

НЕТРАДИЦІЙНЕ АРМУВАННЯ В ОДНОРІДНИХ ПРОЛІТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ З НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ

UNCONVENTIONAL REINFORCEMENT IN HOMOGENEOUS SPAN ELEMENTS FROM CELLULAR CONCRETE

Фамуляк Ю.Є., к.т.н., доцент, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), orcid.org/0000-0003-3044-5513;

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

Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor (Lviv National Environmental University, Dublyany), orcid.org/0000-0003-3044-5513;

Demchyna B., doctor of technical sciences, professor (National University «Lviv Polytechnic», Lviv), orcid.org/0000-0002-3498-1519

Ніздрюваті бетони належать до крихких матеріалів, які без додаткового армування неможливо використовувати як пролітні конструкції. Наявні дослідження та розробки стосуються переважно традиційного армування сталевую стрижневою арматурою, яка за рахунок своєї високої міцності використовується лише на 10-20%. Використання нетрадиційного армування дозволяє більш повно використати запас міцності матеріалу такого армування.

Nowadays, cellular concrete products are becoming more and more widely used in construction practice. The most common types of such concrete are foam concrete and aerated concrete. These types of concrete belong to fragile materials that cannot be used as span structures without additional reinforcement, which is important in the construction industry. Existing research and development concerns mainly traditional reinforcement with steel rod reinforcement. As you know, metal reinforcement has a fairly high strength, and therefore, when using it in structures made of cellular concrete, its strength is used only by 10-20%. The use of unconventional reinforcement allows to more fully use the margin of strength of the material of such reinforcement, reduce the cost of the structure by reducing the cost of unconventional reinforcement compared to metal rod reinforcement. Not enough attention was paid to the study of span structures made of cellular concrete, and the issue of the use of unconventional reinforcement in such structures was practically not considered and therefore not studied to the end. The task of our study is to substantiate the possibility of using unconventional reinforcement of biological or organic origin in span structures made of

cellular concrete, which would be an effective substitute for steel rod reinforcement. In order to study the possibility of using such reinforcement in span structural elements made of cellular concrete, experimental studies of experimental beam samples were conducted. Materials of biological origin (flax rope, reed stalks, strips of bamboo stems), organic origin (kapron rope) and various types of mesh (metal welded and metal through-extraction) were used as working reinforcement in the experimental samples. The analysis of experimental data showed that the use of unconventional reinforcement in span elements made of cellular concrete causes an increase in bearing capacity, a decrease in deformability and an increase in crack resistance under load. Summarizing, it can be stated that unconventional reinforcement of organic or biological origin, or in the form of various types of nets, can be used as working reinforcement in homogeneous span structural elements made of cellular concrete.

Ключові слова: ніздрюватий бетон, проліт, нетрадиційне армування, міцність.
cellular concrete, span, unconventional reinforcement, strength.

Вступ. У наш час виробу з ніздрюватих бетонів набувають дедалі ширшого застосування у будівельній практиці. Найбільш поширеними різновидами такого бетону є піно- та газобетони [1-4]. Такі різновиди бетону відіграють суттєву роль для економії коштів, які витрачають в процесі експлуатації будівель. Економію у даному випадку досягають за рахунок досить низької теплопровідності ніздрюватого бетону.

Водночас ніздрюваті бетони належать до крихких матеріалів, які без додаткового армування неможливо використовувати як пролітні конструкції [5,6], що має важливе значення в будівельній індустрії. Наявні дослідження та розробки стосуються переважно традиційного армування сталевую стрижневою арматурою.

Як відомо, металева арматура має досить високу міцність, і тому, при використанні її в конструкціях з ніздрюватих бетонів її міцність використовується лише на 10-20%. Використання нетрадиційного армування дозволяє більш повно використати запас міцності матеріалу такого армування та зменшити вартість конструкції за рахунок зниження вартості нетрадиційного армування порівняно з металевим стрижневим армуванням.

Аналіз останніх досліджень. Все частіше в будівельній галузі застосовують виробу з піно- та газобетону не лише у вигляді дрібноштучних елементів, а й як пролітні конструкції. Для армування таких конструкцій 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.

Мартінова, 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 в цілому 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. Пісарев, А.Г. Почтенко та ін. Разом з тим необхідно відмітити, що дослідженню пролітних конструкцій з ніздрюватих бетонів все-таки приділяли недостатньо уваги, а питанню використання нетрадиційного армування в таких конструкціях практично не розглядалось і тому так до кінця і не вивчене.

Постановка мети і задач досліджень. Завданням нашого дослідження обґрунтування можливості використання нетрадиційного армування біологічного чи органічного походження в пролітних конструкціях з ніздрюватих бетонів, яке б було ефективним заміником сталевого стрижневого армування.

Методика досліджень. З метою вивчення можливості застосування нетрадиційного армування в пролітних конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів було проведено низку експериментальних досліджень ряду дослідних балкових зразків. Як матеріал пролітної конструкції використовували найбільш розповсюджені види ніздрюватого бетону, а саме, пінобетон та газобетон. В ролі робочого армування в дослідних зразках були використані матеріали біологічного походження (ляна мотузка, стебла очерету, смуги бамбукових стебел), органічного походження (капронова мотузка) та різного роду сітки (металева зварна та просічно-витяжна). За видом армування дослідні зразки були поділені на серії.

Як було зазначено вище, для експериментальних досліджень було використано два різновиди ніздрюватого бетону: пінобетон та газобетон. Обидва бетони, що були задіяні для виготовлення дослідних зразків були неавтоклавного природнього твердіння.

Ніздрюваті бетони, що використовували для виготовлення дослідних зразків приготували одразу на всю серію. Пінобетон виготовляли за рецептами та рекомендаціями науково-виробничого підприємства «Континіум», м. Київ (армування лляними мотузками та стеблами очерету); фірми «Handmag», Польща (армування бамбуковими смугами); науково-виробничого підприємства «Бетонгруп», м. Львів (армування капроною мотузкою). Газобетонна суміш для дослідних зразків (армування сітками) була виготовлена у ПП «Вето», Львівська область за її рецептами. Всі дослідні зразки виготовляли у вигляді балок різних геометричних розмірів. Перед початком експериментальних досліджень балкових зразків на згин, визначали фізико-механічні властивості матеріалів: пінобетону, газобетону та нетрадиційного робочого армування.

Для дослідження фізико-механічних властивостей пінобетону та газобетону використовували лабораторний прес П-10, а для визначення характеристик зразків нетрадиційного армування – розривну машину Р-10. В результаті досліджень було отримано експериментальні значення, які характеризували використовувані матеріали. Так як дослідні зразки різних серій виконувались у різний час, то і значення характеристик пінобетону та газобетону лежали в певних межах. Загалом, за результатами досліджень були отримані такі характеристики використаних матеріалів:

- лляна мотузка: діаметр – 5 мм, розривне зусилля – 253 Н, розрахунковий опір на розтяг – 12,9 МПа;

- капронова мотузка: діаметр – 3 мм, розривне зусилля – 824 Н, розрахунковий опір на розтяг – 116,1 МПа;

- стебла очерету: діаметр – 10 мм, розривне зусилля – 700 Н, розрахунковий опір на розтяг – 8,9 МПа;

- смуги бамбукових стебел: переріз 7×27 мм, розрахунковий опір на розтяг – 94,5 МПа, початковий модуль пружності – 11,2 ГПа;

- зварна сітка: діаметр дротин – 2 мм, розмір вічок сітки – 10×10 мм, розривне зусилля – 1230 Н;

- просічно-витяжна сітка: товщина металу – 0,5 мм, розривне зусилля – 830 Н;

- пінобетон: кубикова міцність – 1,11...1,43 МПа, призмova міцність – 0,83...1,19 МПа, міцність на розтяг – 0,25...0,28 МПа, початковий модуль пружності – 2,89...3,85 ГПа, густина – 750...850 кг/м³;

- газобетон: кубикова міцність – 0,713 МПа, призмova міцність – 0,59 МПа, початковий модуль пружності – 1,99 ГПа, густина – 611 кг/м³.

Дослідні зразки були об'єднані у шість серій, де визначальним був вид нетрадиційного робочого армування.

Перша серія дослідних зразків включала чотири балкових пінобетонних зразків, армованих гнучким армуванням біологічного походження, а саме: лляними мотузками. Армування виконували двома лляними мотузками діаметром 5 мм. Для кращого зчеплення такого армування з масивом пінобетону на мотузках виконували вузли з кроком 100 та 200 мм. Переріз балкових зразків становив 100×150 (h) мм, а розрахунковий проліт – 900 мм.

Друга серія містила три дослідних пінобетонних балкових зразки, армованих жорстким нетрадиційним армуванням біологічного походження (стебла очерету). Армування виконували двома та чотирма добре висушеними, без видимих пошкоджень, стеблами очерету діаметром 10 мм. Переріз дослідних зразків – 150×150 (h) мм, а розрахунковий проліт – 500 мм.

Третя серія складалась з чотирьох пінобетонних дослідних зразків і, подібно до другої, армування виконували жорстким біологічного походження (бамбукові смуги) [7]. Бамбукові смуги застосовували перерізом 7×27 мм (рис. 1). Дослідні балкові зразки виконували перерізом 100×200 (h) мм, а розрахунковий проліт становив 2000 мм.

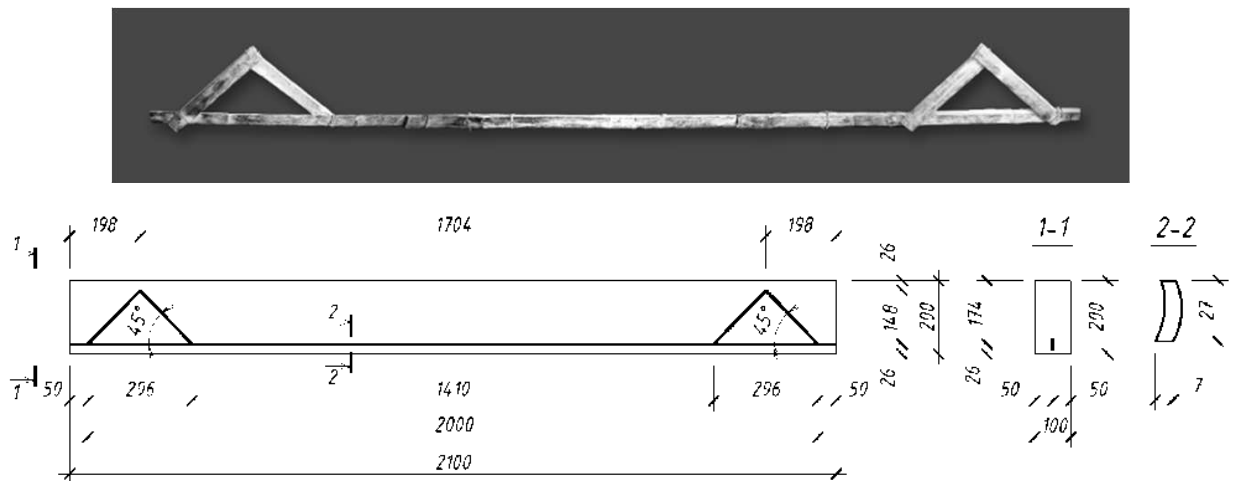


Рис. 1. Загальний вигляд бамбукового каркасу (зверху);
Геометричні розміри та схема армування дослідних зразків (серія III)

Нетрадиційним армуванням четвертої серії була капронова мотузка діаметром 3 мм, тобто армування виконували гнучким органічного походження. Було виготовлено п'ять дослідних зразків з поперечним перерізом 100×170 (h) мм та з розрахунковим прольотом 1100 мм. Балкові зразки різнились схемою армування (рис. 2).

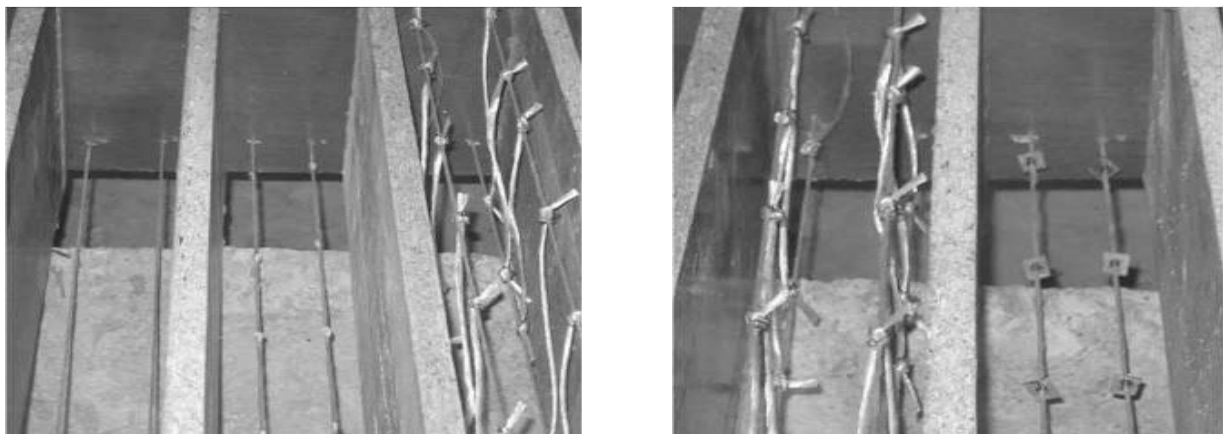


Рис. 2. Армування дослідних зразків IV серії

П'ята та шоста серії дослідних зразків виконували з газобетону неавтоклавного твердіння та з нетрадиційним армуванням у вигляді зварної дрібної металевої сітки (п'ята серія) [8] чи просічно-витяжної дрібної металевої сітки (шоста серія). Переріз усіх дослідних балкових зразків становив 100×150 (h) мм, а розрахунковий проліт – 1100 мм.

В кожній серії балкові зразки різнились схемою армування, а також обов'язково один із балкових зразків серії виконували без армування (за виключенням серії III) для вивчення впливу нетрадиційного армування на загальну роботу балкових зразків під навантаженням.

Випробування всіх дослідних зразків проводилось на згин за подібною схемою. Завантаження проводили двома зосередженими силами, прикладеними до верхньої грані зразка (рис. 3). Балкові зразки спирались на

дві опори: рухому та нерухому. Навантаження створювали за допомогою гідравлічного домкрата чи попередньо зважених цеглин, які вкладали одну на одну. Прогини та деформації балкових зразків фіксували за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 чи 0,001 мм.

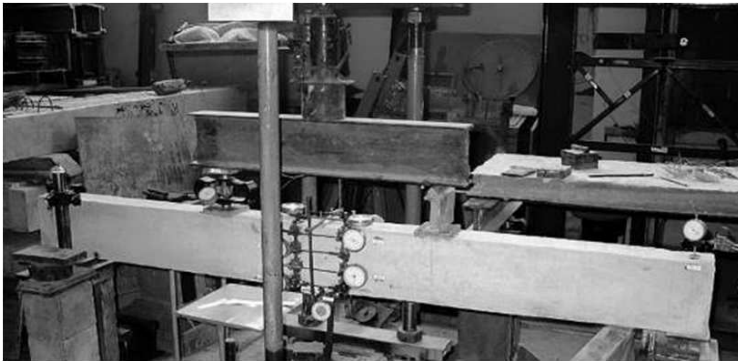


Рис. 3. Випробування дослідних зразків

Результати досліджень. Як відомо, ніздрюваті бетони є різновидом бетону, а за умови його армування, подібно до залізобетону, при зовнішніх навантаженнях відслідковуються схожі процеси. Разом з тим, ніздрюватий бетон завдяки своїй особливості, спричиняє певні відмінності на всіх етапах роботи конструкцій з ніздрюватих бетонів. Армування, яке застосовують, відіграє суттєвий вплив на напружено-деформований стан ніздрюватого бетону.

В процесі проведення експериментальних досліджень балкових зразків, вже на початкових етапах проявились певні особливості в роботі таких елементів за наявності нетрадиційного армування. За відсутності армування, у зв'язку із досить значною крихкістю ніздрюватого бетону, стадія роботи з тріщинами була практично відсутня або тривала дуже незначний час. Процес тріщиноутворення в дослідних зразках без армування проходив досить швидко або був практично відсутній взагалі, тобто балкові зразки пружно працювали до певного рівня навантаження. Далі виникали незначні нормальні тріщини за довжиною $((1/10...1/20)h)$ практично по всій довжині зразка, одна з яких переростала в домінуючу, яка перетинала від 80% до 100% перерізу балкового зразка, що спричиняло розвиток значних деформацій без збільшення зовнішнього навантаження і дослідні зразки переходили в завершальну стадію – стадію руйнування.

Картина руйнування змінювалась за наявності армування. Процес тріщиноутворення проходив більш повільно та утворювалось ряд критичних тріщин з яких одна переростала в домінуючу. Прогини при цьому зменшувались, а несуча здатність балкових зразків збільшувалась. Це можна відслідкувати на рис. 4, де показані графіки прогинів балкових зразків IV серії.

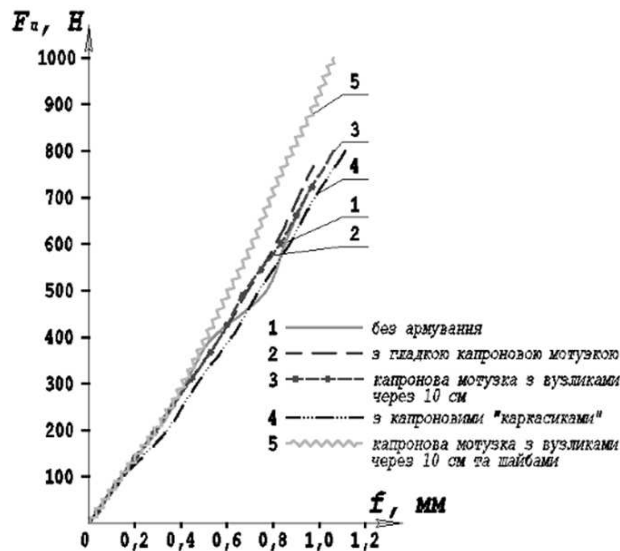


Рис. 4. Залежність прогинів балкових зразків IV серії від прикладеного зовнішнього навантаження

Такі закономірності прослідковувались в усіх дослідних зразках усіх серій. Необхідно відмітити також, що залежно від виду нетрадиційного армування та схеми його розміщення приріст несучої здатності в дослідних балкових зразках збільшувався від 5 % до збільшення у два рази.

Аналіз експериментальних даних показав, що використання нетрадиційного армування в пролітних елементах з ніздрюватих бетонів спричиняє збільшення несучої здатності, зменшення деформативності та збільшення тріщиностійкості під навантаженням.

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень однорідних дослідних зразків з ніздрюватих бетонів з нетрадиційним армуванням біологічного чи органічного походження або у вигляді різних видів сіток та їх аналізу можна зробити наступні висновки:

1. На початкових стадіях завантаження однорідні елементи з ніздрюватих бетонів з таким армуванням і без нього працюють практично однаково.

2. Дослідне руйнуюче зусилля на 5...200 % вище для зразків з запропонованим армуванням, ніж у аналогічних зразках без нього.

3. Наявність запропонованого армування в однорідних елементах з ніздрюватих бетонів призупиняє процес руйнування. Руйнування проходить не миттєво, а з деяким запізненням.

4. Застосування нетрадиційного армування в однорідних елементах з ніздрюватих бетонів зменшує прогини дослідних зразків, особливо при навантаженням близьких до $0,7F_u$.

5. Використання запропонованого нетрадиційного армування знімає характер тріщиноутворення в однорідних балкових зразках з ніздрюватих бетонів. У зразках без армування домінуюча тріщина виникає практично миттєво і практично на всю висоту перерізу і є єдиною. А у випадку з нетрадиційним армуванням – в початковій стадії виникає ряд незначних

тріщин, одна з яких при збільшенні навантаження перетворюється у домінуючу тріщину.

6. Достатньо високі характеристики міцності, а також низка теплопровідність та ціна бамбуку можуть зробити його конкурентом сталевій арматурі, коли це стосується несучих конструкцій з пористих та легких бетонів, особливо в країнах, де сталева арматура є дефіцитною та дорогою, а бамбук росте в природному середовищі і є легкодоступним.

Узагальнюючи наведені вище висновки можна констатувати, що нетрадиційне армування органічного чи біологічного походження, або у вигляді різного роду сіток може використовуватись в ролі робочої арматури в однорідних пролітних конструктивних елементах з ніздрюватих бетонів.

1. Ніздрюваті бетони: вчора, сьогодні, завтра [Електронний ресурс] - Режим доступу: 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 - Nazva z tytul, ekranu.

2. Y.H.MugahedAmran, NimaFarzadnia, 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>.

3. 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.

4. Y.H.MugahedAmran, NimaFarzadnia, 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>.

5. Famulyak Yu., Burchenya S., Mazurak T. et all. Zastosowanie niekonwencjonalnego zbrojenia w elementach piano- i gazobetonowych. 61 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii 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.

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

7. Famulyak Yu., Demchyna B., Lysiuk S. Investigation of non-autoclaved foam concrete beams reinforced with bamboo / International Scientific Journal by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering. Archives of Materials Science and Engineering. Volume 96, Issue 2, April 2019. – P. 56 – 62. DOI: 10.5604/01.3001. 0013.2387.

8. Патент України на корисну модель, u2016 01245 МПК E04C 2/06 (2006.01) МПК E04C 5/02 (2006.01). Пролітний газобетонний елемент з армуванням зварною сіткою / Фамуляк Ю.Є.; заявн. і патентовласник Львівський нац. аграр. ун-т – №109050, заявл. 12.02. 2016; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 15.

Patent Ukrainy na korysnu model, u2016 01245 MPK E04S 2/06 (2006.01) MPK E04S 5/02 (2006.01). Prolitnyi hazobetonnyi element z armuvanniam zvarnoiu sitkoiu / Famulyak Yu.Ye.; zaiavn. i patentovlasnyk Lvivskiyi nats. ahrar. un-t – №109050, zaiavl. 12.02. 2016; opubl. 10.08.2016. Biul. № 15.