ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 59 2026 Брой Issue 3

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY SOFIA

DOI: 10.71167/uaceg.2026.590310

Получена: 01.01.2026 г.
Приета: 09.02.2026 г.

КОМПОЗИТНИ ТРАВЕРСИ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА ИНФРАСТРУКТУРА: НИВО НА РАЗВИТИЕ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ПЕРСПЕКТИВИ

К. Мирчев[1], М. Лепоев[2]

Ключови думи: *композитни траверси, железопътна инфраструктура, горно строене на железния път*

РЕЗЮМЕ

Композитните траверси са иновативен елемент в конструкцията на горното строене на железния път, чиято основна цел е да предложи алтернатива на дървените траверси, които от екологична гледна точка ще намират все по-ограничено приложение. Пластмасата, като основен материал за производство на композитни траверси, е най-близка до дървесината по отношение на физико-механичните си показатели, но същевременно е устойчива на корозия, влага и микроорганизми, което ѝ осигурява експлоатационен живот от 50 години. За суровина композитната траверса може да използва рециклирана пластмаса, както и самата траверса е рециклируема. Наред с предимствата са налице и редица ограничения, които възпрепятстват масовото влагане на композитни траверси в железния път. В статията са разгледани типовете композитни траверси по отношение на използвания материал и влаганата фиброармировка, като са представени и различни видове траверси в експлоатация със съответния производител. Също така подробно са разгледани и основните недостатъци на композитните траверси. В допълнение е направен анализ на нормативните документи, с които отделните администрации специфицират производството и експлоатацията им.

[1] Калин Мирчев, инж. докторант, кат. „Железници“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски № 1, 1046 София, e-mail: kmirchev_fte@uacg.bg

[2] Милчо Лепоев, проф. д-р инж., кат. „Железници“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски № 1, 1046 София, e-mail: mlepoev_fte@uacg.bg

1. Въведение

При производство на железопътни траверси първоначално най-широко разпространени са дървените траверси. Поради недостига на дървесина, през 1880-те [2], като алтернатива на дървените, започват да се използват стоманени траверси, като с годините се трансформират в днешните "Y" траверси. През последните десетилетия, с увеличаването на товарооборотите, респективно товаронапреженията и стремежа за по-високи скорости, железопътната индустрия се ориентира към стоманобетона като материал за производството на траверси. Предварително напрегнатите моноблокови стоманобетонни траверси за първи път са използвани през 1943 г. [2], като с годините производството на стоманобетонни траверси се стандартизира и всяка железопътна администрация дефинира своите специфични изисквания. Независимо от развитието на железопътната инфраструктура, всеки един от видовете траверси има своите предимства и недостатъци, като няма вид траверса, която да отговаря на всички изисквания към железния път. Това налага стремежа към търсене и експериментиране с алтернативни материали, които да отговорят на критериите за механична, биологична и химична устойчивост.

Дървените траверси се характеризират с отлични динамични, електроизолационни и шумопоглъщащи свойства, но имат по-къс живот, податливи са на гниене и въздействие от различни микроорганизми. За да се удължи експлоатационната им годност, дървесината се импрегнира с различни химикали, които не отговарят на завишените стандарти за опазване на околната среда. Стоманата корозира, има висока електрическа проводимост, отделят се по-високи емисии на шум. От експлоатационна гледна точка, железният път със стоманени траверси е по труден за подбиване, баластовите зърна в затвореното сечение на траверса се раздробяват по-бързо и губят характеристиките на сцепление и дренажните свойства. Стоманобетонните траверси от своя страна се характеризират с много по-дълга експлоатационна годност в сравнение с дървените и стоманените, но имат по-висока производствена цена и са много по-тежки, което води до увеличаване на транспортните разходи и също така налага използването на тежка пътна механизация за тяхното полагане.

Другият основен проблем, който стои пред експлоатационните поделения, е взаимозаменяемостта между отделните видове траверси. В железен път на дървена релсо-траверсова скара единични дървени траверси не могат да бъдат заменяни със стоманобетонни, тъй като това ще наруши равноеластичността на коловоза.

Основната компонента – пластмасата, като базов материал за производството на композитни траверси, има редица преимущества, които се изразяват в по-доброто отношение между здравина и тегло. Устойчива е на корозия, влага и насекоми, не е електропроводима и може да бъде адаптирана към различни специфични изисквания на конкретна инженерна задача. Друго основно преимущество е екологичното съображение – композитната траверса може да се изработва от рециклирана пластмаса, както и самата траверса да бъде рециклирана.

2. Типизация на композитните траверси

С навлизането на пластмасата като материал за производство на траверси се появяват все повече производители, като стремежът на всеки от тях е да създаде свой уникален продукт, който е специфичен със своята форма, материал и технически характеристики. Това многообразие, иновативният подход при разработването на

траверсите и ограниченият опит в експлоатацията и стандартизирането на отделните администрации със специфични изисквания, прави типизирането на композитните траверси неопределено. Подход за типизиране на композитните траверси е представен в [2], където композитната траверса по отношение на нейните конструктивни специфики се специфицира в три типа:

1) траверси без армировка или армирани с къси фибровлакна;

2) траверси, надлъжно армирани с дълги фибровлакна; и

3) траверси с надлъжна и напречна фиброармировка.

При първия тип траверси късите фибровлакна нямат значим армировъчен ефект. Те служат за повишаване на твърдостта и ограничават възникването на пукнатини. За суровина на тези траверси се използват различни полимери – рециклирана пластмаса, битуми с различни добавки като пясък, фракция, рециклирано стъкло и др. Основните предимства на този тип траверси са по-малкото тегло, лесно се пробиват, по-ниска цена и използване на отпадни материали. При тях се наблюдава и най-голяма гама от разновидности и, съответно, производители.

Траверсите от втория тип се характеризират с по-висока здравина и коравина, която се постига посредством дългите надлъжни фибровлакна, като якостта на огъване се обуславя от влакната, а якостта на срязване се определя от характеристиките на полимера. Подобно на първия тип, те се отличават с добра устойчивост, лесни са за пробиване и имат по-висока якост на огъване и по-голям модул на еластичност. Един от най-широко разпространените траверси, който може да се причисли към този тип, е траверсата на японския производител Sekisui FFU (Fibre reinforced Foamed Urethane). Експлоатационната практика с този тип траверса показва поведение, близко до това на траверса от твърда дървесина, което се отличава с по-малко тегло и устойчивост на атмосферни въздействия и корозия.

При третия тип траверси с фиброармировка в надлъжно и напречно направление, якостта на огъване и на срязване се доминира от фибровлакната. В някои случаи по-ниската дуктилност на стъклофибърните влакна може да се компенсира с добавяне на стоманени струни, което намалява вероятността за внезапно разрушаване на траверсата, т.е. внезапна загуба на устойчивост. Основен недостатък на този тип траверси е бавният производствен процес, което се изразява в по-висока стойност.

В табл. 1 са представени границите, в които се очаква да варират техническите показатели на отделните типове композитни траверси. Данните показват, че модулът на еластичност и якостта на опън значително нарастват при композитни траверси с надлъжна фиброармировка, докато напречната армировка оказва положителен ефект върху силите на срязване и натисковите сили в подрелсовото сечение.

Таблица 1. Параметри на типовете композитни траверси [2]

Показател	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Плътност (kg/m³)	850 – 1150	740	1040 – 2000
Модул на еластичност (GPa)	1,5 – 1,8	8,1	5,0 – 8,0
Якост на срязване (MPa)	4	10	15 – 20
Натиск в зоната на петата на релсата (MPa)	15,2 – 20,6	28	40
Изскубване на тирфона (kN)	31,6 – 35,6	65	> 65

3. Недостатъци на композитните траверси от рециклирана пластмаса

Водещ фактор при разработването на композитни траверси е стремежът да се намери алтернатива на дървените траверси. Налице са редица недостатъци, които възпрепятстват масовото им използване в железния път и чиито решения са предизвикателство пред производителите на композитни траверси. Най-широко застъпени са технологиите за производство на траверси без армировка, за които са характерни по-ниски якостни характеристики, което в комбинация с по-изразената температурна нестабилност към високи температури оказва негативно въздействие върху устойчивостта на коловоза. Един от параметрите, повлияни от ефекта на температурното въздействие, е способността на траверсите да поддържат междурелсието. Към това може да се добави и ефектът от пълзене на материала аналогично на бетона, при който от температурни въздействия и продължително действие на експлоатационни товари се образуват пластични деформации. За това допринася и ефектът от образуване на кухини (voids) в материала по време на производствения процес.

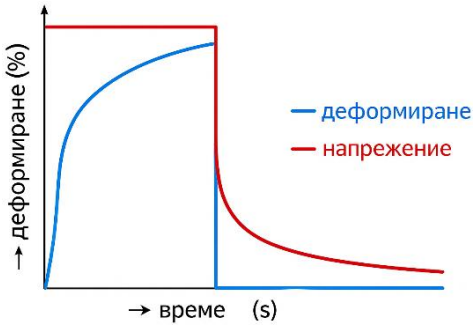
3.1. Образуване на кухини (voids)

При производствения процес на композитни траверси от рециклирана пластмаса суровинният материал се смесва, разтопява и разбърква до хомогенна текстура, с която се запълват кофражните форми. При процеса на охлаждане и втвърдяване има голяма вероятност да се образуват кухини в материала. Поради образуването им най-често се наблюдава смачкване на траверсата в подрелсовото сечение, което води до концентрация на напрежения и скъсяване на експлоатационния живот на траверсата. Вследствие на деформациите траверсата може да загуби първоначалната си геометрия, което се изразява в неравномерно разпределение на натоварванията върху релсите и ускорено износване на едната релсова нишка. Проявата на пластични деформации води до разхлабване на скреплението и съответно до дефекти в междурелсието, особено при криви с малък радиус.

За да се контролира и ограничи образуването на кухини при производствения процес, следва да се съблюдава равномерното и правилно разпределение на армиращите влакна в калъпите, да се контролира налягането при формоване на материала, както и температурата и времето на втвърдяване. На готовите продукти се прави визуална проверка и при необходимост се вземат пробни тела, на които да се направи микроскопско изследване. Всеки производител следва да притежава методика за контролиране на плътността и хомогенността на готовия продукт.

3.2. Пълзене на материала (creeping). Вискозноеластично поведение на полимерите

Повечето полимери проявяват механични свойства, които зависят от времето и температурата. Когато върху полимер се приложи постоянно натоварване, деформацията му постепенно се увеличава с времето, но с намаляваща скорост – явление, известно като пълзене (creep). Когато напрежението се премахне, вискозната част от деформацията първоначално остава, след което постепенно изчезва с времето. Процесът на деформация може да се ускори от наличието на кухини в материала. На фиг. 1 е представена кривата на възникване на деформации при пълзене на материала.



Фиг. 1. Връзка между напрежение и деформация при полимерите [13]

Полимерите показват по-висок модул на еластичност на Юнг и по-голяма якост, когато се натоварват с по-висока скорост. Поради това лабораторните методи за изпитване на полимерни траверси трябва да включват продължителности на натоварване и скорости на деформация, които са съпоставими с реалните условия в релсовия път. Само тогава изпитванията могат да дадат достоверни показатели за реалното поведение на полимерните траверси при експлоатация. Процесът на пълзене може да бъде забавен чрез използването на армировка или армиращи влакна, както и полимер-модифицирани материали, устойчиви на деформации.

3.3. Експлоатационни недостатъци, установени въз основа на опита

Въпреки че лабораторните изследвания показват надеждни резултати, една от причините за ограниченото разпространение на композитни траверси е исторически късият период на експлоатация, което се изразява в ограничени познания за тяхното поведение в експлоатационни условия.

1) Смачкване на подрелсовата основа при динамичното въздействие на подвижния състав върху релсата. Поведението на композитния материал при динамични удари значително се отличава от това при нискочестотни сили (под 20 Hz) [2], каквито се проявяват при движение, когато возилото и железният път са без неизправности, в добро техническо състояние. В следствие на динамичните удари може да настъпи разслояване и напукване на матрицата, при което коравината значително намалява.

2) Натоварването на умора на композитната траверса, поради нейната нехомогенна и анизотропна природа, е възможно да доведе до напукване на влакната, разслояване на връзките и напукване на матрицата. При термопластични материали работата, извършена от цикличното натоварване, генерира топлина, което води до разрушаване на структурата на пластмасата. Въпреки това, резултатите от редица лабораторни изследвания показват, че няма пряка зависимост между експлоатационните натоварвания и умората на материала, което налага специфично изследване на границите на натоварване, условията на подпиране и моделите на натоварване, за определяне на устойчивостта на умора [2].

3) Ултравиолетово лъчение. Пластмасовите траверси са уязвими на ултравиолетово лъчение, чиято радиация разрушава връзките между

молекулите на полимерната структура, което съкращава значително живота на траверсите [1]. Въпреки това към момента не са изследвани потенциалните повреди на композитните траверси под въздействието на UV радиация.

4) Влагата оказва въздействие на композитните траверси, аналогично на това при останалите видове траверси, като може да създаде агресивна среда в комбинация с различни соли, което да повлияе на механичните свойства на траверсата.

5) Високата температура на околната среда влияе на траверсите от композитни материали в зависимост от това дали надвишава прага, при който стъклофибърните влакна се пластифицират, което е установено че настъпва между 60 °C и 90 °C. В резултат от „по-меката“ траверса може да се повлияе силата на изскубване на тирфона, както и способността на траверсата да поддържа междурелсието [1]. Ефектът от температурното въздействие е по-значим за дълги стрелкови траверси с дължина над 5,5 m.

6) Въздействие на пожар. Композитните траверси са съставени от термопластични материали, които могат да се размекнат при нагряване и отново да се втвърдят при охлаждане, но при този процес да се променят физичните свойства на пластмасата. Траверсите трябва също да са пожароустойчиви при изпълнение на алуминотермитни заварки.

7) Устойчивост на траверсата на напречно преместване. Твърдата и гладка повърхност на траверсата намалява триенето между траверсата и баласта, не позволява вкопаване на баласта в самата траверса, както при дървените траверси, като в резултат намалява силата, необходима за напречно преместване на траверсата. За увеличаване на това триене повърхността на някои видове траверси е награпена или е с форма, която увеличава челното съпротивление на траверсата в баласта.

4. Стандартизация и технически спецификации за композитни траверси

С популяризирането на композитните траверси и по-широкото им приложение се налага и развитие на нормативната рамка, която да стандартизира разработването и производството на траверсите, така че да се осигурят изискванията за надеждност и сигурност на железния път. Въпреки че концепцията за проектиране на композитни траверси се основава на установените подходи за оразмеряване на греда, подложена на статични и динамични натоварвания, на национално ниво водещите железопътни администрации са разработили технически изисквания към влаганите траверси. Националните правила, които са най-често цитирани и на тяхна база са разработени едни от най-масово произвежданите композитни траверси, са JIS E1203:2007, CJ/T 399-2012, AREMA. На международно ниво ISO е издала серията стандарти ISO 12856 в три части, а UIC е публикувала IRS 70701 „Полимерни композитни траверси – Препоръки за употреба“.

- AREMA (The American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) [8]

В годишните си доклади американската асоциация на железопътните инженери публикува „Manual for Railway Engineering“, където се представя обширен набор от препоръки, добри практики, спецификации и данни за проектиране, строителство и поддръжка на железния път. Документът акцентира върху дефиниране на правила за проектиране, производство, изпитване и експлоатация на композитните траверси. AREMA не задава фиксирани числови гранични стойности, а описва методи за изпитване и критерии за поведение.

- CJ/T 399-2012 [4]

CJ/T 399-2012 е китайски отраслов стандарт, който дефинира изисквания към материалите, геометрията, изпитванията и правилата за експлоатация на синтетични траверси, които се влагат както в конвенционален железен път, така и в градска железница. В спецификацията се задават референтни стойности за параметри като модул на еластичност, якост на огъване, изисквания към геометрията, а също така и критерии за реакция към факторите на околната среда, като температура, радиация, влага и др.

- JIS E1203:2007 [5]

Стандартът е съобразен с изискванията към FFU (fiber-reinforced foamed urethane) траверсите, разработени от японския производител Sekisui. В спецификацията се дефинират изисквания към материала, процеса на производство и технологията на формоване, както и изисквания за приложението на траверсата в баластови и безбаластови участъци.

- ISO 12856 Railway applications — Polymeric composite sleepers, bearers and transoms [6]

Стандартът е разработен в три части:

- Част 1: Характеристика на материала.
- Част 2: Изпитване на продукта.
- Част 3: Общи изисквания.

ISO 12856 задава рамката кои показатели трябва да се контролират при производствения процес, изискванията при сертифициране на траверсата, като обикновено се използва в комбинация с национални приложения, където са дефинирани конкретните числови показатели. Приложим е за траверси за конвенционален, безбаластов и градски релсов път.

- IRS 70701 “Polymeric composite sleepers – Recommendations for use” [7]

IRS 70701 е документ, разработен в рамките на работна група на UIC, който има за цел да разгледа и обобщи наличните публикувани стандарти в областта на композитните траверси, както и да анализира съществуващите продукти на базата на експлоатационен опит. Целта на документа е да се дадат насоки и препоръки за производство, изпитване, одобрение и поддръжка на композитните траверси въз основа на натрупан опит. IRS 70701 е препоръчителен стандарт за приложение.

Таблица 2. Сравнение на изискванията към композитни траверси в изследваните стандарти [4 – 8]

Параметър	CJ/T 399-2012	JIS E1203	IRS 70701	AREMA (Manual for Railway Engineering)	ISO 12856
Плътност (kg/m³)	740 ± 100	~ 740	≥ 1400	Методика за измерване; стойността се съпоставя с проектните изисквания	Измерване и докладване; стойността се съпоставя с проектната
Модул на еластичност (GPa)	≥ 6	≥ 6	≥ 8	Четириточково огъване; стойността се определя според проектни натоварвания	Изпитване по ISO 178 (flexural test); стойността според проект
Якост на огъване (MPa)	≥ 70	≥ 70	≥ 50	Четириточково огъване; резултат спрямо проектни натоварвания	Изпитване по ISO 178; резултат спрямо проект
Якост на натиск (MPa)	≥ 40	≥ 40	≥ 60	Надлъжно и напречно изпитване; стойността според проект	Изпитване по ISO 604; стойността се съпоставя с проектната
Якост на срязване (Shear strength, MPa)	≥ 15	≥ 15	≥ 20	Проектна стойност ≥ 15 – 20 MPa	Изпитване по ISO 14130 (Short-beam test); стойността според проект
Деформация след умора / Permanent deformation (mm)	–	–	≤ 0,5 при 100 kN	Остатъчна деформация след циклично натоварване; типично ≤ 1,5 – 2,0 mm	Докладване на остатъчна деформация след цикли; стойност според проект
Максимална еластична деформация под уморни натоварвания (mm)	–	–	–	Измерване при циклично натоварване; проектна граница	Измерване и докладване; стойност според проект
Електрическо съпротивление	≥ 10 kΩ	≥ 10 kΩ	≥ 10 kΩ	Проверява се спрямо релсовата система	≥ 10 kΩ
Отклонение в геометрията (допуски)	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 1,5 – 2,0 mm	± 2 mm
Сила на изскубване на тирфона / Screw or Spike Pull-out Resistance (kN)	≥ 40 kN	≥ 40 kN	≥ 45 kN (мин.); ≥ 35 kN след умора / повторно завиване	≥ 44,5 kN (10 000 lbf) – минимално изискване за композитни и дървени траверси	Не задава конкретна стойност; изпитване по ISO 3597 и докладване спрямо проектните изисквания

Въз основа на направения сравнителен анализ може да се обобщи, че стандартите на национално ниво съдържат конкретни изисквания с дефинирани стойности към отделните технически показатели, докато AREMA и ISO 12856 съдържат методики и критерии за изпитване, като конкретните числови стойности се задават в проектното задание или от възложителя. Основният акцент във всички стандарти е завишеният

контрол върху качеството на влаганите материали и производствения процес с цел контролиране на ефектите на пълзене, образуване на кухини, умора на материала и надеждност на възела на скреплението. Подходът за постигането се определя според типа на стандарта и местните проектни разработки.

5. Стандартизация и технически спецификации за композитни траверси

5.1. Изисквания към геометрията на траверсите

Изискването е формата и геометричните размери на композитните траверси да съответстват на традиционните размери на използваните в железопътната мрежа траверси. Допуските за отклонение от геометричните размери са както следва:

- Дължина – ±10 mm;
- Ширина – ±5 mm;
- Височина – ±5 mm;
- Деформация (изкривяване по надлъжна ос) за траверси с дължина до 2600 mm: ≤ 5 mm;
- Дълбочина на неравностите по повърхнините – 1 mm;
- Усукване: ≤ 1 mm за 1 m.

5.2. Изисквания към механичните свойства на композитните траверси

- Водопоглъщане – способността на траверсите да абсорбират атмосферната влага. Определя се съгласно БДС EN ISO 62 и не трябва да надвишава 0,5 %. Ако водопоглъщането надвишава 0,2 %, трябва да се изследва ефектът му върху механичните свойства и устойчивостта на замръзване-размразяване на траверсата.
- Плътност – минимална масова плътност от 0,9 g/cm³.
- Химическа устойчивост – промяна на масата след излагане на агресивни среди за 24 ±1 h при стайна температура (23 ± 2 °C), не трябва да бъде по-голяма от 5 %.
- Устойчивост на микроорганизми – съгласно БДС EN ISO 846.
- Температуроустойчивост – при излагане на дългосрочни температурни цикли траверсите не трябва да се деформират или да променят твърдостта си.
- Устойчивост на UV лъчение – съгласно БДС EN IEC 61215-2.

5.3. Изисквания към механичните свойства на композитните траверси

- Модул на еластичност и якост на огъване – съгласно БДС EN 13230-2. При сили ≤ 60 kN не трябва да има остатъчна деформация след разтоварване.
- Якост на огъване на подрелсовата основа - съгласно БДС EN 13230-2.
- Електрическо съпротивление – измерва се в съответствие с БДС EN 13146-5 – не трябва да бъде по-малко от 5 kΩ.
- Съпротивление на изскубване на тирфона – изпитва се в съответствие с БДС EN 13146-10. След затягане и повторно завиване, минималната сила не трябва да се отклонява с повече от 10 % от предишното измерване.

- Коефициент на температурно разширение за обикновена траверса [1/K] – $\leq 66\times10^{-6}$. Методът за изпитване трябва да е в съответствие с БДС ISO 12856-2.
- Пожароустойчивост – дефинират се следните методи на изпитване:
  - Определяне на оптична плътност, съгласно БДС EN ISO 5659-2;
  - Изпитване на реакцията на огън, съгласно БДС EN 13501-1;
  - Изпитване на възпламенимост (GWEPT), съгласно БДС EN IEC 60695-2-11.

6. Композитни траверси в експлоатация – видове

6.1. Sekisui FFU (Fibre reinforced Foamed Urethane) композитна траверса – Япония

Пионери в разработването на композитни траверси е японската фирма Sekisui Chemical Co. Ltd. През 1978 г. японската компания Sekisui Chemical Co. Ltd. разработва ESLON Neo Lumber FFU (Fibre Reinforced Foamed Urethane) – синтетично „дърво“, направено от термореактивна уретанова пяна, подсилена с дълги стъклени влакна. Материалът съчетава свойства между дърво и пластмаса, по акустични и динамични характеристики FFU се държи подобно на дървените траверси. Като основни предимства на FFU могат да се посочат по-малкото тегло, устойчивост към вода, топлина и корозия, лесна обработваемост и експлоатационен живот над 50 години. Съгласно [9] към 2024 година са изградени около 925 km релсов път (около 1,5 млн. траверси), основно в стрелки, стоманени мостове и тунели. Освен в Япония, FFU траверсите са внедрени в Германия, Австрия и Австралия.

Таблица 3. Механични показатели на FFU траверсата [10]

Показател	FFU нова	FFU 10 г.	FFU 15 г.	FFU 30 г.
Плътност (kg/m³)	740	740	740	740
Якост на огъване (kN/cm²)	14,2	12,5	13,1	11,7
Модул на еластичност (kN/cm²)	810	800	816	816
Якост на натиск (kN/cm²)	5,8	6,6	6,3	6,0
Якост на срязване (kN/cm²)	1,0	0,95	0,96	0,93
Твърдост (kN/cm²)	2,8	2,5	2,7	2,4
Якост на огъване при удар +20 °C (J/cm²)	41	–	–	–
Якост на огъване при удар –20 °C (J/cm²)	41	–	–	–
Водопоглъщане (mg/cm²)	3,3	–	–	–
Електрическо съпротивление – сухо (Ω)	$1,6\times10^{13}$	$2,1\times10^{12}$	$3,6\times10^{12}$	$8,2\times10^{11}$
Електрическо съпротивление – мокро (Ω)	$1,4\times10^{8}$	$5,9\times10^{10}$	$1,9\times10^{9}$	–
Сила на издърпване на крампон (rail spike) (kN)	28	28	23	22
Сила на изскубване на тирфона (rail screw) (kN)	65	–	–	–



Фиг. 2. FFU композитна плоска траверса [10]

6.2. Anyang China Railway Composite Sleeper – Китай

Китайската компания Anyang Railway Equipment Co., Ltd (AT) е производител на композитни траверси, разработени в съответствие с [4] и подходящи за влагане както в баластов железен път, така и в стрелки, мостове, виадукти, високоскоростни и метро линии.



Фиг. 3. Композитни траверси, произведени от Anyang Railway Equipment [11]

6.3. Engineered Polymer sleeper (EPS) – Vossloh, Германия

EPS е композитна траверса, разработена от немската компания Vossloh. Използваният полимер е специално разработен рециклируем композитен материал, което осигурява контролирано качество. Траверсата се отличава с добавки за качество и продължителност на живота ≥ 50 години, висока плътност ≈ 1,5 g/cm³, устойчивост на приплъзване, без абсорбация на вода и ниско температурно разширение.



Фиг. 4. EPS Vossloh

6.4. Recycled Plastic Sleeper – Германия

Траверсата, разработена от немската компания Pioonier, използва композитен материал, състоящ се основно от рециклирани полиолефени, в комбинация с естествени влакна и други полимери и материали.



Фиг. 5. Recycled Plastic Sleeper Pionier

6.5. KLP Hybrid Polymer Track Sleeper – Нидерландия

Композитната траверса е разработена от нидерландската компания Lankhorst. Траверсата е изработена от рециклирана пластмаса със стоманени пръти за осигуряване на висока здравина. Те са проектирани с иновативен профилиран дизайн, който позволява пълно вграждане в баластовото легло. Тези траверси осигуряват по-добра странична и вертикална устойчивост в сравнение с традиционните с правоъгълно сечение, като същевременно използват 30 % по-малко материал.



Фиг. 6. KLP Hybrid Polymer Track Sleeper

7. Заключение

Основните предимства на композитните траверси могат да се обобщават в следното:

- ✓ От екологична гледна точка използването им има положителен ефект върху околната среда, тъй като не съдържат токсични вещества и консерванти като креазот и могат да бъдат рециклирани. Осигуряват добра

еластичност на железния път, което води до намаляване на шума и вибрациите от железопътния транспорт. По-леки са, което ги прави по-лесни за транспортиране.

- ✓ От експлоатационна гледна точка имат дълъг живот (50 г.), като запазват своята структура и свойства във времето. Устойчиви са на корозия и на химикали, като същевременно са пожароустойчиви и имат ниска електропроводимост.
- ✓ По отношение на механични показатели притежават относително добра еластична якост и якост на огъване.

Като основни недостатъци могат да се изтъкнат следните фактори:

- ✓ Основен недостатък е високата цена, което ограничава тяхното масово приложение в железопътната инфраструктура, а само в случаи, където използването е икономически обосновано.
- ✓ Недостатък е и късият период на експлоатация, което води до недостатъчни данни за дълготрайното им поведение.
- ✓ Известно е, че след рециклиране материалът губи своите физико-механични свойства.
- ✓ По отношение на механичните свойства на композитните траверси за не малка част от тях има вероятност за образуване на кухини в производствения процес, което в комбинация с умората на материала, пълзенето и чувствителността към температурни промени, води до разхлабване на скреплението с времето и невъзможността да се поддържа железният път по ос и ниво.

В табл. 4 е представен сравнителен анализ по водещи показатели между дървени, стоманобетонни, стоманени и композитни траверси. От него се вижда доколко всеки вид траверса удовлетворява даден показател съгласно нормативните изисквания.

Таблица 4. Сравнение на съществуващите материали за производство на железопътни траверси [12]

Показател	Дървени	Стоманобетонови	Стоманени	Композитни
Общо тегло	добро	лошо	умерено	отлично
Анкериране (захващане)	умерено	добро	отлично	умерено
Статично и динамично поведение	добро	умерено	добро	добро
Запазване на свойства през жизнения цикъл	лоши	умерени	добри	добри
Устойчивост на корозия	добра	добра	лоша	отлична
Електрическа изолация	добра	добра	лоша	добра
Подмяна	добра	лоша	умерена	добра
Ремонт и поддръжка	умерени	лоши	добри	умерени
Зависимост от температурата	добра	добра	добра	лоша
Рециклируемост	умерена	лоша	добра	добра
Разходи	добри	умерени	лоши	лоши

Една от причините за ограниченото използване на композитните траверси е цената. При определянето на цената трябва да се разглежда пълната стойност на горното строене при използване на композитни траверси, като предпоставка за постигане на икономичен ефект. Като пример по-тежка и корава стоманобетонна траверса изисква по-високо баластово легло, поради големите огъващи моменти. За да се намалят усилията, се влагат различни еластични елементи в конструкцията на горното строене, което повишава неговата обща цена. Поради това фокусът при разработването на композитни траверси трябва да бъде върху технология с подобрени динамични характеристики, които да позволяват по-ниско баластово легло и безподложно еластично релсово скрепление. Друга оптимизация може да се търси чрез намаляване на сечението или качеството на материала за по-слабо напрегнатите зони, аналогично на стоманобетонните траверси, където сечението е оптимизирано спрямо разпределянето на товара.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Mbatha, A. J., Alugongo, A. A., Nkomo, N. Z.* A Review of Composites Sleepers Used in the Railway Structure. // International Journal of Engineering Trends and Technology Volume 72 Issue 12, 360 – 366, December 2024, ISSN: 2231-5381.

2. *Ferdous, W., Manalo, A., Van Erp, G., Aravithan, T., Kaewunruen, S., Remennikov, A.* Composite railway sleepers – recent development, challenges and future prospects. Composite Structures, August 2015, DOI: 10.1016/ 2015.08.058.

3. AS 1085.22. 2019. Railway Track materials: Alternative Material Sleepers. RISSB.

4. CJ/T 399. 2012. Synthetic sleepers of fiber reinforced polyurethane foam.

5. JIS E1203. 2007. Synthetic sleepers – made from fiber-reinforced foamed urethane

6. ISO 12856. 2022. Railway applications – Polymeric composite sleepers, bearers and transoms.

7. IRS 70701. 2024. Polymeric composite sleepers – Recommendations for use.

8. https://www.arema.org/, poseten na 18.09.2025.

9. *Sharma, R. C., Palli, S., Sharma, S. K., Roy, M*. Modernization of railway track with composite sleepers. Int. J. Vehicle Structures & Systems, 9(5), 321 – 329, 2017, ISSN: 0975-3060.

10. https://sekisui-rail.com/ffu.html, poseten na 20.09.2025.

11. https://www.at-railfasteners.com/products/railway-sleeper/railway-sleeper.html, poseten na 21.09.2025.

12. *Manolo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W., Ticoalu, A.* A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers. Elsevier 2009.

13. *Belkom, A.* Mechanics of polymer railway sleepers. AusRAIL PLUS 2023 13 – 16 November 2023, Sydney.

COMPOSITE SLEEPERS IN RAILWAY INFRASTRUCTURE: DEVELOPMENT, STANDARDIZATION, CHALLENGES AND PERSPECTIVES

K. Mirchev[1], M. Lepoev[2]

Keywords: *composite sleepers, railway infrastructure, railway superstructure*

ABSTRACT

Composite sleepers are an innovative element in the construction of the railway superstructure, whose main purpose is to provide an alternative to wooden sleepers, which from an environmental point of view will have a limited application. Plastic, as the main material for the production of composite sleepers, is the closest to wood in terms of physical and mechanical properties, while being resistant to corrosion, moisture, and microorganisms, ensuring a service life of up to 50 years. As a raw material, the composite sleeper can use recycled plastic, and the sleeper itself is recyclable. Along with the advantages, there are also several limitations that hinder the widespread implementation of composite sleepers in railway tracks. The paper examines the types of composite sleepers in terms of the material used and the fiber reinforcement applied, as well as presents different types of sleepers in operation with their respective manufacturer. Furthermore, the main disadvantages of composite sleepers are discussed in detail. In addition, an analysis of the regulatory documents through which railway administrations are specifying sleeper's production and operation is provided.

[1] Kalin Mirchev, Eng. PhD student, Dept. "Railway Construction", Faculty of Transportation Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kmirchev_fte@uacg.bg
[2] Milcho Lepoev, Prof. Dr. Eng., Dept. "Railway Construction", Faculty of Transportation Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: mlepoev_fte@uacg.bg