

УДК 624.014.27-422.12:624.21:625.745.2 DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-121-136  
UDC624.014.27-422.12:624.21:625.745.2

**ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОСНОВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ СПОРУД ІЗ  
МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
В УМОВАХ ЗАЛЯГАННЯ СЛАБКИХ ГРУНТІВ**

**INCREASING THE BEARING CAPACITY OF THE FOUNDATION IN THE CONSTRUCTION  
OF STRUCTURES FROM METAL CORRUGATED STRUCTURES  
IN THE CONDITIONS OF WEAK SOILS**



**Онищенко Артур Миколайович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, e-mail: [onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com](mailto:onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com), вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010,

<http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



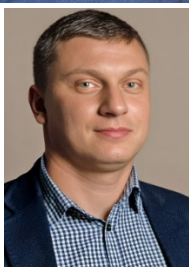
**Ковальчук Віталій Володимирович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: [kovalchuk.diit@gmail.com](mailto:kovalchuk.diit@gmail.com), вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

<https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>



**Карнаков Ігор Анатолійович**, аспірант кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, e-mail: [ihor.karnakov@gmail.com](mailto:ihor.karnakov@gmail.com), вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010,

<http://orcid.org/0000-0002-8751-9934>



**Гаркуша Микола Васильович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди», Національний транспортний університет, e-mail: [nicolas89@bigmir.net](mailto:nicolas89@bigmir.net), вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010.

<https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>



**Балашова Юлія Борисівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: [yuliabalashova72@gmail.com](mailto:yuliabalashova72@gmail.com), тел. +380507865446, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, к. 421.,

<https://orcid.org/0000-0002-2286-9263>

**Анотація.** Стаття присвячена проведенню досліджень, які направлені на підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів.

Метою роботи є підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій на слабких ґрунтах. Це дасть змогу забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій при будівництві та експлуатації таких споруд.

Об'єктом досліджень є основа транспортної споруди із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану основи транспортної споруди із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів із врахуванням параметрів ґрунтів отриманих в процесі інженерно-геологічного розрізу.

Встановлено, що основними ризиками при будівництві транспортних споруд на слабких ґрунтах є деформації ґрунтової основи. Вони можуть проявитися при передачі зусиль від транспортної споруди і змінних навантажень, а також від зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи в період будівництва та експлуатації споруди.

Результати розрахунків напружено-деформованого стану основи без підсилення показали, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см, що є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м<sup>2</sup>. Тому для компенсації початкових деформацій рекомендованого застосування привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням 10 кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.

Запропоновано підсилення основи споруди на слабких ґрунтах методом влаштування залізобетонних паль. При застосуванні паль для підсилення основи на слабких ґрунтах встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

**Ключові слова:** транспортна споруда, металеві гофровані конструкції, основа, напруження, деформації.

**Вступ.** Основними ризиками при будівництві об'єктів критичної інфраструктури транспорту, при влаштуванні бетонної основи на ґрунтову, є деформації ґрунтової основи. Які виникають при передачі зусиль від споруди, а також від зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи в період будівництва та експлуатації споруди. Деформації ґрунтової основи можуть проявлятися у вигляді осідання, просідання, вздуття та випирання. При цьому деформації основи можуть відбуватися у вертикальному та горизонтальному напрямках. Це впливає на загальну несучу здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Слід зазначити, що при будівництві транспортних споруд на глинистих ґрунтах осідання основи згасає дуже повільно, а в окремих випадках згасання не настає зовсім. При цьому просідання зазвичай відбуваються безпосередньо після зміни фізичних властивостей ґрунту основи або його структури.

При значних навантаженнях на основу, може спостерігатися різка деформація основи, пов'язана з випиранням ґрунту з-під фундаментів.

Підйом поверхні основи може відбуватися внаслідок пучення пилуватих суглинків та супісків, бічного випирання слабого ґрунту під дією великих навантажень.

Відповідно до вимог нормативних документів ДБН А.2.1-1, ДБН В.2.1-10, при проектуванні основ і фундаментів слід забезпечувати найбільш повне використання несучої здатності і деформативності ґрунтів основи та фізико-механічних властивостей матеріалів фундаментів і підземних конструкцій. Крім цього слід враховувати можливість зміни стану та фізико-механічних властивостей ґрунтів під дією природних чи техногенних факторів у процесі будівництва та експлуатації споруд.

При проектуванні основ і фундаментів необхідно виключати можливість виникнення деформацій, що можуть зумовити руйнування основи чи споруди.

Отже, одним із вагомих чинників впливу на несучу здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій (МГК) є основа. Тому дослідження, які направлені на підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із МГК мають практичне значення. Проведення досліджень із розробки методів підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із МГК на слабких ґрунтах є актуальною задачею наукового дослідження.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** При будівництві та експлуатації транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій (ЗМГК) бувають випадки нерівномірних осідань і деформацій. Для забезпечення несучої здатності потрібно добре підготувати ґрунтову основу. Оскільки правильно підготовлена основа для заданої форми поперечного перерізу споруди із ЗМГК дозволить забезпечити проектне положення лотка і його ухил без концентрації тиску на основу.

Тому споруди із ЗМГК укладають безпосередньо на добре підготовлену основу, піщану або піщано-гравійну, також можна вкладати на подушку з малостиснутого, добре ущільненого ґрунту, що забезпечує рівномірне спирання труби протягом усього терміну служби. З цією метою подушку влаштовують з піску, гравію, щебню або суміші цих матеріалів, укладаючи її на природний ґрунт основи після видалення верхнього піщано-рослинного шару. Крупність частинок ґрунту подушки має перевищувати 50 мм.

У випадку слабких ґрунтів відбувається спеціальне зміцнювання ґрунтів, застосування залізобетонних паль тощо.

Розміри піщано-гравійної подушки призначають з урахуванням міцності ґрунтів основи. Ширину її приймають, як правило, не менше діаметра труби плюс 1,0 м для всіх ґрунтів основи, крім слабких. Слабкі ж ґрунти видаляють і замінюють піском, гравієм, щебнем або їх сумішшю, ширина подушки в цьому випадку має бути не менше двох діаметрів труби. Товщину подушки в всіх випадках приймають не менше 40 см, рахуючи від нижньої точки труби.

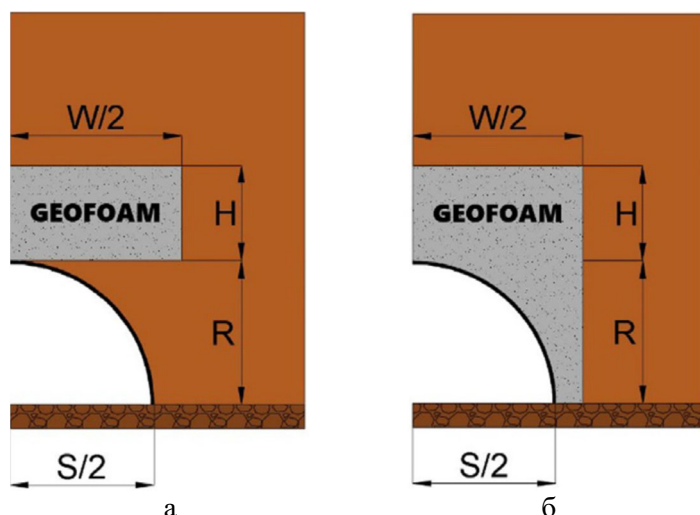
Тверді скельні включення потрібно розробляти нижче рівня ложа та замінювати їх подушкою з дренають ґрунтів.

Питанням експериментальних та теоретичних досліджень споруд із металевих гофрованих конструкцій приділено ряд наукових досліджень та публікацій. У роботі [1] наведено рекомендації щодо міцності для глибоко заглиблених круглих гофрованих сталевих арок з різними співвідношеннями висоти та прольоту. Проте дослідження напружено-деформованого стану металевих конструкцій виконано лише із врахуванням радіального обмеження ґрунтової засипки, без врахування фізико-механічних параметрів основи споруди.

У роботі [2] зроблено висновок, що довговічність та несуча здатність транспортних споруд із МГК залежить від якості виконання ґрунтової засипки. При цьому у праці [3], зазначено, що при не забезпечені нормативного ступеню ущільнення ґрунтової засипки споруд із МГК різко знижується несуча здатність споруд. Однак у даних працях дослідження проведені тільки із врахуванням ступеню ущільнення ґрунтової засипки, без врахування впливу слабких основ на міцність споруд із металевих гофрованих конструкцій.

У праці [4] проведено дослідження впливу глибини заглиблення на поведінку металевих гофрованих труб. Встановлено, що із збільшенням глибини заглиблення на 25 % максимальна деформація труби у вершині зменшилася на 31 %. Однак досліджень впливу фізико-механічних властивостей ґрунтів основи поведінку труби не виконано.

У роботі [5] досліджується вплив монтажу траншеї, у якому використовується пінополістирол (EPS) як м'який або стисливий матеріал, на поведінку заглибленої гофрованої сталеві аркової конструкції за допомогою різноманітних параметричних досліджень. Щоб зменшити вертикальний тиск землі на труби, шар стисливого матеріалу пінополістиролу (EPS) геопіна, розміщений безпосередньо над або навколо заглибленої конструкції.



**Рисунок 1** – Влаштування шару пінополістеролу по контуру арки для зменшення сили тиску ґрунту [5]: а – розміщення над вершиною конструкції, б – розміщення навколо металевих конструкцій  
**Figure 1** – Arrangement of a layer of polystyrene foam along the contour of the arch to reduce the force of soil pressure [5]: a - placement above the top of the structure, b - placement around metal structures

Для моделювання та аналізу конструкції використовувалася програма аналізу кінцевих елементів ABAQUS. Результати аналізу кінцевих елементів показали, що моделі ЕТІ зменшили тиск на землю, прогин і напруження у вершині конструкцій в середньому на 68 %, 40 % і 39 %. Рекомендується провести подальше дослідження щодо ЕТІ для підтвердження результатів і подальшого вдосконалення критеріїв проектування заглибленої гофрованої сталеві арки, оскільки очікується, що це призведе до зниження вартості та стабільності заглиблених конструкцій.

Також у праці [6] встановлено, що використання м'яких зон є дуже ефективним способом зниження навколишнього тиску на глибоко заглиблені бетонні труби.

У роботі [7] доведено, що на деформовані параметри металевих конструкцій транспортних споруд впливає швидкість руху рухомого складу. Однак у роботі не проведено досліджень підвищення несучої здатності основи споруд із МГК.

У роботі [8] наведено результати напружень та деформацій, які виникають у спорудах із металевих гофрованих конструкцій. Однак у роботі не проведено вплив основи на напружено-деформований стан споруд із МГК.

У роботах [9, 10] наведено результати оцінки напружено-деформованого стану споруд із металевих гофрованих конструкцій арочного типу.

У роботі [11] авторами виконано оцінку напружень та величини пластичного шарніру, що виникають у металі конструкцій шляхопроводу із врахуванням схеми розміщення вантажів над шляхопроводом.

Із проведеного аналізу наукових робіт [1–11] встановлено, що у більшості праць наведено результати оцінки напружено-деформованого стану споруд із металевих гофрованих конструкцій, які зазнають дії змінних навантажень від транспортних засобів. Невирішеними залишилися задачі підвищення несучої здатності основи при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій. Це дасть практичну можливість, оскільки розробка методу підвищення несучої здатності основи споруд із МГК дозволить забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із МГК, що є дуже важливим при будівництві та експлуатації таких транспортних споруд.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій на слабких ґрунтах. Це дасть змогу забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій при будівництві та експлуатації споруд.



Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести оцінку напружено-деформованого стану основи із врахуванням навантаження від транспортних засобів;
- провести розрахунок напружено-деформованого стану основи підкріпленої палями при будівництві металевих гофрованих конструкцій;
- навести рекомендації із підвищення несучої здатності основи при будівництві транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій.

**Матеріали та методика досліджень.** Для розрахунку основи транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій проводиться оцінка напружено-деформованого стану основи із без виконання підсилення та із врахуванням підсилення основи методом влаштування паль. У розрахунках приймається розподілене навантаження величиною 30,11 кН/м<sup>2</sup>.

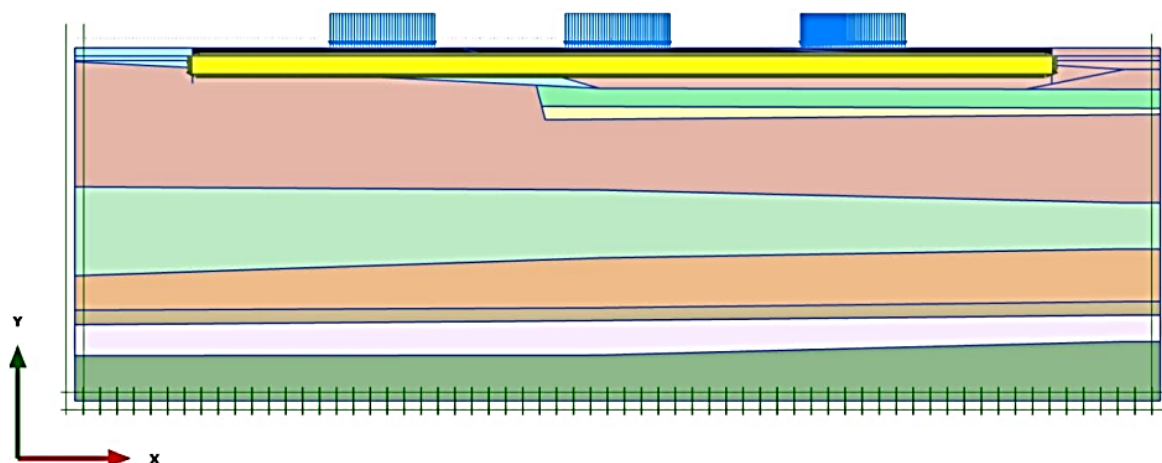
У результаті проведених вишукувань встановлено, що ґрунтові води залягають на глибинах 5,4–10,5 м. Водонесний горизонт безнапірний, живлення ґрунтових вод відбувається переважно за рахунок поверхневих вод та інфільтрації атмосферних опадів.

Геологічний розріз території вишукувань основи споруди складається із інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) та одного шару ґрунту, а саме:

- ґрунтово-рослинний шар;
- ІГЕ-1: насипний ґрунт – суглинок легкий пілуватий, світло-коричневий, жовто-сірий, напівтвердий, з прошарками твердого, з включенням будівельного сміття та щебню (10–15) %, з залишками коріння рослин, подекуди з тонкими прошарками ґрунту з домішкою органічних речовин (відвал ґрунту непланомірно зведений без ущільнення);
- ІГЕ-2: насипний ґрунт – суглинок легкий пілуватий, темно-коричневий, темно-сірий, м'якопластичний, з прошарками тугопластичного, з прошарками та лінзами суглинку важкого (15–30) %, з включенням коріння дерев та пеньків, з домішкою органічних речовин та слабозаторфований, подекуди середньозаторфований;
- ІГЕ-2а: насипний ґрунт – суглинок легкий пілуватий, темно-коричневий, темно-сірий, твердий, з прошарками напівтвердого, з прошарками та лінзами суглинку важкого (15–25) %, з включенням коріння дерев та пеньків, з домішкою органічних речовин;
- ІГЕ-3: супісок пілуватий, лесовидний, світло-жовтий, буро-коричневий, світло-коричневий, пластичний, з прошарками та лінзами піску та суглинку (10–15) %;
- ІГЕ-3а: супісок пілуватий, лесовидний (просідний), палево-жовтий, палево-коричневий, твердий з прошарками пластичного, з прошарками та лінзами піску (15–20) %;
- ІГЕ-4: супісок піщанистий, світло-сірий, жовто-сірий, сірий, пластичний, подекуди з прошарками текучого, з прошарками суглинку та глини 10–15 %, з лінзами та прошарками піску (20–30) %;
- ІГЕ-5: пісок середньої крупності, жовто-сірий, коричнево-жовтий, щільний, насичений водою, подекуди з включенням битих мушель, з прошарками та лінзами супіску та піску мілкового (5–10) %;
- ІГЕ-6: пісок середньої крупності, світло-сірий, сіро-білий, щільний, насичений водою, з включенням гравію та дресви (15–25) %, подекуди з включенням битих мушель, з тонкими прошарками переміщеної кори вивітрювання, з прошарками та лінзами піску крупного та мілкового (10–15) %;
- ІГЕ-7: суглинок важкий піщанистий, сіро-білий, зелено-сірий, блакитно-сірий, напівтвердий з прошарками тугопластичного, з перешаруванням супісків та глин (15–25) %, з лінзами та прошарками піску середньої крупності (10–20) %, з включенням гравію та щебню (10–15) %, з включенням битих мушель (5–10) % (переміщена кора вивітрювання скельних порід).

За результатами інженерно-геологічних досліджень пропонуються влаштовувати фундаменти глибокого закладання – палі. У якості ґрунтів основи рекомендовані ґрунти ІГЕ-5, 6.

Для оцінки напружено-деформованого стану основи використано метод скінченних елементів, що реалізований у програмному комплексі PLAXIS. Розрахункова схема основи транспортної споруди наведена на рис. 2.

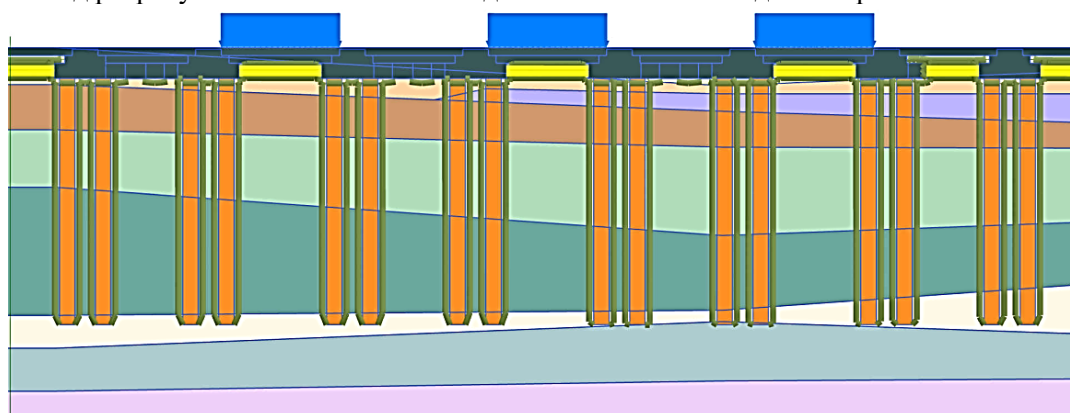


**Рисунок 2** – Загальний вид розрахункової схеми основи навантаженої рівномірно-розподіленим навантаженням  
**Figure 2** – General view of the calculation scheme of the foundation loaded with a uniformly distributed load

Розрахункова схема відповідає інженерно-геологічним елементам, що встановлені у процесі геологічного розрізу.

Як один із заходів у роботі запропоновано прорізання слабких ґрунтів палями. Однак при цьому рекомендується враховувати негативне тертя по бічній поверхні паль у межах слабого ґрунту. Одним із способів такого урахування є зменшення розрахункових опорів для слабких ґрунтів на 5 кПа порівняно зі звичайним ґрунтом.

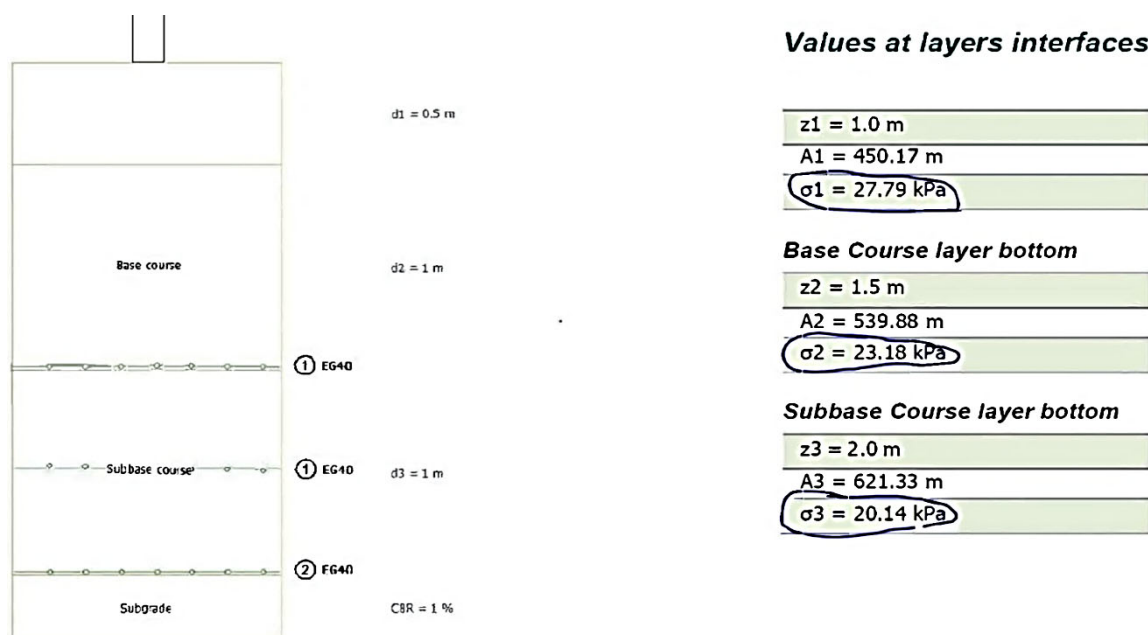
Вигляд розрахункової схеми основи підсиленої палями наведено на рис. 3.



**Рисунок 3** – Загальний вид розрахункової схеми основи транспортної споруди підсиленої палями  
**Figure 3** – General view of the calculation scheme of the base of the transport structure reinforced with piles

### Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди із металевих гофрованих конструкцій

**Оцінювання стійкості основи транспортної споруди.** Розрахунок стійкості ґрунтової основи транспортної споруди виконано із застосуванням програмного забезпечення Mac S-Design. Результати розрахунків наведено на рис. 4.



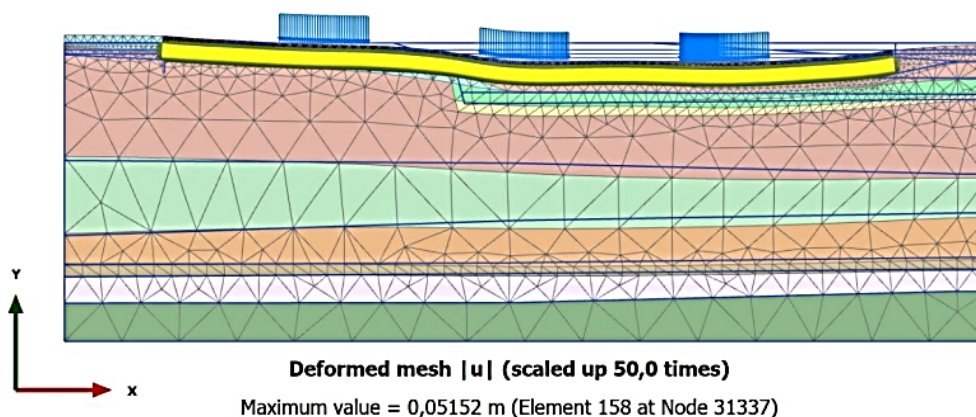
**Рисунок 4** – Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи  
**Figure 4** – Results of soil base stability calculations

Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи свідчать, що для забезпечення безпечного запасу міцності ґрунтової основи транспортної споруди достатньо застосувати три шари армуючої георешітки MacGrid® EG40 між зернистими шарами.

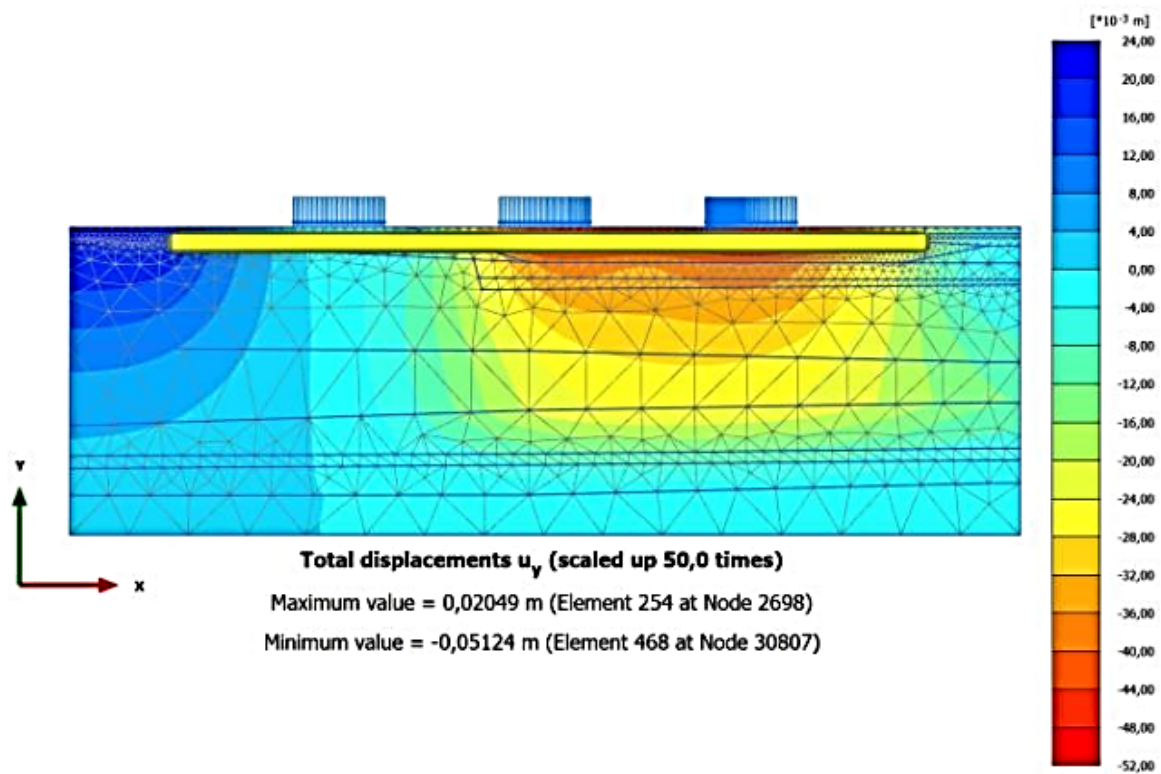
При цьому навантаження від верхньої будови розподіляється на нижню частину ґрунту та зменшується з збільшенням глибини.

Напруження, що витримує верхній шар георешітки складає 27,79 кПа, на середньому шарі георешітки напруження зменшується до 23,18 кПа, а на нижньому — до 20,14 кПа.

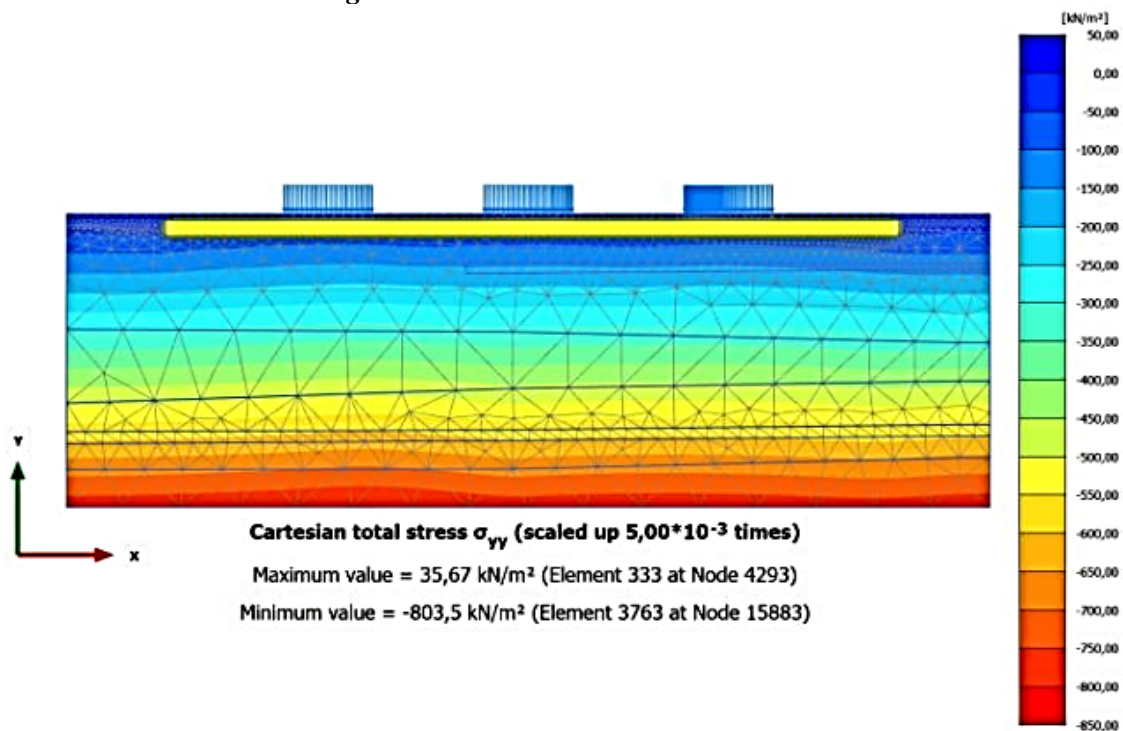
**Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи транспортної споруди.** Результати розрахунку напружено-деформованого стану транспортної споруди від рівномірно-розподіленого навантаження наведено на рис. 5–7.



**Рисунок 5** – Деформування основи від навантажень  
**Figure 5** – Deformation of the base due to loads



*Рисунок 6 – Ізополя вертикальних переміщень*  
*Figure 6 – Isofield of vertical movements*



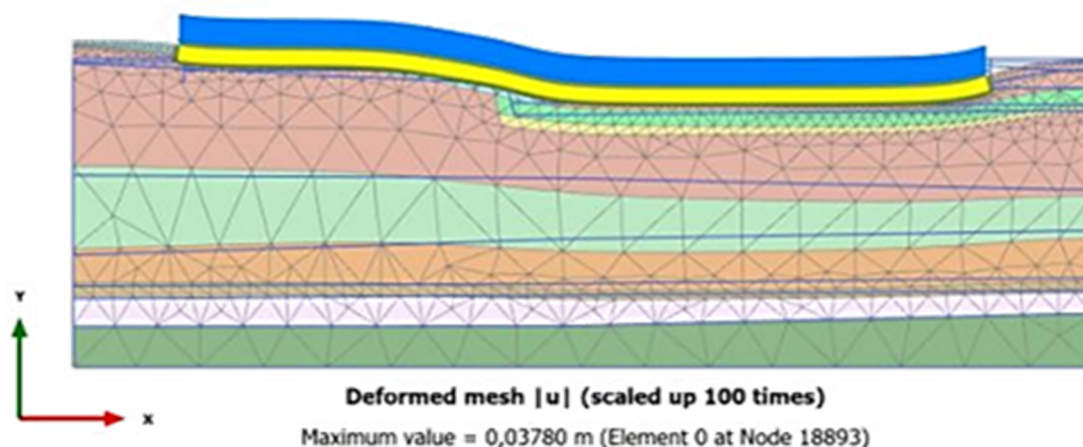
*Рисунок 7 – Ізополя повних вертикальних напружень*  
*Figure 7 – Isofield of total vertical stresses*



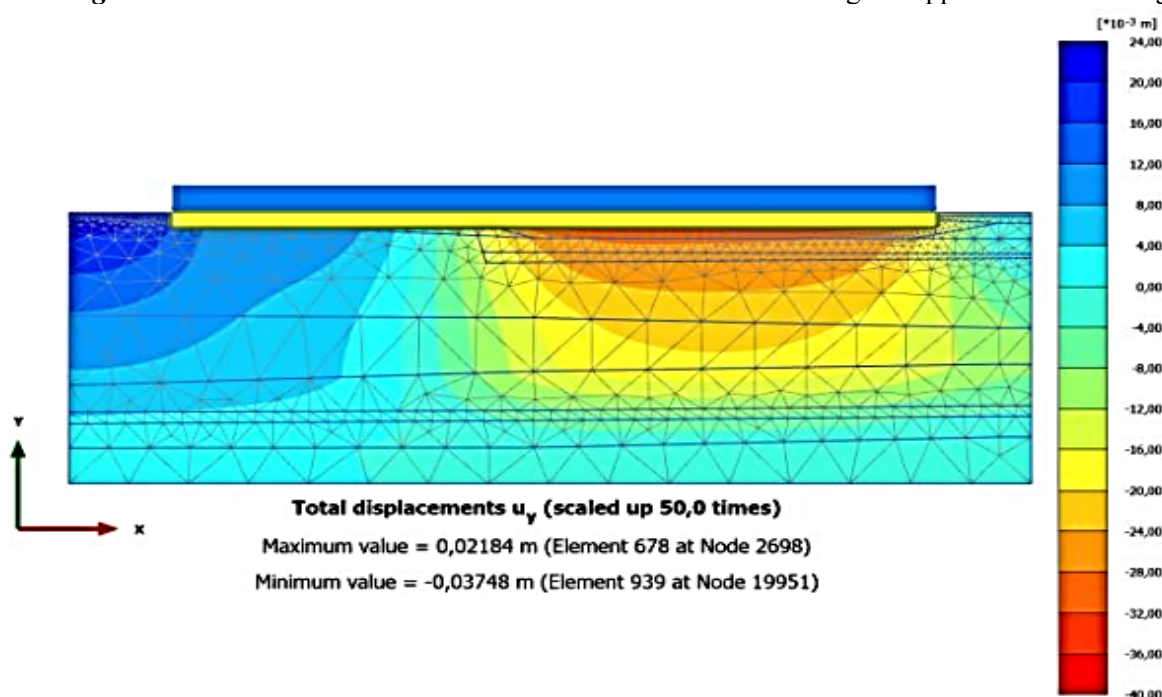
Із проведених результатів розрахунку встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. Це є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м<sup>2</sup>.

Для компенсації деформацій застосовуємо привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням 10 кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.

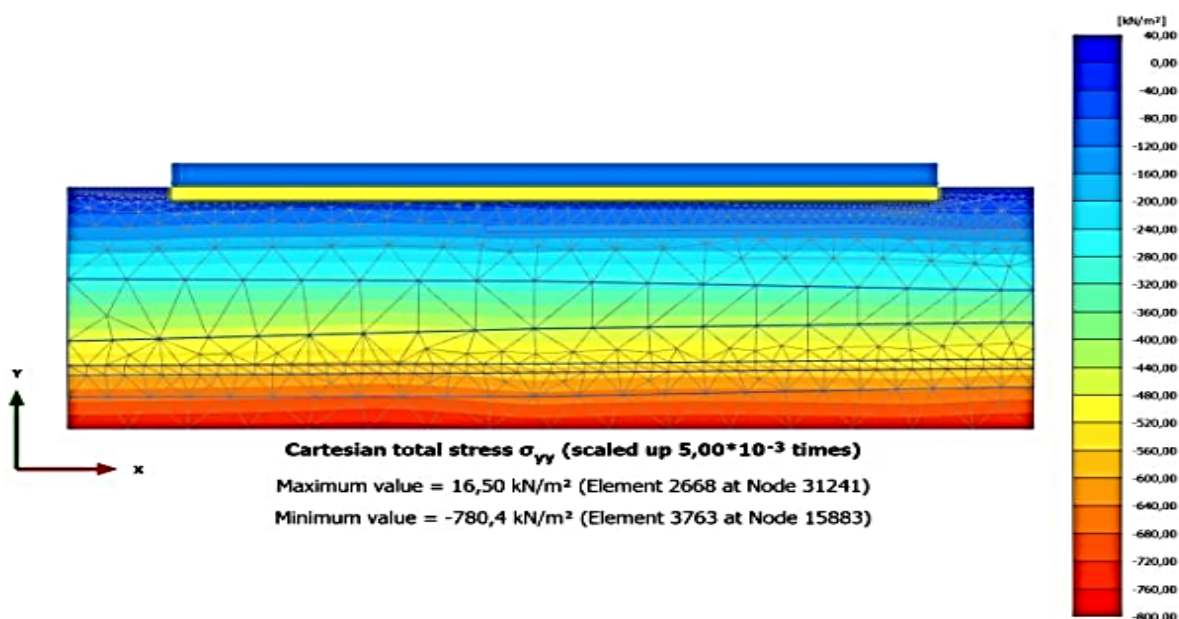
Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди із привантаженням 10 кН/м наведено на рис. 8–10.



**Рисунок 8** – Деформована схема основи споруди на етапі застосування привантаження  
**Figure 8** – Deformed scheme of the base of the structure at the stage of application of loading



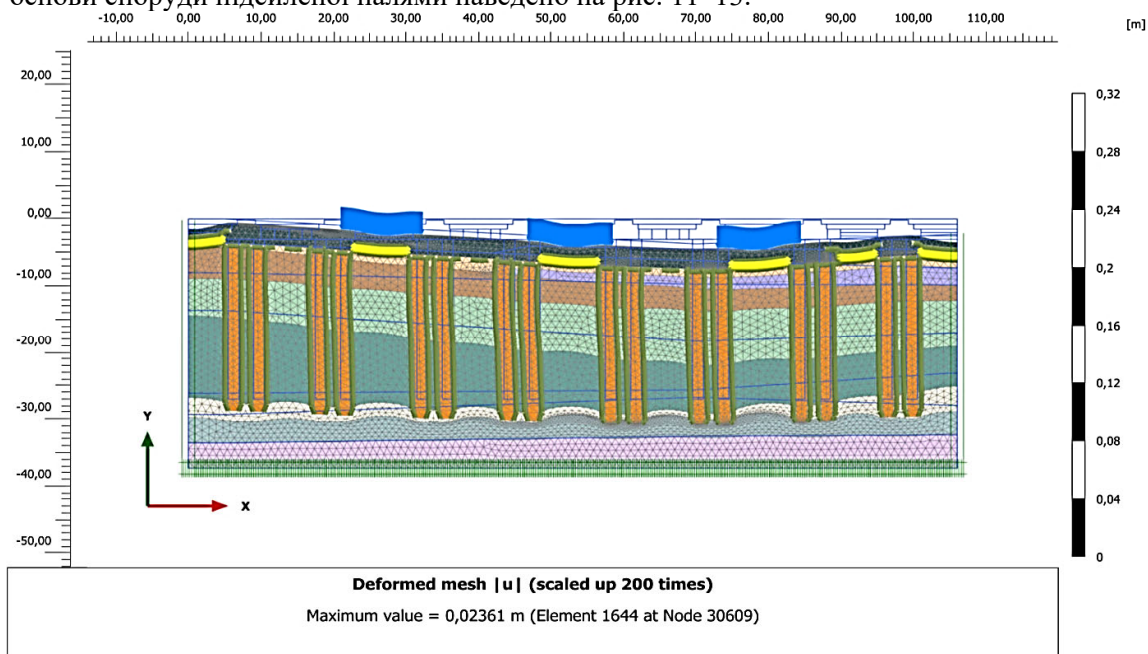
**Рисунок 9**– Ізополя вертикальних переміщень на етапі привантаження  
**Figure 9** – Isofield of vertical movements at the loading stage



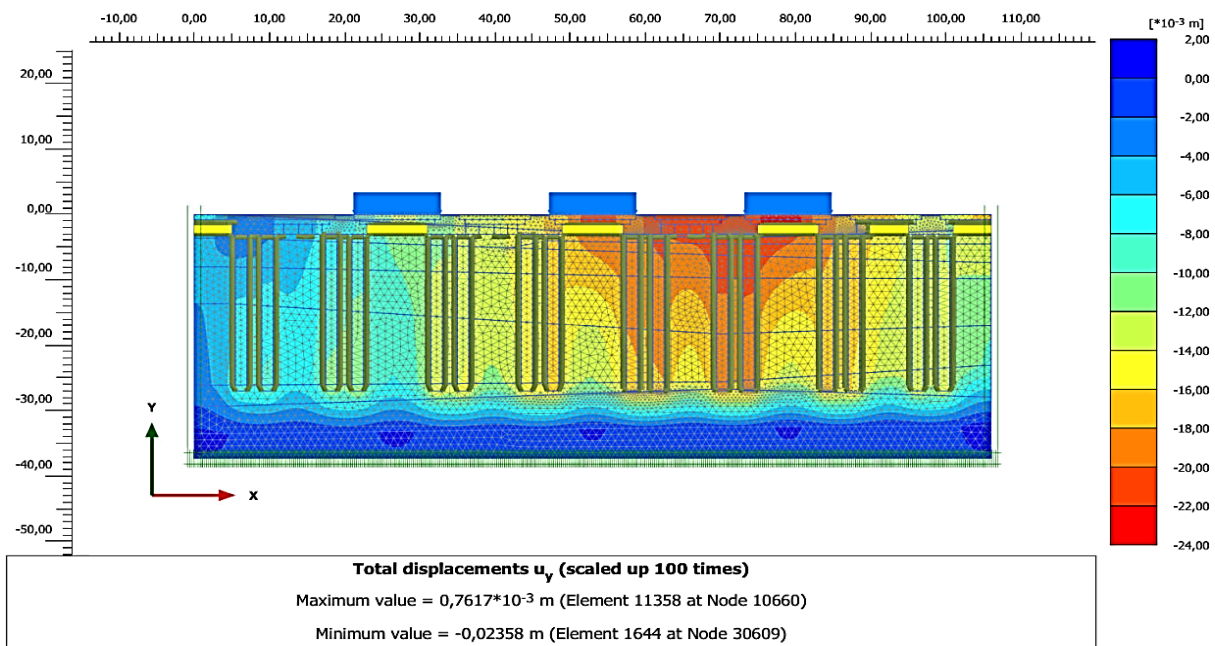
**Рисунок 10** – Ізополя повних вертикальних напружень на етапі застосування привантаження  
**Figure 10** – Isofield of total vertical stresses at the stage of load application

Із проведених результатів розрахунку встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 3,55 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. При цьому величина вертикальних напружень становить 780,4 кПа.

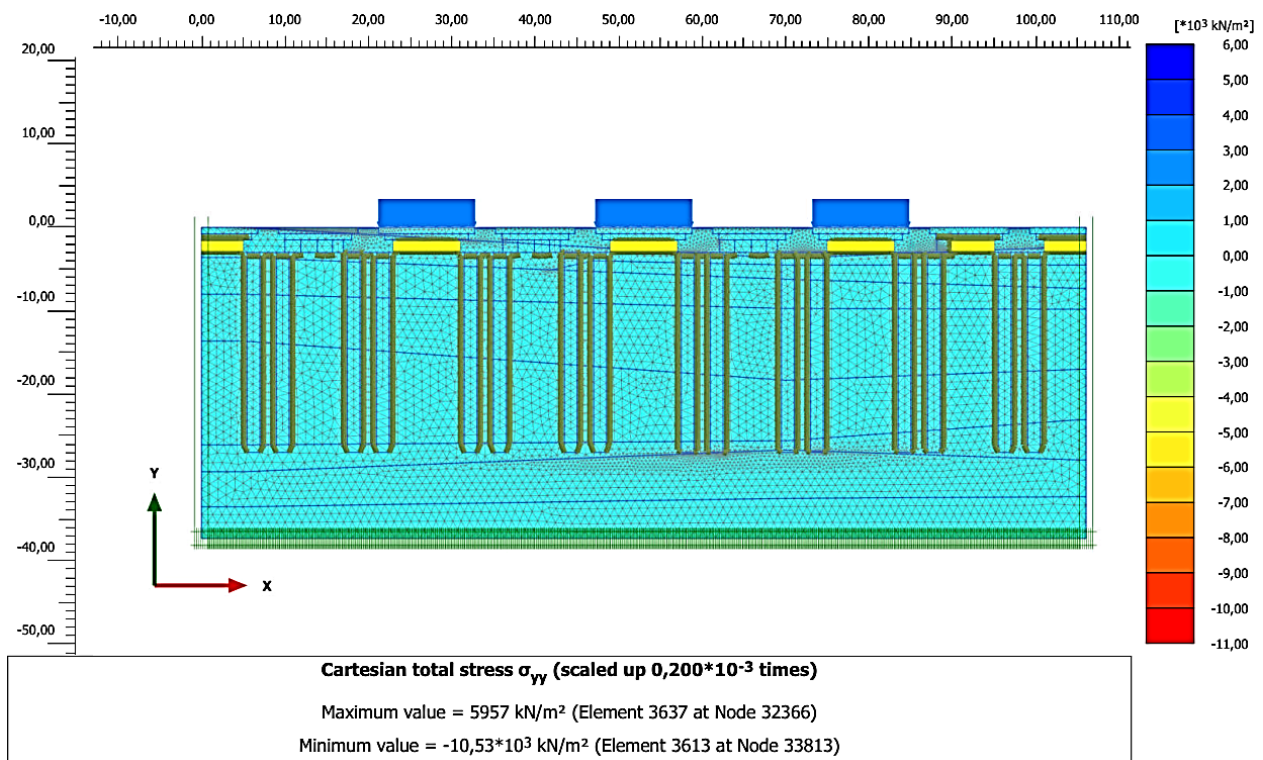
**Результат розрахунку напружено-деформованого стану основи підкріпленої палями при будівництві металевих гофрованих конструкцій.** Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди підсиленої палями наведено на рис. 11–13.



**Рисунок 11** – Деформована схема на етапі застосування навантаження  
**Figure 11** – Deformed diagram at the stage of load application



*Рисунок 12* – Ізополя вертикальних переміщень на етапі застосування навантаження  
*Figure 12* – Isofield of vertical movements at the stage of load application



*Рисунок 13* – Ізополя повних вертикальних напружень на етапі застосування навантаження  
*Figure 14* – Isofield of total vertical stresses at the stage of load application



Із проведених розрахунків встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень складає  $10,53 \cdot 10^3$  кПа.

**Обговорення результатів оцінки напружено-деформованого стану підсиленої тришарової труби.** Із аналізу науково-дослідних робіт [4–11] встановлено, що в основному є результати оцінки напружено-деформованого стану транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій де виконується оцінка міцності металевих конструкцій із врахуванням ґрунтової ущільнюючої засипки, параметрів хвиль гофр, навантажень тощо. Невирішеними залишилися задачі оцінки напружено-деформованого стану споруд із ЗМГК із врахуванням фізико-механічних параметрів основи транспортної споруди.

За даними статичного зондування та лабораторних досліджень ґрунтів встановлено, що в межах головної споруди та на прилеглий території розташовані перезволожені ґрунти з низькими показниками фізико-механічних властивостей ІГЕ-3. У процесі спорудження пальових фундаментів цей фактор може спричинити деформацію паль в інтервалі розповсюдження цих ґрунтів та призвести до перевитрат бетону і навіть до порушення цілісності паль.

У разі виникнення таких явищ, слід передбачити заходи для недопущення деформації паль, застосувавши в цих інтервалах захисні оболонки або інші заходи.

З цих самих причин, в даних ґрунтових умовах, не рекомендовано застосовувати бурюін'єкційні палі, технологія їх спорудження передбачає значні вібрації при зануренні каркасу, що неминуче призведе до деформації тіла палі.

Уразі, якщо нижче планувальної відмітки будуть зустрінуті ґрунти ІГЕ-2 або 2а, їх необхідно повністю замінити. Ґрунти заміни та ґрунти в основі пальових ростверків ретельно ущільнювати. Якість ущільнення перевіряти. При прийнятті рішення про необхідність видалення середньозаторфованих ґрунтів виконати дослідження на вміст органічної речовини. Ґрунти з домішками органічних речовин видаляти не обов'язково.

Забезпечити надійне і гарантоване відведення атмосферних опадів з поверхні території. Для зменшення швидкості підйому рівня ґрунтової води, у разі потреби, варто передбачити буріння та використання свердловини на воду, для господарських та побутових потреб, у процесі експлуатації споруди, з відбором води із шару пісків ІГЕ-5, 6.

Не застосовувати для зворотної засипки траншей, котлованів, пісок, він з часом може слугувати колектором для накопичення води, що, як наслідок, може призводити до поступового перезволоження природних ґрунтів і зниження їх фізико-механічних властивостей.

Для запобігання виникнення значного осідання ґрунтової основи та унеможливлення просідання та вздуття (випирання) ґрунтової основи пропонується армування та стабілізація ґрунтової основи геотекстильними матеріалами.

При значних навантаженнях на основу, може спостерігатися різка деформація основи, пов'язана з випиранням ґрунту з-під фундаментів.

Початкова стадія деформації основи відноситься до моменту відсипання та пересипання георешіток, в результаті чого відбувається скачок деформацій, що триває значний час. Підйом поверхні основи може відбуватися внаслідок пучення пилуватих суглинків та супісків, бічного випирання слабого ґрунту під дією великих навантажень.

Із проведених результатів розрахунку (рис. 5–7) встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. Це є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить  $803,5$  кН/м<sup>2</sup>.

Для компенсації деформацій застосовуємо привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням  $10$  кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.



При застосуванні паль (рис. 8–10) для підсилення основи на слабких ґрунтах встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

Таким чином, щоб не виконувати повну виїмку слабого ґрунту з послідуючою заміною на кращий ґрунт, необхідно влаштувати 2 шари геосинтетичної георешітки з поліестерового волокна з міцністю на розтяг не менше 300 кН/м в обох напрямках та відносним видовженням не більше 10 % з пересипкою та ущільненням зернистого матеріалу – суміші С7 (максимальна крупність зерна 40 мм)

Ґрунт засипки має бути з характеристиками не гірше значень ґрунту ПЕ1 (щільність 18,05 кН/м<sup>3</sup>, питоме зчеплення 11 кПа, кут внутрішнього тертя 16 град., модуль деформації 11 МПа).

Одним із обмежень проведених досліджень є розрахунок напружень та переміщень тільки у вертикальному напрямі інженерно-геологічного розрізу основи споруди. Тому подальшим продовженням науково-дослідної роботи є розвиток методів оцінки та підвищення несучої здатності слабких основ транспортних споруд із врахуванням комплексу факторів фізико-механічних параметрів ґрунтів основи та величин навантажень від транспортних засобів.

**Висновки.** Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи показали, що напруження, які витримує верхній шар георешітки складають 27,79 кПа, на середньому шарі георешітки напруження зменшуються до 23,18 кПа, а на нижньому — до 20,14 кПа.

При прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження величиною 30,11 кН/м<sup>2</sup> на основу споруди без підсилення максимальне значення переміщень склало 5,12 см, що є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м<sup>2</sup>.

При застосуванні паль для підсилення основи транспортної споруди на слабких ґрунтах результати розрахунків показали, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см. Це є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

#### Перелік посилань

1. The strength design of deeply buried circular corrugated steel arches with considering only soil radial restraining / Author links open overlay panel Hao-Jun Sun, Yan-Lin Guo, Chen-Bao Wen a, Jia-Qi Zuo, Qiang Zhao, Zhen-Guo Liu // *Thin-Walled Structures* Volume 183, February 2023, 110422

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122009740>

2. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov – 6/7 (84), 2016. – P. 4–10. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236>.

<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/84236>

3. Kovalchuk V. Study of the stress-strain state in defective railway reinforced concrete pipes restored with corrugated metal structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov. – 5/1 (89), 2017. – P. 37–44. doi: [10.15587/1729-4061.2017.109611](http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611).

<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/109611>

4. Performance of a Corrugated Metal Pipe with Shallow Burial Depth in Loosely Compacted Sand: Soil Box Test and 3D Finite Element Modeling / Hiramani Raj Chimauriya, Mehran Azizian, Samrat Raut, Mohammad Najafi, Xinbao Yu // *Transportation Geotechnics* Volume 43, November 2023, 101134

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391223002076>

5. Effects of embedded trench installations using expanded polystyrene geofom applied to buried corrugated steel arch structures / Ralph Raymond V. Santos, Junsuk Kang, Jong Sup Park // *Tunnelling and Underground Space Technology* Volume 98, April 2020, 103323

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779819300173>

6. Finite element analysis for deeply buried concrete pipes in proposed imperfect trench installations with expanded polystyrene (EPS) foams / Junsuk Kang // *Engineering Structures* Volume 189, 15 June 2019, Pages 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.083>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029618312823>

7. Machelski C. Deformation of buried corrugated metal box structure under railway load / C.Machelski, L. Korusiewicz // *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 16, 3, 2017, 191–201, DOI: 10.7409/rabdim.017.013.

<https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v16n3p191>

8. Beben D. Numerical analysis of a soil-steel bridge structure. *The Baltic journal of road and bridge engineering*. 2009 № 4 (1), 13-21.

<https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/1822-427X.2009.4.13-21>

9. Kareem Embaby. Investigation of bevel-ended large-span soil-steel structures / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // *Engineering Structures*. – Volume 267, 15 September 2022, 114658.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029622007544>

10. Performance of large-span arched soil–steel structures under soil loading / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // *Thin-Walled Structures*. – Volume 172, March 2022, 108884.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122000015>

11. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil / Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov. – 1/1 (91), 2018. – P. 18–26. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123002.

<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/123002>

## INCREASING THE BEARING CAPACITY OF THE FOUNDATION IN THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES FROM METAL CORRUGATED STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF WEAK SOILS

**Artur Onyshchenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Bridges and Tunnels

National Transport University Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: [onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com](mailto:onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com), tel.: +380687771899, <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Vitalii Kovalchuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Railway Transport Lviv

Polytechnic National University S. Bandery str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, e-mail: [kovalchuk.diit@gmail.com](mailto:kovalchuk.diit@gmail.com), tel.: +380972237243, <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

**Ihor Karnakov**, Postgraduate student, Department of Bridges and Tunnels National Transport

University, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: [ihor.karnakov@gmail.com](mailto:ihor.karnakov@gmail.com), tel.: +380505235136, <http://orcid.org/0000-0002-8751-9934>

**Mykola Harkusha**, PhD, Department of Bridges and Tunnels National Transport University Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: [nicolas89@bigmir.net](mailto:nicolas89@bigmir.net), tel.: +380966287905, <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

**Yuliia Balashova**, candidate of science (technical), associate professor, associate professor of the department of highways, geodesy and land management at the Ukrainian State University of Science and Technologies ESI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», e-mail: [yuliabalashova72@gmail.com](mailto:yuliabalashova72@gmail.com), tel. +380507865446, Ukraine, 49600, Dnipro, 24-a, Architect Oleg Petrov St., of. 421, <https://orcid.org/0000-0002-2286-9263>

**Summary.** The article is devoted to conducting research aimed at increasing the load-bearing capacity of foundations during the construction of structures made of metal corrugated structures.

The purpose of the work is to increase the load-bearing capacity of the foundations during the construction of structures made of metal corrugated structures on weak soils. This will make it possible to ensure the reliable and long-lasting operation of transport structures made of prefabricated metal corrugated structures during the construction and operation of structures.

The object of research is the foundation of a transport structure made of metal corrugated structures in the conditions of weak soils.

A study of the stress-deformation state of the foundation of a transport structure made of metal corrugated structures under the conditions of weak soils was carried out, taking into account the parameters of the soils obtained in the process of engineering-geological sectioning.

It is proposed to strengthen the base of the structure on weak soils by the method of installing reinforced concrete piles. The results of calculations of the stress-strain state of the base without reinforcement showed that the maximum value of the total displacements is about 5.12 cm, which is unacceptable in terms of deformations for a concrete coating. At the same time, the value of vertical stresses is 803.5 kN/m<sup>2</sup>. Therefore, to compensate for the initial deformations, it is recommended to apply a load on the entire area of the site with a load of 10 kN/m. Due to the loading, we maximally remove stress and deformation before arranging the structures of the building.

When using piles to strengthen the base on weak soils, it was found that the maximum value of the total displacements at the stage of loading was 2.36 cm, which is permissible in terms of deformations for a concrete coating.

It was established that the main risks in the construction of transport facilities on weak soils are deformations of the soil base. They can appear during the transmission of forces from the transport structure and variable loads, as well as from changes in the physical and mechanical properties of the foundation soils during the construction and operation of the structure.

**Key words:** transport structure, metal corrugated structures, base, stress, deformations.

### References

1. The strength design of deeply buried circular corrugated steel arches with considering only soil radial restraining / Author links open overlay panel Hao-Jun Sun, Yan-Lin Guo, Chen-Bao Wen a, Jia-Qi Zuo, Qiang Zhao, Zhen-Guo Liu // *Thin-Walled Structures* Volume 183, February 2023, 110422  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122009740>
2. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta // *Eastern-European Journal*

of Enterprise Technologies. – Kharkov – 6/7 (84), 2016. – P. 4–10. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236>.

<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/84236>

3. Kovalchuk V. Study of the stress-strain state in defective railway reinforced concrete pipes restored with corrugated metal structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 5/1 (89), 2017. – P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109611.

<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/109611>

4. Performance of a Corrugated Metal Pipe with Shallow Burial Depth in Loosely Compacted Sand: Soil Box Test and 3D Finite Element Modeling / Hiramani Raj Chimauriya, Mehran Azizian, Samrat Raut, Mohammad Najafi, Xinbao Yu // Transportation Geotechnics Volume 43, November 2023, 101134

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391223002076>

5. Effects of embedded trench installations using expanded polystyrene geofabric applied to buried corrugated steel arch structures / Ralph Raymond V. Santos, Junsuk Kang, Jong Sup Park // Tunnelling and Underground Space Technology Volume 98, April 2020, 103323

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779819300173>

6. Finite element analysis for deeply buried concrete pipes in proposed imperfect trench installations with expanded polystyrene (EPS) foams / Junsuk Kang // Engineering Structures Volume 189, 15 June 2019, Pages 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.083>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029618312823>

7. Machelski C. Deformation of buried corrugated metal box structure under railway load / C. Machelski, L. Korusiewicz // Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 16, 3, 2017, 191–201, DOI: 10.7409/rabdim.017.013.

<https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v16n3p191>

8. Beben D. Numerical analysis of a soil-steel bridge structure. The Baltic journal of road and bridge engineering. 2009 № 4 (1), 13–21.

<https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/1822-427X.2009.4.13-21>

9. Kareem Embaby. Investigation of bevel-ended large-span soil-steel structures / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // Engineering Structures. – Volume 267, 15 September 2022, 114658.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029622007544>

10. Performance of large-span arched soil-steel structures under soil loading / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // Thin-Walled Structures. – Volume 172, March 2022, 108884.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122000015>

11. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil / Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 1/1 (91), 2018. – P. 18–26. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123002.

<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/123002>

*Дата надходження до редакції 01.04.2024.*