

**АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА  
ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПІНИ**

**ANALYSIS OF THE OPERATIONAL PROPERTIES AND  
APPLICATION FEATURES OF GEOFOAM**

**Заякін Д.К., аспірант, Делявський М.В., д.т.н., проф.,  
Мікулич О.А., д.т.н., проф. (Луцький національний технічний  
університет)**

**Zaiakin D.K., PhD student, Delyavsky M.V., Doctor of Science,  
Professor, Mikulich O.A., Doctor of Science, Professor (Lutsk National  
Technical University)**

*У роботі проведено аналіз експлуатаційних властивостей та особливостей застосування геопіни у провідних країнах світу. На основі аналізу експериментальних досліджень на стиск зразків геопіни різної густини встановлено, що при зростанні густини матеріалу спостерігається практично лінійна зміна межі текучості та модулю Юнга матеріалу. Описано також основні особливості використання геопінополістиролу. Проведений аналіз може бути корисним в Україні для швидкого відновлення автомобільних доріг та магістралей, що пошкоджені внаслідок військових дій.*

*Structural elements made of expanded polystyrene have been used for various engineering solutions since the middle of the last century. This material is light, so its use in aspects of road structures requires the use of particular engineering approaches accounting for the characteristics of the material. However, this approach allows to solve many engineering problems in a short period.*

*In addition, geofoam has good thermal insulation properties, stiffness and compressive strength compared to clay and some soil types. Therefore, this material is used in different countries for some types of soil to reduce subsidence under embankments.*

*Also, the use of geofoam in road construction elements reduces noise and vibration. This material is also used to solve engineering problems related to the reduction of lateral pressure on structural elements, the reduction of stresses in rigid buried pipelines and other related applications.*

*The work is devoted to the review and analysis of the operational properties and features of the use of geofoam to solve engineering problems in the design of road construction elements.*

*The analysis of changes in the mechanical characteristics of geofoam and the review of studies known in the literature showed that the use of such materials has many features. When using polystyrene, it should be taken into account that this material is much lighter than water, so certain specific engineering solutions should be used to overcome the lifting force.*

*Despite the peculiarities of the use of such materials, geofam is successfully used all over the world: Norway, the Netherlands, the United States, Japan, Germany and Malaysia. Therefore, such experience can also be useful for Ukraine, taking into account the military situation and the need for rapid construction and reconstruction of destroyed and damaged road surfaces.*

*Ключові слова: геопіна, геопінополістирол, механічні характеристики.*

*Keywords: geofam, geopinopolystyrene, elastic properties.*

**Вступ.** Елементи конструкцій, що виготовлені з пінополістиролу, почали використовуватися для різних інженерних рішень із середини минулого століття. Цей матеріал є легким, тому його використання у елементах дорожніх конструкцій вимагає застосування спеціальних інженерних підходів з урахуванням особливостей матеріалу. Проте, такий підхід дозволяє вирішити багато задач за короткі часові терміни. Крім того, геопіна має хороші теплоізоляційні властивості, жорсткість і міцність на стиск у порівнянні з глиною та деякими видами ґрунтів. Тому цей матеріал у різних країнах для деяких типів ґрунтів використовується для зменшення осідання під насипами.

Також використання геопіни в елементах дорожніх конструкцій забезпечує зменшення шуму та вібрації. Цей матеріал також використовується для вирішення інженерних задач, пов'язаних зі зменшенням бічного тиску на елементи конструкції, зменшення напружень на жорстких заглиблених трубопроводах та інших, пов'язаних з цим, застосувань.

**Постановка мети та задач досліджень.** Робота присвячена огляду та аналізу експлуатаційних властивостей та особливостей застосування геопіни для вирішення інженерних задач при проектуванні елементів дорожніх конструкцій.

**Основна частина.** Проблема збільшення автострад та кількості доріг, а також їх завантаженості у регіонах з м'якими ґрунтами, для яких важко забезпечити здатність витримувати значні інтенсивні вагові та часові навантаження, може бути вирішена при використанні елементів, що виготовлені з геопіни [1]. Для вирішення цієї задачі необхідно здійснювати розробку методів збільшення вантажотримкості дорожніх покриттів при збільшенні інтенсивності руху по них, що пов'язано зі зменшенням вертикального навантаження на ґрунт.

Геопіна – це будівельний матеріал, який почав використовуватися в геотехнічній інженерії для вирішення вище згаданих задач у країнах з м'яким ґрунтом з 60-х років минулого століття [2]. Використання піноблоків із пінополістиролу (геопіни) або конструкційних піноблоків, що є легкою альтернативою ґрунту, має низку переваг (рис. 1, а-е) [3]:

- забезпечує істотне прискорення будівництва;

- надає можливість проводити будівництво при несприятливих погодних умовах;
- запобігає руйнуванню схилів та ін.

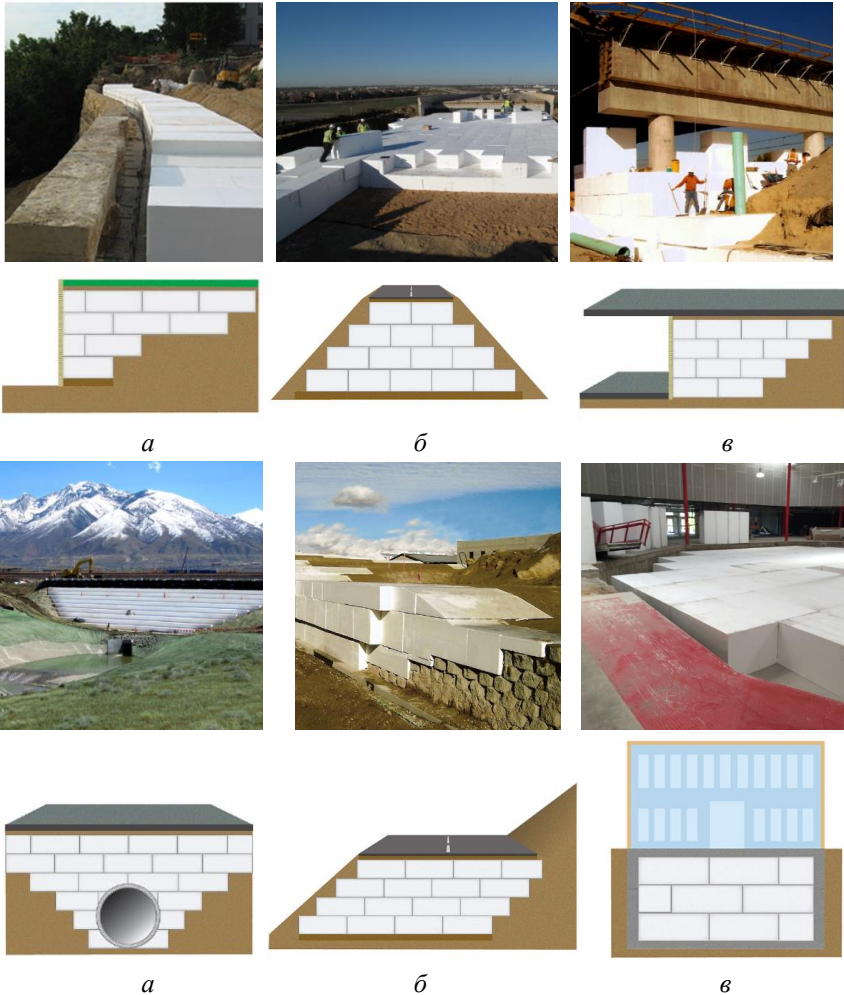


Рис. 1. Застосування блоків з геопіни для різних інженерних рішень [1]

Пінополістирол (EPS або геопіна), що є надлегкою твердою поліетиленовою піною із закритими порами, був винайдений у 1950 році

[4]. Відтоді відбулося інтенсивне зростання використання цього матеріалу у різних країнах, що мають м'які ґрунти: в Норвегії, Нідерландах, Сполучених Штатах, Японії, Німеччині та Малайзії.

У [5] описано застосування геопіни для ізоляції доріг у Норвегії, що було виконано у 1965 році. У 1972 році було завершено перший проект насипу дороги з використанням геопіни EPS [6]. Проект Національної дороги 159 Flom Bridges передбачав заміну одного метра звичайного насипного матеріалу блоками EPS в насипах, що примикають до мосту, закладеного на палях, до твердого ґрунту. Насипи спиралися на шар торфу товщиною 3 метри, вище 10 метрів знаходилася м'яка, чутлива глина [7] (рис. 2).

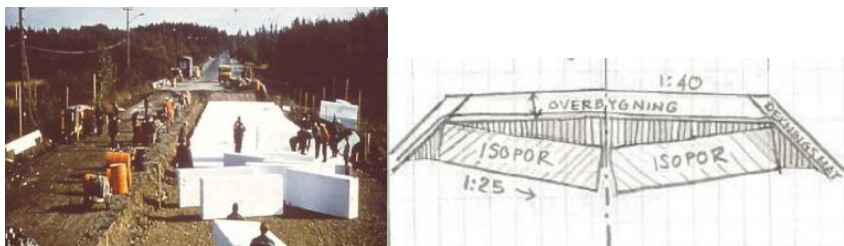


Рис. 2. Використання геопіни при будівництві дороги 159 Flom Bridges [7]

До використання геопіни EPS темпи осідання становили близько 20-30 см на рік і прискорювалися через часте коригування рівня дороги. Використання геопіни дозволило успішно зупинити осадку.

У [8] описано перше застосування EPS геопіни в Японії, де була використана для заповнення набережної у 1985 році. При виконанні проекту було задіяно 470 куб. геопінопласту EPS, що заповнював висоту 15 м. Конструкції геопінополістиролу показали хороші експлуатаційні характеристики за дії як статичного навантаження, так і динамічного. Досвід Японії із застосування EPS geofoam показав, що конструкції, виготовлені з EPS geofoam, добре витримують і сейсмічні навантаження. Протягом 1993-1995 рр. сильні землетруси, що сталися в різних частинах Японії (діапазон магнітуд від 6,6 до 8,1), не завдали істотної шкоди конструкціям, виготовленим з геопіни.

Геопіна деформується як пружно-пластичний матеріал. Для оцінки зміни механічних характеристик геопіни зі зміною її густини актуальним завданням є врахування залежності зміни цих характеристик: межі текучості та модуля Юнга при зміні щільності матеріалу. Це дозволить не тільки спрогнозувати зміну межі появи пластичних деформацій у

матеріали, а й оптимально підібрати його експлуатаційні характеристики. Крім того, такий підхід дозволяє здійснювати оцінку механічних характеристик геопіни у випадку, коли густина отриманого піноматеріалу відрізняється від відомих у літературі значень, для яких проведено експериментальні дослідження та наявні експериментальні дані.

Проводячи аналіз результатів експериментальних досліджень на стиск зразків з геопіни [9, 10], зміна величин межі текучості та модуля Юнга при зміні густини матеріалу представлена на рис. 3, а та 3, б відповідно.

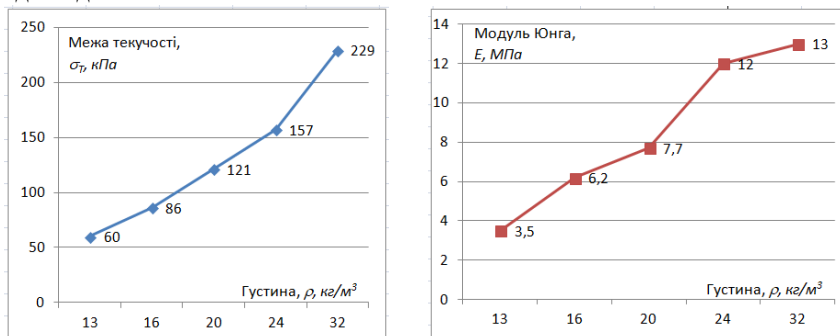


Рис. 3 Залежність межі текучості та модуля Юнга від густини геопінополістиролу при стиску

Аналіз кривих на рис. 3 показує, що для геопінополістиролу характерна практично лінійна залежність зміни механічних характеристик при зростанні густини матеріалу. Також особливістю використання таких матеріалів для вирішення різних інженерних задач є і той факт, що при зростанні густини відбувається зростання величини модулю Юнга. Тому розрахунок елементів конструкцій, виготовлених з таких матеріалів, має проводитися за використання уточнених підходів механіки суцільного середовища

**Висновки.** Аналіз зміни механічних характеристик геопіни та розгляд відомих у літературі досліджень показав, що використання таких матеріалів має багато особливостей. При застосуванні геопінополістиролу слід враховувати, що цей матеріал набагато легший за воду, тому для подолання підйомної сили слід використовувати певні специфічні інженерні рішення.

Незважаючи на особливості застосування таких матеріалів, геопіна успішно використовується в усьому світі: це Норвегія, Нідерланди, Сполучені Штати, Японія, Німеччина та Малайзія. Тому такий досвід також може бути корисним і для України, зважаючи на військову ситуацію

та потребу у швидкому будівництві та реконструкції знищених і пошкоджених дорожніх покриттів.

### References

1. <https://www.geofoam.com>
2. Alfheim, S.L. Plastic Foam in Road Construction – not only for Frost Protection (in Norwegian). *Frost i Jord*, No. 15., 1975
3. <https://www.panelsan.com/en/product/40/geofoam-new>
4. BASF Corp., Styropor Technical Information. *Technical Information*, BASF Corp., Germany, 1997.
5. Aabe, R. Evidence of EPS Long Term Performance and Durability as a Light Weight Fill. *Transportation Research Board 79th Annual Meeting, Washington, D.C., USA*, 2000.
6. Frydenlund T.E. and Aabøe R. Long term performance and durability of EPS as a lightweight filling material, *Proc. 3rd Int. Conf. on EPS Geofoam*, Salt Lake City, 2001, P. 1-14.
7. Flaate, K. The (Geo)Technique of Superlight Materials. *The Art and Science of Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Inc., 10, 1989, pp. 193-205.
8. Miki, H. An Overview of Lightweight Banking Technology in Japan. *Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method*, Tokyo, Japan, 1996, pp. 9-30.
9. Bejua Y. Z., Mandalb J. N. Expanded polystyrene (EPS) geofoam: preliminary characteristic evaluation. *Procedia Engineering*, 189, 2017, pp. 239 – 246.
10. Malai A., Youwai S. Stiffness of Expanded Polystyrene Foam for Different Stress States. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2021, 7:80.

### Список використаної літератури

1. <https://www.geofoam.com>
2. Alfheim, S.L. Plastic Foam in Road Construction – not only for Frost Protection (in Norwegian). *Frost i Jord*, No. 15., 1975
3. <https://www.panelsan.com/en/product/40/geofoam-new>
4. BASF Corp., Styropor Technical Information. *Technical Information*, BASF Corp., Germany, 1997.
5. Aabe, R. Evidence of EPS Long Term Performance and Durability as a Light Weight Fill. *Transportation Research Board 79th Annual Meeting, Washington, D.C., USA*, 2000.
6. Frydenlund T.E. and Aabøe R. Long term performance and durability of EPS as a lightweight filling material, *Proc. 3rd Int. Conf. on EPS Geofoam*, Salt Lake City, 2001, P. 1-14.
7. Flaate, K. The (Geo)Technique of Superlight Materials. *The Art and Science of Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Inc., 10, 1989, pp. 193-205.
8. Miki, H. An Overview of Lightweight Banking Technology in Japan. *Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method*, Tokyo, Japan, 1996, pp. 9-30.
9. Bejua Y. Z., Mandalb J. N. Expanded polystyrene (EPS) geofoam: preliminary characteristic evaluation. *Procedia Engineering*, 189, 2017, pp. 239 – 246.
10. Malai A., Youwai S. Stiffness of Expanded Polystyrene Foam for Different Stress States. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2021, 7:80.