

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЕГШЕНОГО ЗБІРНО-МОНОЛІТНОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ПОЛІСТИРОЛЬНИМИ ВСТАВКАМИ¹Буцька О.Л., к.т.н., доцент,

butska.olena@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4377-3746

¹Махінко М.М., к.т.н., доцент,

makhinko.mykola@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5541-8672

¹Зезюков Д.М., к.т.н., доцент,

denis.zezjukov@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7451-992X

¹ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету науки і технологій

вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, м. Дніпро, 49600, Україна

Анотація. Стаття присвячена оптимізації параметрів полегшеного збірно-монолітного перекриття з полістирольними вставками, що є одним з перспективних конструктивних рішень у будівництві. Використання полістирольних вставок дозволяє значно зменшити масу конструкції перекриття та знизити витрати на матеріали, що робить таку технологію актуальною в умовах сучасного будівництва. Однак для досягнення оптимальних технічних і економічних показників необхідно правильно вибрати параметри конструкції, зокрема параметри вставок, тип армування та геометричні характеристики перекриття. Метою дослідження є оптимізації таких параметрів, що дозволить досягти максимального поєднання економічної ефективності, несучої здатності та деформативності конструкції.

У рамках дослідження були розглянуті кілька варіантів конструкцій з полістирольними вставками різних товщин та типів армування. Для цього були використані методи математичного моделювання за допомогою програмного забезпечення ПК Ліра. У результаті проведених розрахунків встановлено, що варіанти конструкцій з товщиною полістирольних вставок від 150 до 180 мм мають найкраще співвідношення між економічною вигодою та технічними характеристиками, оскільки вони дозволяють значно зменшити споживання матеріалів (бетону та арматури) без зниження несучої здатності і надійності перекриття.

Одним із важливих результатів є виявлення оптимальних варіантів армування для кожного з розглянутих варіантів перекриттів, що дозволяє знизити витрати на армування та зберегти міцність конструкції. Дослідження також показали, що збільшення товщини полістирольних вставок після певного порогу призводить до зростання вартості конструкції, що не виправдовується з точки зору економії.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що полегшені збірно-монолітні перекриття з полістирольними вставками є ефективним і економічно вигідним рішенням для сучасного будівництва, при умові правильного вибору конструктивних параметрів. Однак для досягнення максимального ефекту необхідно враховувати не лише механічні характеристики, а й економічні та технологічні фактори, які впливають на процеси проектування та будівництва. Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні довговічності таких конструкцій за різних умов експлуатації, а також в оптимізації процесу монтажу для зниження трудових витрат та підвищення швидкості виконання будівельних робіт.

Ключові слова: збірно-монолітне перекриття, полегшене залізобетонне перекриття, полістирольні вставки, оптимізація конструкції перекриття.

Вступ. У сучасному будівництві питання зниження витрат на матеріали, підвищення теплоізоляційних характеристик конструкцій та забезпечення їх високої міцності є надзвичайно актуальними. Одним з перспективних напрямків є використання полегшених збірно-монолітних

перекрыттів, що поєднують переваги як збірних, так і монолітних конструкцій. Зокрема, використання полістирольних вставок у перекрыттях дозволяє значно зменшити масу конструкцій, підвищити їх теплоізоляційні властивості, а також знизити витрати на матеріали, що робить їх економічно вигідними і технічно ефективними рішеннями для сучасного будівництва.

Застосування полістирольних вставок дозволяє отримати конструкції з високими теплоізоляційними властивостями при меншій вазі перекрыттів, що сприяє зниженню загальної маси будівельних елементів і, відповідно, витрат на транспортування та монтаж. Крім того, така технологія забезпечує значну економію на бетоні та арматурі, що, в свою чергу, дозволяє зменшити собівартість будівництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні десятиліття у будівельній галузі спостерігається активний пошук рішень, що дозволяють одночасно зменшити матеріаломісткість залізобетонних конструкцій та покращити їх теплотехнічні характеристики. Одним із перспективних напрямів є використання полегшених залізобетонних перекрыттів з пінополістирольними вставками або порожниноутворювачами.

Детальні експериментальні дослідження властивостей таких перекрыттів проводили Мельник І.В., Сорохтей В.М. тощо. [1, 2]. Ними доведено, що введення пінополістирольних вставок у монолітне залізобетонне перекрыття дозволяє значно знизити масу конструкції (до 20–25%) без істотного зменшення несучої здатності. У працях Литвиняка О.Я. [3] розглянуто вплив легких бетонів (зокрема пінобетону) на несучу здатність і тріщиностійкість збірно-монолітних плит. В інших українських дослідженнях [4–6] підкреслено технологічну ефективність впровадження подібних рішень під час реконструкцій та в проєктуванні нових об'єктів, зокрема в громадському будівництві.

Англомовна література підтверджує ці висновки. Так, Al-Ahmed et al. [7] і Kim et al. [8] вивчали поведінку таких плит за дії згину та зсуву, зафіксувавши збереження структурної стабільності при зменшенні питомої ваги плити. Роботи Smith et al. [9] та Nguyen et al. [10] зосереджуються на оптимізації форми і розташування вставок з метою покращення ресурсоекономічних характеристик конструкцій.

Узагальнення цих досліджень свідчить про перспективність використання пінополістирольних вставок у залізобетонних плитах перекрыття [11]. Проте подальші дослідження потребують уточнення впливу геометричних параметрів вставок, типів армування, способів монтажу, а також вивчення довготривалих деформацій і поведінки при повторних навантаженнях.

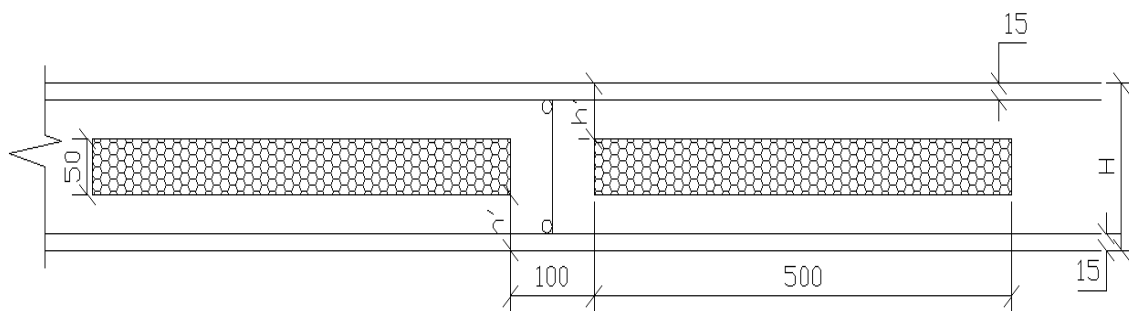
Метою дослідження є розробка методики оптимізації параметрів полегшеного збірно-монолітного перекрыття з полістирольними вставками для досягнення максимальної економічної та технічної ефективності. Завданнями дослідження є: оцінка впливу різних конструктивних варіантів на механічні характеристики перекрыття; аналіз споживання матеріалів у різних варіантах конструкції; порівняння економічної ефективності вибраних варіантів; розробка рекомендацій щодо оптимального конструктивного рішення перекрыття з використанням полістирольних вставок.

Матеріали та методика дослідження. Для дослідження було використано методику чисельного моделювання конструкцій у програмному забезпеченні ПК Ліра, що дозволяє визначити розподіл моментів, зусиль та деформацій у різних конструкціях перекрыттів. Були розглянуті чотири варіанти конструкцій з різними геометричними параметрами, типами армування та товщинами полістирольних вставок. Для кожного варіанту були проведені розрахунки напружено-деформованого стану, а також оцінено споживання матеріалів та витрати на виготовлення кожного варіанту конструктивного рішення перекрыття.

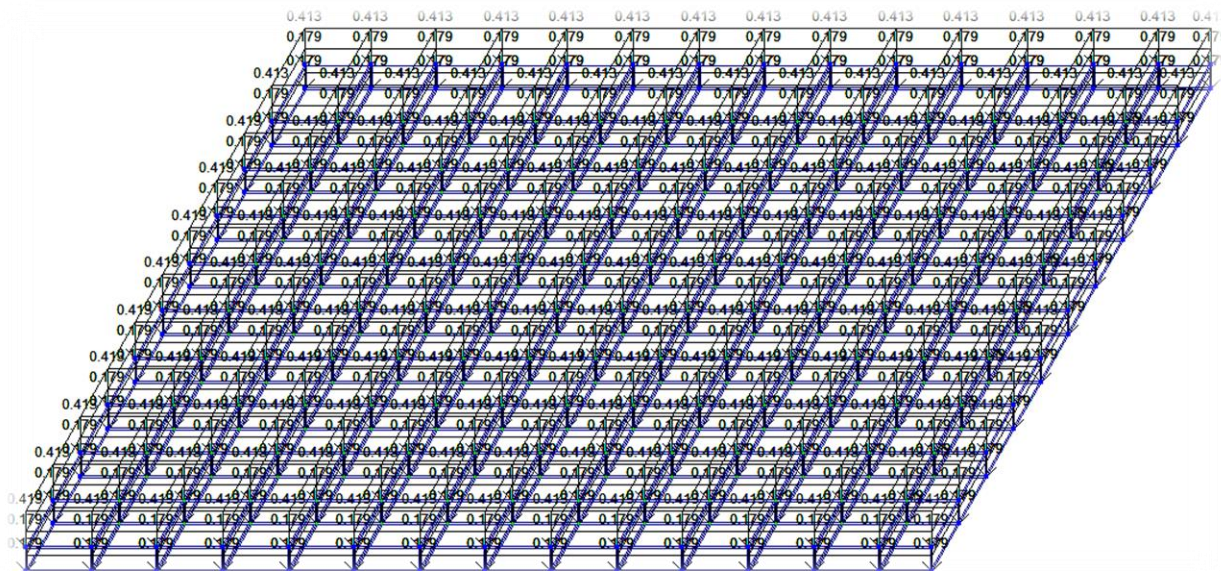
Результати досліджень. У рамках дослідження було розглянуто чотири варіанти збірно-монолітного перекрыття з полістирольними вставками, які відрізнялись висотою плити, товщиною верхнього шару бетону (так званої «полички») та класом бетону. Для кожної конфігурації було виконано моделювання за допомогою програмного комплексу LIRA-SAPR, із подальшим розрахунком деформацій, армування та обсягів матеріалів [12–13].

Усі варіанти містили порожнини, сформовані за допомогою пінополістирольних блоків,

Номер варіанту	Товщина плити перекриття Н (mm)	Висота полички плити h (mm)	Клас бетону
Варіант 1	180	65	C20/25
Варіант 2	180	65	C16/20
Варіант 3	1500	50	C20/25
Варіант 4	150	50	C16/20



Конструкції були змодельовані як тривимірне перекриття, з урахуванням жорсткого з'єднання із контурними балками (рис. 2). У розрахунках враховано власну вагу, експлуатаційні навантаження та нормативні вимоги згідно з ДБН Навантаження та впливи [15].



Аналіз деформаційних характеристик показав, що всі варіанти перекриття забезпечують нормативні обмеження прогинів та тріщиностійкості. Максимальні вертикальні переміщення не перевищили допустимих значень згідно з нормативними документами [16], навіть для

найтоншого варіанту (Варіант 2, товщина полицки – 50 мм, бетон С16/20).

Слід зазначити, що найменші деформації були зафіксовані у варіанті 1 (висота 180 мм, бетон С20/25) – це пов'язано з підвищеною жорсткістю конструкції. Натомість варіант 3, незважаючи на більшу товщину полицки (65 мм), показав підвищені прогини через застосування менш жорсткого бетону і зменшену загальну висоту (табл. 2).

Таблиця 2 – Узагальнюючі показники геометричних характеристик досліджених варіантів перекриттів

Вид навантаження	Значення деформацій для Варіанта 3 (мм)					
	Вісь Х		Вісь Y		Вісь Z	
	min	max	min	max	min	max
Власна вага	0,000754	0,0754	0,0964	0,0968	0	2,53
Постійне	0,0042	0,142	0,00182	0,0182	0	4,75
Тимчасове	0,000398	0,0398	0,00851	0,0511	0	1,33
Повне	0,0053	0,2572	0,10673	0,1661	0	8,61

Розрахункові значення кількості арматури були згруповані в окремі категорії: армування балок, армування бетонної полицки, а також загальні витрати арматури.

Найбільша маса арматури була зафіксована у варіанті 3 – 335,3 кг (рис. 3). Це пояснюється більшою товщиною полицки та необхідністю компенсувати знижену жорсткість за рахунок армування. Для порівняння, найменше значення було у варіанті 2 – 204,9 кг, що демонструє найменшу матеріаломісткість серед армування полицок.

Цікаво, що у варіанті 2, який мав найменше армування балок-стінок, спостерігається збільшена маса арматури полицки – 198,7 кг. Це зумовлено зниженим класом бетону (С16/20) та необхідністю забезпечити тріщиностійкість верхнього шару при зниженій товщині.

Натомість варіант 3, з найбільш армованими балками-стінками, потребував найменшу кількість сталі у полицках – лише 114,6 кг. Це демонструє своєрідну компенсацію між елементами конструкції, коли навантаження перерозподіляється в межах секції.

Об'єднаний аналіз підтвердив, що найбільше загальне армування спостерігалось у варіанті 3 – 450 кг, а найменше – у варіанті 1, де воно становило 381,15 кг. Важливо, що навіть за меншої витрати сталі, варіант 1 залишався найбільш жорстким у плані деформацій, що свідчить про ефективність геометричної форми.

На графіку варіації об'ємів бетону чітко видно, що варіанти з меншою загальною висотою перекриття потребують менше бетону. Варіанти 3 і 4 (висота 150 мм) демонстрували найменше споживання – близько 1,7 м³ на 100 м² плити, у порівнянні з 2,1–2,2 м³ у варіантах 1 та 2.

Цей фактор, у поєднанні з полістирольними порожнинами, суттєво зменшує загальну вагу конструкції, що є перевагою при реконструкціях або будівництві на слабких ґрунтах.

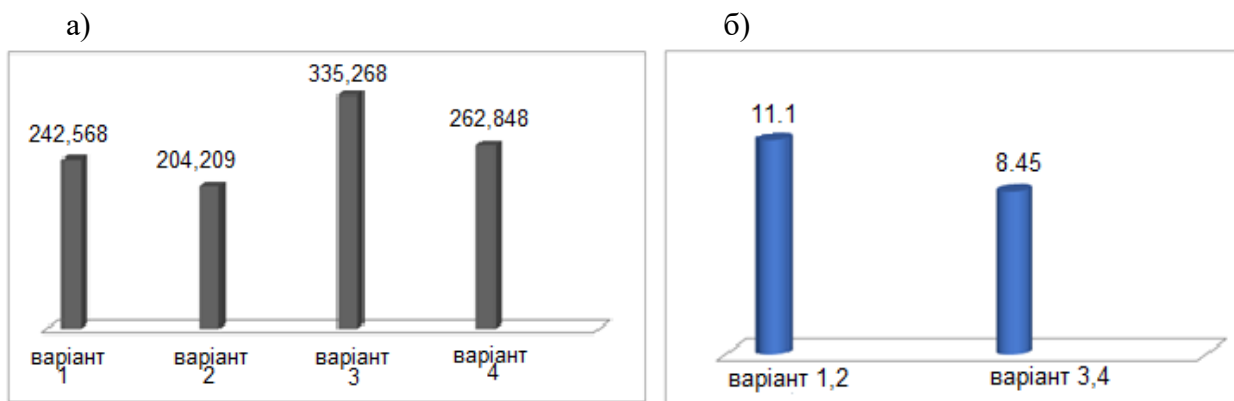


Рис. 3. Витрати матеріалів на улаштування різних варіантів перекриття пінополістирольними вставками:

а – витрати арматури, кг; б – витрати бетону, м³

Фінансові розрахунки виконувались на основі цін, наведених у другому розділі дослідження (табл. 3). Було визначено витрати на арматуру та бетон для кожного варіанту, з подальшим розрахунком повної вартості перекриття на 1 м².

Найвища вартість арматури були у варіанті 2 (близько 409,2 грн), а найнижчі – у варіанті 1 (346,7 грн). Водночас варіант 2 компенсував це меншою витратою бетону.

Найдешевшим варіантом виявився варіант 4 (1078,46 грн/м²), тоді як найдорожчим – варіант 1 (1293,0 грн/м²). Варіанти 2 та 3 мали проміжні значення – 1129,6 та 1249,8 грн відповідно. Таким чином, вартісна різниця між найдешевшою і найдорожчою конструкцією склала 16,6 %.

Таблиця 3 – Техніко-економічне порівняння варіантів перекриття на 1 м²

Характеристики	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Клас бетону	C20/25		C16/20	
Висота полочки плити, мм	65	50	65	50
Витрати арматури, кг/м ²	10,84	12,79	11,45	11,21
Витрати бетону, м ³ /м ²	0,315	0,24	0,315	0,24
Вартість арматури (грн)	346,7	409,2	366,6	358,06
Вартість бетону (грн)	946,3	720,4	883,2	720,4
Загальна вартість (тис. грн)	1293,0	1129,6	1249,8	1078,46

На основі об'єднаного техніко-економічного аналізу встановлено, що варіант 4 є найбільш оптимальним. Він демонструє задовільну деформаційну поведінку, помірне споживання матеріалів та найменшу вартість. Це свідчить про доцільність застосування таких рішень у практичному будівництві.

Варіант 1, хоча й характеризується високою жорсткістю, не може вважатися економічно доцільним, зважаючи на значну витрату матеріалів та загальну вартість. Варіанти 2 і 3 можуть застосовуватись за специфічних умов — наприклад, коли важлива мінімальна маса або коли потрібна підвищена тріщиностійкість верхнього шару.

Висновки. Усі розглянуті варіанти задовольняють нормативні вимоги за несучою здатністю та деформативністю. Використання пінополістирольних вставок дозволяє суттєво знизити витрати матеріалів. Оптимальним з техніко-економічної точки зору є варіант із загальною висотою перекриття 150 мм, товщиною бетонної полочки 65 мм та бетоном класу C20/25. Отримані результати підтверджують ефективність поєднання комп'ютерного моделювання та порівняльного аналізу для вибору конструктивних рішень. Для подальших досліджень варто зосередитись на детальному аналізі довговічності таких конструкцій, а також вивчити вплив різних типів армування на міцність і зносостійкість перекриттів.

Література

1. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Кузик О.О. Монолітні плоскі залізобетонні перекриття з пінополістирольними вставками. *Вісник Львівського територіального відділення Академії будівництва України*. 2010. № 5/10. С. 146–153.
2. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В. Деформативність фрагментів монолітного залізобетонного плоского перекриття з поздовжнім і поперечним розташуванням прямокутних вставок. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2012. Вип. 23. С. 312–320.
3. Литвиняк О.Я. Міцність і деформативність збірно-монолітних залізобетонних плит перекриття з використанням пінобетону. дис. на здобуття наук ступеня канд. техн. наук. 05.23.01 / Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2015. 197 с.

4. Буцька О.Л., Зезюков Д.М., Махінко М.М., Котов М.А. Щодо визначення фактичного напруженого стану елементів плоских збірно-монолітних перекриттів. *Вісник Придніпровської державної академії*. 2019. №2. С. 24–29.
5. Бондар А.В., Загіка В.М. Сучасні технології збірно-монолітних перекриттів для реконструкції громадських будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2020. № 2. С. 35–44.
6. Буцька О.Л., Зезюков Д.М., Махінко М.М., Зінкевич О.Г. Обґрунтування оптимального виду пустотоутворювача в монолітному плоскому перекритті. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 3–18.
7. Al-Ahmed A.H.A., Ibrahim F.H., Allawi A.A., El-Zohairy A. Behavior of One-Way Reinforced Concrete Slabs with Polystyrene Embedded Arched Blocks. *Buildings*. MDPI. 2022. 12(3). pp 331–339. <https://doi.org/10.3390/buildings12030331>
8. Kim S., Lee S., Park J. Structural Performance of Shear Loaded Precast EPS-Foam Concrete Half-Shaped Slabs. *Sustainability*, MDPI. 2020. 12(22)-9679. <https://doi.org/10.3390/su12229679>
9. Smith J., Johnson L., Wang X. Experimental Study on Reinforced Concrete Slabs with EPS Inserts under Flexural Loads. *Construction and Building Materials*. 2020. №230(117024) pp 132–145.
10. Nguyen T., Tran D., Le H. Optimization of Polystyrene-Concrete Composite Slabs for Sustainable Construction. *Journal of Cleaner Production*. 2021. №278 (123456).
11. Ahmed S., Khan M., Ali R. Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Polystyrene Beads. *Materials Today: Proceedings*. 2019. №17. pp. 123–130.
12. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник. / М.С. Барабаш та ін. 2-е вид. стер. К.: НАУ., 2019. 492 с.
13. Комп'ютерні технології проектування залізобетонних конструкцій: навч. посібник. / Ю.В. Веружський та ін. К.: Книжкове вид-во НАУ., 2006. 808 с.
14. ДСТУ Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. [Чинний від 2013-07-01]. К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2012. 312 с.
15. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. [Чинний від 2007-10-01]. Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. Київ. 2009. 97 с.
16. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. К.: Мінбуд України, 2006. 15 с.

References

- [1] I.V. Melnyk, V.M. Sorokhtei, O.O. Kuzyk, "Monolitni ploski zalizobetonni perekryttia z pinopolistyrolnymy vstavkamy", *Visnyk Lvivskoho terytorialnoho viddilennia Akademii budivnytstva Ukrainy*, vol. 5/10, pp. 146–153, 2010.
- [2] I.V. Melnyk, V.M. Sorokhtei, T.V. Prystavskiy, "Deformatyvnykh frahmentiv monolitnoho zalizobetonnoho ploskoho perekryttia z pozdovzhnim i poperechnym roztashuvanniam priamokutnykh vstavok", *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, vol. 23, pp. 312–320, 2012.
- [3] O.Ya. Lytvyniak, "Mitsnist i deformatyvnykh zbirno-monolitnykh zalizobetonnykh plyt perekryttia z vykorystanniam pinobetonu", dys. na zdobuttia nauk stupenia kand. tekhn. nauk. 05.23.01, Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika". Lviv, 2015.
- [4] O.L. Butska, D.M. Zeziukov, M.M. Makhinko, M.A. Kotov, "Shchodo vyznachennia faktychnoho napruzhenoho stanu elementiv ploskykh zbirno-monolitnykh perekryttiv", *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii*, vol. 2, pp.24–29, 2019.
- [5] A.V. Bondar, V.M. Zahika, "Suchasni tekhnolohii zbirno-monolitnykh perekryttiv dlia rekonstruktsii hromadskykh budivel", *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*, vol. 2, pp. 35–44, 2020.

- [6] O.L. Butska, D.M. Zeziukov, M.M. Makhinko, O.H. Zinkevych, "Obgruntuvannia optymalnoho vydu pustotoutvoriuvacha v monolitnomu ploskomu perekrytti", *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 3, pp. 3–18, 2019.
- [7] A.H.A. Al-Ahmed, F.H. Ibrahim, A.A. Allawi, A. El-Zohairy, "Behavior of One-Way Reinforced Concrete Slabs with Polystyrene Embedded Arched Blocks. Buildings", *MDPI*, vol. 12(3), pp. 331–339, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12030331>.
- [8] S. Kim, S. Lee, J. Park, "Structural Performance of Shear Loaded Precast EPS-Foam Concrete Half-Shaped Slabs. Sustainability", *MDPI*, vol. 12(22)-9679, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12229679>.
- [9] J. Smith, L. Johnson, X. Wan, "Experimental Study on Reinforced Concrete Slabs with EPS Inserts under Flexural Loads", *Construction and Building Materials*, vol. 230(117024), pp. 132–145, 2020.
- [10] T. Nguyen, D. Tran, H. Le, "Optimization of Polystyrene-Concrete Composite Slabs for Sustainable Construction", *Journal of Cleaner Production*, vol. 278 (123456), pp. 213–225, 2021.
- [11] S. Ahmed, M. Khan, R. Ali, "Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Polystyrene Beads", *Materials Today: Proceedings*, vol. 17, pp. 123–130, 2019.
- [12] M.S. Barabash ta in., *Osnovy kompiuternoho modeliuvannia: navch. Posibnyk. 2-e vyd. ster.* Kyiv: NAU., 2019.
- [13] Yu.V. Veriuzhskiy ta in., *Kompiuterni tekhnologii proektuvannia zalizobetonnykh konstruktsii: navch. posibnyk.* Kyiv: Knyzhkove vyd-vo NAU., 2006.
- [14] DSTU B EN 1992-1-1:2010. Yevrokod 2: Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktsii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy. K.: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrarkhbudininform», 2012.
- [15] DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. Kyiv. 2009.
- [16] DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia.. Kyiv: Minbud Ukrainy, 2006.

OPTIMIZATION OF LIGHTWEIGHT PRECAST-MONOLITHIC SLABS WITH POLYSTYRENE VOID FORMERS

¹**Butska O.**, PhD., Assistant Professor,

butska.olena@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4377-3746

¹**Makhinko M.**, PhD., Assistant Professor,

makhinko.mykola@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5541-8672

¹**Zeziukov D.**, PhD, Assistant Professor,

denis.zeziukov@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7451-992X

¹*Educational and Scientific Institute "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" of the Ukrainian State University of Science and Technology
24a, Architect Oleh Petrov Street, Dnipro, 49600, Ukraine*

Abstract. This article is dedicated to the optimization of parameters of lightweight precast-monolithic slabs incorporating polystyrene void formers, which represent one of the promising structural solutions in modern construction. The use of polystyrene inserts allows for a significant reduction in the self-weight of the slab and a decrease in material consumption, making this technology especially relevant under current construction conditions. However, in order to achieve optimal technical and economic performance, it is necessary to properly select the design parameters, particularly the characteristics of the inserts, the type of reinforcement, and the geometric properties of the slab. The purpose of the study is to optimize these parameters to achieve the best possible combination of cost-effectiveness, structural strength, and deformation performance.

As part of the research, several design alternatives incorporating polystyrene inserts of various thicknesses and reinforcement types were analyzed. Mathematical modeling methods were applied using the LIRA software package. Based on the performed calculations, it was determined that slab configurations with polystyrene inserts ranging from 150 mm to 180 mm in thickness demonstrate the most favorable balance between economic efficiency and structural performance. These options significantly reduce the consumption of materials (concrete and reinforcement) without compromising the strength and reliability of the floor system.

One of the key findings is the identification of optimal reinforcement layouts for each of the analyzed slab configurations, which allows reducing of reinforcement costs while maintaining structural strength. The study also revealed that increasing the thickness of polystyrene inserts beyond a certain threshold leads to a rise in overall construction cost, which is not justified from an economic efficiency standpoint.

Based on the obtained results, it can be concluded that lightweight precast-monolithic slabs with polystyrene inserts represent an efficient and economically advantageous solution for modern construction, provided that the structural parameters are properly selected. However, to achieve maximum effectiveness, it is necessary to take into account not only the mechanical properties but also the economic and technological factors that influence the design and construction processes. Future research should focus on investigating the durability of such structures under various operating conditions, as well as on optimizing the installation process to reduce labor costs and increase construction speed.

Keywords: precast-monolithic slab, lightweight reinforced concrete slab, polystyrene inserts, slab structure optimization.

Стаття надійшла до редакції 9.05.2025

This work © 2025 by Butska O., Makhinko M., Zezjukov D. is licensed under CC BY 4.0