

**ГНУЧКІ ПЛАСТИНКОВІ АНКЕРИ ЯК ЗАСІБ АНКЕРУВАННЯ СТРИЖНІВ В МАСИВІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ**

**FLEXIBLE LAMELLAR ANCHOR AS A MEANS OF ROD ANCHORING IN THE MASS OF CELLULAR CONCRETE**

**Фамуляк Ю.Є., к.т.н., доцент, (Львівський національний аграрний університет, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;**

**Демчина Б.Г., д.т.н., професор, (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>**

**Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Agrarian University, Dublyany), Demchyna B., doctor of technical sciences, professor (National University «Lviv Polytechnic», Lviv),**

**Будівельна індустрія широко використовує ніздрюваті бетони. Один з недоліків такого бетону: це його не надто висока механічна міцність, що утруднює процес анкерування стрижнів в масиві ніздрюватого бетону. В статті описані та проаналізовані результати експериментально-теоретичних досліджень анкерування металевих стрижнів за допомогою гнучких пластинкових анкерів різної форми.**

**Since some decades, building industry of many countries, including Ukraine, has widely used cellular concrete in residential and industrial constructions. The most popular kinds include foam concrete and autoclaved aerated concrete. Items of such concretes are light, not expensive, with simple production technology, sufficient thermal and sound insulating characteristics, environmentally safe. Besides, they can be easily mechanically processed, particularly, sawed, drilled, milled, etc. Those properties enable sufficient reducing of construction costs. Elements and materials of cellular concrete are used for laying of external and internal walls, partitions, for thermal isolation of roofs, upper store, floor, for filling of space, for sound proof of reinforced ceiling and others, previously inaccessible places and fields. It is also necessary to mark one of the most important drawbacks of such concrete, i.e. its not high mechanical strength. Thus, reinforcing such concrete with various rod armature, one faces the problem of rod anchoring in the mass of cellular concrete. A constructive solution of the problem would considerably extend the field of safe use of the elements of cellular concretes, particularly in case of passing construction elements. The article describes and analyzes results of experimental researches of metal rods anchoring with flexible lamellar anchors of various form. To determine “net” operation of anchors, linkage of a rod with the mass of cellular concrete has been maximum reduced. Results of experimental researches confirm a possibility**

## **and expediency to apply such kind of rod armature anchoring in the elements of cellular concretes.**

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, пластинковий анкер, форма, міцність, деформативність.

Cellular concrete, lamellar anchor, form, strength, stress-strain behavior.

**Вступ.** Позитивні результати експериментальних досліджень та вдалий виробничий досвід зробив можливим широко застосовувати та використовувати у будівельній практиці України, Польщі, Німеччини та інших зарубіжних країн вироби з ніздрюватих бетонів [1-3, 9]. Тут ніздрюваті бетони застосовують як у житловому, так і в громадському та промисловому будівництві.

Найбільш популярними серед ніздрюватих бетонів у будівництві є піно- та газобетони. Вироби та матеріали з ніздрюватих бетонів використовують для мурування зовнішніх та внутрішніх стін, перегородок, з них влаштовують теплоізоляції покрівель, горищ, підлог, заповнюють пустоти, виконують звукоізоляцію залізобетонного перекриття [4, 5]. Серед переваг виробів з піно- та газобетонів потрібно відмітити їх легкість, достатньо низьку вартість, добрі тепло- та звукоізоляційні властивості, вони екологічно безпечні; окрім того, їх можна легко додатково механічно обробляти, тобто: пиляти, свердлити, фрезерувати тощо.

Основним недоліком ніздрюватих бетонів є їх крихкість і не надто висока механічна міцність і тому без додаткових, як традиційних так і не традиційних засобів [6, 7], які би сприймали розтягувальні зусилля, їх важко використовувати як пролітні згинані конструкції. Те саме можна сказати і про центральні чи позацентрові стиснуті конструктивні елементи – вони вимагають встановлення засобів, які би сприймали стискальні зусилля. Як було сказано вище, низька механічна міцність ніздрюватих бетонів вимагає надійного анкерування робочого армування в масиві такого бетону [8], що є певною проблемою. Одним з варіантів анкерування арматурних стрижнів в крихких, не надто міцних середовищах може бути встановлення на кінці стрижня на торці конструкції пластинкового анкера, який за рахунок збільшення площі зминання під анкером дозволяє виключити висмикування арматурного стрижня з масиву ніздрюватого бетону.

**Аналіз останніх досліджень.** Все частіше сьогодні в будівництві застосовують вироби з піно- та газобетону не лише у вигляді дрібноштучних елементів, а й як пролітні конструкції. Водночас у таких конструкціях здебільшого використовують традиційну стрижневу сталеву арматуру. Відповідаючи на запити сьогодення, науковці активно вивчають цю проблему у своїх дослідженнях. Щодо сучасних наукових шкіл, які вивчають легкі ніздрюваті бетони в Україні, варто відзначити школи, сформовані в містах Одесі (під керівництвом В.А. Вознесенського, О.С. Шинкевича, В.І. Мартинова, В.М. Вирового, А.І. Костюка та ін.), Дніпропетровську (під керівництвом А.П. Приходька), Києві (П.В. Кривенко) та Львові (М.А. Саницький, Б.Г. Демчина). Якщо ж говорити про армовані конструкції з піно-

та газобетону, то тут варто виокремити дослідження науковців, які працювали над цією проблемою зі середини ХХ століття, а саме: П.А. Теслер, Є.Н. Добринін, В.А. Пінскер, К.М. Романовська, Н.І. Левін, В.В. Макаричев, М.Я. Кривицький, Б.П. Філіпов, О.П. Вінокуров, Є.М. Бабич, В.С. Пісарєв, А.Г. Почтенко та ін. Хоча дослідженню пролітних конструкцій з ніздрюватих бетонів все-таки приділяли недостатньо уваги, і тому питання надійного заанкерення стрижнів арматури в масиві такого бетону так до кінця і не вивчене.

**Постановка мети і задач досліджень.** Метою нашого дослідження є виявлення найоптимальнішої форми пластинкового анкера, який можна використовувати для анкерування арматурних стрижнів в масиві ніздрюватого бетону. Для досягнення мети передбачено виконання наступних задач: провести експериментальні дослідження роботи пластинкового анкера різної форми в масиві газобетону, виконати комп'ютерне моделювання такого процесу.

**Методика досліджень.** Для дослідження впливу форми пластинкового анкера на його роботу при закріпленні ним стрижнів армування в масиві ніздрюватого бетону було проведено ряд експериментів. Для вивчення такого впливу використали газобетонний блок фірми YTONG з якого були вирізані кубики розміром  $115 \times 120 \times 120$  мм. Кубики виготовляли з газобетонного блоку марки D400 за середньою щільністю.

До початку випробувань додатково визначали міцнісні характеристики газобетону на стиск. Випробування проводились на лабораторному пресі П-125 (рис. 1). З цієї метою з газобетонного блоку вирізали 3 кубики розміром  $100 \times 100 \times 100$  мм. За результатами випробувань була отримана середня міцність на стиск газобетону марки D400, яка становила 1,96 МПа.

Пластинкові анкери виконували із звичайної листової вуглецевої сталі товщиною 2 мм. Форма анкерів була наступною: круг, квадрат та рівносторонній трикутник. Площа пластинкових анкерів дорівнювала  $1600 \text{ мм}^2$ .

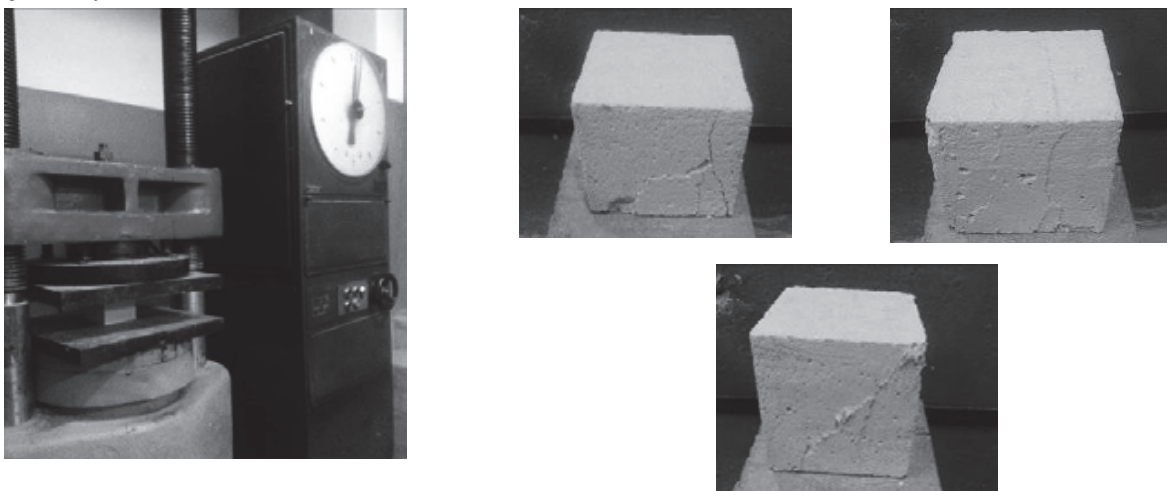


Рис. 1. Визначення міцності газобетону на стиск на лабораторному пресі П-125 та вигляд газобетонних кубиків після випробування

Експериментальні дослідження проводились на стенді у вигляді балки-траверси, виготовленої відповідно до досліджень викладених у дисертації

Верби В.Б. [8]. Такий вид випробувального стенду виключав ряд недоліків, які присутні при інших способах експериментальних досліджень [8]. Балка-траверса (рис. 2) представляла собою дві спарені металеві труби діаметром 90 мм, які були підібрані з умови забезпечення достатньої жорсткості та були з'єднані між собою із зазором 20 мм між ними. Балка-траверса одним кінцем спиралась на циліндричну опору, а іншим на домкрат, що спирався на жорстку основу.

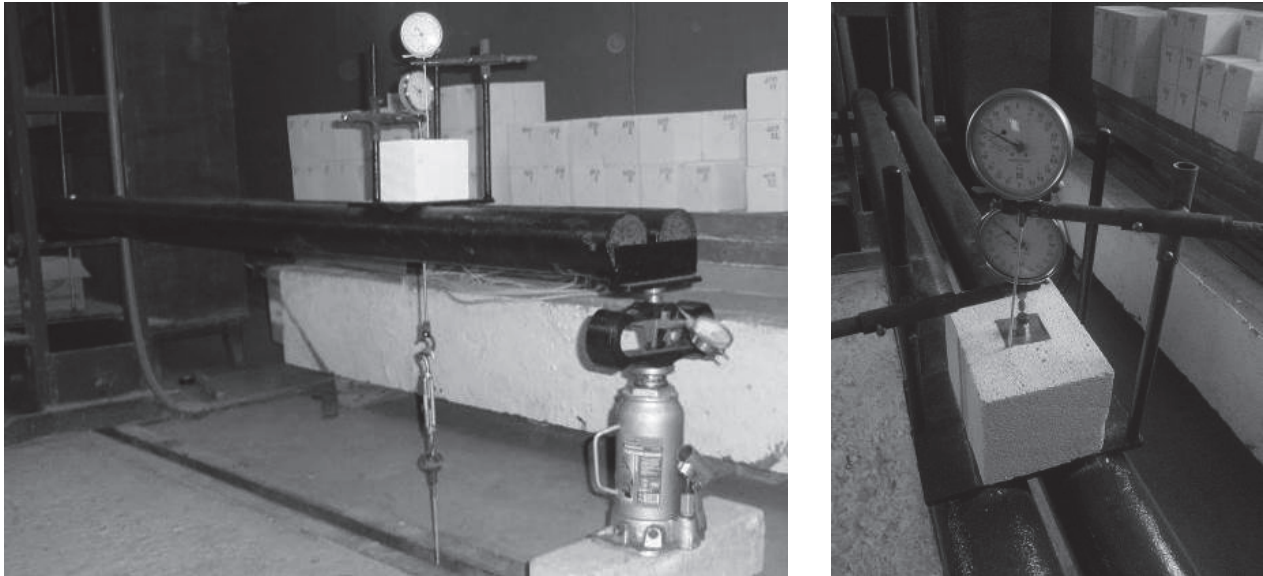


Рис. 2. Балка-траверса для проведення експериментальних досліджень

На робочу частину домкрата був встановлений пружинний динамометр для фіксації величини прикладеного навантаження. Поверх динамометра були укладені парні сталеві пластини з виїмкою та металевою кулькою між ними, що моделювали шарнір. Досліджуваний газобетонний кубик встановлювали на опорну пластину балки-траверси. Посередині опорної пластини був просвердлений отвір достатнього діаметру для пропуску різьбової тяги, яка за допомогою талрепа та нижньої тяги кріпилась до силової підлоги. Різьбову тягу пропускали через наскрізний отвір в досліджуваному кубіку і випускали вище кубика на 15...20 мм. За допомогою двох гайок, поверх досліджуваного газобетонного кубика, фіксували пластинковий анкер. Мікроіндикатори годинникового типу закріплювались за допомогою фіксуючих пристроїв і слугували для вимірювання переміщень центру ваги пластинкового анкера та у максимально віддаленій від центра точці. Центрами ваги пластинкових анкерів були наступні точки: для круглої форми – центр круга, для квадратної форми – точка перетину діагоналей, для трикутної форми – точка перетину медіан. Найбільш віддаленими від центра ваги точками приймали: для круглої форми – довільна точка біля обідка круга, для квадратної форми – вершина квадрата, для трикутної форми – вершина трикутника.

Дослідження роботи пластинкового анкера при анкеруванні арматурних стрижнів в масиві газобетону зводилось до заміру величини переміщення



центральної та найбільш віддаленої від центра частини анкера відносно масиву газобетону залежно від прикладеного до різьбової тяги навантаження. Розрахунок навантаження на тягу (центр ваги пластинкового анкера) проводили за формулою:  $N = R_o(1500+500)/1500 = R_o \cdot 1,33$ , де  $R_o$  – реакція опори від навантаження  $N$ , яку визначали пружинним динамометром, 1500 мм – віддаль від різьбової тяги до осі циліндричної опори, 500 мм – віддаль від різьбової тяги до осі домкрата.

В процесі дослідження навантаження прикладали ступінчате, з витримкою на кожному етапі по 5...10 хв. для визначення зміщень пластинкових анкерів відносно масиву газобетону. Експеримент завершувався в момент значного зростання зміщень центральної частини пластинкового анкера без збільшення зовнішнього навантаження.

Моделювання роботи пластинкових анкерів проводилось з використанням комп'ютерного програмного комплексу SolidWorks, що дозволило отримати результати роботи пластинкових анкерів інших форм. Зокрема було промодельовано роботу пластинкових анкерів наступних форм: круг, круг з двома круговими вирізами, круг з трьома круговими вирізами, круг з чотирма круговими вирізами, квадрат, рівносторонній трикутник, z-подібний анкер, овал, ромб. Для визначення оптимальної форми пластинкового анкера площа всіх анкерів приймалась однаковою і дорівнювала 1600 мм<sup>2</sup>. В процесі моделювання, до центральної частини анкера прикладалась сила 1500 Н, а результатом моделювання були максимальні напруження в пластинковому анкері, максимальні напруження в масиві газобетону і деформації газобетону під анкером.

**Результати досліджень.** Як і передбачалось, в процесі експериментальних досліджень пластинкові анкери продавлювали масив газобетонного кубика, залишаючи на його поверхні відбиток характерної форми, що відповідав формі пластинкового анкера та добре видно на рис. 3.

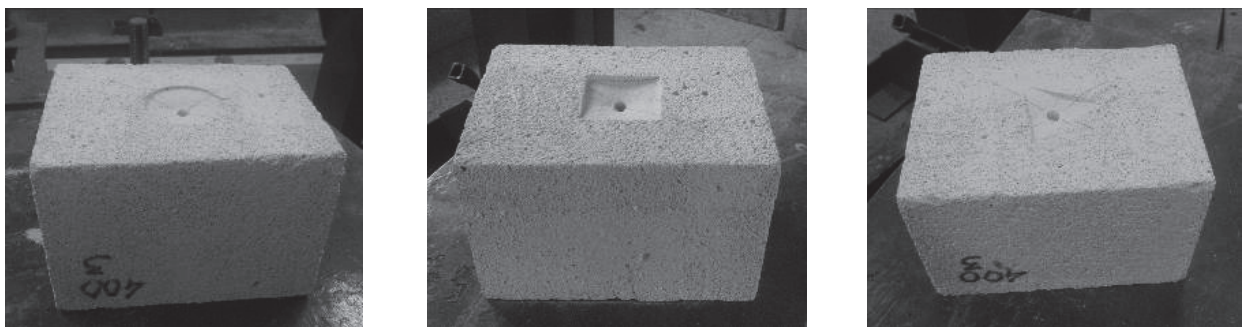


Рис. 3. Вигляд дослідних газобетонних кубиків після проведення експерименту

Щодо максимального навантаження, яке сприймали газобетонні кубики, то результати були наступними: для круглого анкера – максимальне навантаження дорівнювало 3,36 кН; для квадратного анкера – 3,46 кН; для трикутного анкера – 3,26 кН.

В процесі експерименту відслідковували також і переміщення анкера в центральній і найбільш віддаленій від центра частині анкера (див. рис. 4).

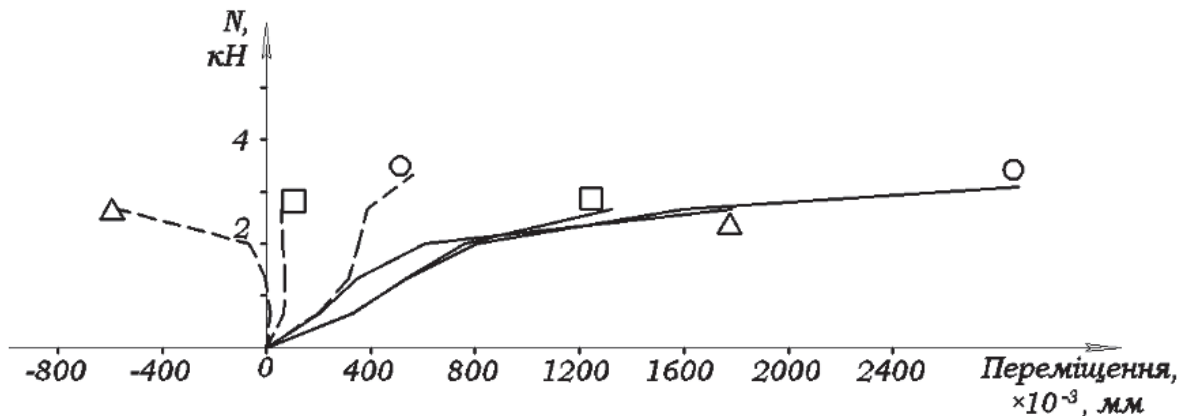


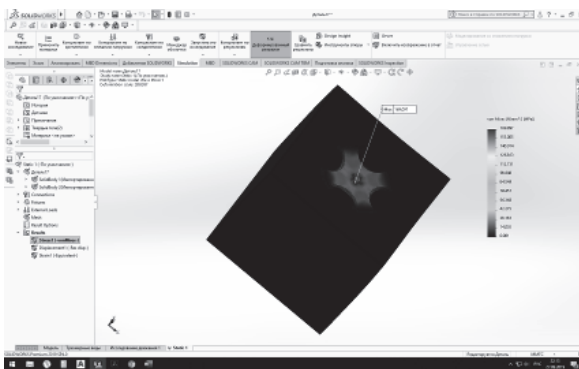
Рис. 4. Зміна величини переміщення пластинкового анкера залежно від прикладеного навантаження, марки газобетону, площі та форми анкера:

- центральна частина анкера;
- - - - - найбільш віддалена від центра частина анкера

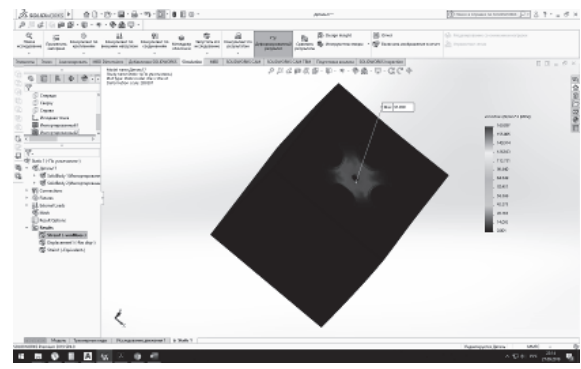
Експериментальні дослідження засвідчили наступне:

- ✓ за сприйняттям навантаження найкращою є квадратна форма пластинкового анкера;
- ✓ в процесі завантаження анкера центральна частина анкера більше занурюється вглиб газобетону;
- ✓ трикутний анкер на початкових стадіях завантаження вглиб газобетону занурюється більш повільно, але вигин країв проходить набагато інтенсивніше. Це зменшує площу сприйняття навантаження і тому максимальне навантаження, що сприймається масивом газобетону є меншим.

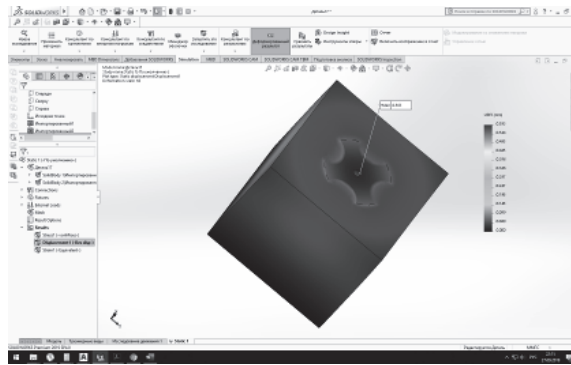
Комп'ютерне моделювання пластинчатих анкерів різної форми підтвердили результати експериментальних досліджень. Завдяки програмному комплексу SolidWorks було отримано числові значення напружень та деформацій пластинкового анкера та масиву ніздрюватого бетону за однакових рівнів навантаження (рис. 5).



а)



б)



в)

Рис. 5. Результат моделювання роботи пластинкового анкера круглої форми з чотирма круговими вирізами:

а) напруження в пластинковому анкері; б) напруження в масиві ніздрюватого бетону; в) деформації в масиві ніздрюватого бетону

Як і в результаті експериментальних досліджень, найоптимальнішою формою пластинкового анкера виявилась квадратна форма. За однакових рівнів завантаження напруження в такому анкері виникали найменші, хоча напруження в масиві ніздрюватого бетону були лише на 5% більшими ніж у випадку анкера круглої форми. Щодо деформацій ніздрюватого бетону, то найменшими вони були при моделюванні круглого анкера з чотирма круговими вирізами, але враховуючи трудомісткість виготовлення такого анкера він не може бути найоптимальнішим. Результати моделювання представлені на графіках на рис. 6, 7.

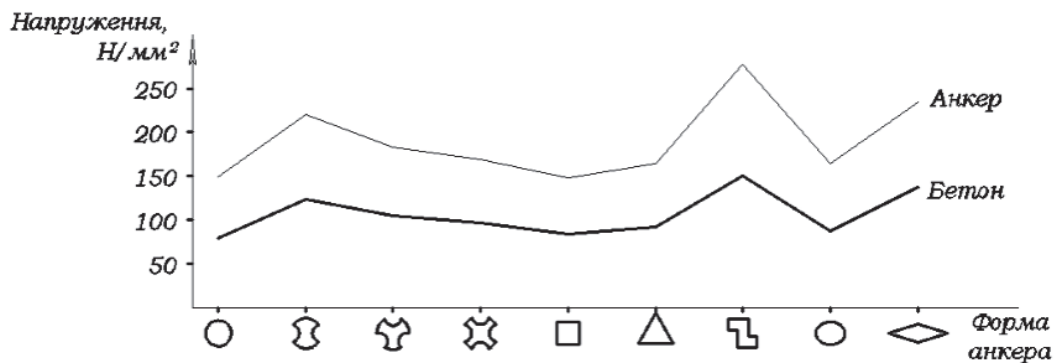


Рис. 6. Напруження в пластинковому анкері та під анкером в масиві ніздрюватого бетону

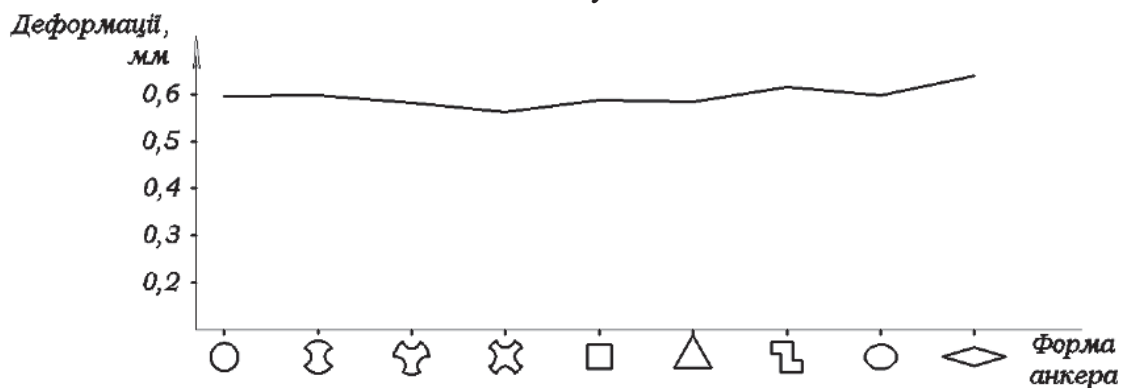


Рис. 7. Деформації під анкером в масиві ніздрюватого бетону

**Висновки.** На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень можна стверджувати наступне:

1. Форма пластинкового анкера для анкерування арматурних стрижнів в масиві ніздрюватого бетону впливає: на величину зусилля його продавлювання, на напруження, що виникають в анкері та під анкером в масиві ніздрюватого бетону.

2. Гострі кути пластинкових анкерів погіршують роботу таких анкерів та призводять до швидшого руйнування масиву ніздрюватого бетону.

3. Найбільш оптимальною формою пластинкового анкера серед запропонованих форм є квадратна форма анкера за однакових експлуатаційних умов.

1. Ніздрюваті бетони: вчора, сьогодні, завтра [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://eco-ua.org/index.php?d\\_id=5&item=articles&sub=4830](http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830) - Назва з титул, екрану.

Nizdriuvati betony: vchora, sohodni, zavtra [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: [http://eco-ua.org/index.php?d\\_id=5&item=articles&sub=4830](http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830) - Nazva z tytul, ekranu.

2. Бабич Е. М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. Київ: Выща школа, 1988. 207 с.

Babych E. M. Konstruktsyy yz lehkykh betonov na porystykh zapolnyteliakh. Kyiv: Vyshcha shkola, 1988. 207 s.

3. Исследование ячеистых бетонов и конструкций: сборник науч. тр./гл. ред. Серых Р. Л.; ред. Муромский К. П. Москва: НИИЖБ, 1989. 111 с.

Yssledovanye yacheystykh betonov y konstruktsii: sbornyk nauch. tr./hl. red. Seryykh R. L.; red. Muromskiy K. P. Moskva: NYYZhB, 1989. 111 s.

4. Опекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. Київ: Академія будівництва України, 2006. 85 с.

Opiekunov V. V. Porysti kompozytsiini materialy ta yikh vykorystannia u budivnytstvi. Kyiv: Akademiia budivnytstva Ukrainy, 2006. 85 s.

5. Паплавскис Я., Новикс Ю. Теплотехнические свойства стен из ячеистого бетона. Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. Сборник науч. трудов. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. Вып. 2. С. 193-196.

Paplavskys Ya., Novyks Yu. Teplotekhnicheskiye svoistva sten yz yacheystoho betona. Teoryia y praktyka proyzvodstva y prymeneniya yacheystoho betona v stroytelstve. Sbornyk nauch. trudov. Dnepropetrovsk: PHASA, 2005. Выр. 2. S. 193-196.

6. Famulyak Yu., Burchenya S., Mazurak T. et all. Zastosowanie niekonwencjonalnego zbrojenia w elementach piano- i gazobetonowych. 61 Konferencja Naukowa Komitetu Inzynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, 20-25 września 2015, Bydgoszcz-Krynica: Wybrane zagadnienia konstrukcji i materialow budowlanych oraz geotechniki. – Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2015. S. 45-53.

7. Famulyak Yu., Sobczak-Piąstka Ju. Badania doświadczalne zginanych belek wykonanych z betonów lekkich zbrojonych siatką spawaną. 62 Konferencja Naukowa Komitetu Inzynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, 11-16 września 2016, Bydgoszcz-Krynica: Czasopiśmo Inzynierii Lądowej, Środowiska i Architek-tury,



Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. Kwartalnik tom XXXIII, zeszyt 63 (nr 1/1/2016), styczeń-marzec, Rzeszów, 2016. S. 405-414.

**8.** Анкерування сталеві арматури в безавтоклавному пінобетоні за рахунок зчеплення та пластинкових анкерів: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 [Текст] / В.Б. Верба; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів., 2012. – 20 с.

Ankeruvannia stalevoi armatury v bezavtoklavnomu pinobetonі za rakhunok zchepлення ta plastynkovykh ankeriv: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 [Tekst] / V.B. Verba; Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika». – Lviv., 2012. – 20 s.

**9.** Y.H. Mugahed Amran, Nima Farzadnia, A.A. Abang Ali. Properties and applications of foamed concrete; a review. Construction and Building Materials. Volume 101, Part 1, 30 Desember 2015. P. 990-1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>.