

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ КОМПОЗИТНОЮ СИСТЕМОЮ SIKACARBODUR

© Мельник І.В., Добрянський Р.З., Давидовський Н.Б., Крет В.О., 2013

**Подано результати випробувань навантаження залізобетонних балок, підсиленних композитними стрічками SikaCarbodur за різних рівнів попереднього завантаження.**

**Ключові слова:** залізобетонні балки, підсилення, деформативність, композити Sika.

**The results of load tests of reinforced concrete beams, reinforced composite tapes SikaCarbodur at different levels of preloading.**

**Key words:** concrete beams, reinforced, deformability, composite tapes SikaCarbodur.

**Постановка проблеми.** У багатьох країнах світу, зокрема в Україні, все частіше для підсилення залізобетонних елементів використовують високоміцні композитні матеріали як додаткові зовнішні армувальні елементи. Цьому сприяють такі їхні важливі конструкційні і технологічні характеристики: висока міцність (зокрема у разі змінних і динамічних навантажень); мала власна вага; значна довжина поставок (до 150–300 м) і відповідно відсутність стикових з'єднань по довжині; зручність транспортування; прості технологічні операції з підсилення; висока корозійна стійкість.

Але ширше використання на практиці композитних зміцнювальних матеріалів в Україні як альтернативи традиційним способам підсилення стримує недостатня кількість експериментально-теоретичних досліджень.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Огляд і аналіз досліджень зміцнених композитами залізобетонних балок показує, що більшість з них була проведена на експериментальних зразках, підсиленних до завантаження, що в принципі не відповідає реальним умовам підсилення натурних конструкцій. З відомих досліджень балкових елементів, підсиленних конструкційними композитами під навантаженням, потрібно відзначити роботи [1, 2, 3, 4].

У роботі М. Камінської і Р. Катині [1] з чотирьох зміцнених балок лише одна була підсилена під завантаженням двома силами. Згідно з отриманими результатами попереднє завантаження балки не мало впливу на міцність порівняно з аналогічною непідсиленою балкою, проте жорсткість була більшою.

Під час експериментального дослідження натурної мостової балки, демонтованої з мостової споруди [2], перед підсиленням композитними стрічками SikaCarbodur створювали незначне завантаження, яке відповідало власній вазі елементів покриття прольотної будови.

Я. Кубіцькі [3] проводив експериментально-теоретичні дослідження на трьох серіях балок, у кожну з яких входило по 3 балки, попередньо завантажених до підсилення стрічками SikaCarbodur S914 з рівнями  $0,55F_u$ ,  $0,75F_u$  і  $0,8F_u$  ( $F_u$  – руйнівне значення двох зосереджених сил, прикладених у середній частині прольоту за різних прольотів зрізу). Основне завдання досліджень – визначити механізм руйнування балок залежно від індексу зрізу. Запропоновано також залежності для обчислення прогинів підсиленних балок.

Пошукові експериментально-теоретичні дослідження авторів на моделях трьох підсиленних балок виявили суттєвий вплив умов попереднього завантаження на міцність і деформативність балок [4]. Проте дослідження були проведені на балках незначних розмірів, суттєво переармованих композитною стрічкою.

**Постановка мети і задач досліджень.** Дослідження ставили за мету визначити вплив різних рівнів попереднього завантаження залізобетонних балок, за яких вони підсилювалися, на подальшу міцність, деформативність і тріщиностійкість. Загальні показники міцності, жорсткості та тріщиностійкості подані в попередній публікації авторів [5]. У цій статті докладніше описано деформативність нормальних перерізів дослідних балок.

**Методика досліджень.** Базовою (вихідною) конструкцію дослідних зразків були балкові залізобетонні елементи загальною довжиною 2,1 м з розмірами перерізу  $b \times h = 12 \times 22$  см (рис. 1, а). Балки армовані просторовим каркасом з обірваною верхньою робочою арматурою у середній зоні для дослідження стиснутого бетону без впливу стиснутої арматури. Для упередження руйнування похилих перерізів балок приопорні ділянки заармовані з частим розташуванням поперечної арматури.

Підсилювали валки композитною стрічкою SikaCarbodur S512 товщиною 1,2 мм, розполовиною по довжині (тобто шириною 25 мм). Для надійного анкерування стрічки на кінцевих її ділянках наклеювали два шари огортаючих тканин (матів) SikaWrap (рис. 1, б).

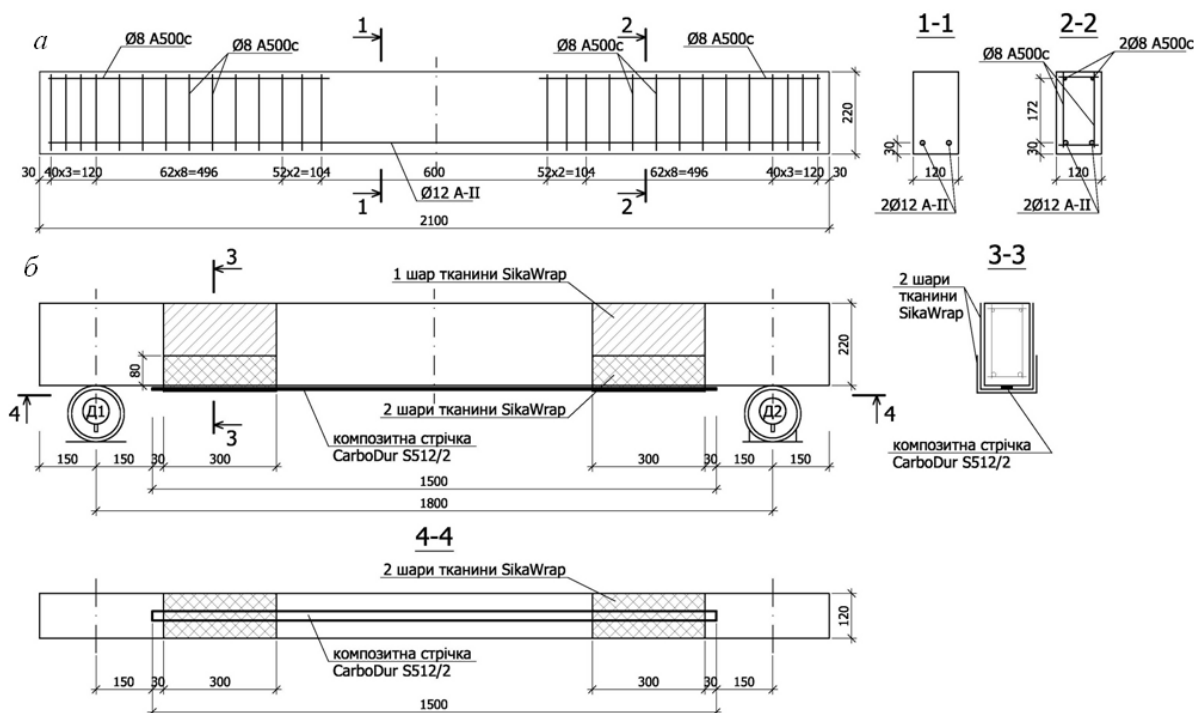


Рис. 1. Конструкція дослідних балок:  
а – армування конструкції базового зрізця (до підсилення);  
б – конструкція підсилення балок

Фізико-механічні характеристики матеріалів дослідних балок визначали за допомогою їх стандартизованих випробувань на розтяг (арматура і стрічка) та стиск (бетон). Результати випробувань такі: міцність поздовжньої робочої арматури 605 МПа, межа текучості 370 МПа, модуль пружності  $2,1 \cdot 10^5$  МПа; фактична кубова і призмova міцності бетону відповідно 33,1 і 28,3 МПа, модуль пружності  $34,2 \cdot 10^3$  МПа; міцність (тимчасовий опір) стрічки 3246 МПа, модуль пружності  $1,82 \cdot 10^5$  МПа.

У дослідних зразках була використана поздовжня арматура класу А300С, яка мала гвинтове розташування поперечних ребер. Під час випробування було підтверджено наявність значної горизонтальної ділянки на межі текучості арматури  $\sigma_y$ , проте фактичне значення  $\sigma_y = 370$  МПа значно перевищувало номінальну величину 300 МПа.

Випробування балок навантаженням проводили на силовому стенді. Навантаження створювали гідравлічним домкратом і через силорозподільчу траверсу прикладали до балок у вигляді двох

зосереджених сил, створюючи так зону чистого згину, у межах якої досліджували деформативність нормальних перерізів по висоті перерізу балок. Для цього до верхньої і бокової граней балки були приєднані тримачі індикаторів і упорів. Деформації поздовжньої арматури заміряли із закріпленням приладів до коротунів, які приварювали до стержнів перед бетонуванням балок (рис. 2).

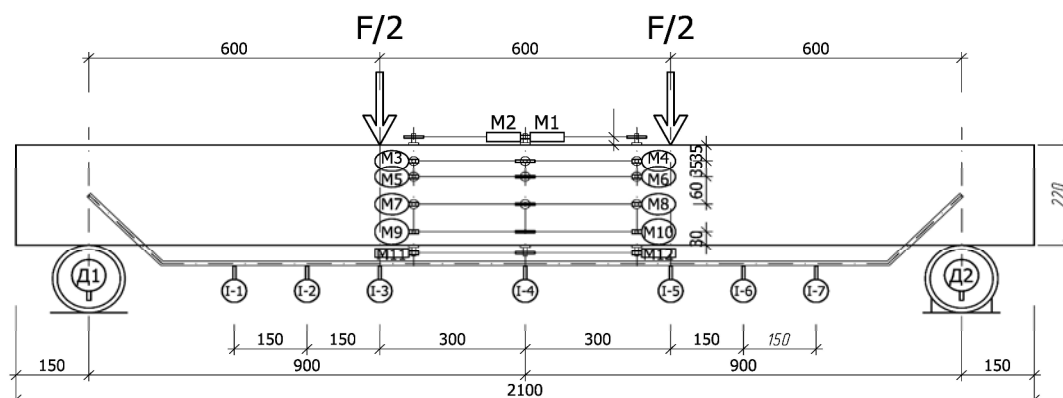


Рис. 2. Схема розташування приладів: М1...М12 – індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, для заміру деформацій І-1...І-7 індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм для заміру прогинів; Д-1, Д-2 – динамометри кільцевого типу

Всього було випробувано п'ять балок, одна для порівняння невідсилена (еталонна) і чотири підсилені. Конструкція підсилення всіх чотирьох балок була однаковою, але кожен з них підсилювали за різних рівнів попереднього навантаження  $\gamma = F_i/F_{u0} = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ , де  $F_i$  – навантаження, за якого підсилювали балку;  $F_{u0}$  – несуча спроможність невідсиленої (еталонної) балки Б-0 (табл. 1).

Таблиця 1

#### Загальна характеристика дослідних зразків щодо умов підсилення

Марка (шифр) балки	Відносний рівень навантаження, при якому підсилювали балки	Примітки
Б-0	–	Еталонна балка (невідсилена)
Б-01	$\gamma_F=0$	Підсилена до навантаження
Б-1	$\gamma_F=0,25$	Підсилена під навантаженням
Б-2	$\gamma_F=0,50$	Підсилена під навантаженням
Б-3	$\gamma_F=0,75$	Підсилена під навантаженням

**Результати випробувань.** На рис. 3–7 подані графіки відносних деформацій бетону, арматури і стрічки кожної з випробуваних балок. Деформації визначали як середню величину, заміряну по двох приладах на верхній грані нормальних перерізів балок, на рівні розтягнутої арматури та на рівні приклеєної до нижньої грані балок композитної стрічки (рис. 2).

Для всіх балок на початкових етапах навантаження після утворення тріщин спостерігається приріст деформацій з характерним “зломом” графіка зміни деформацій від навантаження. Для невідсиленої (еталонної) балки момент тріщиноутворення є меншим, ніж у балці Б-01, яка була підсилена до навантаження.

Усі решта балки підсилювалися під навантаженням з нормальними тріщинами у розтягнутій зоні. Після підсилення стрічкою в балках Б-1, Б-2, Б-3 спостерігаємо зменшення інтенсивності наростання деформацій бетону і арматури (рис. 5, 6, 7).

Третій характерний злам на графіках деформацій зафіксований у всіх підсиленіх балках під час навантаження, що відповідає згинальному моменту в зоні чистого згину  $M = 14,9...15,6$  кНм (рис. 4–8). Як видно з графіків, за цього рівня навантаження у всіх балках деформації арматури становили  $\sim(185\div190)\times 10^{-3}$ , що відповідає фактичній межі текучості поздовжньої робочої арматури  $\sigma_y=370$  МПа.

З наведених графіків також видно характер взаємної зміни деформацій арматури і стрічки, які сприймають разом розтягувальні зусилля у нижній зоні балки після наклеювання стрічки. Для балки Б-01, підсиленої до завантаження деформації арматури  $\varepsilon_s$  і стрічки  $\varepsilon_L$  змінюються однаково з деяким перевищенням  $\varepsilon_L$  над  $\varepsilon_s$  (рис. 4).

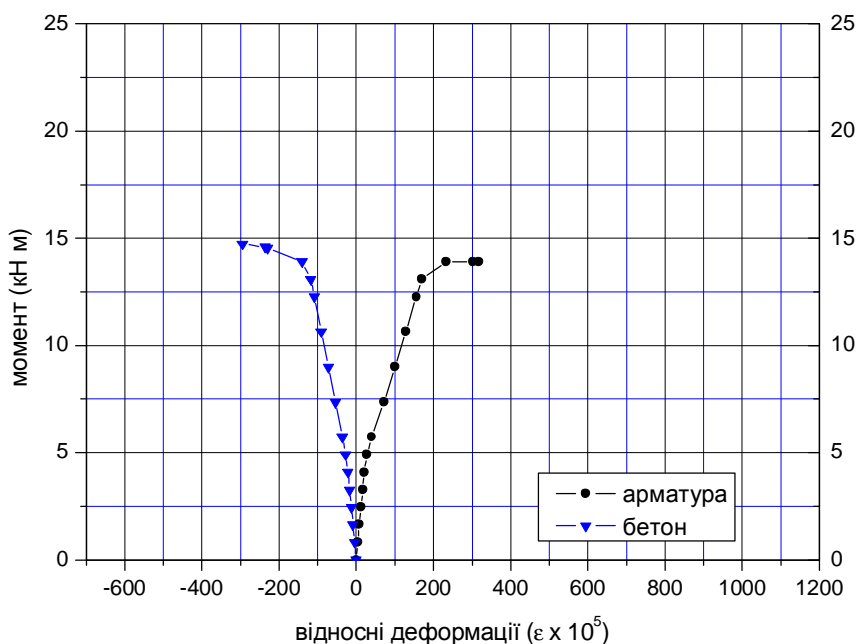


Рис. 3. Графіки деформацій арматури і бетону балки Б-0

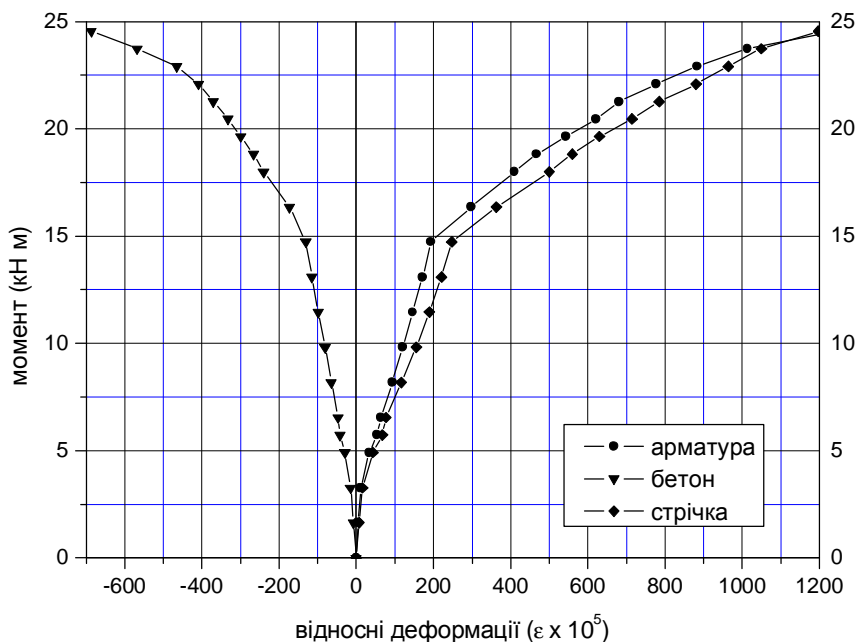


Рис. 4. Графіки деформацій арматури, бетону і стрічки балки Б-01

У балці Б-1, підсиленій за навантаження  $\sim 0,25$  від руйнівного для еталонної балки Б-0, деформації стрічки  $\varepsilon_L$  були спочатку меншими від деформацій арматури  $\varepsilon_s$ , але, наростаючи інтенсивніше, зрівнялися з ними за навантаження  $F = 35,7$  кН ( $M = 10,7$  кН·м) з подальшим перевищенням  $\varepsilon_L$  над  $\varepsilon_s$ , у разі збільшення навантаження (рис. 5).

Аналогічним був характер взаємної зміни деформацій  $\varepsilon_s$  і  $\varepsilon_L$  для балки Б-2 (підсиленій за  $\gamma = 0,5$ ), але вирівнювання (перетин) графіків  $\varepsilon_s$  і  $\varepsilon_L$  відбулося за значно більшого навантаження (рис. 6).

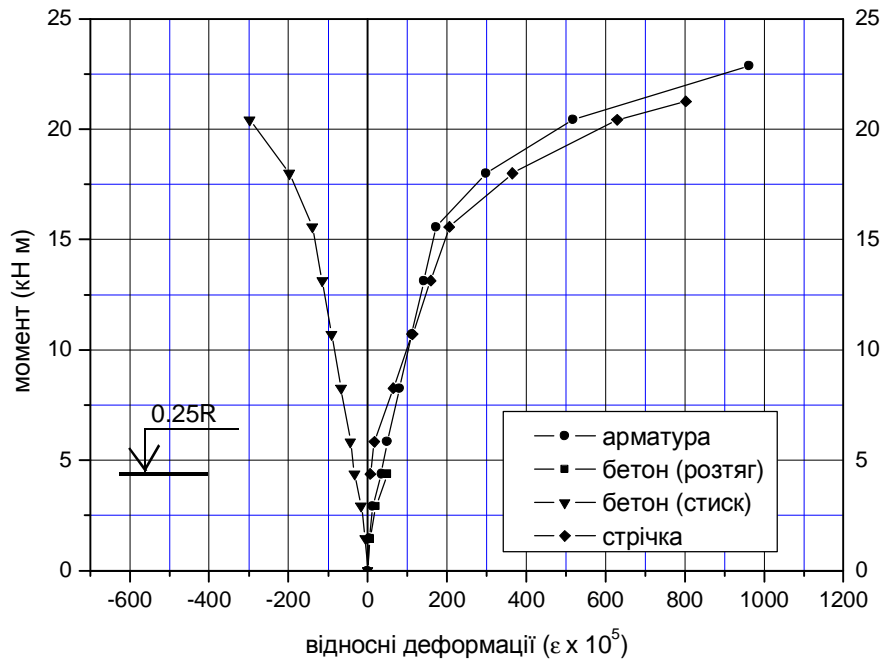


Рис. 5. Графіки деформацій арматури, бетону і стрічки балки Б-1

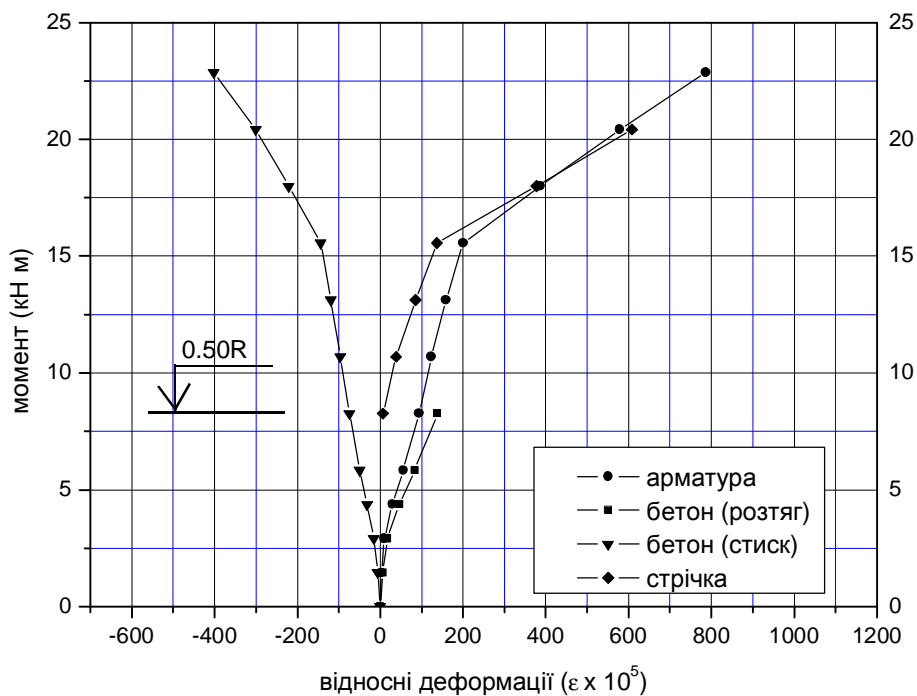


Рис. 6. Графіки деформацій арматури, бетону і стрічки балки Б-2

Для балки Б-3, підсиленій за найвищого рівня попереднього навантаження ( $\gamma = 0,75$ ) в заміряному діапазоні деформацій графіки  $\varepsilon_s$  і  $\varepsilon_L$  не перетиналися за навантаження  $F = 68,1$  кН ( $M = 20,4$  кН·м), проте є очевидною тенденція до перетину графіків у разі подальшого завантаження (рис. 7).

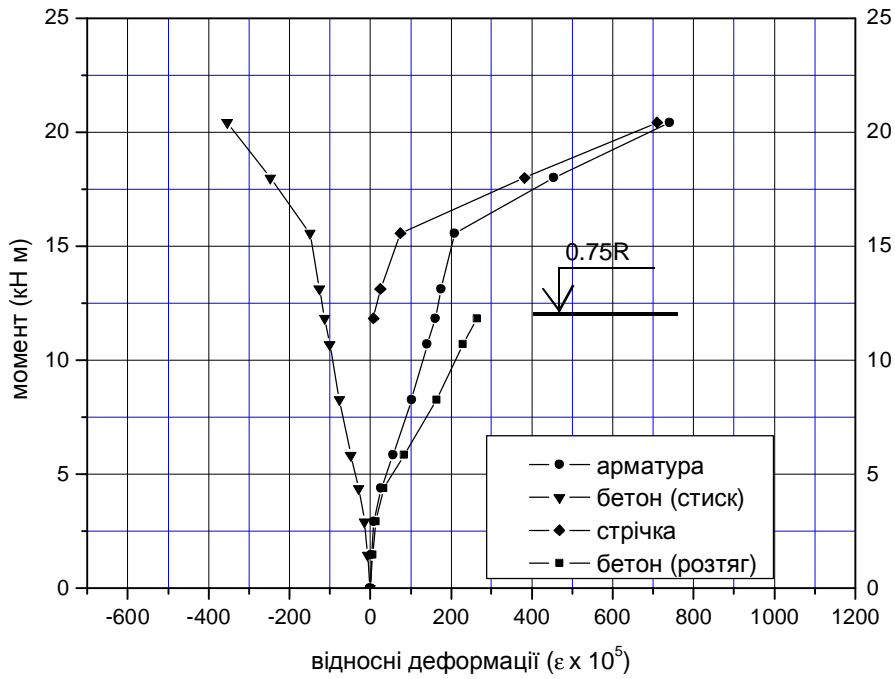


Рис. 7. Графіки деформацій арматури, бетону і стрічки балки Б-3

На рис. 8 подано графіки деформацій стрічок підсиленних балок  $\epsilon_L$ . На початкових етапах завантаження графіки  $\epsilon_L$  є практично паралельними, далі стрімко наростають після початку текучості арматури і поступово вирівнюються.

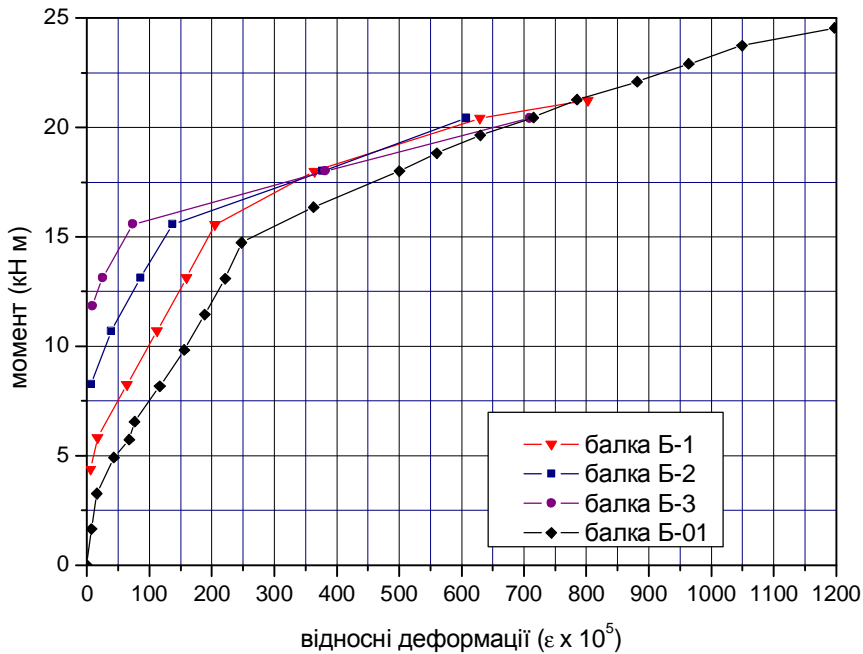


Рис. 8. Графіки деформацій стрічки дослідних балок

Зведені графіки деформацій арматури і бетону всіх випробуваних балок подано на рис. 9. Як бачимо, за низьких і середніх рівнів навантажень деформації всіх підсиленних балок відрізняються несуттєво. За вищих рівнів розбіжність деформацій арматури і бетону збільшується.

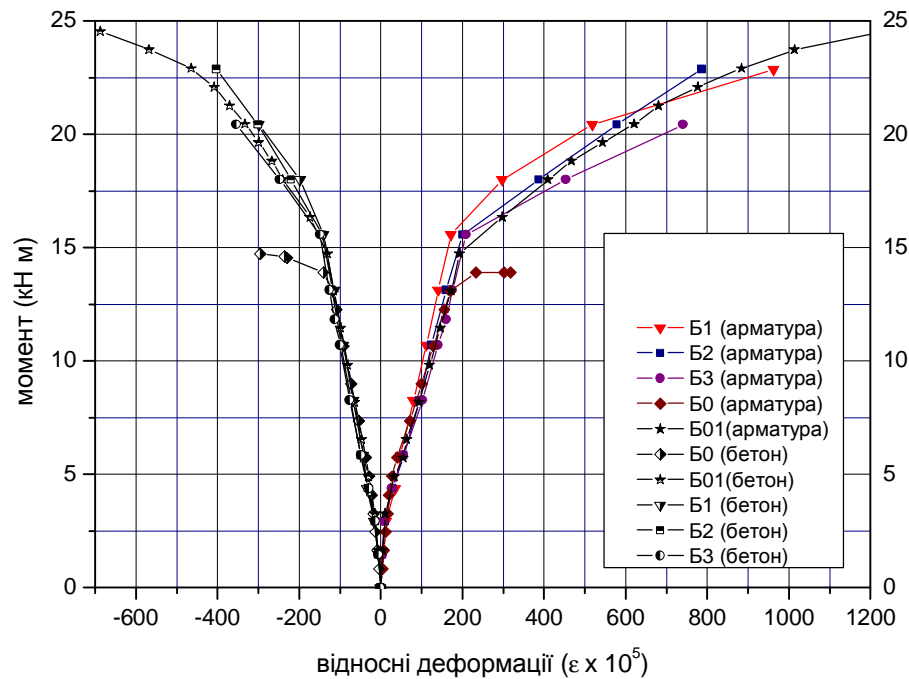


Рис. 9. Зведені графіки деформації арматури і бетону дослідних балок

**Висновки.** 1. Експериментальні дослідження залізобетонних балок, підсилених за різних рівнів попереднього навантаження, підтвердили ефективність підсилюючої системи Sika для збільшення їхньої міцності та жорсткості.

2. Рівень попереднього навантаження, за якого підсилювали балки, дещо вплинув на їхню деформативність, особливо в разі вищих рівнів навантажень.

3. Деформації бетону, арматури і стрічки значно зростають після досягнення арматурою межі текучості, проте конструктивна система продовжує працювати і сприймати навантаження.

1. Kaminska M. *Badania zelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejnymi na ich powierzchniach* / R. Kotynia // XVI konferencja naukowo-techniczna "Beton i prefabrykacja". – Т. 2. – Jadwisin. – 1998. – S. 479–484. 2. Кваша В.Г. *Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP* / І.В. Мельник, М.Д. Климуш // Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 62. – К., 2001. – С. 267–271. 3. Kybicki J. *Badania doświadczalne zarysowanych belek żelbetowych z naklejonymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych* / J. Kybicki // Prace instytutu techniki – kwartalnik № 4 (124) 2002. – S. 43–59. 4. Мельник І.В. *Міцність і деформативність залізобетонних балок підсилених конструкційними композитами при різних умовах попереднього навантаження* / Р.З. Добрянський, А.Я. Мурин // Зб. наук. праць "Будівельні конструкції" – Вип. 56. – К., 2005, – С. 121–129. 5. Мельник І.В. *Експериментальні дослідження міцності, жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних балок, підсилених вуглепластиками при різних рівнях попереднього навантаження* / Р.З. Добрянський, Н.Б. Давидовський // Зб. наук. праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Вип. 22. – Рівне, 2011. – С. 814–821.