

КОМБИНИРАНИ ДЪРВЕНО-СТОМАНОБЕТОННИ МОСТОВЕ

Любомир Карадех¹

TIMBER-CONCRETE COMPOSITE BRIDGES

Lyubomir Karadeh

Abstract:

Timber-concrete composite bridges are not widely used, but possess unique qualities. The article reviews the most established worldwide system for timber-concrete composite bridges, its structural characteristics and features. An analysis of the advantages of this type of bridge over the widely used ones and a justification for their rational application are made.

Keywords:

Timber-concrete composite bridges, bridges, TCC bridges, composite bridges, connection systems

1. ВЪВЕДЕНИЕ

1.1. Кратък исторически преглед

Идеята за комбинирани конструкции от дърво и стоманобетон възниква преди около сто години в Германия. Paul Müller през 1922 г. и по-късно Otto Schaub през 1939 г. реализират първите патенти за обновяване и укрепване на съществуващи дървени подове чрез монолитни стоманобетонни плочи. Така са осъществени първите комбинирани дървено-стоманобетонни конструкции. [31]

През 30^{-те} години на миналия век в САЩ, поради недостига на стомана в периода между двете световни войни са проектирани и построени първите комбинирани дървено-стоманобетонни мостове с малки и средни подпорни разстояния. [31, 36, 37, 41]

През 50^{-те} години на миналия век такива мостове започват да се строят и в Австралия и Нова Зеландия, а в Европа – Финландия, Швейцария, Франция, Германия и Австрия, както и в Бразилия това става чак към 90^{-те} години на миналия век. [1, 5, 10, 20, 29, 30, 34]

В Чили и Аржентина са правени само някои проучвания. В Южна Европа тези мостове са също слабо застъпени, като има незначителни проучвания и реализации в Португалия и Италия. [2, 6, 36]

В Швейцария са построени няколко интересни конструкции с разстояния до 45 m [28, 35, 42]. Във Финландия комбинирани дървено-стоманобетонни мостове с ширина

¹ Любомир Карадех, доктор, главен асистент, катедра „Строителни конструкции“, Строителен факултет, ВСУ „Любен Каравелов“, ул. „Суходолска“ 175, karadeh@abv.bg;

Lyubomir Karadeh, Dr., Ch. Assistant Prof, Department of Building Structures, Faculty of Structural Engineering, VSU “Lyuben Karavelov”, 175 Suhodolska Street, karadeh@abv.bg.

между 4,50 и 8,50 m и разстояния между 10 и 30 m са разработени и построени в рамките на голям изследователски проект [26, 35, 39].

В днешно време, със своите уникални качества и предимства комбинираните дървено-стоманобетонни мостове стават все по-популярни в световен мащаб (фиг. 1) [36]. Според [3, 36] към 2012 г. броят им по света наброява повече от сто. Заедно с приложението на карбонбетона в мостовото строителство [44] тези мостове бележат бурно развитие.



Фигура 1. Комбиниран дървено-стоманобетонен мост над пролива Вихантасалми, Финландия, построен през 1999 г. с обща дължина 168 m (21 + 42 + 42 + 42 + 21) (а) и комбиниран дървено-стоманобетонен мост над река Аггер, Германия, построен през 2014 г. (б) [36]

1.2. Конструктивна система. Варианти

В световен мащаб за този тип мостове се е утвърдила една и съща конструктивна система, а именно - стоманобетонна плоча, която се изпълнява върху дървени греди и конструктивна връзка между тях. Тази конструкция има основно две разновидности, като втората е по-утвърдена и по-масово срещана:

- комбинирана конструкция тип „плоча“. Тук дървените греди може да са от цели дървени трупи или да са профилирани с правоъгълно сечение, които се монтират една до друга, като по този начин те изпълняват и функцията на кофраж [31, 36]. Типичен пример за този вариант е моста Campus II USP в Бразилия, с отвор 12 m, изграден от дървени трупи (фиг. 2) [36].



Фигура 2. Моста Campus II USP, Бразилия, с отвор 12 m: монтиране на дървените трупи (а), полагане на бетона (б) и изглед отдолу (в) [36]

При комбинираната конструкция тип „плоча“, правоъгълните греди най-често са от лепена многослойна дървесина (Glued Laminated Wood - Glulam). Приложението на тези греди е оправдано ако се цели постигането на по-малка височина на конструкцията на

моста с цел да се увеличи просвета под него или ако този тип греди са конкурентни на добиването на местни дървени трупи [36].

- „гредова“ комбинирана конструкция (фиг. 3). При нея гредите са с правоъгълно сечение и се разполагат на определено разстояние една от друга. При този вариант е необходимо да се монтира кофраж между гредите, който може да остане или да се премахне след като бетонната смес достигне нужната якост. Гредите най-често са от лепена многослойна дървесина, но могат да бъдат изпълнени и от друга модифицирана дървесина, като LVL (Laminated Veneer Lumber) и CLT (Cross Laminated timber). При метода „мокро-сухо“ стоманобетонна плоча е предварително изготвена и се лепи върху дървените греди.



Фигура 3. Моста Quiaios, Португалия, с отвор 15 m: греди от лепена многослойна дървесина (а), кофраж и подпорно скеле (б), армировка и Х-образни дюбели (в) и изглед отдолу (г) [36]

2. НОРМАТИВНА БАЗА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

Комбинираните дървено-стоманобетонни мостове са слабо представени в действащите норми по света. В Канада са разработени някои насоки за проектиране на комбинирани подови конструкции в Guide for Timber-Concrete Composite Floors in Canada. В САЩ тези мостове са представени в AASHTO (American Association of State Highway Officials) и AASTHO (State Highway and Transportation Officials). В Бразилия през 2006 г. е публикуван Bridge design code. [12, 31, 38]

Като част от второто поколение на Еврокодовете е създадена нова част на Еврокод 5, а именно EN 1995-1-3 (1995-1-3 Timber-concrete composite structures), която представя цялостно проектиране на комбинирани дървено-стоманобетонни конструкции. Тази част е в процес на подготовка и се очаква да бъде публикувана скоро. [14, 31]

3. ОСОБЕНОСТИ В ОРАЗМЕРЯВАНЕТО И КОНСТРУИРАНЕТО

Прилагат се различни класове бетон и дървесина, както и голямо разнообразие от съединителни средства.

Стремежа при конструирането на комбинираното сечение е в стоманобетонната плоча да се поражат основно натискови напрежения, а в дървените греди – основно опънни. По този начин се получава пълноценно използване на двата вида конструктивни елементи. По долния ръб на стоманобетонна плоча е възможно да възникнат пунатини, което може да влоши връзката на плочата със съединителните средства. Все още няма утвърдена методология, чрез която да се оцени този ефект.

3.1. Конструктивна връзка между стоманобетонната плоча и дървените греди. Видове съединителни средства

Съединителните средства създават конструктивната връзка между стоманобетонната плоча и дървените греди. Ограничавайки приплъзването в тях се поражат сили на хлъзгане. Стойността на ограниченото приплъзване зависи много от вида на съединителните средства, като при лепените (непрекъснатите) съединения такова приплъзване липсва. „При непълна връзка на срязване Хипотезата на Бернули за равнинност при огъване не е в сила за цялото сечение. Тя е в сила по отделно за сеченията на отделните елементи“ [47], стр. 15.

В практиката на комбинираните дървено-стоманобетонни мостове са утвърдени доста видове съединителни средства. Изискванията към тях са те да притежават достатъчна якост, коравина (да позволяват само ограничено приплъзване) и да притежават определена дуктилност (податливост). Избора на определен тип съединително средство е свързан и с удобството му при монтажа и цената му [31].

Податливостта на дискретните съединения (съединенията създаващи непълна връзка на срязване), разглеждана по отношение на максималната им деформационна способност, е важна механична характеристика, която намалява рисковете от крехко разрушаване и позволява по-благоприятно преразпределение на натоварването между съединенията, и увеличава общата носещата способност и коравина на комбинираната конструкция. [9, 17, 36]

Съединителните средства са основно няколко типа (фиг. 4) [36]:

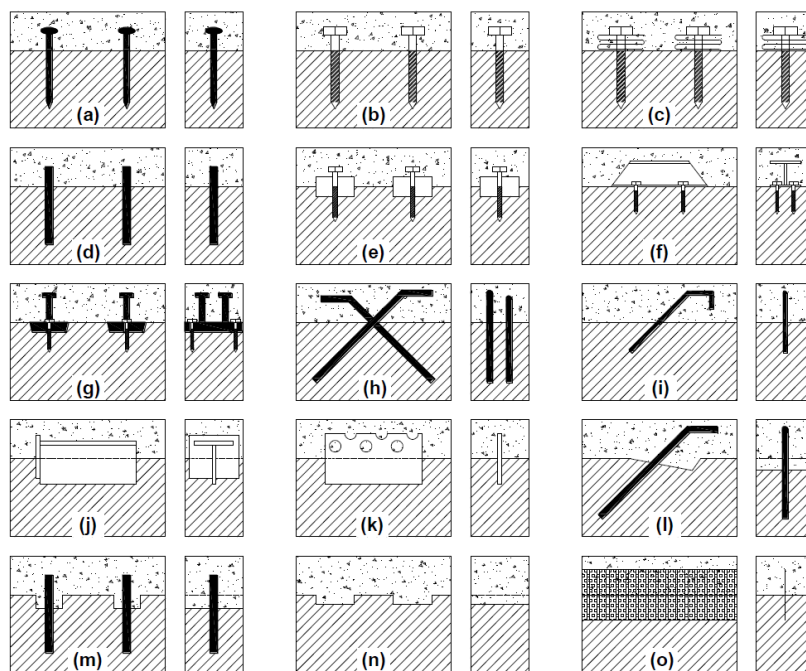
- стоманени дюбелни съединителни средства - дюбели, винтове, наклонени винтове, наклонени армировъчни пръти, пирони и др. С изключение на наклонените винтове тези съединения са с най-ниска коравина и най-голяма дуктилност [13, 31];

- врязвания в дървените греди. Те могат да са с различна форма – правоъгълни, кръгли, с вертикални или наклонение стени. Тези съединения са с незначителна дуктилност, която може да се подобри чрез монтаж в тях на стоманени дюбели или винтове [13, 31];

- лепени съединения (непрекъснати съединения). Чрез тях се реализира неподаваема връзка между стоманобетонна плоча и дървените греди и оттам максимално възможна коравина на комбинираната конструкция. Прилагат се два варианта – „мокро-сухо“ – връзката е чрез лепилен слой между сглобяема стоманобетонна плоча и дървените греди. При метода „Мокро-мокро“ непосредствено след полагането на лепилния слой върху горната повърхност на гредите се полага бетонната смес. Този вариант има доста сериозни проблеми с технологията, което може да компрометира връзката между гредите и плочата и затова засега това решение не се прилага. При лепените съединения няма концентрация на напрежения както при дискретните съединения, но разрушението е крехко. [36]

- съединения с ноктеви или „гвоздейни“ плочи (Nail plates) [31, 32];

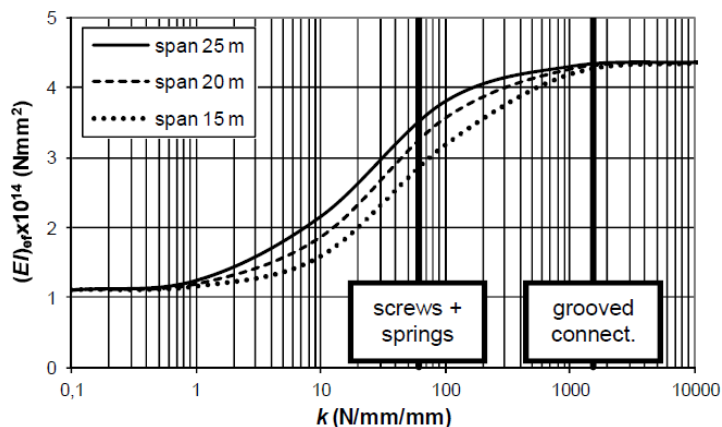
- съединения, базирани на триене (зацепване). Те се прилагат основно в Швейцария [12, 31].



Фигура 4. Съединителни средства: (a) пирони; (b) винтове; (c) винтове + пружини; (d) дюбели; (e) CHS + винтове; (f) UCS; (g) HSP + шпилки; (h) X-конектор; (i) арматурни пръти; (j) PSP; (k) TSP; (l) армировъчни пръти + връзвания; (m) дюбели + връзвания; (n) връзвания; (o) HBV [36]

За комбинирани дървено-стоманобетонни подови конструкции за сгради се прилагат методи на основата на линейно-еластичната постановка [27, 31, 36]. При мостовете обаче, които трябва да поемат големи подвижни, динамични товари се изисква нелинеен анализ. [15, 16, 41]

Определянето на модула на приплъзване K за всеки вид дискретно съединително средство се определя най-често по експериментален път [8, 36, 41]. С увеличаването на линейния модул на приплъзване k се увеличава и ефективната коравина $(EI)_{ef}$, която се доближава асимптотично към определен максимум $(EI)_{ef,max}$. Установено е, че над определено ниво, увеличаването на ефективната коравина на съединението става почти безполезно, имайки незначителен ефект върху ефективната коравина на огъване (фиг. 5) [36].



Фигура 5. Връзка между ефективната коравина $(EI)_{ef}$ и линейния модул на приплъзване за винтове с пружини [36]

3.2. Ефекти от съсъхване, пълзене, умора и промяна на влажността в дървесината

Съсъхването на бетона предизвиква допълнителни сили на хлъзгане в съединенията. Поради задържащото действие на съединенията тези сили предизвикват допълнителен опън в долния ръб на плочата и заедно с опънните напрежения от експлоатационния товар е възможно да предизвикат напукване в бетона, което влияе негативно на връзката на плочата със съединителните средства. За да се минимизират тези ефекти се препоръчва да се използва нискосъсхващ цимент и ниско водоциментно отношение за бетонната смес, както и допълнително армиране. В това отношение сглобяемите стоманобетонни плочи с лепени съединения са с предимство [24].

Пълзенето и съсъхването на бетона и дървесината влияят освен на конструктивната връзка (съединенията), но и на общата носеща способност и коравина на комбинираната конструкция.

Умората също е съществен фактор, който с времето може да влоши механичните свойства на съединителните средства [31].

Променящата се влажност на дървесината в процеса на експлоатация също предизвиква дълготрайни ефекти.

Поради непълната нормативна база в световната практика е утвърдено да се правят допълнителни експериментални и теоретични изследвания за всеки проектиран мост. Особено много това важи за дълготрайните ефекти от съсъхването, пълзенето, умората и промяната на влажността в дървесината на дървените греди. Показателен в това отношение е мостът „Биркберг“ близо до град Випра (Wippra), Германия, построен през 2008 г. с отвор 15,2 m [35]. За него са направени 28 (двадесет и осем) краковременни изпитвания на срязване за определяне на модула на приплъзване. Направени са и тестове за оценка на намаляването на модула на приплъзване и носещата способност за динамични товари с два милиона цикъла. За дълготрайните ефекти са проведени пет годишни експерименти на открито, като е оценено изменението на влажността за този период и е установено че влажността е достигнала до 20% за кратък период от време, което се счита за доста добър резултат.

3.3. Огнеустойчивост

Дървесината започва да гори и да се овъглява при около 300°C. Дебелината на овъгления слой се увеличава с определена скорост във времето, като якостта на неовъглената дървесина почти се запазва, основно поради ниската топлопроводност на дървесината. Това е причината дървесината да има добра огнеустойчивост. От друга страна, механичните свойства на бетона намаляват, когато температурата надвиши 400°C.

Геометрията на комбинираното напречно сечение се променя по време на пожара поради овъгляване на дървения материал и отчупване на части от бетона. Освен това, височината на дървените греди може да се намали поради отлепване на ламели от тях, когато става въпрос за лепена многослойна дървесина, LVL или CLT [18, 23, 31]. Лепените съединения също са доста уязвими при пожар.

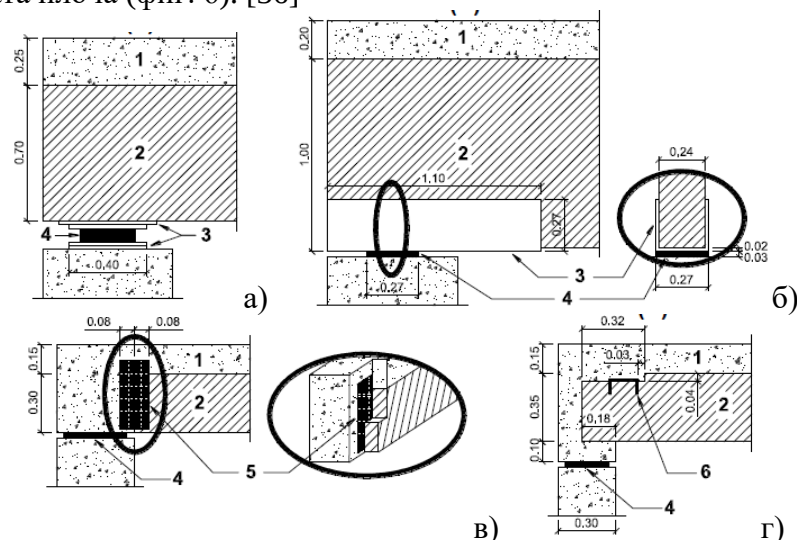
Повишените температури също влияят върху съединителните средства, като страничната дебелина на гредите е важен фактор за защитата им [21, 31].

При гредовата комбинирана конструкция овъгляването на гредите най-често е тристранно, докато при комбинираната конструкция тип плоча е едномерно, което е доста по-благоприятно [11, 31].

3.4. Конструирание на опорните зони

Поради ниската якост на натиск перпендикулярно на влакната на дървесината в опорните зони на гредите е необходимо да се увеличи опорната площ на предаване на реакциите. Това се постига най-често със стоманени плочи и елементи. Друг подход е в

тези зони да се предвидят стоманобетонни елементи (греди), които са част от стоманобетонната плоча (фиг. 6). [36]



Фигура 6. Различни опорни системи: увеличаване на опорната площ на дървените греди чрез стоманени плочи и елементи – (а) и (б); стоманобетонни греди в опорната зона – (в) и (г) [36]

4. НЯКОИ ОСОБЕНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЯТА НА ИЗПЪЛНЕНИЕ

Важно изискване при изпълнението на този тип мостове е да се предпазват дървените греди от влагата в бетонната смес при нейното полагане, а съединителните средства да се защитят от корозия. Предпазването на повърхностите на гредите, които контактуват с пресния бетон става най-често с нанасяне на водоустойчиви бои, преди бетонирането. Препоръчва се бетонната смес да е с ниско водоциментно отношение. Също така не трябва да се ползва дървесина, която би могла да реагира неблагоприятно с цимента (като лиственица поради високото съдържание на захари). [7, 12, 22, 31, 36]

При бетонирането на плочата е необходимо междинно опиране. В този технологичен етап дървените греди поемат товара от бетонната смес. Конструктивните изчисления трябва да са съобразени с технологичните състояния при изпълнението на моста.

5. КАЧЕСТВА И ПРЕДИМСТВА НА КОМБИНИРАНИТЕ ДЪРВЕНО-СТОМАНОБЕТОННИ МОСТОВЕ

В сравнение с дървените мостове комбинираните дървено-стоманобетонни мостове могат да преодолеят по-големи отвори поради възможността за постигане на по-голяма обща носеща способност и коравина. От своя страна стоманобетонната плоча подобрява сеизмичната осигуреност на моста, поради нейната конструктивна непрекъснатост в надлъжно и напречно направление. Огъвната коравина на плочата осигурява по-равномерно разпределение на експлоатационния товар между дървените греди. Тя осигурява и ефективна защита на дървения греди от атмосферни води и намалява колебанията на влагата в тях, което намалява разходите за поддръжка и подобрява дълготрайността. Друго предимство пред дървените мостове е, че при комбинираните дървено-стоманобетонни мостове се налага по-малко количество на химическата защита, което е по-благоприятно за околната среда и хората. [7, 8, 25, 31, 36, 40, 43]

В духа на новите концепции за усилване на мостове за удължаване на жизнения им цикъл [45, 46] тези мостове са добра алтернатива за усилване на дървени мостове, каквато е и първоначалната идея на дървено-стоманобетонните конструкции.

По отношение на стоманобетонните мостове комбинираните дървено-стоманобетонни мостове са доста по-леки, което допринася за по-малки сеизмични сили

върху готовата конструкция. Производството на дървените греди е с малък въглероден отпечатък и имат по-добър външен вид от стоманобетонните. [4, 19, 31, 33]

Дървесината в сравнение със стоманата притежава доста по-малки коефициенти на топлопроводност и топлинно разширение. Спрямо стоманените греди това е доста голямо предимство – дървените греди практически нямат линейни температурни деформации и успешно защитават съединителните средства от високите температури при пожар.

Не на последно място трябва да се споменем ниските разходи за производството, транспорта и монтажа на дървените греди.

6. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По отношение на малките и средните отвори (10-30 m [35]) комбинираните дървено-стоманобетонни мостове са конкурентни на останалите видове мостове. Със своите уникални качества - естетичен външен вид, добра огнеустойчивост, ниска цена и дълготрайност те стават все по-предпочитани в световен мащаб. Нормативната база все още не е добре развита, но това не е пречка тези мостове да се утвърждават все повече. Очакванията са, че в близко бъдеще нормативната база за този тип мостове ще се развие на задоволително ниво.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aasheim E. Development of timber bridges in the Nordic countries, World Conference on Timber Engineering, Vancouver, Canada, 2000
- [2] Astori R, Barrios D'Ambra R, Solari F, Koteski L. Numerical experimental analysis of a composite timber-concrete section, *Mecánica Computacional*, , 2007, XXVI, 111-128. (in spanish)
- [3] Balogh J, Fragiaco M, Gutkowski R, Atadero R, Ivanyi P. Fatigue behavior of notched connections in wood-concrete composites, World Conference on Timber Engineering, Auckland, New Zealand, 2012
- [4] Bouhaya L, Roy R, Feraille-Fresnet A. Simplified environmental study on innovative bridge structure, *Environmental Science & Technology*, 2009, 46(6), 2066-2071
- [5] Calil Jr. Brazilian Handbook for the Design and Construction of Timber Bridges, Suprema, São Carlos, Brazil, 2006 (in portuguese)
- [6] Cárdenas M, Schanack F, Ramos O. Design construction and testing of a composite glued timber-concrete structure to be used in bridges, *Revista De La Construcción*, 2010, 9(2), 63-75. (in spanish)
- [7] Ceccotti A. Composite concrete-timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2002, 4:264-275
- [8] Ceccotti, A. Composite concrete-timber structures, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2002, 4(3), 264-275
- [9] Clouston P, Bathon L, Schreyer A. Shear and bending performance of a novel wood-concrete composite system, *Journal of Structural Engineering*, 2005, 131(9), 1404-1412
- [10] Cone C. A composite timber-concrete bridge, *TDA Bulletin*, 1963, 1(9)
- [11] Dagenais C, Ranger L, Cuerrier-Auclair S. Understanding fire performance of wood-concrete composite floor systems. World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, 2016, p. 5396-5404
- [12] Dias A, Schanzlin J, Dietsch P. Design of Timber-Concrete Composite Structures: A State-of-the-Art Report by COST Action FP1402/WG 4. Aachen: Shaker Verlag; 2018
- [13] Dias A, Jorge L. The effect of ductile connectors on the behaviour of timber-concrete composite beams. *Engineering structures*, 2011, 33:3033-3042

- [14] Dias A. Timber-concrete composites - A new part in Eurocode 5. In: Proceedings of WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, 2016, p. 5650-5657
- [15] Dias A, Ferreira M, Jorge, L, Martins H. Timber-concrete practical applications - Bridge case study, Proceedings of the ICE - Structures and Buildings, 2011 164(2), 131-141
- [16] Dias A (2012). Analysis of the Nonlinear behavior of timber-concrete connections, Journal of Structural Engineering, 2012, 138(9), 1-10
- [17] Dias A, Jorge L. The effect of ductile connectors on the behaviour of timber-concrete composite beams, Engineering Structures, 2011 33(11), 3033-3042
- [18] EN 1992-1-2. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN, European Committee for Standardization, 2004
- [19] Falk B. Wood as a sustainable building material, Forest Products Journal, 2009, 59(9), 6-12
- [20] Flach M, Frenette C. Wood-concrete-composite-technology in bridge construction, Proc. of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, 2004, 289-294
- [21] Frangi A, Knobloch M, Fontana M. Fire design of timber-concrete composite slabs with screwed connections. Journal of Structural Engineering, 2010, 136(2):219-228
- [22] Fjellström P, Tengs A, Salokangas E, Jutila A. Monitoring of four new timber bridges, Nordic Timber Council. Stockholm, Sweden, 2002
- [23] Klippel M, Boccadoro L, Klingsch E, Frangi A. Fire tests on timber-concrete composite slabs using beech laminated veneer lumber, World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, 2016, p. 3910-3917
- [24] Lyu Z, Malaga-Chuquiyape C, Ruiz-Teran A. Design of timber-concrete composite (TTC) bridges with under-deck stay cables, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, UK, 2019, 29 p.
- [25] Mascia, N, Soriano, J (2004). Benefits of timber-concrete composite action in rural bridges, Materials and Structures, 2004, 37(2), 122-128
- [26] Mäkipuro R. Wood-concrete Composite Bridges, Nordic Timber Council (NTC), Stockholm, 1996
- [27] Möhler K. On the Load Carrying Behavior of Beams and Columns of Compound Sections with Flexible Connections [Habilitation Thesis], Technical Univ. of Karlsruhe, Germany, 1956. (*in german*)
- [28] Meyer L. Holz-Beton-Verbundbrücken für den 40t-Verkehr im Kanton Freiburg (Schweiz), Internationales Holzbauforum, Garmisch-Partenkirchen, 2005, S. 1-15
- [29] Natterer J, Herzog T, Volz, M. (1998). Built in timber 2, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Switzerland, 1998 (*in french*)
- [30] Nolan G. Experience with concrete overlayed bridges in Tasmania, <<http://oak.arch.utas.edu.au/research/bridge/sem2.asp>> , 2009
- [31] Ogrin A, Hozjan T. Timber-concrete composite structural elements, Faculty of civil and geodetic engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia, 2021, 16 p. (*статия*)
- [32] O'Neill J, Carradine D, Moss P, Fargiacomo M, Dhakal R, Buchanan A. Design of Timber-Concrete Composite Floors for fire resistance. Journal of Structural Fire Engineering, 2011, 2(3): 231-242
- [33] Petersen, A, Solberg B. Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport, Environmental Science & Policy, 2002, 5(2), 169-182
- [34] Pischl R, Schickhofer G. The Mur River wooden bridge, Austria, Structural Engineering International, 1993, 3(4), 217-219

- [35] Rautenstrauch K, Mueller J, Simon A. THE FIRST TIMBER-CONCRETE COMPOSITE ROAD BRIDGE IN GERMANY, World conference on timber construction, 2010, 10 p.
- [36] Rodrigues J, Dias A, Providência P. Timber-Concrete Composite Bridges: State-of-the-Art Review, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Polo, 2013, 20 p. (статия)
- [37] Richart F, Williams C. Tests of composite timber-concrete beams, Journal of the American Concrete Institute, 1943, 14(4), 253-276
- [38] Shepard A, Fisher E, Barbosa A, Sinha A. Fundamental behavior of timber-concrete composite floors in fire, Journal of structural engineering, 2021, 147(2):04020340
- [39] Schickhofer G, Bernasconi A. Der modern Holzbrückenbau Tragstrukturen und Fahrbahnkonstruktionen, In: Holzbau Kalender, Karlsruhe, Bruderverlag, 2002, S.704-739
- [40] Simon, A, Haedicke W, Mueller J, Rautenstrauch, K. Development of a new connector type for hybrid timber bridges, Proc. of the 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008
- [41] Van der Linden M. Timber-concrete composite floor systems, PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 1999
- [42] Wiegand T. Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise. in: formationsdienst Holz (Hrsg.): Brücken in Holz - Konstruieren, Berechnen, Ausführen. 1999, S.123-159
- [43] Weaver C, Davids W, Dagher H. Testing and analysis of partially composite fiber-reinforced polymer-glulam-concrete bridge girders, Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(4), 316-325
- [44] Бошнаков С. Приложение на карбонбетона в строителството. Годишник на Университета по Архитектура, Строителство и Геодезия – София , 2023г. Том 56 брой 3
- [45] Жипонов А, Николов В, Георгиев Л. Оценка на състоянието и изследване на възможност за усиляване на комбиниран пътен мост до жп гара Копривщица, Годишник на УАСГ, Том 54, Брой 4
- [46] Jiponov A, Nikolov V. (2022), Extending the Lifecycle of Damaged Structure by Retrofitting New Bridge Design Concepts in Old Structures, Volume 200 LNCE, 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures, EUROSTRUCT 2021, August 2021, ISBN: 978-3-030-91879-8
- [47] Здравков Л. Комбинирани стомано-стоманобетонни ж.п. мостове, Ръководство за курсово и дипломно проектиране в съответствие с Еврокод, 2018, 146 стр. (ръководство)