

О.Д. Йовчик, П.І. Країнський, Р.В. Вашкевич, Р.Є. Хміль, З.Я. Бліхарський  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра будівельних конструкцій та мостів

## МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ СИСТЕМОЮ RUREDIL X MESH GOLD

© Йовчик О.Д., Країнський П.І., Вашкевич Р.В., Хміль Р.Є., Бліхарський З.Я., 2012

Досліджено вплив рівня початкового навантаження на ефективність підсилення залізобетонних балок системою Ruredil X Mesh Gold.

**Ключові слова:** залізобетонні балки, підсилення, композитні матеріали.

**This paper is devoted to investigate influence of the initial loading level on efficiency of strengthening of reinforced concrete beams, using system Ruredil X Mesh Gold .**

**Key words:** reinforced concrete beams, strengthening, composite materials.

**Постановка проблеми.** Усе більше вітчизняних та світових дослідників для вирішення проблем реконструкції та підсилення залізобетонних конструкцій звертають увагу на застосування композитних матеріалів, зважаючи на істотні переваги порівняно з традиційними методами та матеріалами підсилення. До таких переваг належать:

- порівняно мала власна вага;
- можливість застосування для підсилення різних конструктивних елементів (плит, балок, колон тощо);
- незначне збільшення геометричних розмірів конструкцій, що підсилюються;
- низька трудомісткість процесів підсилення.

Системи підсилення композитними матеріалами полягають у поєднанні додаткового армування у вигляді високоміцних фібр (вуглецевих, склопластикових, сталевих, арамідних тощо) та стабілізуючої матриці (зазвичай, епоксидних смол), яка забезпечує сумісну роботу конструкції та фібри. В такий спосіб отримують один з найпоширеніших типів підсилення композитами FRP (Fiber Reinforced Polymer).

Система підсилення Ruredil X Mesh Gold належить до принципово іншої групи композитних матеріалів FRCM (Fiber Reinforced Cementations Matrix), оскільки стабілізуючою матрицею тут виступає розчин на основі цементного в'язучого. Ця відмінність надає FRCM композитам багато переваг порівняно з композитами групи FRP: відмінна адгезія з вологими поверхнями; нечутливість до UV-випромінювання; відсутність токсичних складників; висока термостійкість.

На рис. 1 показано типову послідовність застосування системи Ruredil X Mesh Gold.

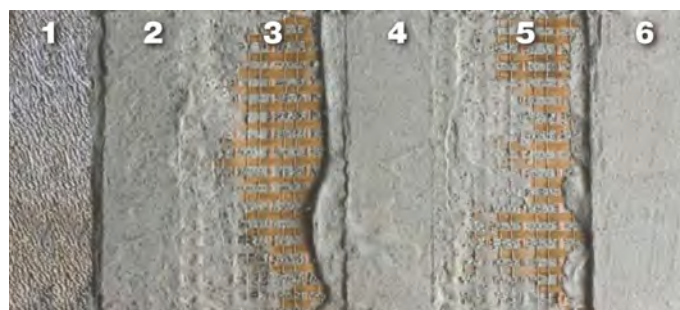


Рис. 1. Конструкція системи підсилення Ruredil X Mesh Gold:

- 1 – поверхня бетону; 2 – перший шар розчину Ruredil X Mesh M750; 3 – сітка Ruredil X Mesh Gold;  
 4 – другий шар розчину Ruredil X Mesh M750; 5 – сітка Ruredil X Mesh Gold (за необхідності);  
 6 – третій шар розчину Ruredil X Mesh M750 (за наявності позиції 5)

**Аналіз досліджень та публікацій.** Аналізуючи актуальні сьогодні публікації, можемо зробити висновок, що більшість дослідників звертає увагу на FRP-системи [2...7], тому матеріали групи FRCM, до яких належить система Ruredil X Mesh Gold, не дуже вивчені. В окремих публікаціях [1] вивчали питання міцності та деформативності балок, підсилені системою Ruredil X Mesh Gold, проте без врахування впливу початкового навантаження на балки. Спільним для проведених досліджень є відсутність єдиних та практичних методів розрахунку підсиленіх конструкцій композитами, особливо з врахуванням реальних умов експлуатації конструкцій, що вимагає глибших досліджень у цьому напрямку.

**Мета роботи** – вивчити вплив рівня початкового навантаження залізобетонної балки на ефективність застосування системи підсилення Ruredil X Mesh Gold.

**Методика досліджень.** Для вирішення поставленої мети була виготовлена серія дослідних зразків з восьми залізобетонних балок. Усі балки формувались з одного замісу бетону та мають ідентичне армування та геометричні характеристики перерізу (рис. 2). Дві балки випробовували без підсилення для визначення фактичної несучої здатності ( $M_u^{exp}$ ) та характеру їхнього руйнування. Решта балок, кожна з яких мала “близнюка”, були підсилені за різних рівнів навантаження (0.5; 0.7 та 0.9  $M_u^{exp}$ ).

Дослідні зразки мали таке маркування: Б – балка; 3 – випробувана без підсилення (звичайна); П – підсилена (див. табл. 1). Перша група цифр вказує на номер серії та порядковий номер балки у ній, а друга – на рівень навантаження, за якого виконували підсилення з подальшим короточасним навантаженням до руйнування. Наприклад, маркування “БП 1.5-0.7” вказує на те, що п’ята балка першої серії була підсилена на рівні 0.7 від навантаження  $M_u^{exp}$  з подальшим короточасним навантаженням до вичерпання її несучої здатності.

Розміри дослідних зразків були прийняті такими: довжина – 2100 мм, ширина – 100 мм, висота – 200 мм. Поздовжня робоча арматура прийнята класу А400С, а конструктивна і поперечна – класу Вр-I, крок поперечної арматури – 65...120 мм. З’єднання арматури у просторовому каркасі виконано у заводських умовах контактним зварюванням. Загальний вигляд балок та конструкцію арматурного каркаса показано на рис. 2.

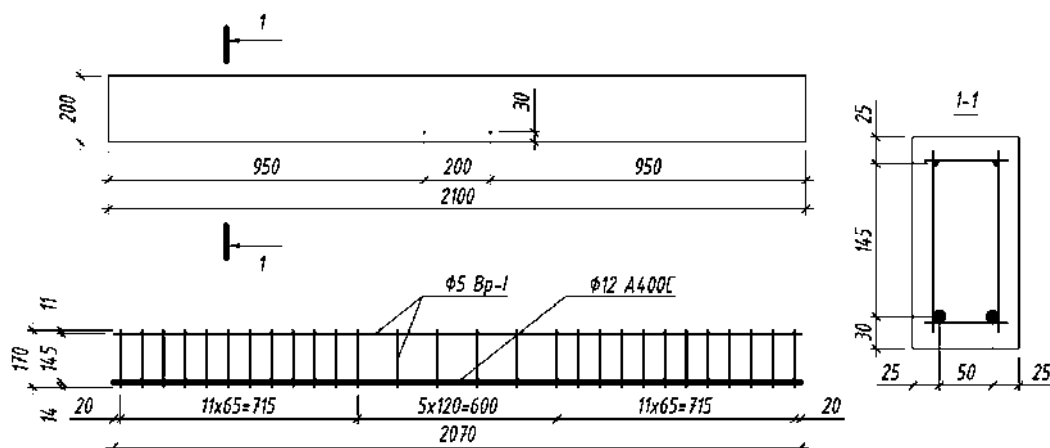


Рис. 2. Загальний вигляд балки та креслення арматурного каркаса

На стрижнях робочої арматури приблизно посередині балки приварені два тримачі для вимірювання деформацій за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу.

Визначення фізико-механічних характеристик сталі стрижневої арматури проведено на стандартних зразках, виготовлених з арматурних стрижнів для каркасів дослідних балок. Зразки випробовували на розривній машині ГМС-50 з одночасним записом діаграми розтягу.

Для виготовлення балок був прийнятий такий склад бетону: Ц:П:Щ=1:1,14:2,62 за водоцементного відношення В/Ц=0,35. Цемент – марки М400 Миколаївського цементного заводу; пісок – кварцовий Славутського кар’єру Хмельницької області без домішок з модулем крупності

$M_c = 2,04$ ; щебінь – гранітний Селіщанського кар'єру Рівненської області фракції 5...10 мм – 45 %, 10...20 мм – 55 %. Для визначення фізико-механічних характеристик бетону під час формування балок з того самого замісу були виготовлені бетонні куби з ребром 100 мм та призми 100×100×400 мм. Контрольні зразки випробовували відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-214:2009. Характеристики дослідних зразків подано у табл. 1

Таблиця 1

### Характеристики дослідних балок

№ з/п	Маркування балки	Розміри перерізу $b \times h$ , мм	Аматура				Бетон	
			площа перерізу, $\text{см}^2$	межа текучості $f_{yk}$ , МПа	модуль пружності $E_s$ , ГПа	коефіцієнт армування $r_1$ , %	призмова міцність $f_{ck, prism}$ , МПа	модуль пружності $E_{cm}$ , ГПа
1	БЗ 1.1	103×205	2Ø12 A400C 2,26	400	210	1,07	39,5	33,7
2	БЗ 1.2	102×203				1,09		
3	БП 1.3-0.5	105×197				1,09		
4	БП 1.4-0.5	99×208				1,10		
5	БП 1.5-0.7	105×208				1,03		
6	БП 1.6-0.7	107×203				1,04		
7	БП 1.7-0.9	98×198				1,16		
8	БП 1.8-0.9	106×205				1,04		

Підсилення було виконане матеріалами системи Ruredil X Mesh Gold, характеристики яких наведено відповідно до декларованих виробником даних [8] у табл. 2 та 3.

Таблиця 2

### Характеристики сітки Ruredil X Mesh Gold

№ з/п	Величина	Значення
1	Вага сітки, $\text{г}/\text{см}^2$	1,56
2	Міцність на розтяг, МПа	5800
3	Модуль пружності, ГПа	270
4	Гранична деформація, %	2,15
5	Еквівалентна товщина сухого матеріалу у поздовжньому напрямку, мм	0,0445
6	Еквівалентна товщина сухого матеріалу у поперечному напрямку, мм	0,0115
7	Граничне напруження на розтяг у поздовжньому напрямку на одиницю ширини, $\text{кН}/\text{м}$	264
8	Граничне напруження на розтяг у поперечному напрямку на одиницю ширини, $\text{кН}/\text{м}$	66,5

Таблиця 3

### Характеристики розчину Ruredil X Mesh M750

№ з/п	Величина	Значення
1	Витрати води на 100 кг розчину, л	24-26
2	Витрат (сухого продукту), $\text{кг}/\text{м}^2/\text{мм}$	1,210-1,230
3	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	29
4	Міцність на згин у віці 28 діб, МПа	3,5
5	Модуль пружності, ГПа	6

Дослідні зразки випробовували на згин. Контроль рівня навантаження здійснювали за допомогою кільцевих динамометрів К1 та К2, які водночас були шарнірними опорами балки з

прогоном 1900 мм. Навантаження прикладали у вигляді двох зосереджених сил, прикладених у третинах прольоту балки. Деформації робочої арматури вимірювали за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу Ai1 та Ai2 з ціною поділки 0,001 мм. Мікроіндикатори i1...i10 використовувались для вимірювання деформацій бетону за висотою перерізу балки. Для вимірювання прогинів на балку було встановлено п'ять прогиномірів Аістова ПАО 1...ПАО 5 та два індикатори П1 та П2 для врахування просідання опор стенда. Для того, щоб з'ясувати чи відбувалось проковзування сітки стосовно крайніх розтягнутих фібр бетону на нижній грані балки біля однієї з опор було встановлено мікроіндикатор С1. Схему розташування приладів показано на рис. 3.

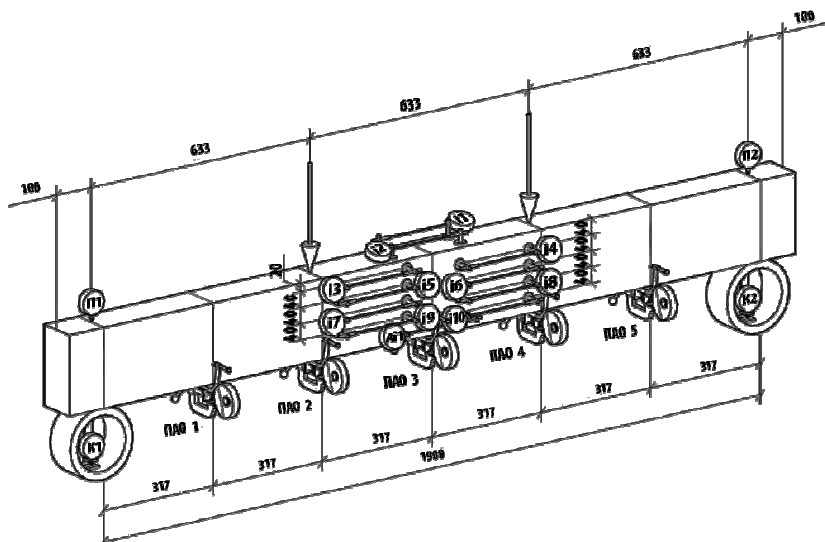


Рис. 3. Схема розташування приладів

Навантаження прикладали етапами по  $0.05 M_u^{exp}$  до рівня  $0.3 M_u^{exp}$ , після чого продовжували етапами по  $0.1 M_u^{exp}$  до руйнування з витримкою 15 хв після кожного етапу за допомогою гідравлічного домкрата і передавали на балку через розподільну траверсу. Загальний вигляд стенда для випробування балок показано на рис. 4.



Рис. 4. Стенд для випробування балок

Під час випробування балок з маркуванням БП навантаження проводили до відповідного рівня ( $0.5$ ;  $0.7$  чи  $0.9 M_u^{exp}$ ), після чого фіксували за допомогою системи траверс і тяжів. Далі підсилювали балки (рис. 5) системою Ruredil X Mesh Gold за такою технологічною послідовністю:

- очищення поверхні бетону;
- зволоження поверхні бетону;
- нанесення першого шару розчину Ruredil X Mesh M750 завтовшки 2–3 мм;
- приклеювання одного шару сітки Ruredil X Mesh Gold завширшки 10 см (дев'ять пучків волокон);
- витримка 5 хв;
- нанесення другого шару розчину Ruredil X Mesh M750 завтовшки 2–3 мм.

Випробування продовжували не раніше, ніж через п'ять днів після виконання підсилення.

Навантажували етапами по  $0.1 M_u^{exp}$  з витримкою 15 хв до вичерпання несучої здатності балки.



Рис. 5. Розташування сітки Ruredil X Mesh Gold у мінеральній матриці

**Результати досліджень.** За результатами випробовування балок отримані залежності деформацій арматури та крайніх фібр стиснутого бетону від згинального моменту (рис. 6), а також визначено несучу здатність балок.

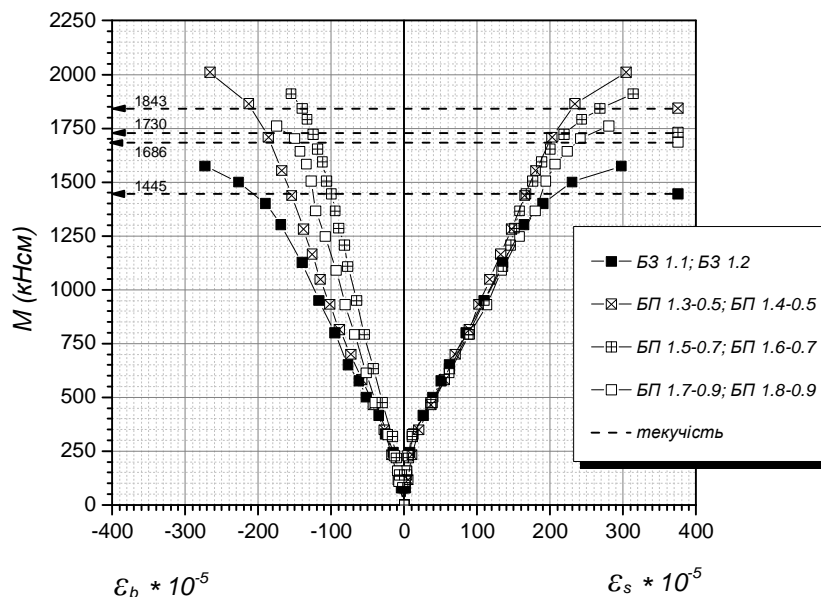


Рис. 6. Деформації арматури та крайніх фібр стисненого бетону дослідних зразків

Всі балки серії зруйнувалися внаслідок текучості робочої арматури. Проковзування волокон сітки при цьому не спостерігалось. Результати випробувань наведено в табл. 4.

## Міцність дослідних зразків

№ з/п	Маркування балки	Руйнівне навантаження, кНсм		Підвищення несучої здатності, %
		$M_u^{exp}$	$\overline{M}_u^{exp}$	
1	БЗ 1.01	1456	1445	-
2	БЗ 1.02	1434		
3	БП 1.03-0,5	1863	1843	27,58
4	БП 1.04-0,5	1824		
5	БП 1.05-0,7	1742	1730	19,76
6	БП 1.06-0,7	1719		
7	БП 1.07-0,9	1656	1686	16,71
8	БП 1.08-0,9	1717		

Для балок, підсилених за рівня навантаження  $0,5M_u^{exp}$ , ефект від підсилення становить 27,58 %, для  $0,7M_u^{exp}$  – 19,76 % і для  $0,9M_u^{exp}$  – 16,71 %. Аналізуючи ці результати, бачимо, що ефекту підсилення з застосуванням системи Ruredil X Mesh Gold можна досягти, величина якого є обернено пропорційна до залежності щодо рівня діючого навантаження на момент підсилення.

**Висновки.** За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено:

1. За допомогою системи Ruredil X Mesh Gold вдалося досягти ефекту підсилення завбільшки 16,71...27,58 %.
2. Чим менший рівень діючого навантаження, за якого виконують підсилення системою Ruredil X Mesh Gold, тим вища міцність підсиленого залізобетонного елемента.
3. Під час підсилення залізобетонних балок варто, за можливості, максимально розвантажити конструкцію для ефективнішого включення в роботу підсилення системою Ruredil X Mesh Gold.

1. Мельник І.В., Добрянський Р.З., Канафоцький Р.І., Кузик О.О. Випробування залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А-II, підсилених композитними матеріалами Ruredil X Mesh Gold. // Зб. "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Рівне, 2010. – Вип. 20. – С. 487–492. 2. Ільницький Б.М., Крамарчук А.П. Міцність і деформативність залізобетонних балок, посилені композитними матеріалами // Вісник Львівського національного аграрного університету "Архітектура і сільськогосподарське будівництво". – 2009. – №10. 3. Кваша В., Мельник І., Собко Ю., Мурин А., Добрянський Р. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні. 9th International Scientific Conference "Current issues of civil and environmental engineering". – Rzeszow, 3–4 September, 2004. – С. 221–227. 4. Мурин А.Я., Добрянський Р.З. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсилених наклеюванням композитної арматури // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Вип. 2005. – 4(52). – Макіївка, 2005. – С. 254–257. 5. Мурин А.Я. Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". – 2008. – № 627. – С. 155–158. 6. Kaminska M., Kotynia R. Badania zelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejnymi na ich powierzchniach // XVI konferencja naukowo-techniczna "Beton i prefabrykacja". – T 2. – Jadwisin, 1998. – S. 479–484. 7. Kybicki J. Badania doswiadczone zarzysowanych belek zelbetowych z naklejonymi tasmami kompozytowymi z wlokien weglowych // Prace instytutu techniki – kwartalnik №4 (124). – 2002. – S. 43–59. 8. Матеріали з офіційного сайту Ruredil: <http://www.ruredil.it/ENG/PDFCataloghiENG/RXMeshGOLD.pdf>.