

РОБОТА КОМБІНОВАНО АРМОВАНИХ БАЛОК КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ З ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЮ КОМПЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

BEHAVIOR OF COMBINED REINFORCED GLUED-LAMINATED WOODEN BEAMS WITH A PRE-STRESSED COMPOSITE REINFORCEMENT

Поліщук М. В., доктор філософії, ORCID.ORG /0000-0003 - 1981-8008, Гомон П.С., к.т.н., доц., (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), ORCID.ORG /0000-0002-5312-0351

Polishchuk M. V., PhD, **Gomon P. S.**, Candidate of technical sciences, associate professor; (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Досліджено роботу клеєних дерев'яних балок з комбінованим армуванням, у стиснутій зоні яких розміщувалась сталева арматура періодичного профілю, а в розтягнутій зоні влаштовувалась попередньо-напружена композитна стрічкова арматура. Представлено етапи виконання попереднього напруження. Наведено графіки пошарової зміни деформацій деревини та арматури.

The performed studies confirm the good results of the use of composite materials based on synthetic fibers for strengthen wooden structures. The development of armoplastics and availability of synthetic fibers have made composite reinforcement an effective alternative as reinforcement for building constructions. Based on previous studies of wooden beams with a combined reinforcement, which contain steel reinforcement in the compressed zone, and composite reinforcement in the stretched zone, an attempt was made to further improve the performance of these beams by pre-stressing the composite reinforcement in the stretched zone. At the same time, the pre-stressing process itself is performed in several simple stages. As first step, a beam with steel reinforcement glued into the grooves of compressed zone was installed on supports in an inverted to working position. At this stage of research, it was decided to load the beam to the limit deflection value, which is normalized according to the current state construction standards. In this position, the tape was fixed with an adhesive mixture. During this, the loading mechanism allowed placing and fixing the tape on top of the beam along its entire length. After the glue solidifies completely, construction was unloaded and turned back into the working position, during which it was further tested until it lost its bearing capacity. During unloading, the tape is included in the

work and does not allow the beam to return to its original position and thus receives pre-stress and some bending when the load is completely removed. In this way, we get a wooden beam with pre-stressed reinforcement in the form of a strip in the stretched zone. The purpose of this research was to establish the stiffness, load-bearing capacity, and deformation characteristics of a glued laminated wooden beam with pre-stressed composite tape reinforcement. As a result, diagrams of wood fibers, metal and composite reinforcement deformation during pre-stressing and during determination of the failure moment are presented.

Ключові слова:

Клеєна деревина, згин, деформації, попередньо-напружена арматура
Glued wood, bending, deformations, pre-stressed reinforcement

Вступ. Деревина є сучасною сировиною та одним із найбільш затребуваних природних матеріалів, що відновлюються. Завдяки своїм позитивним властивостям вона використовується у якості будівельного матеріалу протягом багатьох століть. Нині у будівництві майже не використовується необроблена деревина. Її витіснила оброблена високотехнологічними методами клеєна деревина, яка виключає основні недоліки та вади природного матеріалу. Застосування клеєної деревини у масивних спорудах таких як зали, мости, стадіони привело до необхідності посилення її задля зменшення висоти перерізу та зменшення прогинів. Одним із способів вирішення цієї проблеми є армування поперечного перерізу міцнішими та жорсткішими матеріалами.

Стан питання та задачі дослідження. Протягом останніх кількох десятиліть дослідники зосередили свою увагу на використанні різних матеріалів, таких як металева та композитна арматура для підсилення дерев'яних елементів. Із введенням більш жорсткого матеріалу в поперечний переріз збільшувалась загальна жорсткість балок, що в свою чергу призводило до зменшення прогинів [1-5]. Проведені дослідження підтвердили хороші можливості із застосування композитних матеріалів на основі синтетичних волокон для досягнення дерев'яних конструкцій з покращеними властивостями. Розвиток армопластиків та доступність синтетичних волокон зробили саме композитну арматуру ефективною альтернативою при армуванні деревини.

Попередньо нами були виконані дослідження [6] одночасного застосування цих двох видів арматури – сталеві та композитної у дерев'яних балках, що у свою чергу дали суттєві результати зі збільшення їх жорсткості та несучої здатності. Проте виникла ідея та можливість подальшого покращення роботи даних балок шляхом виконання попереднього напруження композитної арматури розтягнутої зони, що виконується без

залучення будь-якого додаткового складного обладнання, як того зазвичай вимагає даний процес, а виконується у кілька простих етапів.

Метою даної роботи є встановити особливості деформування дерев'яної балки з комбінованим армуванням, композитна стрічкова арматура якої в зоні розтягу піддається попередньому напруженню й поетапно описати даний процес.

Методика досліджень. Експеримент передбачав випробування армованої дерев'яної балки, що містить у стиснутій зоні сталеву арматуру у вигляді двох стержнів діаметром 12 мм марки А500С, а в розтягнутій – композитну стрічку з вуглеволокна Sika CarboDur S-512. Детально методику влаштування комбінованого армування наведено в [7, 8]. У даній роботі звернемо увагу на особливості попереднього напруження стрічки та на процес пошарового деформування нормального перерізу згинального елемента при цьому.

Як зазначалось в [6], попередньо випробовувались кілька серій балок з комбінованим армуванням лише без попередньо-напруженої арматури. Для даного дослідження було підготовлено балку з клеєної деревини сосни таких же розмірів, а саме з поперечним перерізом 100x150 мм та довжиною 3000 мм. Загальну схему армування наведено на Рис. 1.

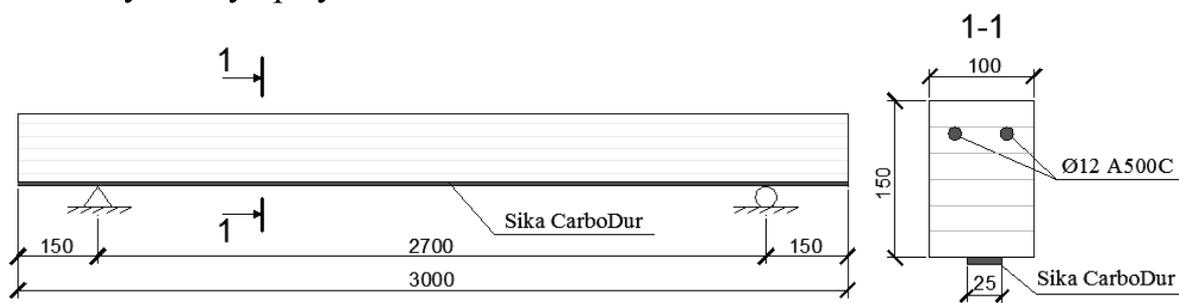


Рис. 1. Схема армування досліджуваної балки

Розрахункова схема для випробування на поперечний згин наведена на Рис. 2 у вигляді вільно обпертої одно пролітної балки завантаженої у двох третинах прольоту.

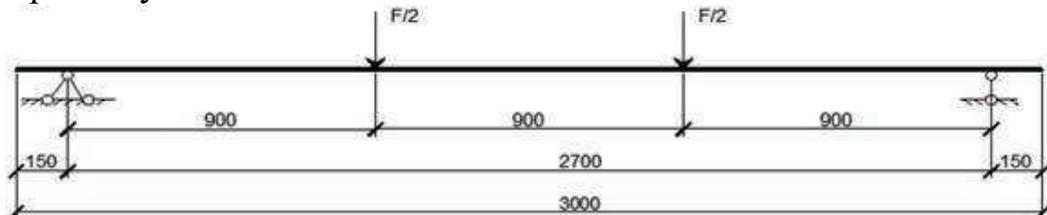
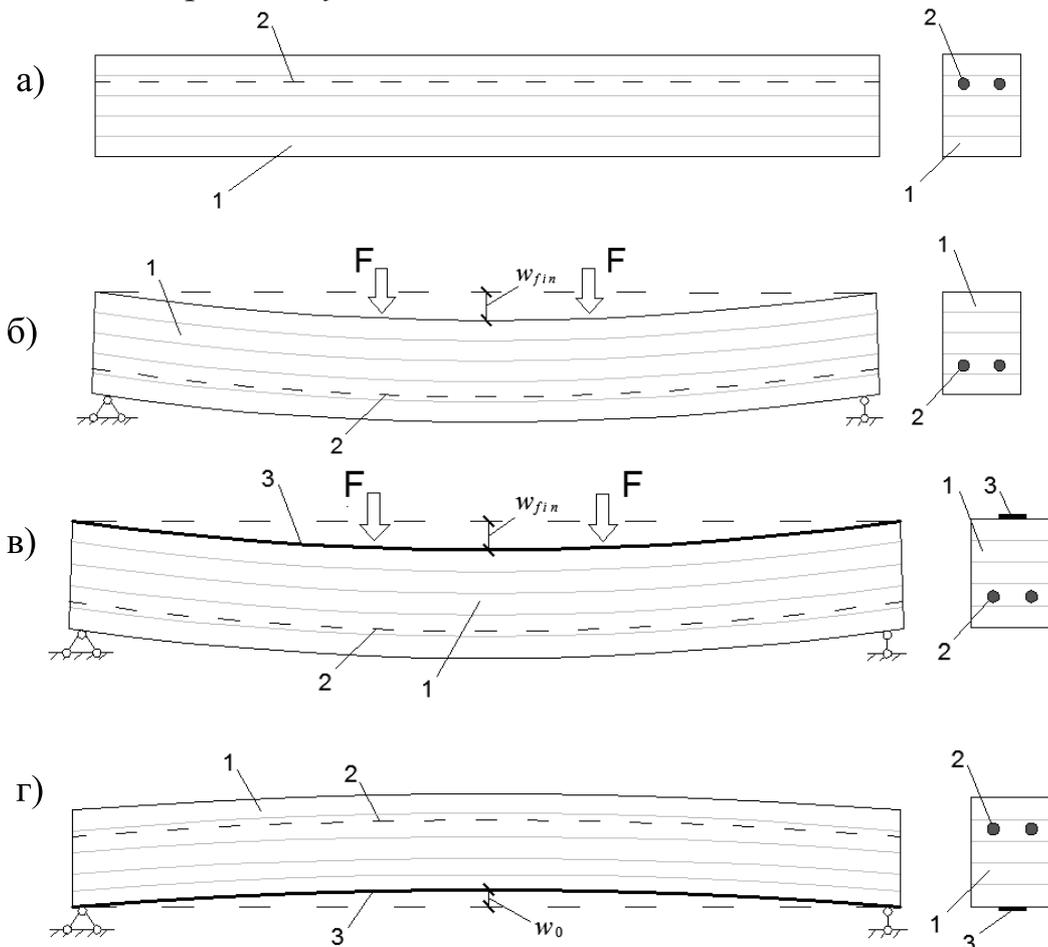


Рис. 2. Розрахункова схема при випробуванні на згин попередньо-напруженої дерев'яної балки із комбінованим армуванням

Щодо виконання попереднього напруження композитної арматури, то воно здійснювалось у тому ж пресі, що й основне випробування та проходило у кілька етапів. Отже, балка із попередньо вклеєною сталеву арматурою у пази в стиснутій зоні встановлювалась на опорах у

перевернутому положенні до робочого на 180° (Рис. 3.б). На даному етапі досліджень було прийнято рішення завантажити балку до значення граничного прогину w_{fin} , що нормується згідно [9] та встановлено за рекомендаціями [10] і для прольоту нашого елемента складає 18 мм. У цьому положенні закріплювали стрічку за допомогою клейової суміші (Рис. 3в). При цьому механізм завантаження дозволяв розміщення й закріплення стрічки зверху балки по всій її довжині (Рис. 4). Після повного застигання клею (через дві доби) конструкція розвантажувалась та переверталась назад у робоче положення (Рис. 3г), при якому проходило подальше її випробування з доведенням до втрати несучої здатності.



1 – балка; 2 – сталева арматура; 3 – композитна стрічкова арматура

Рис. 3. Схема виконання попереднього напруження зовнішньої стрічкової арматури:

- а) балка перед попереднім напруженням у робочому положенні; б) завантажена балка у момент перед приклеюванням стрічки; в) процес безпосереднього приклеювання стрічки; г) балка після розвантаження у робочому положенні

Під час розвантаження стрічка включається в роботу та не дозволяє повернутись балці у своє початкове положення і таким чином отримує попереднє напруження та вигин w_0 при повному знятті навантаження [11].

Таким способом отримуємо дерев'яну балку з попередньо напруженою арматурою у вигляді стрічки в розтягнутій зоні.



Рис. 4. Приклеювання стрічки під навантаженням

Навантаження, що прикладалось до балки, задавали за допомогою гідравлічного домкрата та контролювали кільцевим динамометром. Для визначення відносних деформацій деревини у середині прольоту по периметру поперечного перерізу балки були наклеєні тензотричні датчики базою 20 мм. Такі самі датчики розміщувались і на арматурі. Дані показів датчиків реєструвались з використанням тензотричної виміральної системи СИИТ та записувались на ПЕОМ. Для визначення прогину використовувались прогиноміри 6ПА0.

Результати досліджень. На основі проведених експериментальних досліджень були отримані відносні деформації деревини по висоті поперечного розрахункового перерізу та побудовані графіки деформування волокон деревини, металевої та композитної арматури згинального елемента при дії одноразового короточасного навантаження. Зокрема, відслідковувались деформації в кожній балці перед та після приклеюванням стрічки, тобто в процесі завантаження та розвантаження балок при виконанні попереднього напруження.

Граничний прогин $w_{fin} = 18$ мм, при якому приклеювали стрічку, у перевернутому положенні для балок досягалося при навантаженні близько 2 т, що відповідало згинальному моменту $M=8,55$ кНм. Графік розвитку середніх відносних деформацій до цього моменту представлено на Рис. 5.

Як зазначалось, через дві доби після приклеювання стрічки балка розвантажувалась, при цьому відслідковувалась зміна відносних деформацій, що відображено на Рис. 6. Можна помітити, що при повному знятті навантаження певні деформації в деревині все ж залишилися.

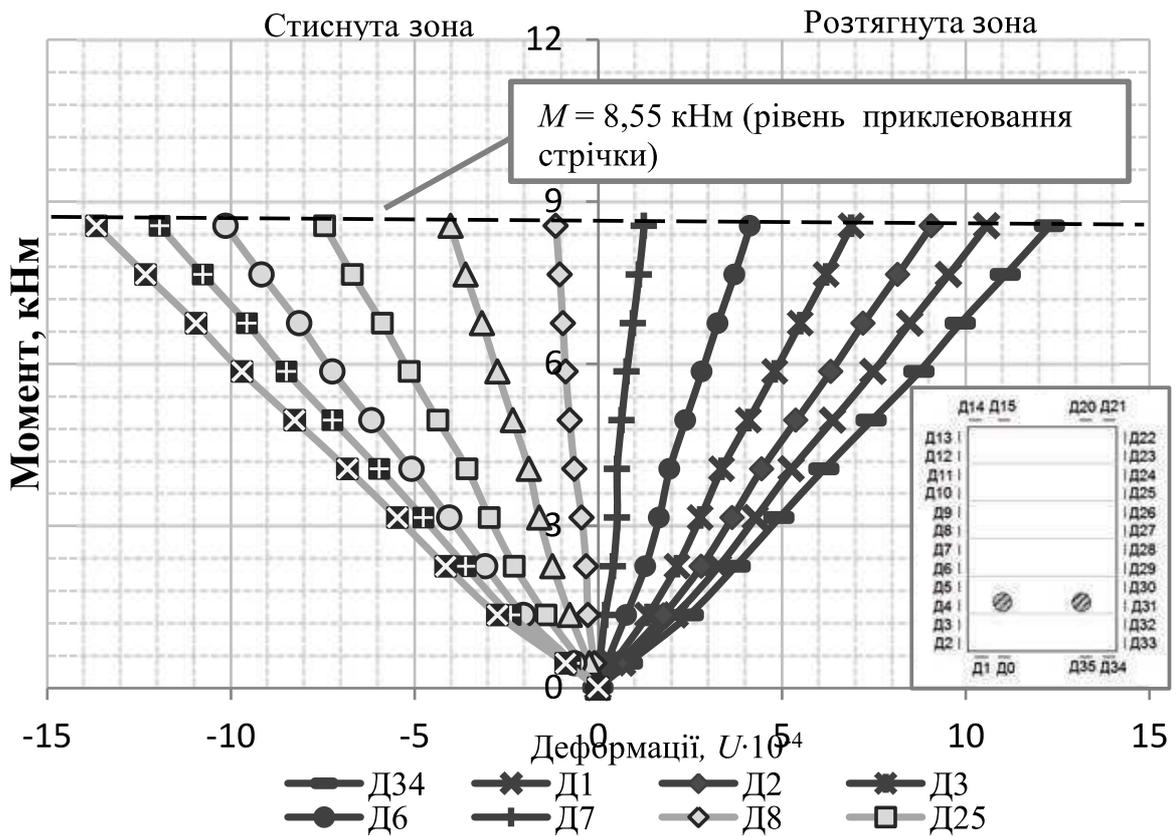


Рис. 5. Діаграма пошарового середнього деформування волокон балки посередині прольоту перед приклеюванням стрічки

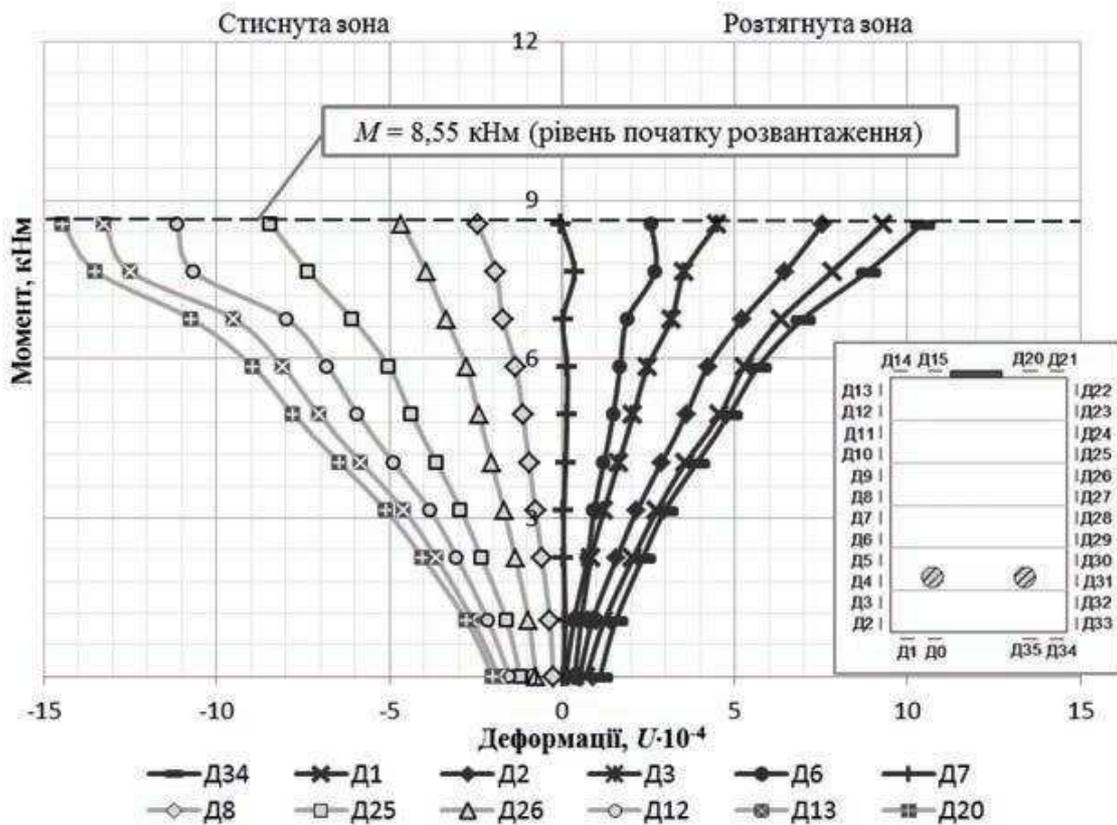


Рис. 6. Діаграма пошарового середнього деформування балки в процесі розвантаження після приклеювання стрічки

Після повного розвантаження балки залишилась вигнутими до 4,7 мм. Перевернувши балки в робоче положення та почавши їх випробовування, значення попереднього вигину було погашено, тобто балка стала горизонтальною (за 0,9 т ($M=4,1\text{кНм}$)). Повна діаграма розподілу середніх відносних деформацій в межах розрахункового поперечного перерізу балки з комбінованим армуванням із попереднім напруженням на всіх стадіях напружено-деформованого стану [12, 13, 14] наведена на Рис. 7. Зразки було доведено до руйнування, яке наступило за навантаження за навантажень 8,6т або $M_{\text{max}} = 38,7\text{кНм}$. Характер руйнування показано на Рис. 8.

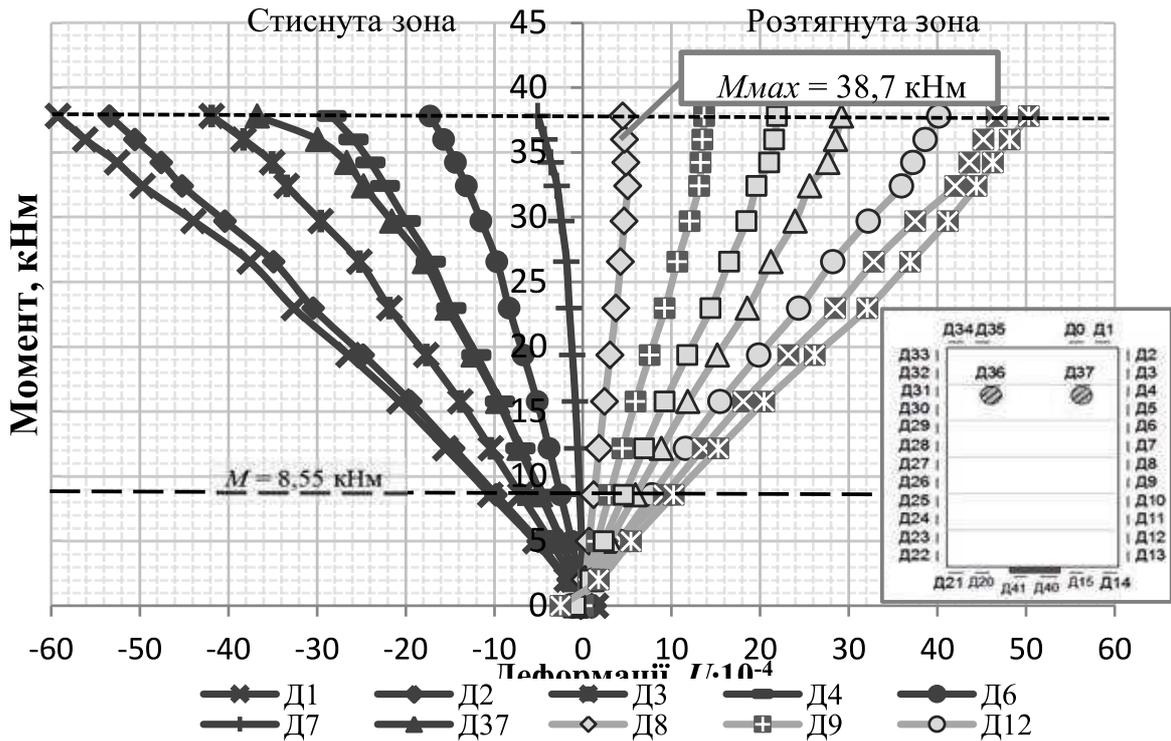


Рис. 7. Діаграма пошарового деформування балки з попередньо-напруженою композитною арматурою



Рис. 8. Характер руйнування досліджуваної балки з попередньо-напруженою композитною арматурою

Важливо відмітити, що порівняно із попередньо випробуваними зразками зі звичайним комбінованим армуванням [6], балка з попереднім напруженням показала значно вищу несучу здатність. Відтак дві балки з аналогічним армуванням без напруження зруйнувались при 26,55 кНм та 29,25 кНм, тоді як за рахунок попереднього напруження досягнуто середнього значення 38,7 кНм. Граничний прогин $w_{fin} = 18$ мм двох зразків було досягнуто при одному й тому ж значенні згинального моменту 12,5 кНм [6], а за рахунок комбінованого армування вдалося підвищити це значення до 16кНм (Рис.9).

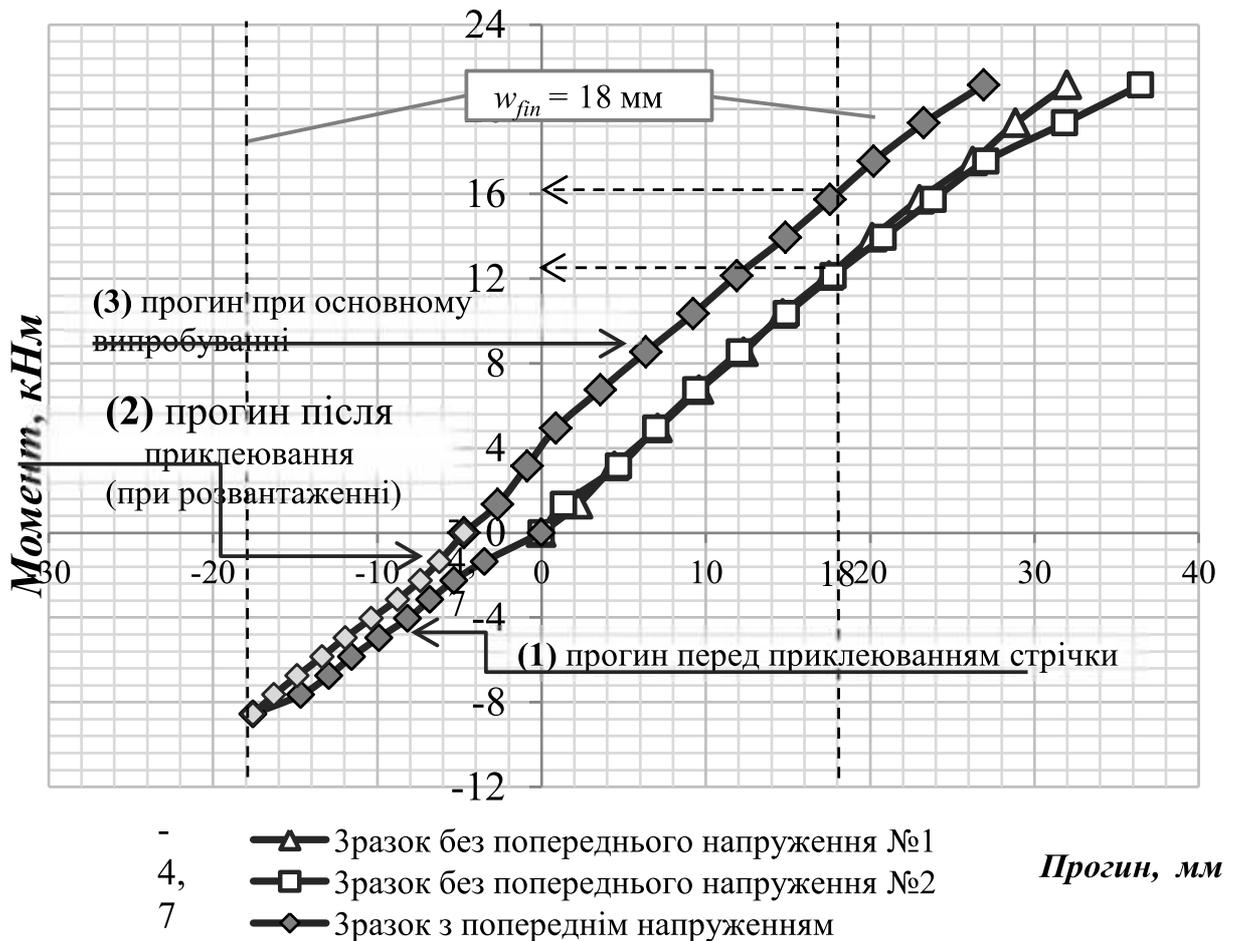


Рис.9. Порівняння прогинів дерев'яних балок без попереднього напруження арматури та з попереднім напруженням

Висновки. Запропоновано новий підхід, що дозволяє з мінімальними затратами ресурсів, без залучення спеціальних пристроїв та обладнання, у кілька простих кроків виконати попереднє напруження зовнішньої стрічкової арматури розтягнутої зони дерев'яних балок. У результаті чого отримано:

1. Несучу здатність дерев'яних балок із попереднім напруженням підвищено на 46% та 33% відносно двох раніше випробуваних зразків таких же розмірів з аналогічним армуванням, проте в яких не виконувалось попереднє напруження арматури.

2. Повний спектр діаграм пошарового деформування волокон деревини, металевої та композитної арматури посередині прольоту під час

завантаження та розвантаження балок в процесі виконання попереднього напруження та в ході визначення моменту руйнування.

3. Завдяки такій відносно нескладній процедурі вдалося підвищити на 28% (із 12,5 кНм до 16 кНм) рівень навантаження, за якого було досягнуто граничний прогин у порівнянні зі зразками без попереднього напруження.

1. Башинський О. І., Боднарчук Т.Б., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів, 2014. №9. С. 184-189.

Bashyns'kyu O. I., Bodnarchuk T.B., Peleshko M.Z. Nesucha zdatnist' ta vohnestiykist' derev'yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti. 2014. №9. S. 184-189.

2. Демчина Б. Г., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок армованих неметалевою арматурою. Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд: Вісник ДонНАБА. Вип. 5 (85). Т. II. Макіївка: ДонНАБА, 2010. С. 193-197.

Demchyna B. H., Surmay M.I., Kravz A.R., Blyakhar T.Y. Dosvid vyhotovlennya doshchatokleyenykh balok armovanykh nemetalevoyu armaturoyu. Suchasni budivel'ni materialy, konstruktsiyi ta innovatsiyi tekhnolohiyi zvedennya budivel' i sporud: Visnyk DonNABA. Vyr. 5 (85). T. II. Makiyivka: DonNABA, 2010. s. 193-197.

3. Єрмоленко Д.А., Іщенко М.С. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 2 (47). С. 140-147.

Yermolenko D.A., Ishchenko M.S. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleyenykh derev'yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.

4. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Нац. ун-т "Львівська політехніка". 2015. 185 с.

Surmay M. I. Mitsnist' ta deformatyvnist' doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastikovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Nats. un-t "L'vivs'ka politekhnika". 2015. 185 s.

5. Стоянов В. В. Усиление балочных конструкций методом послойного армирования. Известия вузов. Строительство. 2013. №11. С. 44-47.

Stoyanov V. V. Usylenye balochnykh konstruktsyyu metodom posloynoho armyrovanyua. Yzvestyua vuzov Stroytel'stvo. 2013. №11. s. 44-47.

6. Поліщук М. В. Напружено-деформований стан згинальних елементів з клеєної деревини з комбінованим армуванням: дис. ... д-ра філософії – 192 Будівництво та цивільна інженерія. Рівне, 2023. 168с.

Polishchuk M. V. Napruzhenodeformovanyu stan z'hynal'nykh elementiv z kleynoyi derevyny z kombinovanyu armuvannyam: dys. ... d-ra filosofiyi – 192 Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriya. Rivne, 2023. 168s.

7. Гомон С.С., Поліщук М.В. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. Львів, 2019. № 20. С. 44–49.

Gomon S.S., Polishchuk M.V. Vlashtuvannya kombinovanoho armuvannya balok iz kleynoyi derevyny. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo. L'viv, 2019. № 20. S. 44–49.

8. S. Gomon, P. Gomon, S. Homon, M. Polishchuk, T. Dovbenko, L. Kulakovskiy Improving the strength of bending elements of glued wood. Procedia Structural Integrity 36, 217-222.

9. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. [Чинний від 01.02.2018]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 111 с.

DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Derev'yani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. [Chynnyu vid 01.02.2018]. Vyd. ofits. Kyuyiv : Minrehion Ukrayiny, 2017. 111s

10. Гомон С. С. Конструкції із дерева та пластмас. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП. 2016. 219с.

Gomon S. S. Konstruktsiyi iz dereva ta plastmas. Navchal'nyu posibnyk. Rivne: NUVHP. 2016. 219s.

11. Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок з клеєної деревини: патент № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Гомон С. С., Гомон П. С., Поліщук М. В.; заявник і патентовласник НУВГП – u2020 00431; заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. № 14.

Sposib napruzhennya zovnishn'oyi strichkovoyi armatury balok z kleynoyi derevyny: patent № 143340 Ukrayina, MPK E04S 3/26 (2006.01). Homon S. S., Homon P. S., Polishchuk M. V.; zayavnyk i patentovlasnyk NUVHP – u2020 00431; zayav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Byul. № 14.

12. S. Gomon, S. Gomon, V. Karavan, P. Gomon, J. Sobczak-Piąstka. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. AIP Conference Proceedings 2077, 020019 (2019); p.1-6.

13. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2011. Випуск 21. С. 176-180.

Gomon S.S. Stadiyi napruzheno-deformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z'hyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne, 2011. Vypusk 21. S. 176-180.

14. Гомон С.С. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2019. 288с.

Gomon S.S. Napruzheno-deformovanyu stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh: monohrafiya. Rivne: Volyns'kioberehy, 2019. 288s.

15. С.С. Гомон, С.С. Гомон, Т.А. Сасовський. Діаграми механічного стану деревини сосни за повторного деформування до повної втрати міцності матеріалу. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2012. Випуск 23. 106-112.

S.S. Gomon, S.S. Homon, T.A. Sasovskyy. Diahramy mekhanichnoho stanu derevyny sosny za povtornooho deformuvannya do povnoyi vtraty mitsnosti materialu. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. Rivne, 2012. Vypusk 23. 106-112.