Інформація та документація).
8. AS 4049.4-2016 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2016. 50 p. (Інформація та документація).
9. ASTM E1710-18 Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer performance for road users and test methods». United States. 2018. 7 p. (Інформація та документація).
10. ASTM E2832-12(2017) Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting (RL-2). United States. 2017. 13 p. (Інформація та документація).
11. ASTM E2177-20 Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings using the Bucket Method in a Condition of Wet Recovery. United States. 2020. 6 p. (Інформація та документація).
12. ДСТУ EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Експлуатаційні властивості матеріалів для розмітки та методи випробувань. Київ. 2021. 24 с. (Інформація та документація).
13. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ. 2021. 102 с. (Інформація та документація).

References

1. Konstandinos Diamandouros, Michael Gatscha. Rainvision: The impact of road markings on driver behavior – wet night visibility. *Transportation Research Procedia*, 14. 2016. P. 4344–4353 [in English].
2. 3M Transportation Safety. Wet Retroreflective Pavement Markings. 2019. 13 p. [in English].
3. Elizabeth Dunlap Wet Retroreflective Pavement Markings Can Help Prevent Crashes. BETTER ROADS SAFER ROADS. 2020 Texas Department of Transportation. P. 5–7 [in English].
4. Pike, A., Johnson, K. Identifying Wet Retroreflectivity Levels for Pavement Markings. Local Road Research Board. 2020. URL: <https://mdl.mndot.gov/items/202009TS> [in English].
5. Ronald B. Gibbons, Brian Williams, Benjamin Cottrell. Refinement of Drivers' Visibility Needs during Wet Night Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2272, Issue 12012, 2012. DOI.: <https://doi.org/10.3141/2272-13> [in English].
6. Ala R. Abbas, Priyanka Sarker “Nighttime Visibility of 3M AWP and 3M 380WR ES Durable Tape under Dry, Wet, and Rainy Conditions” Final Report No. 134563 Department of Civil Engineering The University of Akron. Akron, 2012, 99 p. [in English].
7. EN 1436:2018 Road marking materials — Road marking. Brussels, 2018. 29 p. (Information and documentation) [in English].
8. AS 4049.4-2016 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2016. 50 p. (Information and documentation) [in English].
9. ASTM E1710-18 Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer performance for road users and test methods». United States. 2018. 7 p. (Information and documentation) [in English].
10. ASTM E2832-12(2017) Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting (RL-2). United States. 2017. 13 p. (Information and documentation) [in English].
11. ASTM E2177-20 Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings using the Bucket Method in a Condition of Wet Recovery. United States. 2020. 6 p. (Information and documentation) [in English].
12. State Standard of Ukraine DSTU EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Ekspluatatsiini vlastyivosti materialiv dlia rozmitky ta metody vyprobuvan (Road marking

materials. Road marking performance for road users and test methods). Kyiv. 2021. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. State Standard of Ukraine DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy (Road safety. Road markings. General Specifications). Kyiv. 2021. 102 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Liudmila Nahrebelna, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Tetiana Kostrulyova, <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Denis Shpin, <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>

Alina Korchevskaya, <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

USE OF REGULATORY DOCUMENTS REGARDING MATERIALS FOR HORIZONTAL ROAD MARKINGS

Abstract

Introduction. Horizontal road marking is an important element of road safety, which provides orientation of road users on the road. Road markings can increase the capacity of the road by more than 20 % and reduce the number of road accidents.

Problem. Road markings must remain clearly visible both during the day and at night, and in adverse weather conditions, such as rain or fog. In satisfactory condition, markings usually provide adequate nighttime visibility on dry surfaces, but their effectiveness is significantly reduce. To improve the light reflection in the dark, microspheres of retroreflective glass are used in the marking. These elements function effectively on dry asphalt, however, in the presence of a water film, light can be partially reflected in the opposite direction, which reduces the brightness of the marking or causes optical distortions. Reduced visibility of markings on wet surfaces is a common problem that affects road safety.

Objective. To analyze the requirements of different countries for road markings on wet surfaces to check the sufficiency to establish compliance with the requirements of DSTU 2587 necessary to ensure the quality of markings.

Materials and Methods. Analysis of regulatory documents of different countries regarding the requirements for road markings on wet surfaces.

Results. The requirements of European countries, Australia, some US states and Ukraine to the retroreflectivity of road markings on wet pavement and in the rain were considered.

Conclusions. In order to ensure sufficient visibility of the markings in the dark in wet and rainy conditions, we propose to bring the requirements for the retroreflectivity coefficient in line with the European ones, as they will improve road safety in Ukraine, which in turn will reduce the occurrence of road accidents.

Keywords: road marking, rain, hot-applied plastic, cold-applied plastic, retroreflectivity, paint.