

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 21.11.2017 г.

СТОМАНЕНИ ОРТОТРОПНИ ПЪТНИ ПЛОЧИ ЗА МОСТОВЕ – ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ПРОБЛЕМИ

Л. Георгиев¹, Ст. Иванов²

Ключови думи: стоманени мостове, ортотропни плочи, умора, оценка на състоянието

РЕЗЮМЕ

Стоманените ортотропни пътни плочи (СОПП) представляват относително сложно решение на оребрен в двете ортогонални направления, надлъжно и напречно, стоманен лист. В сравнение със стоманобетонните плочи те имат по-висока строителна стойност за единица площ. Въпреки това от средата на миналия век навлизат широко в мостостроенето, поради едно основно тяхно предимство – по-малкото собствено тегло. Обикновено са икономически изгодни при мостове с големи отвори, където редуцията на теглото на пътната плоча, води до съществени икономии на материал за главната носеща система на връхната конструкция. Прилагат се и в други случаи, когато се цели намаляване на собственото тегло, например при подвижни мостове с по-малки отвори, или когато се търси бърз монтаж на едрогабаритни елементи от връхната конструкция. В статията са разгледани някои характерни проблеми на този тип плочи, установени в различни европейски страни, след определен период на експлоатация. На тяхна база са разработени конструктивните изисквания, залегнали в БДС EN 1993-2, които са представени накратко. Направен е сравнителен анализ за характерни елементи на ортотропни плочи на мостове, изпълнени у нас спрямо конструктивните изисквания на Еврокод.

¹ Лазар Димитров Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ldg_77@abv.bg

² Стоян Денков Иванов, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: stoyan_denkov@yahoo.com

1. Въведение

Оребрени стоманени листове се използват отдавна за стоманени конструкции в корабостроенето и в хидротехническото строителство. Терминът „ортотропна плоча”, в смисъл на пътна конструкция за стоманен пътен мост, се появява официално през 1948 г. в Германия, където е патентована (Patentschrift, 1948 г.) [1], въпреки че подобни решения са реализирани и преди това – 1936 г. [12]. Характерно за този тип мостови конструкции е, че пътната стоманена плоча изпълнява функцията на горен пояс едновременно на главни носачи, напречни греди и надлъжни ребра от пътната конструкция. Надлъжните ребра в началото са се реализирали с отворено напречно сечение (плоски – стоманена шина или части от валцовани профили). За първи път затворено напречно сечение за надлъжните ребра е приложено при моста *Weserbrücke Porta*, Германия, 1955 г. При затворените напречни сечения за надлъжни ребра, поради голямата усуквателна коравина и по-голямата им носимоспособност, се постига сериозно подобряване на конструктивното поведение при поемане на локално приложен концентриран товар, като едновременно с това се увеличава подпорното им разстояние.

При ортотропна стоманена пътна плоча е възможно постигането на минимално собствено тегло на пътната конструкция за една и съща носеща способност в сравнение със стоманобетонна или комбинирана стомано-стоманобетонна пътна конструкция. В същото време СОПП е сравнително по-скъпа от стоманобетонна или комбинирана и затова ефективното ѝ приложение е в областта на средните и големите отвори, където по-високата цена се компенсира в достатъчна степен от намаленото собствено тегло, облекчаване на долното строене и подобряване на сеизмичното реагиране. Прилагат се и в други случаи, когато се цели намаляване на собственото тегло, например при подвижни мостове с по-малки отвори, или когато се търси бърз монтаж на заводски изготвени едрогабаритни елементи от връхната конструкция, също така при реконструкция на съществуващи мостове, с цел намаляване на собственото им тегло.

Строителството на стоманени мостове с ортотропна пътна плоча в Европа бележи своя пик в средата на миналия век, между 1965 г. и 1980 г., което съвпада със строителството и на основна част от пътната мрежа.

В същия период се строят и първите мостове с ортотропна плоча у нас, като това са двата моста над стария и новия плавателен канал към Варненското езеро. Първият т.нар. малък Аспарухов мост е пуснат в експлоатация през 1975 г. Централният му отвор е сравнително малък, около 32 m, но необходимостта от повдигането му налага ограничение в теглото на връхната конструкция до 95 тона [3], което налага приложението на ортотропна пътна плоча. Мостът провежда, както пътен, така и жп трафик (фиг. 1.1).



Фиг. 1.1. Изглед на малкия Аспарухов мост (wikimapia.org)

През 1976 г. е пуснат в експлоатация Аспаруховият мост над новия плавателен канал, свързващ кв. Аспарухово с град Варна. Мостът е пътен, като в централната си част е изградена стоманена връхна конструкция на три отвора $80\text{ m} \times 160\text{ m} \times 80\text{ m}$, с рекорден за времето си отвор у нас.

Следват пътните надлези в гр. Елин Пелин [14] – фиг. 1.2 и по бул. „Брюксел“ в столицата, както и двата стоманени виадукта по магистрала „Хемус“ [15] през 1986 г. – фиг. 1.3. В края на миналия век (1999 г.) е пуснат в експлоатация и стоманеният мост при парк „Въртопо“ – фиг. 1.4, по който освен пътният трафик, преминава и софийското метро. Последното приложение на стоманена ортотропна плоча у нас, е през 2013 г. на пътния надлез над бул. „А. Ляпчев“ в кв. „Младост“, гр. София – фиг. 1.5.



Фиг. 1.2. Стоманен мост с ОПП в гр. Елин Пелин (снимка – инж. Нина Постолова)



Фиг. 1.3. Стоманен мост с ОПП по АМ Хемус на km 26+884



Фиг. 1.4. Стоманен мост с ОПП при парк „Въртопо“, гр. София, 1999 г.



Фиг. 1.5. Стоманен мост с ОПП над бул. „А. Ляпчев“, гр. София, 2013 г.

В табл. 1 са представени мостовите с ортотропна плоча у нас, известни на авторите, с някои техни характеристики, както и институцията, отговорна за тяхната поддръжка.

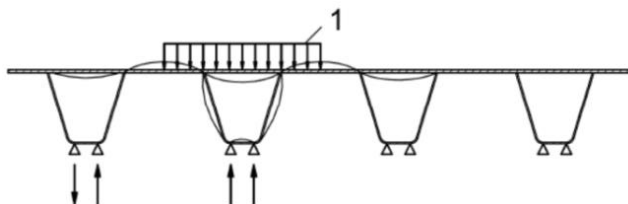
Таблица 1. Стоманени мостове с ортотропна пътна плоча (ОПП) в Р България

№	МОСТ	Година на пускане в експлоатация	Години експлоатация към 2017г.	Вид стомана	Вид надлъжни ребра	Институция отговорна за поддръжката
1	Мост над стария канал, гр. Варна (малък Аспарухов мост)	1975	42	M16C и 10Г2СФ	плоски	Община Варна
2	Аспарухов мост, гр. Варна	1976	41	St 52-3	плоски	Община Варна
3	Пътен мост при жп гара Елин Пелин	1981	36	St 37-2	трапецовидни	АПИ
4	Пътен надлез по бул. "Брюксел", гр. София	1983	34	Ст09Г2Б-М	плоски	Софийска община
5	Виадукт на автомагистрала Хемус на км 26 ⁺⁸⁸⁴ (Виадукт 1)	1986	31	Ст09Г2Б-М	трапецовидни	АПИ
6	Виадукт на автомагистрала Хемус на км 27 ⁺⁵⁰⁰ (Виадукт 2)	1986	31	St 52-3	плоски	АПИ
7	Мост при парк "Въртопо", гр. София	1999	18	St 52-3	трапецовидни	Метрополитен ЕАД
8	Пътен надлез над бул. "А. Ляпчев", гр. София	2013	4	S355J2	плоски	Софийска община

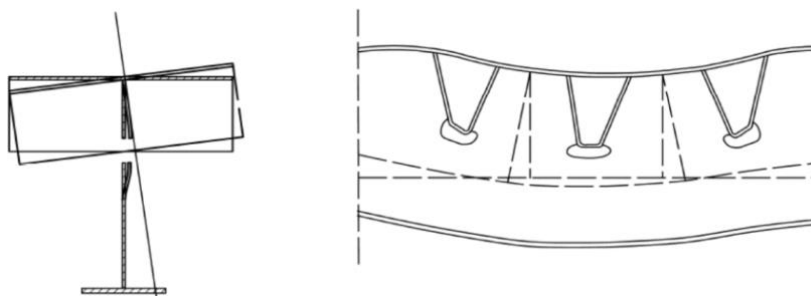
2. Експлоатационни проблеми

При ОПП настилката и хидроизолацията се изпълняват директно върху стоманената плоча и пътната конструкция поема директно натоварванията от трафика. С времето нормираните полезни товари нарастват, с оглед на нарастващото тегло и скорости на возилата, също така се увеличава и интензивността на трафика. Всички тези фактори водят до нарастване на диапазоните на изменение на циклично променливите нормални и/или тангенциални напрежения в характерни детайли и способстват за по-бързо изчерпване на ресурса на умора и достигане до крехко разрушение. Трябва да се отбележи, че поради липса на конкретни предписания за изчисление на експлоатационен ресурс на умора в действащите по време на проектирането им нормативи, такива проверки не са правени за по-голямата част от стоманените мостове с ОПП у нас. Основното предимство на стоманената ОПП е малкото собствено тегло, което се постига за сметка на тънка и достатъчно гъсто оребрена плоча. При ОПП съществуват редица сложни детайли на взаимно пресичане между напречни греди, надлъжни ребра и главни носачи, при които в определени критични зони се наблюдава повишена склонност към крехко разрушение (в частност уморно разрушение) вследствие на ефекта от остатъчни напрежения от заваряване, изчерпана пластичност (например в зоните на студено огъване на трапецовидни надлъжни ребра), вторични напрежения (най-често от огъване на отделни стени извън равнината които следват общата деформация на пътната конструкция), ограничени деформации и/или циклично променливи нормални и тангенциални напрежения в елементите.

На фиг. 2.1 е представен механизмът на поява на уморна пукнатина при заваръчния шев между стоманена плоча и трапецовидно надлъжно ребро, вследствие на действието на вторични циклично променливи напрежения от огъване на стените на ребро и плоча извън равнината им. Въздействия от умора са характерни за зоната на преминаване на надлъжно ребро през стеблото на напречната греда – фиг. 2.2 [5]. Завъртането на ребрата при тяхното деформиране води до огъване на стеблото на напречната греда извън равнината му и съответно циклично променливи нормални напрежения при преминаване на осите на возило. Срязващи сили, усукващи моменти и дисторсионни деформации на надлъжните ребра също предизвикват напрежения в ъгловите заваръчни шевове между стеблото на напречната греда и надлъжното ребро.

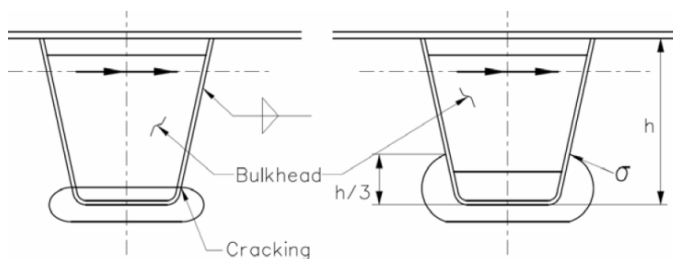


Фиг. 2.1. Влияние на полезен локално приложен товар 1 [5]



Фиг. 2.2. Деформации в зоната на връзка между надлъжно ребро и напречна греда

На фиг. 2.3 е представен детайл от американската практика за пресичане на напречна греда и надлъжно ребро от ОПП с предвидено напречно ребро (bulkhead) в трапецовидното надлъжно ребро, целящо подобряване на дисторсионната коравина и конструктивното поведение [6].



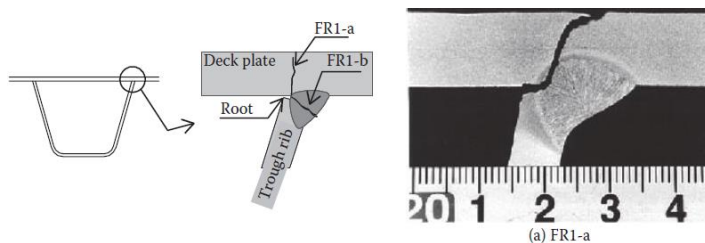
Фиг. 2.3. Детайл на преминаване на надлъжно ребро през стебло на напречна греда (първоначален – вляво, и подобрен – вдясно, вариант) [6]

В периода на експлоатация на стоманени мостове с ОПП са наблюдавани редица случаи на поява на уморни пукнатини в зоната на критични детайли. В табл. 2 е представена възрастта TFL в години експлоатация, при която е регистрирана първата уморна пукнатина за 11 стоманени моста с ОПП [4]. Както е видно от табл. 1, почти всички стоманени мостове с ОПП у нас са надхвърлили период на експлоатация от около 20 – 30 г. и вероятността от поява на уморни пукнатини в характерни критични детайли е голяма (възможно е и вече да са се появили уморни пукнатини, което може да се регистрира посредством по-задълбочено обследване).

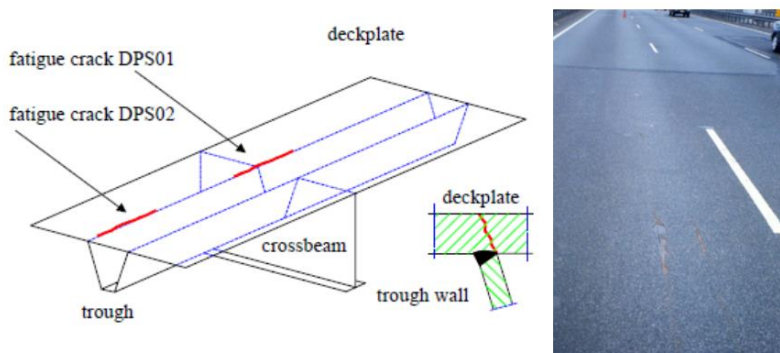
Таблица 2. Години експлоатация TFL до регистриране на първата уморна пукнатина в стоманената ОПП за 11 моста в Холандия [4]

Мост	Вид	Година на завършване	Година на регистриране на първа видима пукнатина	TFL Възраст [години]
Ketelbrug	подвижен	1968	1998	30
Scharsterrijn	подвижен	1972	2002	30
2nd Van Brienenoordbrug	подвижен	1990	1997	7
Calandbrug	подвижен	1969	1998	29
Brug Zijkanaal C	подвижен	1969	2003	34
Julianabrug	подвижен	1966	2001	35
Calandbrug	стандартен	1969	2002	33
Brug Hagestein	стандартен	1980	2002	22
Galecopperbrug	стандартен	1971	2002	31
Moerdijkbrug	стандартен	1976	2001	25
Boogbrug Beek	стандартен	1968	2004	36

Появата на уморна пукнатина в зоната на връзка между стебло на надлъжно ребро и стоманена плоча се наблюдава често при ОПП. Заваръчният шев между трапецовидно надлъжно ребро и плоча в тази зона се изпълнява като вариант с ~ 2 mm непровар (според изискванията на [5]) или с пълен провар (недостатък при пълния провар е, че отново зоната от шева от вътрешната страна на реброто е с недобро качество, а топлинното въздействие и оттам остатъчните напрежения от заваряването са по-големи в сравнение със случая на 2 mm непровар) [10]. Пукнатината възниква в корена на шева между стена на ребро и плоча и може да се разпространи както в стената на реброто, така и в плочата – фиг. 2.4. Когато уморната пукнатина обхване цялата дебелина на плочата за определена дължина, се наблюдава и характерно нарушаване на настилка – фиг. 2.5. За конструктивното поведение и ресурса на умора при разглеждания случай е важно влиянието на дебелините на плочата и стената на надлъжното ребро [7], както и изпълнението на заваръчния шев [6].



Фиг. 2.4. Уморна пукнатина в стоманена плоча от ОПП при 2 mm непровар [11]



Фиг. 2.5. Уморна пукнатина между надлъжно ребро и плоча [8]

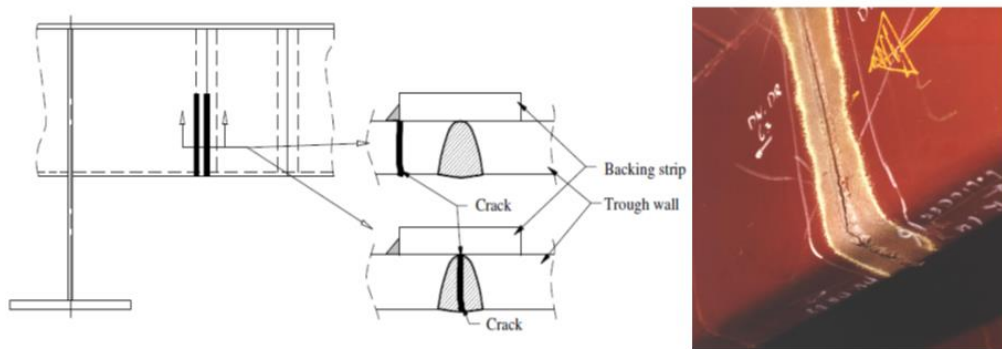
При монтажно снаждане на надлъжните ребра посредством заваряване обикновено се практикува компенсиране на неточностите при производство и изпълнение чрез вставка от място – фиг. 2.6. Заваръчният шев между монтажните елементи е с пълнен провар, осигурен от подложна шина вътре в затвореното ребро. На фиг. 2.7 е представена характерна уморна пукнатина в зоната на заваръчния шев на пълнен провар при снаждане на надлъжно трапецовидно ребро от ОПП.

В зоната на пресичане на надлъжно ребро и напречна греда от стоманена ОПП се реализира сложно напрегнато състояние и съществува риск от поява на уморни пукнатини от заваръчния шев както в стеблото на напречната греда, така и в надлъжното ребро – фиг. 2.8.

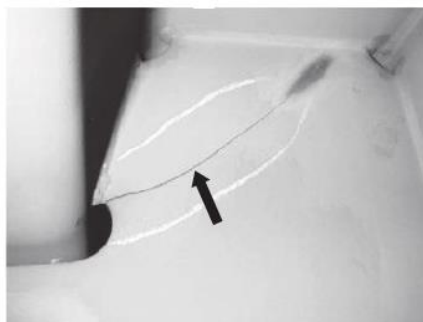
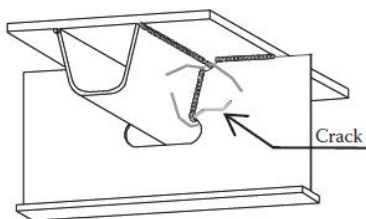
На фиг. 2.9 е представена уморна пукнатина при детайла на връзка между стоманената плоча от ОПП и междинно напречно ребро от пълностенен главен носач [9].



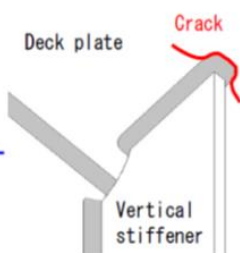
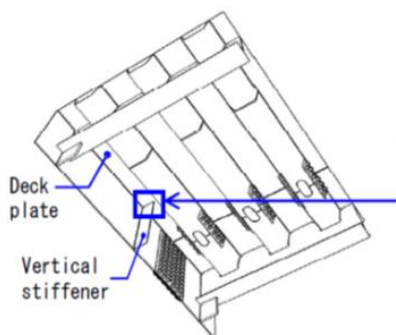
Фиг. 2.6. Монтажно снаждане при стоманен мост по АМ Хемус на km 26+884



Фиг. 2.7. Уморна пукнатина в заваръчен шев на пълен провар при надлъжно ребро [4]



Фиг. 2.8. Уморна пукнатина в зоната на изреза при пресичане на напречна греда и надлъжно ребро от ОПП [11]



Фиг. 2.9. Уморна пукнатина в ОПП при междинно напречно ребро на пълностенна главна греда [9]

Развитието на нормите за проектиране е еволюционен процес, при който натрупаната, анализирана и систематизирана информация от експлоатацията и проведените научни изследвания се обобщава и изкрystalизира в препоръки и изисквания, целящи повишаване на надеждността и дълготрайността на проектираните нови конструкции. Въз основа на регистрираните проблеми и опита в [5] са нормирани редица изисквания по отношение на изчислението и конструктивното оформление на стоманени ОПП за пътни, жп и пешеходни мостове, като значителна част от тях са с оглед на подобряване на поведението при циклично променливо натоварване и уморно разрушение.

3. Препоръки за конструктивното проектиране на стоманени ОПП, съгласно Приложение С на БДС EN 1993-2

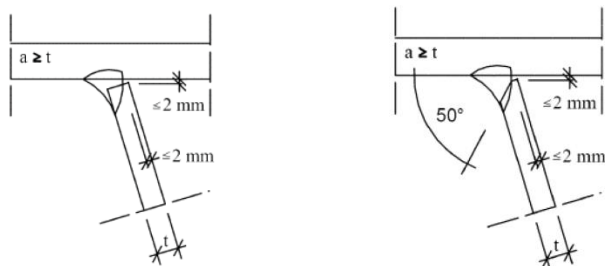
В [5] въз основа на опита от експлоатацията на стоманени мостове с ОПП и редица теоретични и експериментални изследвания са нормирани препоръки за проектирането и производството (изпълнението) на този тип пътни конструкции.

При увеличаване на дебелината на стоманената плоча коравината извън равнината ѝ нараства и при едно и също разстояние между надлъжните ребра и товарни въздействия уморният ресурс нараства [7]. Това обстоятелство е отразено в [5] с увеличаване на препоръчителната минимална дебелина на стоманената плоча в ОПП за пътни мостове в сравнение с по-стари издания – табл. 3. Препоръчва се още всички заваръчни шевове в плочата (напречни и надлъжни) да се изпълняват на пълен провар или двустранно или едностранно с подложни плочи.

Таблица 3. Минимална дебелина в [mm] на стоманената плоча в ОПП при различни дебелини на асфалтовото покритие

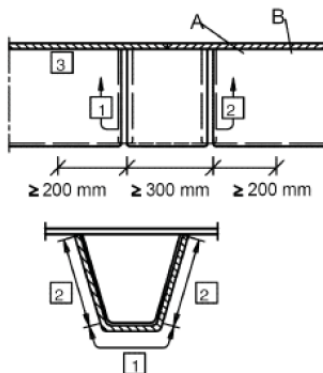
Минимална дебелина t_{pl} [mm] на стоманената плоча в ОПП при дебелина на асфалтовата настилка t_{asf} [mm]			
Нормативен документ	Година	$t_{asf} \geq 70\text{mm}$	$t_{asf} < 70\text{mm}$
БДС ENV 1993-2:2001	2001	12	14
БДС EN 1993-2:2007 [5]	2007	14	16

Съединението между надлъжно ребро, намиращо се непосредствено под лентата за движение, и стоманената пътна плоча трябва да се реализира според фиг. 3.1, като дебелината на заваръчния шев е не по-малка от дебелината на стената на надлъжното ребро.



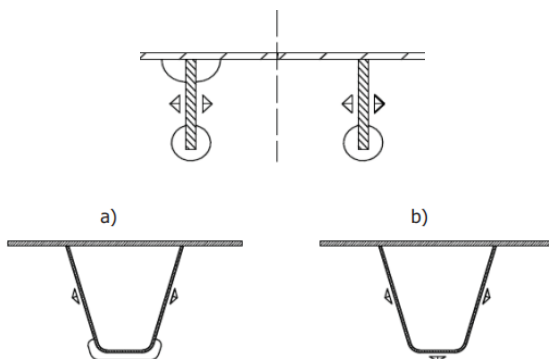
Фиг. 3.1. Съединение на надлъжно ребро с пътната плоча, при напълно механизирен процес на заваряване (ляво) и при ръчен или частично механизирен процес (дясно) според [5]

Снаждането на надлъжните ребра по дължина следва да е в напречно сечение с малък огъващ момент (приблизително на разстояние $0,2l$) и да се извършва със снаждащо парче (вставка по мярка от място), според фиг. 3.2. Спазва се следната последователност на заваряването: първо се заварява снаждащото парче от едната страна, а след това от другата, като се започва от долния пояс, след което се заваряват стъблата и накрая се изпълнява шева между надлъжното ребро и пътната плоча. С тази последователност се цели намаляване на остатъчните напрежения и създаване на натиск в долния пояс на реброто.



Фиг. 3.2. Снаждане на надлъжни ребра според [5]

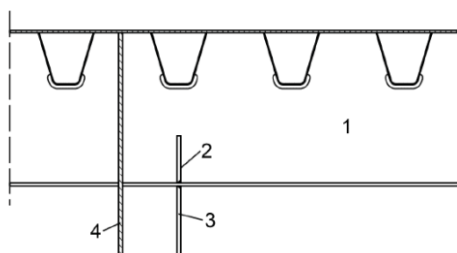
Предпочита се надлъжните ребра да преминават непрекъснато през стъблата на напречните греди, като съединението между тях и стъблото на напречните греди следва да се извършва според фиг. 3.3.



Фиг. 3.3. Връзка между надлъжни ребра и стъблото на напречните греди според [5]

При плоските ребра се допускат закръглени отвори в зоната на заваръчния шев с пътната плоча, докато при трапецовидни, такива отвори следва да се избягват. При трапецовидните ребра, в зоната на долния им пояс, е възможно изпълнението, както с допълнителен отвор, така и без отвор, като се дават специални предписания за размерите на отвора.

Съединението на стъблото на напречната греда към пътната плоча трябва да се извърши посредством ъглови заваръчни шевове. Към стъблото на главната греда, долния пояс и стъблото на напречната греда следва да се снаждат с челен заваръчен шев на пълен провар, в случай че напречната греда е непрекъсната от двете страни на главната. Във възела от напречната рамка трябва да се осигури местно закоравяване (фиг. 3.4).



Фиг. 3.4. Съединение на напречна греда към напречно ребро от стеблото на главната греда според [5]

Представените правила се отнасят за пътни мостове, за жп мостове има различни изисквания, които не са представени, с оглед на това, че мостовете с ортотропни пътни плочи у нас са основно пътни, а в двата примера на мостове за смесен трафик, в зоната на жп коловоза има допълнителни надлъжни греди, което ги различава от типичните ортотропни плочи.

4. Анализ на съответствието на мостовете с ортотропни плочи у нас с БДС EN 1993-2

В табл. 4 са представени някои основни параметри на ОПП за стоманени мостове в експлоатация у нас, известни на авторите.

По отношение на дебелината на стоманената плоча от ОПП по цялата дължина или в определени участъци нито един от стоманените мостове с ОПП у нас не отговаря на изискванията на [5], което е видно от табл. 3. Това повишава уязвимостта на съответни критични детайли от гледна точка на уморно разрушение вследствие на циклично променливи вторични нормални напрежения.

В ОПП съществуват редица сложни детайли на пресичане между елементите (надлъжни ребра, напречни греди, главни греди), при които се реализира сложно напрегнато състояние, което в съчетание с остатъчните опънни напрежения от заваряването води до ниска уморна категория. С оглед на минимизиране на тези неблагоприятни ефекти в [5] са нормирани редица правила за конструктивно оформление на съответните детайли. При оценка на състоянието на стоманен мост с ОПП е важно да се определят критичните детайли с оглед на умората и да се съпоставят в съответствие с нормираните в [13] категории. В реалните конструкции с ОПП у нас съществуват детайли с ниска уморна категория, които е трудно да бъдат класифицирани според [13] и това затруднява оценката на ресурса на умора – например фиг. 4.1, фиг. 4.2.

При моста по АМ Хемус на km 26+884 трапецовидните надлъжни ребра преминават през стеблото на напречната греда без закръглени отвори, вероятно поради сравнително неголямата височина на напречната греда. Това е по-рядко срещан в световната практика вариант поради съчетанието в зоната на огъвката на трапецовидното ребро на високи остатъчни опънни напрежения от заваряването и частично изчерпана пластичност вследствие на студеното формуване на ребрата – фиг. 4.3. За този случай в [5] се нормират по-строги ограничения в толерансите за част от геометричните размери на реброто, но при спазване на изискванията за изпълнение в [13] се нормира еднаква уморна категория на детайла със и без закръглени изрязвания (80 при $t \leq 12$ mm; 71 при $t > 12$ mm; t е дебелина на стеблото на напречната греда). Трябва да се отбележи, че ва-

риантът с напасване на надлъжните ребра между напречните греди (без изрез в стеблото на напречната греда), приложен за част от ОПШ на виадукт по АМ Хемус на km 26+884, е неприемлив за пътни и жп мостове поради ниската уморна категория – 3б, нормирана в [13].

Таблица 4. Някои основни характеристики на мостове с ортотропна пътна плоча у нас (с NA е означено, че съответният размер не е известен на авторите)

№	МОСТ	Дебелина на плочата	Разстояние между стеблата на надлъжните ребра на нивото на пътната плоча	Размери на ребрата	Разстояние между напречните греди
		t_{pl} [mm]	[mm]	t_{rib}/h_{rib} [mm]	[mm]
1	Мост над стария канал, гр. Варна (малък Аспарухов мост)	12	300	10/160	1975 (1757)
2	Аспарухов мост, гр. Варна	от 12 до 20	306	12/200÷20/200	2000
3	Пътен мост при жп гара Елин Пелин	12	316	6/236	3000
4	Пътен надлез по бул. "Брюксел", гр. София	12	313	12/150	1493
5	Виадукт на автомагистрала Хемус на km 26 ⁺⁸⁸⁴ (Виадукт 1)	12	306	10/253	3150
6	Виадукт на автомагистрала Хемус на km 27 ⁺⁵⁰⁰ (Виадукт 2)	от 12 до 16	309(300÷316)	12/200÷14/220÷16/250	1840 (2000)
7	Мост при парк "Въртопо", гр. София	от 12 до 16	NA	NA/250	3000
8	Пътен надлез над бул. "А. Ляпчев", гр. София	от 12 до 16	300	12/200÷16/200	2000



Фиг. 4.1. Заваръчни шевове между листове от пътната плоча на ОПШ и трапецовидни надлъжни ребра – снимка от 2017 г.



Фиг. 4.2. Свързване на плоски надлъжни ребра и листове на пътна плоча в ОПШ в рамките на един монтажнен елемент – снимка от 2017 г.



Фиг. 4.3. Детайл на връзка между трапецовидни надлъжни ребра и напречна греда от ОПШ – снимка от 2016 г.

5. Заключение

Ортотропни стоманени пътни конструкции за мостове в съответствие със своите предимства са намерили сериозно приложение в европейската практика, като в последните години в областта на средните отвори се изместват от комбинираните стомано-сто-

манобетонни мостове. Въпреки осезаемото толериране и налагане по комплексни причини от проектантите, строители и институции на стоманобетонни връхни конструкции за мостове у нас след Втората световна война, дори в редица случаи със силно дискуссионна целесъобразност, трябва да отбележим, че са реализирани и немалко стоманени мостове със средни отвори и ортотропна пътна конструкция. Европейските норми за проектиране в частите си, отнасящи се за ОПП са се развивали въз основа на опита при експлоатацията на този вид конструкции и провежданите през годините теоретични и експериментални научни изследвания. В тази светлина съвсем нормално ОПП на мостови конструкции, реализирани в миналото у нас, не отговарят напълно на съвременните изисквания нормирани в Еврокод. Поради липса на нормирани методи за оценка на ресурсът на умора по времето когато са проектирани, такива изчисления не са провеждани за голяма част от тях. Поради комплексни причини нивото на поддръжка на мостовете у нас в голяма част от случаите е незадоволително. Важно е да се отбележи, че почти всички стоманени мостове с ортотропна пътна плоча у нас се експлоатират към настоящия момент повече от 30 г. (табл. 1) и, въпреки по-ниската интензивност на тежкия трафик у нас в сравнение с Холандия, както е видно от табл. 2, е много вероятно в недалечно бъдеще да бъдат регистрирани (или вече да са налични) първите уморни пукнатини. Появата на уморна пукнатина в ортотропната плоча в зависимост от локацията и размера си може да доведе до различно по степен намаляване на параметрите на носеща способност и експлоатационна пригодност, свързани с редуция на коравината и/или локални разрушения на компоненти от пътната конструкция, с всички произтичащи последствия относно безопасността на трафика. Във връзка с това е наложително стопанисващите администрации в адекватни срокове да стартират сериозна програма за задълбочено обследване, комплексна оценка на състоянието, ресурса на умора и в случай на необходимост реконструкция и усилване на стоманените мостове с ортотропна пътна конструкция у нас. Единствено навременното извършване на тези сериозни дейности може да осигури увеличаване на дълготрайността и безопасна експлоатация. Отговорна задача на стопанисващите мостовете администрации е да се ръководят от сентенцията „Трябва да се върви преди проблема, а не след него” (за съжаление в практиката много често се случва обратното) и с адекватни навременни действия да бъде минимизирана вероятността от достигане до аварийни състояния и свързания с тях риск за здравето и живота на участниците в пътния трафик.

Благодарности

Авторите изказват благодарност на проф. д-р инж. Енчо Дулевски и на проф. д-р инж. Дончо Партов за предоставени от тях технически данни за част от разгледаните в настоящата публикация мостове с ОПП у нас.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Ivani, M.* Orthotropic steel bridges. Theory design and construction, ISSN 1456-386x, Budapest, 2003.

[2] *Chen, W-F., Duan, L.* Handbook of international bridge Engineering. CRC Press, 2014.

[3] *Partov, D., Ivanov, R., Dinev, D.* The History of the First Orthotropic Bridge in Bulgaria. Proceedings of 3RD Orthotropic Bridge Conference, California, USA, June 2013.

[4] *F. B. Peter de Jong.* Renovation techniques for fatigue cracked orthotropic steel bridge decks, Dissertation, Technische Universiteit Delft, 2006.

[5] БДС EN 1993-2:2009 Еврокод 3: Проектиране на стоманени конструкции. Част 2: Стоманени мостове.

[6] *Robert Connor, John Fisher, Walter Gatti, Vellore Gopalaratnam, Brian Kozy, Brian Leshko, David L. McQuaid, Ronald Medlock, Dennis Mertz, Thomas Murphy, Duncan Paterson, Ove Sorensen, John Yadosky.* Manual for Design, Construction, and Maintenance Of Orthotropic Steel Deck BRIDGES, Report No. FHWA-IF-12-027, Federal Highway Administration, USA, 2012.

[7] *Jun Murakoshi, Shu-ichi Hirano, Hideaki Harada,* Effect of Deck Plate Thickness of Orthotropic Steel Deck on Fatigue Durability, www.pwri.go.jp/eng/ujnr/tc/g/pdf/29/29-5-4_murakoshi.pdf.

[8] *F. B. P. de Jong.* Overview Fatigue Phenomenon In Orthotropic Bridge Decks In The Netherlands, 2004 Orthotropic Bridge Conference, Sacramento, California, USA – August 25-27, 2004.

[9] *Osumi, K., Tokida, H., Mori, T., Sakama, D.* Effect of stop-hole on fatigue at vertical stiffener welds of orthotropic steel deck. IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21-22, 2015, Dhaka, Bangladesh.

[10] *Hyoung-Bo Sim, Chia-Ming, Uang.* Effects of Fabrication Procedures and Weld Melt-Through on Fatigue Resistance of Orthotropic Steel Deck Weld. Department of Structural Engineering University of California, San Diego La Jolla, CA 92093, 2008.

[11] *Wai-Fah Chen, Lian Duan.* Bridge Engineering Handbook. Construction And Maintenance, Second Edition., Taylor & Francis Group, LLC, 2014.

[12] *Menke Henderikus Kolstein.* Fatigue Classification of Welded Joints in Orthotropic Steel Bridge Decks, Dissertation, Delft University of Technology, 2007.

[13] БДС EN 1993-1-9:2005, Еврокод 3: Проектиране на стоманени конструкции. Част 1-9: Умора.

[14] *Doncho Partov and Radan Ivanov.* Design and Construction of the Orthotropic Steel Deck Bridge in Elin Pelin, Bulgaria, International Orthotropic Bridge Conference, Sacramento, USA, 2008.

[15] *Стайков, П.* Стоманени мостови конструкции по АМ „Хемус” – „Виадукт 1” и „Виадукт 2”, // сп. Строителство, бр. 12/1985.

ORTHOTROPIC STEEL DECK PLATES FOR BRIDGES – EXPLOITATIONAL PROBLEMS

L. Georgiev¹, St. Ivanov²

Keywords: steel bridges, orthotropic plates, fatigue, condition assessment

ABSTRACT

Steel orthotropic decks are relatively complex solution of stiffened in two orthogonal directions, longitudinal and transverse, steel plate. In comparison with reinforced concrete slabs they have higher constructional value for a unit area. Despite that, from the middle of the twentieth century, orthotropic steel decks are widely used in bridge construction mainly because of one advantage of theirs – lower self-weight. Generally, they are economically advantageous for bridges with large spans, where the reduction of the self-weight of the deck leads to significant material savings for the main girders of the superstructure. They are used also in cases where a reduction of the superstructure self-weight is aimed, for example bascule bridges with moderate spans or where rapid erection with high degree of prefabrication is required. In this paper some essential problems of this type of bridge decks detected in different European countries after a certain period of exploitation are discussed. On this basis, structural requirements defined in BDS EN 1993-2 are developed and shortly presented in the paper. A comparative analysis for essential components of orthotropic decks executed in Bulgaria with respect to the requirements of the Eurocode is developed.

¹ Lazar Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Transport Structural Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ldg_77@abv.bg

² Stoyan Ivanov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: stoyan_denkov@yahoo.com