

УДК 624.012.45

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.38.2.19>

# НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПЛИТ БЕЗРУЛОННОЇ ПОКРІВЛІ Й ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ІЗ ЗОВНІШНІМ АРМУВАННЯМ СТАЛЬНИМ ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ ТА СТЕРЖНЕВОЮ АРМАТУРОЮ

**Петрів Василь Васильович**

аспірант кафедри будівельних конструкцій,  
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій  
імені С. З. Гжицького, Львів, Україна,  
e-mail: [virtep@ukr.net](mailto:virtep@ukr.net), orcid: 0009-0009-3297-1171

**Анотація. Мета.** У статті розглядається конструкція багатопустотної ребристої сталебетонної плити перекриття та покрівлі із зовнішнім армуванням з використанням сталевого профільованого настилу та стержневої арматури. Метою є підвищення питомої несучої здатності конструкції при зниженні матеріаломісткості та трудовитрат на виготовлення.

**Методологія.** Запропоноване технічне рішення передбачає використання пустотоутворювача у вигляді картонних труб, що розміщуються в розтягнутій зоні між гофрами профнастилу, що дає змогу зменшити об'єм бетону без погіршення характеристик міцності. Профільований настил одночасно виконує функції незнімної опалубки та поздовжнього армування, а завдяки своїй геометрії забезпечує надійне зчеплення з бетоном та виключає необхідність установаження поперечної арматури. Практичне застосування настилів з гофрою заввишки 75 мм дало змогу скоротити масу плит до 50 % та знизити трудомісткість виробництва на 25–40 % порівняно з традиційними залізобетонними конструкціями. У роботі наведено розрахункові передумови та залежності для визначення міцності плити, включно з визначенням глибини стиснутої зони, напруги в профнастилі, положення нейтральної осі та згинального моменту.

**Результати.** Стендові випробування підтвердили відповідність прийнятої розрахункової моделі, що ґрунтується на гіпотезі плоских перерізів та діаграмі Прандтля. Відхилення між розрахунковим та фактичним моментом тріщиноутворення не перевищує 10 %, а величина прогинів при нормативному навантаженні зменшувалась у середньому на 20–25 %. Установлено, що збільшення висоти гофри та товщини сталі значно підвищує жорсткість конструкції та її тріщиноустійкість. Запропоновані параметри (висота гофри  $\geq 60$  мм, товщина  $\geq 0,7$  мм, діаметр пустотоутворювачів 70–120 мм) забезпечують оптимальне співвідношення міцності, маси та технологічності. Отримані результати можуть бути використані для проєктування ефективних композитних плит перекриттів та покрівельних покриттів для цивільного й промислового будівництва.

**Наукова новизна.** Удосконалено конструкцію багатопустотної ребристої сталебетонної плити перекриття та покрівлі завдяки використанню зовнішнього армування профільованим настилом і стержневою арматурою в поєднанні з пустотоутворювачами, що дало змогу по-новому вирішити проблему зниження маси та підвищення жорсткості конструкції при збереженні її міцності.

**Практична значущість.** Отримані результати забезпечують можливість проектування ефективних композитних плит перекриттів і покрівельних покриттів для цивільного та промислового будівництва з оптимальним співвідношенням міцності, маси та технологічності, що сприяє зниженню трудовитрат і матеріаломісткості в будівельній практиці.

**Ключові слова:** бетон, пустотоутворювач, епюра, плоский переріз, монолітне перекриття, каркас.

## ВСТУП

У сучасному будівництві цивільних та виробничих будівель особлива увага приділяється підвищенню надійності, технологічності та експлуатаційних характеристик плит перекриття й покрівельних конструкцій. Наявні традиційні рішення, як-от безрулонні дахи з використанням ребристих залізобетонних панелей, що укладаються рубом угору з нащільниками та лотковими плитами желобчатого перерізу, характеризуються високою трудомісткістю, складністю виготовлення, а також проблемами при монтажі. Ці конструкції вимагають значних ресурсів та багатоетапних операцій, що знижує рівень індустріалізації будівельного процесу. Крім того, однією із суттєвих проблем таких систем є недостатня герметичність і надійність гідроізоляції. Практика експлуатації показує, що такі покриття часто потребують капітального ремонту з використанням гідроізоляційних рулонних матеріалів. Усе це зумовлює необхідність розробки більш ефективних конструктивних рішень, що поєднують несучу здатність, простоту монтажу й технологічність виготовлення.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порівняльний аналіз нової полегшеної сталеві плити перекриття з порожнечами та традиційної монолітної залізобетонної плити був представлений у межах дослідження М. Вінод Кумара [16]. Основна увага приділяється оцінці несучої здатності, прогинів, характеру руйнування, пластичності та жорсткості конструктивних елементів. Автор досліджує ефективність інноваційної плити, що поєднує профільований металевий настил і пустотну структуру, що дає змогу знизити власну вагу конструкції без втрати міцності. Експериментальні результати показують, що така композитна система має покращені деформаційні характеристики й достатню несучу здатність за значного зниження маси.

Зі свого боку, Х. Чень та З. Ма [1] здійснили експериментальне дослідження згинальної міцності бетонних пустотних композитних плит із жорстко з'єднаними бічними панелями. Автори зосередили увагу на поведінці плит при навантаженні, включно

з характеристиками тріщиноутворення, прогину, несучої здатності та руйнування. Результати показали, що наявність жорсткого з'єднання між бічними елементами значно підвищує загальну стійкість конструкції та покращує розподіл напруги в перерізі. Плити з тісно сполученими панелями забезпечують кращу несучу здатність при згинанні та зниження величини деформацій порівняно з аналогами без такого з'єднання.

У науковій розвідці С. Лім, Дж. Вонг, С. Уїп [8] представлені результати випробувань на згинальну міцність нової системи профільованих композитних плит перекриття. Дослідження спрямоване на оцінку несучої здатності та поведінки плити під навантаженням, а також на перевірку ефективності взаємодії між профільованим металевим настилом та бетонним заповненням. Експерименти показали, що запропонована конструкція забезпечує високу стійкість до вигину, рівномірний розподіл напруги та ефективне зчеплення між матеріалами.

Іспанські дослідники Х. Мартінес-Мартінес, Ф. Альварес-Рабаналь, М. Алонсо-Мартінес і Дж. дель Коз-Діас [9] провели нелінійний термоструктурний аналіз композитних плит, виконаних із легкого бетону та сталевого профнастилу в умовах впливу високої температури. Дослідження передбачає як чисельне моделювання, так й експериментальну перевірку поведінки плит при пожежних навантаженнях. Автори оцінюють зміну несучої здатності, деформації та руйнування конструкції залежно від часу й температури. Результати показують, що легкий бетон у поєднанні зі сталевим настилом демонструє ефективну вогнестійкість при відповідному армуванні та геометричній конфігурації.

Незважаючи на накопичену теоретичну базу та позитивні результати випробувань, оптимізація конструкції багатопустотних плит із профільованим настилом залишається актуальним завданням. Зокрема, недостатньо вивчено вплив тривалих навантажень, тріщиностійкість та спільну роботу матеріалів у складних умовах експлуатації. Це потребує подальших досліджень для вдосконалення розрахункових підходів та конструктивних рішень.

## МЕТА

Метою наукової розвідки є розробка ефективного конструктивного рішення та обґрунтованого методу розрахунку багатопустотних ребристих плит перекриття й покрівлі, армованих зовні сталевим профільованим настилом та стержневою арматурою. Конструкція має забезпечувати високу питому здатність за мінімальної матеріаломісткості та трудовитратах, а також ураховувати особливості спільної роботи настилу й бетону в прольоті та вплив пустотоутворювачів.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Найбільш ефективним з погляду питомої несучої здатності є конструктивне рішення багатопустотної ребристої плити, сформованої розміщенням пустотоутворювачів (картонних труб) у просторі між гофрами профнастилу в розтягнутій зоні (рис. 1).

Пропонована конструкція за своїми характеристиками близька до багатопустотної залізобетонної панелі перекриття, що добре зарекомендувала себе [2]. При цьому вона відрізняється значно меншою трудомісткістю виготовлення: відсутня необхідність у пустотоутворювачах, формах, виготовленні каркасів та установці поперечної арматури, функції якої виконують гофри сталевих профільованого настилу (далі – СПН) [13]. Спільна робота СПН і бетону в прольоті плити забезпечується [4] за допомогою гвинтів-саморізів або арматурних коротунів по ширині гофри, які одночасно слугують фіксаторами пустотоутворювачів у СПН під час виготовлення плити [19].

Проведені випробування запропонованих плит перекриття із зовнішнім армуванням підтвердили, що використання

пустотоутворювачів у конструкції багатопустотної ребристої плити є раціональним, згідно з результатами розрахунків міцності, деформативності та оцінки їх питомої несучої здатності (табл. 1).

Аналогічна експериментальна програма, проведена для сталобетонних плит з профнастилом, що використовується як незнімна опалубка, підтверджує надійність розрахункових моделей щодо моменту тріщиноутворення та міцності порівняно з теоретично отриманими даними.

Крім того, практичне застосування профнастилу типу Н75 у ролі листового армування в монолітних перекриттях продемонструвало зниження трудомісткості на 25–40 % за одночасного зменшення маси конструкції до 50 % порівняно з традиційними монолітними рішеннями.

Конструкція безрулонної покрівельної плити на стадії виготовлення представлена на рисунку 1, за винятком того, що в її складі використовується сітка стержневої арматури з робочими стержнями, розташованими вздовж прольоту та дібраними за розрахунком. Варіант покрівельної плити безрулонної покрівлі на стадії експлуатації показано на рис. 2.

Безрулонні покрівельні плити покрівлі можуть виготовляти як з пустотоутворювачами, так і без них. Нащільники з окремих гофр профнастилу монтують і закріплюють покрівельними шурупами по верхніх гранях і бічних гофрах на крайніх елементах. У результаті останні елементи плит представлені половинами гофр, заповнених бетоном.

Нижче наведено основні передумови, що дають змогу сформулювати розрахункові залежності та виконати розрахунок міцності

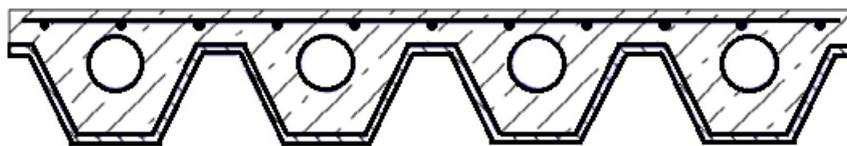


Рис. 1. Конструктивне рішення плити перекриття із зовнішнім армуванням

Таблиця 1.

### Показники ефективності багатопустотних ребристих плит, армованих СПН

Серія	Об'єм бетону, м <sup>3</sup>	СПН (арматура) м <sup>2</sup> / кг	Власна вага, кг		Питома здатність
			м	1 м <sup>2</sup>	
Багатопустотні ребристі плити L=6	0,535	5,91 / 64,99	975	162,5	1,93
Плити НС-75 L=6	0,614	7,3 / 57,3	1592	265,4	0,164
Панелі залізобетонні Багатопустотні L=6	0,991	-/115,2	1750	290	0,49

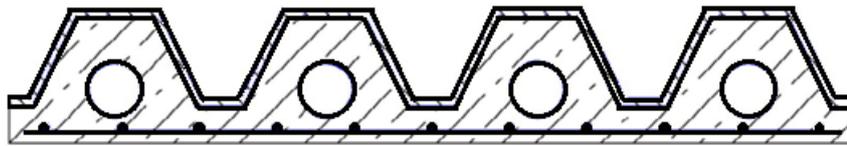


Рис. 2. Конструкція покрівельної плити в стадії експлуатації безрулонної покрівлі

багатопустотних ребристих плит безрулонної покрівлі із зовнішнім армуванням та стержневою арматурою:

- розрахунковий переріз плити в прольоті приймається у вигляді таврового профілю, наведеного на рис. 3;

- втрата несучої здатності сталобетонного елемента настає при напругах у сталевому профільованому настилі та арматурі, що не досягають розрахункового опору  $R_n$ ;

- еюра напруг у сталі профільованого настилу приймається згідно з пружно-пластичною діаграмою Прандтля;

- еюра напруг у стиснутій зоні перерізу перед руйнуванням, розглядається у вигляді трапеції висотою  $x$ , що вміщує умовно-пластичну зону ( $x_1$ ) та умовно-пружну зону ( $x - x_1$ ); при цьому напруги в пластичній частині приймаються рівними  $R_b$  (рис. 3);

- до моменту руйнування зберігається справедливність гіпотези плоских перерізів, коли деформації на крайній стиснутій фібрі бетонної полиці досягає граничного значення для стисненого бетону;

- деформації бетону на рівні кордону між умовно-пластичною та умовно-пружною зонами визначаються за формулою

$$\epsilon_{bel} = \frac{R_b}{E_b}, \quad (1)$$

де  $E_b$  – початковий модуль пружності бетону.

Прийняття еюри напруги у вигляді трапеції не означає [12] допущення ідеально виражених пружних і пластичних зон, а є наближеним відображенням реального криволінійного розподілу напруг. Застосування гіпотези плоских перерізів є припущенням, що дає змогу задовольнити умови рівноваги [14] і дає цілком порівнянні

значення несучої здатності на відміну від експериментальних даних.

Під час визначення несучої здатності невідомими параметрами є: висота стиснутої зони  $x$  напруги в профільованому настилі, висота пружної частини стиснутої зони  $x_1$ , а також величина згинального моменту  $M$ .

Висота пружної частини стиснутої зони може бути визначена на основі гіпотези плоских перерізів:

$$x_1 = \eta \cdot x, \quad (2)$$

де

$$\eta = \frac{R_b}{E_b \epsilon_{bu}}. \quad (3)$$

З урахуванням виразів (2, 3) кількість невідомих скорочується до двох – висоти стиснутої зони  $x$  та несучої здатності, які визначаються на основі умов рівноваги залежно від положення нейтральної осі.

За умови, що еюра напруги повністю розташовується в межах верхньої полиці ( $x \leq h_f$ ) (рис. 3), висота стиснутої зони визначається на основі рівняння (4):

$$\begin{aligned} & \frac{R_b b_f}{2} \cdot x(2 - \eta) - t_n [R_{fp} \cdot (b_f - b) + \\ & + R_{np} \cdot b + 2 \cdot R_{wel} (x + y - h_f) + \\ & + 2 \cdot R_{wpl} (h - x - y)] + R_s \cdot A_s = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Міцність перерізу перевіряється за умовою (5)

$$\begin{aligned} M \leq & R_b \cdot b_f \cdot x^2 \cdot \frac{2 - \eta + 0,5 \cdot (1 - \eta)^2}{3} + \\ & + t_n [R_{fp} \cdot (b_f - b) \cdot (h_f - x) + R_{np} \cdot b \cdot (h - x) + \\ & + 2 \cdot R_{wel} \cdot (x + y - h_f) \cdot (h_f - x + y_1) + \\ & + R_{wpl} \cdot (h - x - y) \cdot (h - x + y)] + \\ & + R_s \cdot A_s \cdot (h - x - a_{sp}) \end{aligned} \quad (5)$$

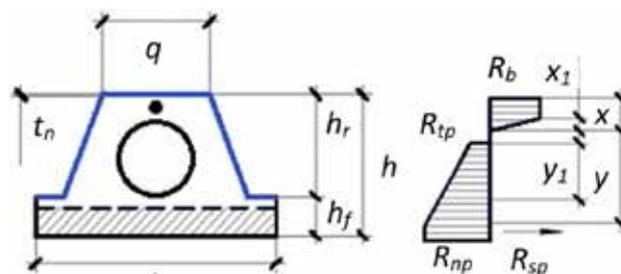


Рис. 3. Розподіл напруг у перерізі плити ( $x \leq h_f$ )

У формулах (4) та (5): – напруги у верхній полиці профнастилу:

$$R_{fp} = \frac{E_n \cdot R_b \cdot (h_f - x)}{E_b \cdot (\eta \cdot x)} \quad (6)$$

напруги в нижній полиці профнастилу:

$$R_{np} = \frac{E_n \cdot R_b \cdot (h - x)}{E_b \cdot (\eta \cdot x)} \leq R_n \quad (7)$$

напруги в стінках профнастилу в разі їх розташування в пружній зоні:

$$R_{wet} = \frac{R_{fp} + R_{np}}{2} \quad (8)$$

напруги в стінках профнастилу, розташованих у пластичній зоні:

$$\text{при } (y + x) < h \quad R_{wpl} = R_n; \quad (9)$$

$$\text{при } (y + x) > h \quad R_{wpl} = 0;$$

відстань від верхньої полиці профнастилу до центру тяжкості епюри напруги [7] в стінці в пружній зоні визначається за такою формулою:

$$y_1 = \frac{(x + y - h_f) \cdot (R_{fp} + 2 \cdot R_n)}{3 \cdot (R_{fp} + R_n)}; \quad (10)$$

З урахуванням гіпотези плоских перерізів визначається відстань від нейтральної осі до точки перегину епюри напруг у профільованому настилі:

$$y = \frac{R_n \cdot E_b \cdot \eta \cdot x}{E_n \cdot R_b} \quad (11)$$

Наведені формули дають змогу обчислити несучу здатність перекриттів, армованих профільованим настилем.

Для розрахунку плит покриття безрулонної покрівлі профнастил розміщується у верхній частині конструкції (рис. 2). У цьому схемі розподілу напруг у перерізі плити змінюється внаслідок повороту її перерізу на 180°.

У рівняннях для визначення висоти стиснутої зони та згинального моменту несучої здатності з'являється додатковий доданок, що враховує зусилля в арматурі на розтяг, розташованій у полиці плити (див. формулу (4), а також відповідний статичний момент (формула (5)).

Установлено, що геометричні параметри профільованого настилу, як-от висота гофри, товщина стінок і конфігурація перерізу, значно впливають на характеристики композитної плити. Застосування настилів із вищим профілем (наприклад, 75 мм) призводить до збільшення несучої здатності плити на 20–25 % порівняно з настилами меншої висоти. Додатково збільшується жорсткість

конструкції, що сприяє зниженню прогинів та підвищенню стійкості до тріщиноутворення [17].

Розрахунки показують, що багатопустотні плити із зовнішнім армуванням профнастилом мають значно меншу матеріаломісткість – аж до 40–45 % – порівняно зі звичайними монолітними плитами. При прольотах 6–8 м відношення власної маси конструкції до допустимого експлуатаційного навантаження становить близько 1:2, тоді як у традиційних плит це значення ближче до 1:1,2.

Проведені випробування підтвердили достовірність розрахункових [15] залежностей. Відхилення між теоретично розрахованим моментом тріщиноутворення та фактичними результатами не перевищує 10 %, а прогини композитних плит із зовнішнім армуванням у межах експлуатаційного навантаження знижуються в середньому на 20–25 % [18] порівняно з конструкціями.

Для підвищення ефективності та надійності конструкції рекомендується: використовувати профнастил з висотою гофри щонайменше 60 мм; застосовувати сталь завтовшки від 0,7 мм; забезпечувати кріплення настилу до бетону з кроком не більш ніж 300 мм (гвинтами чи арматурними штирями); використовувати пустотоутворювачі діаметром 70–120 мм [20]; передбачати надійне анкерувальне зчеплення профнастилу в опірних зонах [10].

## ВИСНОВКИ

Запропонована конструкція багатопустотної сталобетонної ребристої плити із зовнішнім армуванням завдяки профільованому настилу виявилася ефективною з погляду питомої несучої здатності. Розміщення пустотоутворювачів у розтягнутій зоні між гофрама дає змогу суттєво знизити масу конструкції та трудовитрати без втрати міцності. Профнастил виконує одночасно функції незнімної опалубки, поздовжньої арматури й елемента, що забезпечує спільну роботу з бетоном у прольоті, через що відповідає необхідність установлення поперечної арматури та армокаркасів складної форми.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Chen X., Ma Q. Experimental study on the flexural performance of concrete hollow composite slabs with tightly connected panel sides. *Scientific Reports*. 2024. No 14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71880-8>
- [2] Elsanadey H., Al Kallas A., Abbas H., Almusallam T., Al-Salloum Y. Capacity reinstatement of

reinforced concrete one-way ribbed slabs with rib-cutting shear zone openings: hybrid fiber reinforced polymer/steel technique. *Advances in Structural Engineering*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/13694332241276060>

[3] Filho M., Piloto P., Balsa C. The load-bearing of composite slabs with steel deck under natural fires. *AIMS Materials Science*. 2022. No 9. P. 150–171. DOI: <https://doi.org/10.3934/mat.2022010>

[4] Gao Y., et al. Shear-slip behaviour of prefabricated composite shear stud connectors in composite bridges. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112148>

[5] Hossain K., Alam M., Anwar M. S., Julkarnine K. M. Y. High performance composite slabs with profiled steel deck and engineered cementitious composite – strength and shear bond characteristics. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 125. P. 227–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.021>

[6] Hsu C.T.T., Punurai S., Punurai W., Majdi Y. New composite beams having cold-formed steel joists and concrete slab. *Engineering Structures*. 2014. No 71. P. 187–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.011>

[7] Li X., Zheng X., Ashraf M., Li H. The longitudinal shear bond behavior of an innovative laminated fiber reinforced composite slab. *Construction and Building Materials*. 2019. Iss. 215. P. 508–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.153>

[8] Lim S.S., Wong J.Y., Yip C.C. Pang. Flexural strength test on new profiled composite slab system. *Case Studies in Construction Materials*. 2021. No 15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00638>

[9] Martínez-Martínez J.E., Álvarez-Rabanal F.P., Alonso-Martínez M., del Coz-Díaz J.J. Nonlinear thermo-structural analysis of lightweight concrete and steel decking composite slabs under fire conditions: numerical and experimental comparison. *Applied Sciences*. 2022. No 12(18). DOI: <https://doi.org/10.3390/app12189306>

[10] Pour A.K., Noroozinejad Farsangi E. Effect of polypropylene fibers on the bond-slip performance of HSS bars in HPC and UHPC. *Advances in Structural Engineering*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/13694332241266544>

[11] Semko A., Hasenko A., Fenko O., Darienko V. Profiled steel sheets of steel-reinforced concrete floors fixed formwork load-bearing capacity rational use. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2022. No 2. P. 153–161. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.153-161)

[12] Shan Y., et al. Flexural behavior of different types of steel-concrete composite decks with perfobond rib or head stud shear connectors. *Advances in Structural Engineering*. 2023. Vol. 26(7). P. 1187–1208. DOI: <https://doi.org/10.1177/13694332231153954>

[13] Shirgaonkar A.A., Patil Y.D., Patil H.S. Influence of stiffeners and pattern of shear screws on behaviour of cold formed profiled deck composite floor. *Case Studies in Construction Materials*. 2021. No 15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00572>

[14] Sun Y., Sun Z., Fu J., Cai X., Wu G. Study on the deformation of hybrid BFRP-steel reinforced concrete beams considering crack development. *Advances in*

*Structural Engineering*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/13694332241298018>

[15] Van Cao V., Vo H.B., Dinh L.H., Van Doan D. Monotonic and cyclic behaviour of deficient reinforced concrete slabs retrofitted with externally bonded carbon fibre reinforced polymer. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/07316844231211675>

[16] Vinod Kumar M., et al. Comparative analysis of a novel lightweight composite-void steel deck slab and conventional solid slab: force carrying capacity, deflection, failure patterns, ductility and stiffness. *Journal of Industrial Textiles*. 2024. No 54. DOI: <https://doi.org/10.1177/15280837241301434>

[17] Wang R., Zhang P. Multi-objective optimization and mechanical properties analysis of steel-PVA hybrid fiber-reinforced cementitious composites. *Materials*. 2024. No 17(17). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17174324>

[18] Xiao Z., et al. Research on the fatigue performance of continuous beam bridges with vibration-mixed steel fiber-reinforced concrete. *Scientific Reports*. 2024. No 14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79739-8>

[19] Yang D., Li G., Au F.T.K., Zhang J., Yuan Y. Shear connector performance analysis for composite bridge deck with corrugated steel sheeting. *Advances in Structural Engineering*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/13694332241302699>

[20] Yassin A.M., Mohie Eldin M., Hafez M.A., Elnaggar M.A. The flexural behavior and mechanical properties of super high performance concrete (SHPC) reinforced using the hybridization of micro polypropylene and macro steel fibers. *Buildings*. 2024. No 14(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14071887>

## REFERENCES

[1] Chen, X., & Ma, Q. (2024). Experimental study on the flexural performance of concrete hollow composite slabs with tightly connected panel sides. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71880-8> [in English].

[2] Elsanadedy, H., Al Kallas, A., Abbas, H., Almusallam, T., & Al-Salloum, Y. (2024). Capacity reinstatement of reinforced concrete one-way ribbed slabs with rib-cutting shear zone openings: Hybrid fiber reinforced polymer/steel technique. *Advances in Structural Engineering*. <https://doi.org/10.1177/13694332241276060> [in English].

[3] Filho, M., Piloto, P., & Balsa, C. (2022). The load-bearing of composite slabs with steel deck under natural fires. *AIMS Materials Science*, 9, 150–171. <https://doi.org/10.3934/mat.2022010> [in English].

[4] Gao, Y., et al. (2021). Shear-slip behaviour of prefabricated composite shear stud connectors in composite bridges. *Engineering Structures*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112148> [in English].

[5] Hossain, K., Alam, M., Anwar, M. S., & Julkarnine, K. M. Y. (2016). High performance composite slabs with profiled steel deck and engineered cementitious composite – Strength and shear bond characteristics. *Construction and Building Materials*, 125, 227–240.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.021> [in English].

[6] Hsu, C.T.T., Punurai, S., Punurai, W., & Majdi, Y. (2014). New composite beams having cold-formed steel joists and concrete slab. *Engineering Structures*, 71, 187–200. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.011> [in English].

[7] Li, X., Zheng, X., Ashraf, M., & Li, H. (2019). The longitudinal shear bond behavior of an innovative laminated fiber reinforced composite slab. *Construction and Building Materials*, 215, 508–522. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.153> [in English].

[8] Lim, S.S., Wong, J.Y., & Yip, C.C.P. (2021). Flexural strength test on new profiled composite slab system. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00638> [In English].

[9] Martínez-Martínez, J.E., Álvarez-Rabanal, F.P., Alonso-Martínez, M., & del Coz-Díaz, J.J. (2022). Nonlinear thermo-structural analysis of lightweight concrete and steel decking composite slabs under fire conditions: Numerical and experimental comparison. *Applied Sciences*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/app12189306> [in English].

[10] Pour, A.K., & Noroozinejad Farsangi, E. (2024). Effect of polypropylene fibers on the bond-slip performance of HSS bars in HPC and UHPC. *Advances in Structural Engineering*. <https://doi.org/10.1177/13694332241266544> [in English].

[11] Semko, A., Hasenko, A., Fenko, O., & Dariienko, V. (2022). Profiled steel sheets of steel-reinforced concrete floors fixed formwork load-bearing capacity rational use. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2, 153–161. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.153-161) [in English].

[12] Shan, Y., et al. (2023). Flexural behavior of different types of steel-concrete composite decks with perfobond rib or head stud shear connectors. *Advances in Structural Engineering*, 26(7), 1187–1208. <https://doi.org/10.1177/13694332231153954> [in English].

[13] Shirgaonkar, A.A., Patil, Y.D., & Patil, H.S. (2021). Influence of stiffeners and pattern of shear screws

on behaviour of cold formed profiled deck composite floor. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00572> [in English].

[14] Sun, Y., Sun, Z., Fu, J., Cai, X., & Wu, G. (2024). Study on the deformation of hybrid BFRP-steel reinforced concrete beams considering crack development. *Advances in Structural Engineering*. <https://doi.org/10.1177/13694332241298018> [in English].

[15] Van Cao, V., Vo, H.B., Dinh, L.H., & Van Doan, D. (2023). Monotonic and cyclic behaviour of deficient reinforced concrete slabs retrofitted with externally bonded carbon fibre reinforced polymer. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. <https://doi.org/10.1177/07316844231211675> [in English].

[16] Vinod Kumar, M., et al. (2024). Comparative analysis of a novel lightweight composite-void steel deck slab and conventional solid slab: Force carrying capacity, deflection, failure patterns, ductility and stiffness. *Journal of Industrial Textiles*, 54. <https://doi.org/10.1177/15280837241301434> [in English].

[17] Wang, R., & Zhang, P. (2024). Multi-objective optimization and mechanical properties analysis of steel-PVA hybrid fiber-reinforced cementitious composites. *Materials*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/ma17174324> [in English].

[18] Xiao, Z., et al. (2024). Research on the fatigue performance of continuous beam bridges with vibration-mixed steel fiber-reinforced concrete. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79739-8> [in English].

[19] Yang, D., Li, G., Au, F. T. K., Zhang, J., & Yuan, Y. (2024). Shear connector performance analysis for composite bridge deck with corrugated steel sheeting. *Advances in Structural Engineering*. <https://doi.org/10.1177/13694332241302699> [in English].

[20] Yassin, A.M., Mohie Eldin, M., Hafez, M.A., & Elnaggar, M.A. (2024). The flexural behavior and mechanical properties of super high performance concrete (SHPC) reinforced using the hybridization of micro polypropylene and macro steel fibers. *Buildings*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/buildings14071887> [in English].

## ABSTRACT

### **Petriv V. Load-bearing capacity of non-membrane roofing slabs and floor slabs with external reinforcement using steel profiled decking and bar reinforcement**

**Purpose.** The article considers the design of a multi-hollow ribbed reinforced concrete floor and roof slab with external reinforcement using steel profiled decking and bar reinforcement. The purpose is to increase the specific load-bearing capacity of the structure while reducing material consumption and labor costs for manufacturing.

**Methodology.** The proposed technical solution involves the use of a void former in the form of cardboard tubes placed in the stretched zone between the corrugations of the corrugated decking, which allows you to reduce the volume of concrete without deteriorating strength characteristics. The profiled decking simultaneously performs the functions of fixed formwork and longitudinal reinforcement, and due to its geometry it provides reliable adhesion to concrete and eliminates the need to install transverse reinforcement. The practical use of decking with a corrugation

height of 75 mm has allowed to reduce the mass of the slabs by up to 50 % and reduce the labor intensity of production by 25–40 % compared to traditional reinforced concrete structures. The paper presents the calculation prerequisites and dependencies for determining the strength of the slab, including determining the depth of the compressed zone, the stress in the corrugated sheet, the position of the neutral axis and the bending moment.

**Results.** Bench tests confirmed the compliance of the adopted calculation model, which is based on the hypothesis of flat sections and the Prandtl diagram. The deviation between the calculated and actual moment of crack formation does not exceed 10 %, and the magnitude of deflections at the standard load decreased by an average of 20–25 %. It was established that increasing the height of the corrugation and the thickness of the steel significantly increases the rigidity of the structure and its crack resistance. The proposed parameters (corrugation height  $\geq 60$  mm, thickness  $\geq 0.7$  mm, diameter of the void formers 70–120 mm) provide the optimal ratio of strength, mass and manufacturability. The results obtained can be used to design effective composite floor slabs and roofing for civil and industrial construction.

**Scientific novelty.** The design of a multi-hollow ribbed reinforced concrete floor and roof slab has been improved by using external reinforcement with profiled decking and bar reinforcement in combination with void formers, which made it possible to solve the problem of reducing the mass and increasing the rigidity of the structure in a new way while maintaining its strength.

**Practical relevance.** The results obtained provide the possibility of designing effective composite floor slabs and roof coverings for civil and industrial construction with an optimal ratio of strength, mass and manufacturability, which contributes to reducing labor costs and material consumption in construction practice.

**Keywords:** concrete, void-fillers, stress distribution, flat cross-section, monolithic floor slab, reinforcement cage.

#### **AUTHOR'S NOTE:**

**Petriv Vasyi**, Postgraduate Student at the Department of Structural Engineering, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Lviv, Ukraine, e-mail: [virtep@ukr.net](mailto:virtep@ukr.net), orcid: 0009-0009-3297-1171.

Стаття подана до редакції: 18.09.2025.

Стаття прийнята до опублікування: 24.10.2025.

Стаття опублікована: 20.11.2025.