



*Получена: 18.03.2018 г.*

*Приета: 22.10.2018 г.*

## ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ОТПАДЪЦИ ЗА СТРОИТЕЛНИ ЦЕЛИ

Н. Постолова<sup>1</sup>

*Ключови думи: железен път, релси, траверси, скрепления, баластово легло*

### РЕЗЮМЕ

Изследвано е поведението на излезлите от употреба железопътни материали и по специално предварително напрегнатите стоманобетонни траверси СТ3 и СТ4.

Анализирани са възможностите за използване на извадените при ремонтите на железния път материали и възможностите им за повторната им употреба. Изследвана е работата на стоманобетонните траверси в конструкцията на железния път. Направен е опит за оценка на остатъчната носимоспособност на извадените от железния път стоманобетонни траверси и възможността за използване на тази носимоспособност в други транспортни проекти: основа за помощни и второстепенни пътища, подпорни и укрепващи стени на стръмни откоси, основи за складови площадки и разтоварища и слаби места в железния път.

### 1. Въведение

Водеща политика при управлението на отпадъците е концепцията за ресурсна ефективност, насочена към предотвратяване на образуването на отпадъци, насърчаване на повторната употреба и оползотворяването чрез рециклиране, регенериране или друг процес на извличане на вторични суровини, обезвреждане и безопасно съхраняване на отпадъците, увеличаване на отговорността на производителите.

Оползотворяването на отпадъците, в частност на тези, генерирани от строителни дейности, е приоритетна политика в ЕС, тъй като това е пряко свързано с предотвратяването на замърсяването на въздуха, водата и почвата, както и ограничаване на риска за

---

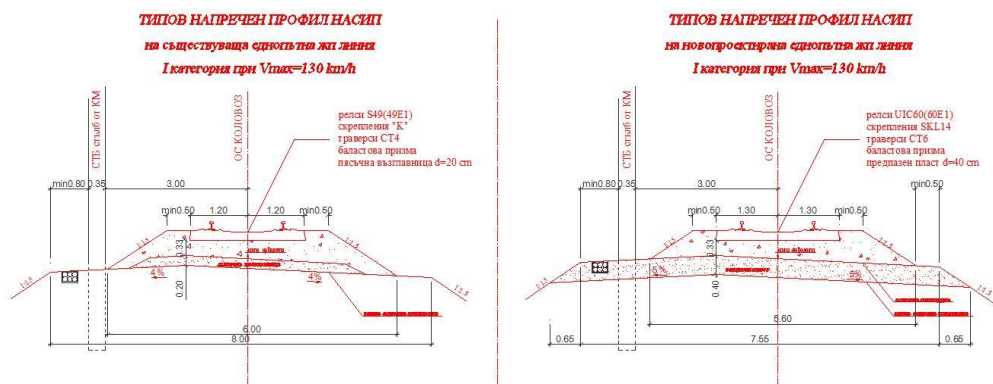
<sup>1</sup> Нина Постолова, ас. инж., кат. „Железници”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ninapb@mail.bg

човешкото здраве и околната среда. Чрез законодателни промени в Р България, съобразени напълно с европейското законодателство, са оформени основните аспекти за националния интерес при постигане на процентно управление на отпадъците.

Съгласно Рамкова Директива 2008/98/ЕС, са изготвени национални стратегически планове за управление на отпадъците от строителство и разрушение за всяка една страна членка на Европа [14]. По данни на Евростат в Европа се генерират около 4 t/година/жител отпадъци, като 48% са отпадъци от строителство и разрушение и 15% от минната индустрия, при добив на скални материали и земни маси [12]. Европа се фокусира върху намаляване на строителните отпадъци, вследствие на разрушаване и ремонт в сектори на високото строителство и транспортната инфраструктура. Действията са насочени не върху това да депонираме даден строителен отпадък, а как да го превърнем в продукт [14]. Употребата на такъв вид продукт е регламентирана с Регламент 305/2011 (ЕС) за определяне на хармонизирани условия за предлагането на пазара на строителни продукти [15]. Оползотворяването на излезлите от употреба материали от железопътния сектор е актуален проблем.

## 1.1. Основни части и елементи на железния път и екологично третиране

Основните части и елементи от конструкцията на железния път са релсо-траверсовата скара, състояща се от релси, траверси и скрепления, баластова призма, предпазен пласт при новопроектираните линии или пясъчна възглавница (подложка) при съществуващите. На следващата фиг. 1 са показани в напречен профил тези елементи.



Фиг. 1. Типови напречни профили за еднопътна жп линия I – категория

Повишаването на скоростите по железопътните трасета в страната ни неминуемо довежда до промяна и на конструкцията горно строене. Следователно влаганите в конструкцията материали от горното строене на пътя се заменят с подходящи такива за високи скорости:

- релси – тип S49 (49E1);
- траверси – дървени и стоманобетонни СТ3 и СТ4, които са 1600 –1800 бр./km;
- скрепления – тип „К” и „ПАК”, които се заменят с други типове, като:
  - релси – тип UIC 60 (60E1);
  - траверси – стоманобетонни СТ6 и европейския им аналог В91;
  - скрепления – с еластични елементи, като “SKL”, “PANDROL”, “NABLA” и т.н.

Прогнозното количество е за 1 km железопътна линия, като е направено сравнение на количествата материали за съществуващ и новопроектиран железен път. Резултатите са посочени в табл. 1.

**Таблица 1. Сравнителна таблица по видове материал за 1 km път**

№	Вид на материала	Ед. мярка	Прогнозно количество от съществуващ железен път	Прогнозно количество за новопроектиран жел. път
1	Стоманобетонови траверси	бр.	1760	1800
2	Баласт	m <sup>3</sup>	2200	1800
3	Релси	m	2000	2000
4	Скрепителни елементи	t	35	20
5	Дървени траверси	бр.	80	
6	Предпазен пласт	m <sup>3</sup>	-	3800
7	Пясък	m <sup>3</sup>	1050	-

## **1.2. Основни ремонти и рехабилитация на жп линии у нас – генератор на жп отпадъци**

През последните години бяха извършени множество рехабилитации, ремонтни дейности и подновявания по основните железопътни трасета на страната. Демонтираните материали се натрупват към съществуващия обем на железопътните отпадъци, формиран през предишните години. Най-често тези материали и отпадъци се съхраняват на т.нар. временни депа. Неправилното съхранение върху прилежащите гарови площи превръща излезли от употреба строителни материали и компонентите им в отпадък. Много често тези места стават притегателно място за изхвърляне на друг тип строителни отпадъци (например земни маси). Прогнозните количества на отпадъчни материали от дейностите по временното им съхраняване (Вр. С.), са определени в Решение №00-ДО-283-00 от 15.06.2009 г. на МОСВ [16]. На територията на страната съществуват места, отредени за дейности по временно съхранение на отпадъци. Разположението им е съобразено с осигуряването на железопътен и пътен достъп, което води до безпроблемна логистика за съхраняваните количества. В България са обособени три региона: в София, Пловдив и Горна Оряховица.

Регион София има обособени 33 броя площадки на гарите Казичане, Курило, Волуяк, София Север, Илиянци, Дупница, Перник, Столник, Симитли, Кюстендил, Враца, Мездра, Монтана, Бойчиновци, Брусарци, Димово, Видин, Червен бряг и Сопот.

Регион Пловдив има 26 обособени площадки на гарите в Пловдив, Карлово, Бургас, Карнобат, Стара Загора, Нова Загора, Чирпан, Тулово, Твърдица, Сливен, Ямбол и Димитровград.

Регион Горна Оряховица има обособени 61 площадки на гарите в Плевен, Левски, Карлуково, Одрене, Тополите, Провадия, Варна, Девня, Комунари, Дългопол, Белослав, Добрич, Русе, Борово, Исперих, Ветово, Силистра, Разград, Борово, Самуил, Шумен, Търговище, Попово, Хан Крум, Каспичан, Хитрино, Смядово, Славяново, Горна Оряховица, Полски Тръмбеш, Стражица, Велико Търново, Трявна и Завет.

Обобщените количества от дейността по временно съхраняване на отпадъците и в трите региона по видове отпадъци са дадени в табл. 2.

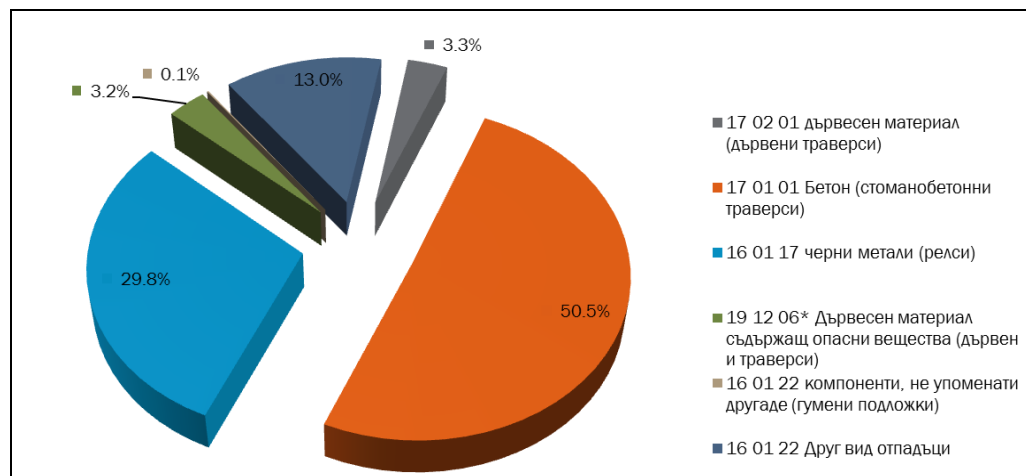
Таблица 2. Данни за материалите по кодове отпадък

№	Вид на отпадъка		Дейности	Количество (тон/год.)	Процентно съотношение спрямо общото количество
	Код на отпадъка	Наименование на отпадъка			
1	2	3	4	5	6
1	17 02 01	Дървесен материал (дървени траверси)	Временно съхраняване (Вр.С)	137,840	3,30%
2	17 01 01	Бетон (стоманобетонни траверси)	Временно съхраняване (Вр.С)	2111,630	50,50%
3	16 01 17	Черни метали (релси)	Временно съхраняване (Вр.С)	1247,030	29,80%
4	19 12 06*	Дървесен материал съдържащ опасни вещества (дървени траверси)	Временно съхраняване (Вр.С)	134,550	3,20%
5	16 01 22	Компоненти, неупоменати другаде (гумени подложки)	Временно съхраняване (Вр.С)	5,320	0,10%
6		Друг вид отпадъци	Временно съхраняване (Вр.С)	544,180	13,00%

Кодовете на съответните отпадъци са съгласно приет норматив за класификация на отпадъците [9].

Графичното представяне визуализира съотношението между видовете отпадъци по кодове, спрямо общото количество, прогнозирано за съхраняване в отделните региони на страната (фиг. 2). От графиката е явно, че най-голям по обем отпадъчен материал са стоманобетонни траверси от типа СТ3 и СТ4. Строителните отпадъци бихме могли да превърнем в продукти при оползотворяването им, като те трябва да отговарят на изискванията, заложи в Регламент ЕС 305/2011 г. [15].

Стойността на общото количество предвидени отпадъци е 4 181 тона/година.



Фиг. 2. Разпределение на отпадъците, измервани в тон/год. по кодове и процентното им съотношение спрямо общия обем отпадъци

### 1.3. Предприети мерки за повторна употреба на елементите на железния път

От 2009 год. по Решение на МОСВ, материалите от горното строене, като железопътен баласт, дървени и стоманобетонни траверси, релси, еластични подложки, скрепителни елементи и други, излизайки от конструкцията на железния път, се складират на определени за целта места, като за тях е определена т.нар. дейност по „Временно съхранение на отпадъци“ [8]. Под дейност по „Временно съхраняване“ се разбира дейността, свързана със складирането на отпадъците на площадки при мястото на образуването им или със събирането им на площадки за определен срок. Площадките са обособени от 2009 година и за всяка изминала година се следи за количеството отпадъци, които се складират върху тях. Те са предназначени за третиране на отпадъци, като се застрояват със съоръжения, обезпечаващи извършването на дейностите по събиране, временно съхраняване, оползотворяване и обезвреждане на отпадъците [7]. Временното им съхраняване на по-дребно габаритните отпадъци се извършва в контейнери и съдове на всяка обособена площадка. Обемните отпадъци, като дървени и стоманобетонни траверси и релси, се съхраняват на открито, без предпазване от атмосферно влияние.

За част от отпадналите железопътни материали в България има предложени конкретни мерки за предотвратяване от замърсяването на въздуха, водата и почвата, както и ограничаване на риска за човешкото здраве и околната среда [12].

За железопътния баласт съществува вътрешно ведомствена нормативна уредба, на база на която той се оползотворява чрез рециклиране [20]. Съгласно нея рециклираният баласт се дели на класове. За клас I се има предвид употреба при жп линии от 1 до 4 клас линии. За клас II се допуска влагането му при жп линии 5 и 6 клас и гарови козовози.

В конструкцията на горното строене, рециклираният баласт се използва за изграждане на баластовата призма, като се спазват изискванията на ТС БДЖ 00-022-2001 – „Камък трошен (баласт), рециклиран за жп линии. Фракция от 22,4 mm до 63 mm“ [18].

Излезлите от употреба дървени импрегнирани траверси са:

- траверси, които имат врязвания на металната подложка повече от 10 mm;
- напукани са челата по цялата им височина;
- надлъжните пукнатини надвишават 1 000 mm;
- изцяло са загнили и са се деформирали в зоната на вложеното скрепление.

Една част от тях се сортират и се подготвят за повторна употреба, като са сортирани по групи. Обособени са три групи [17] траверси:

- траверси, годни за влагане в пътя, без да се ремонтират;
- траверси, които са преминали през ремонтни дейности, за да се възстановят, съгласно нормативните изисквания;
- траверси, съвършено негодни за повторна употреба в железния път.

За негодните за повторна употреба дървени траверси в България не съществува технология, която да ги обезврежда. Те са класифицирани като опасен отпадък (поради наличие на импрегниращо вещество). Към момента се предават в предприятия за изгаряне. За разлика от дървените траверси, където трайността на материала ги изважда от пътя в по-ранен етап от експлоатационния им живот, стоманобетонните траверси се изваждат от пътя както поради деформируемост, така и поради смяна на типа им.

Съществува критерий по които стоманобетонните траверси се групират в четири групи по годност:

- траверси, годни за влагане в линии от 1 – 4 категория и съответните преходни гарови козовози, без да се подлагат на ремонт;

- траверси, годни за влагане в линии 5 – 6 категория, гарови и индустриални коловози, без да се подлагат на ремонт;
- траверси, годни за повторна употреба, след като им се извърши съответния ремонт;
- траверси, абсолютно негодни за използване в железния път.

Първите три групи стоманобетонни траверси се съхраняват на отредените за тази цел площадки и при необходимост се влагат отново в железния път.

Релсите се групират съгласно допустимото износване, големината на деформациите на глава релса, вълнообразното износване, дебелината на износената от корозия шийка на релсата, наличието на дефекти по релсата, в пет групи.

- 1 група са релси в текущ път без ремонт;
- 2 група са релси в текущ път след ремонт;
- 3 група са релси, годни за гарови, индустриални коловози без ремонт;
- 4 група са релси, годни за гарови, индустриални коловози след ремонт;
- 5 група са релси, които са абсолютно негодни за влагане в железния път.

Всички групи релси се сортират и се съхраняват на отредените за целта места [17]. Негодните за влагане в железния път релси се предават на фирми с необходимия лиценз за изкупуване и преработка на релсова стомана.

Всички железопътни материали, които са групирани за влагане в железния път, се водят на отчет като материали за повторна употреба, останалите са отпадъчен материал, показан на графиката по-горе.

## **2. Изследване на стоманобетонните траверси за повторна употреба**

### **2.1. Работа на железния път и роля на траверсите в него**

Железопътните траверси имат значително важна роля в общата работа на железопътната конструкция (горното строене). Основната им функция е да осъществяват дискретно подпиране на релсите и поемат натоварването от релсите, разпределят и го предават на следващите елементи (баластова призма, стоманобетонна плоча, стоманени елементи на мостови конструкции, асфалтова основа). Другата им функция е да поддържат междурелсието на железния път в съответствие с изискванията за нормално междурелсие [18].

### **2.2. Изчислителна схема на елементите на железния път**

В годините са приети редица опростявания, предвид сложността на натоварване от подвижния състав на пътя, чрез въвеждани на редица коефициенти. Ако се проследи работата на отделните елементи на железопътната конструкция се наблюдава каква част от траверсата поема натоварването и го преразпределя върху останалите елементи от конструкцията. Практически е невъзможно да се вземе предвид разнообразието от сили на въздействие върху траверсите и условията, при които възникват вследствие на взаимодействие с баластното легло. За стоманобетонните траверси е характерна по-голяма коравина в сравнение с останалите видове траверси – дървени и стоманени. Поради това се взема опростена схема, по която адекватно се отразяват действителната работа на

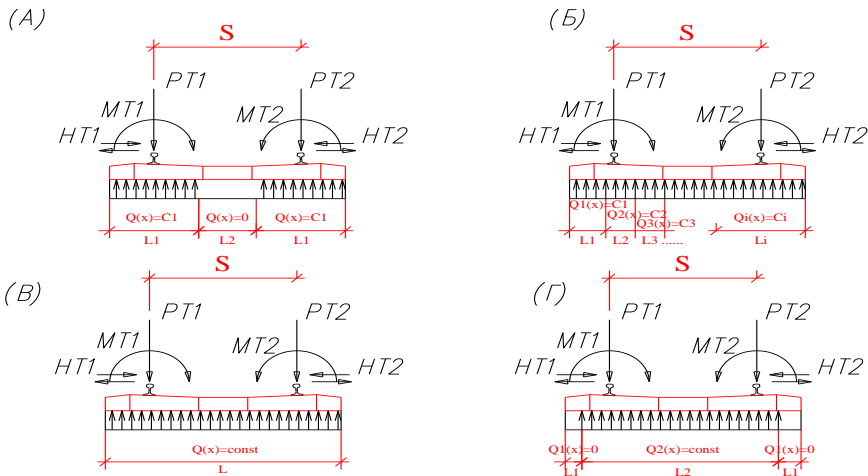
стоманобетонните траверси. Един от методите за оразмеряване е изчисленията да се направят като за къса греда на еластична основа, на която реакцията е пропорционална на потъването, т.е.

$$q = cy, \quad (1)$$

където  $c$  е коефициентът на леглото под траверсата, който характеризира еластичните свойства на баластовата призма.

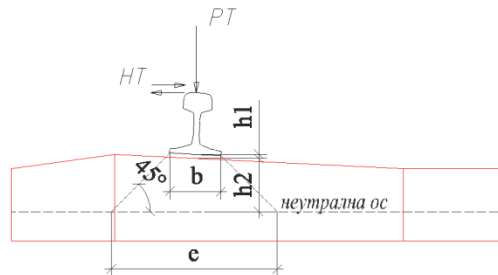
За да се отчете променливото сечение на траверсата в разрез по дължината ѝ, както и промяната на баласта като плътност във времето, траверсата е разделена на отделни секции и при всяка от тях се взема средно сечение и характеристики на еластичността на баласта. За да се направят изчисленията, траверсата се разделя на три участъка. Два непосредствено под релсата и един в средата на сечението, показано на фиг. 3 (А).

За статическите изчисления се приема коефициентът на основата под траверсите в рамките на всеки участък да е постоянен, т.е.  $c = \text{const}$  (фиг. 3). След като се въведе пътят в експлоатация, най-приближаващата схема до реално действащата в пътя е схема (В) от фиг. 3.



Фиг. 3. Схеми на взаимодействие между траверс и баластово легло

Натоварването обаче се прехвърля от повърхността между релса и траверса в неутралната ос на траверсата на ширина  $e$  (фиг. 4) [25].



Фиг. 4. Схема на прехвърляне на натоварването от контактната зона между релса и траверса върху неутралната ос

$$e = b_{\text{под.}} + 2(h_1 + h_2) \text{ctg}45^\circ. \quad (2)$$

$$M_T = H_T (h_1 + h_2). \quad (3)$$

$$P_A = \frac{P_T}{e} + \frac{6M_T}{e^2}. \quad (4)$$

$$P_B = \frac{P_T}{e} + \frac{6M_T}{e^2}. \quad (5)$$

$$\Delta P = \frac{P_A - P_B}{e} = \frac{12M_T}{e^3}, \quad (6)$$

където  $b_{\text{под.}}$  е ширината на подложката;

$h_1$  – височина (дебелина) на подложката;

$h_2$  – височина до неутралната ос;

$H_T$  – хоризонтална сила, действаща върху релсата;

$M_T$  – момент, предизвикан от хоризонталната сила;

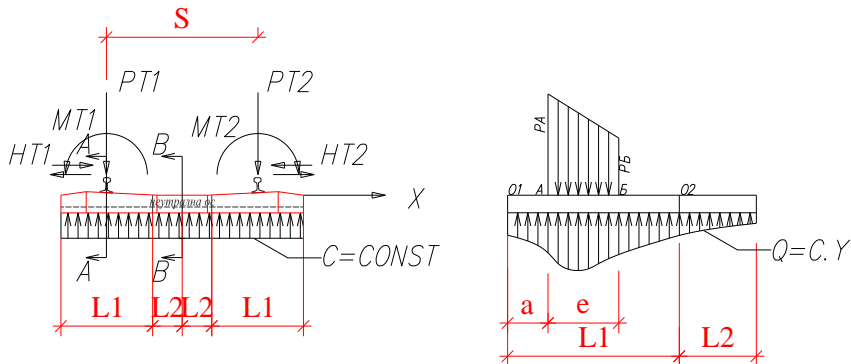
$P_T$  – разпределението на вертикалните сили под подложката;

$M_T$  – момент, предизвикан от действащите сили;

$P_A$  – разпределение на товара за т. А;

$P_B$  – разпределение на товара за т. Б;

$e$  – ширина на преразпределения товар.



Фиг. 5. Схема за оразмеряване на траверса

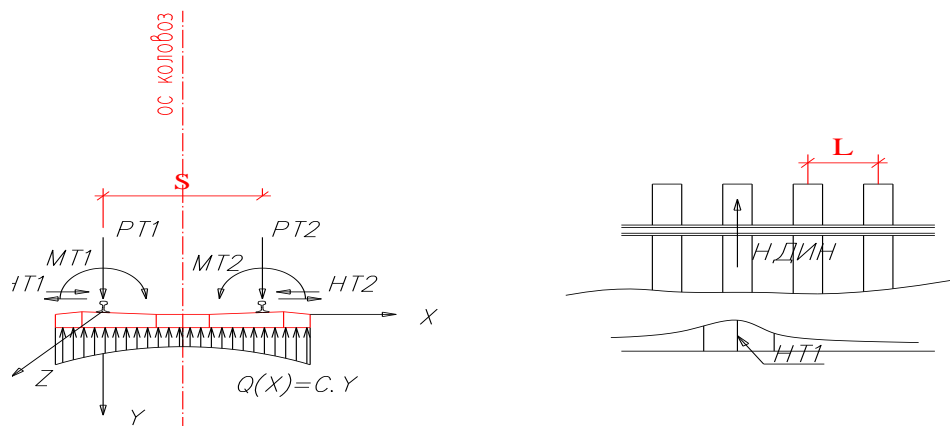
### 2.3. Оразмеряване на траверсите

За изчисляване на носимоспособността на траверсите са разработвани редица методи. Основно, за да се изчисли огъването, при всяка една от тях са били въведени следните предпоставки:

- траверсата се разглежда като греда с ограничена дължина, лежаща на еластична основа;

- натоварена е с еднакви по размер концентрирани сили, разположени на еднакво разстояние една от друга.

Годините, в които се експлоатира даден жп участък и в зависимост от динамичното натоварване се променя плътността на баластовата призма и това оказва влияние в полза на общото състояние на стоманобетонната траверса. За да се изчислят действащите сили върху траверсата, е необходимо да се определят силите, които си взаимодействат между, колело и релса (фиг. 6). Това взаимодействие е определено от носимоспособността на горното строене под действие на динамично натоварване.



Фиг. 6. Сили, действащи на траверсата

Съществува теория, даваща възможност за изчисление на носимоспособността на горното строене под действие на движещия се подвижен състав [26]. Тя заменя групата сили на подвижния състав с една единствена сила, която е приложена в точка. В теорията се изхожда от това, че допълнителните променливи сили имат свои максимални, средни и минимални стойности. И че те не могат в един и същи момент да натоварят релсата в едно и също сечение. Използвайки това, и математическите статистики са доказали, че силата се получава, като към средноаритметичното значение на измерените величини се прибави 2,5 пъти средноквадратичното отклонение на тези измервания. А именно

$$P_{\text{дин}} = P_{\text{ср.}} + 2,5S, \quad (7)$$

където  $P_{\text{ср.}}$  е средна вертикална сила, предизвикана от колелото върху релсата;

$S$  – средноквадратично отклонение;

2,5 – коефициент, отчитащ вероятността от 99,4% на проявление.

$$P_{\text{ср.}} = P_{\text{ст.}} + 0,75P_{\text{р}}, \quad (8)$$

където  $P_{\text{ст.}}$  е статична сила на колелото в kN;

$P_{\text{р}}$  – максимално усилие от колебанията на подвижния състав в kN.

$$P_{\text{р}} = ж \cdot z_{\text{max}},$$

където  $ж$  е пружинната константа на ресорите, дадена по паспорт kN/mm;

$z_{\max}$  – максималното отклонение при движение, определено чрез емпирични формули.

При електрически локомотив  $z_{\max} = 10 + 8.10 - 4v_2$ .

$v_2$  – скорост на движение km/h.

$P_p = k_d (P_{\text{ст.}} - q)$ .

$q$  – необресорните части на подвижния състав в kN

$$k_d = 0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{\text{ст.}}} \quad (9)$$

$f_{\text{ст.}}$  – общо отклонение на ресорите.

От  $P_{\text{сп.}}$  зависи дали пътят е в крива, от вида на кривата, от скоростта с която се навлиза в крива и т.н. и най-вече от страничното непогасено ускорение  $a_{\text{н.}}$ , което се появява в кривата.

При изчисляване на траверсите се взема максимално допустимата стойност на  $a_{\text{н.}}$ , което в случая се приема за  $a_{\text{н.}} = 0,65 \text{ m/s}^2$ .

Напречните сили  $Z_p$  – появяваща се на рамата на возилото и  $H$  – хоризонтална напречна в сечението между релса и траверса, се изчисляват по следните формули:

$$Z_{\text{дин}} = Z_p (1 + 0,0024v) \quad (10)$$

$$H_{\text{дин}} = H (1 + 0,003v) \quad (11)$$

При оразмеряване на траверсата от изключителна важност е да се намери моментът, който се предава на глава релса –  $M_{\text{кр.}}$ .

$$M_{\text{кр.}} = H_{\text{дин}} h_{\text{кр.}} \quad (12)$$

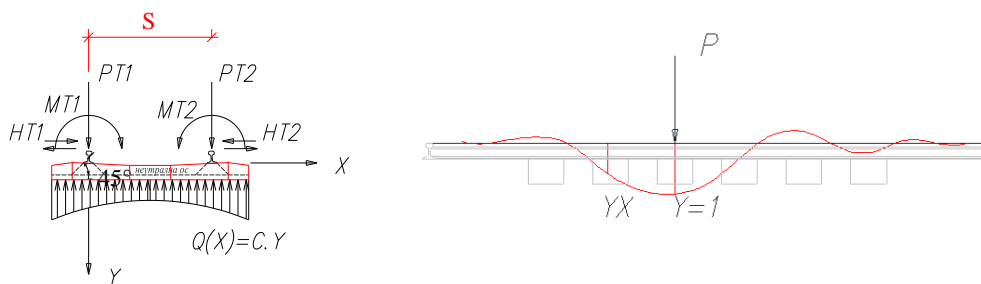
$$h_{\text{кр.}} = h \frac{P_{\text{дин}}}{H_{\text{дин}}} \left( \frac{b}{2} - r \right) \quad (13)$$

където  $h$  е разстояние от центъра на релсата до приложната ѝ точка на силата на действието;

$b$  – ширина на глава релса;

$r$  – радиус на глава релса.

При определяне на силите, действащи от релсата на траверсата, релсата се приема, като безкрайно дълъг лъч, лежащ върху непрекъснатата еластична основа (фиг. 7), подложен на пространствено огъване и усукване на вертикални и хоризонтални сили. Огъващият момент е равен на втората производна на функция на ординатите на огънатата ос спрямо абсцисите, умножена по коравината на гредата, като произведение на модула на линейна деформация на материала по инерционния момент на сечението.



**Фиг. 7.** Надлъжна схема на действие на вертикални и хоризонтални сили

Имаме следните три модула на еластичност:

$u_y$  – модул на еластичност на прилежащата основа при огъване, т.е. релсата във вертикалната равнина;

$u_z$  – модул на еластичност на прилежащата основа при огъване, т.е. релса в хоризонтална равнина, на която действат странични хоризонтални и вертикални сили;

$u_\varphi$  – модул на еластичност на прилежащата основа на усукване.

Предполага се, че колелото с максимална вертикална и странична сила, действаща върху релсата, се намира над връзката между релса и траверса. Така сечението под силата ще има най-голяма деформация на релсите. Силата, която се прехвърля на траверсата, най-голяма деформация на релсата чрез съответния модул на еластичност на релсата и на разстоянието между осите на траверсата:

- вертикалната сила

$$P_T = y_0 u l ; \quad (14)$$

- хоризонталната странична сила

$$H_T = z_0 u_z l ; \quad (15)$$

- моментът на огъване

$$M_T = \varphi_0 u_\varphi l ; \quad (16)$$

- наклонът на релсата при вертикалната сила

$$y_0 = \frac{k P_{\text{дин}}}{2u} , \quad (17)$$

$$P_{T1} = P_{T2} = y_0 U L = \frac{kL}{2} P_{\text{дин}} , \quad (18)$$

където  $P_{T1}$  и  $P_{T2}$  са вертикални сили, действащи върху траверсата.

Приема се, че те са равни една на друга и са разположени симетрично спрямо оста на траверсата. Напречно хоризонтално динамично натоварване на релсите върху траверсите е дадено в (19).

$$H_{T1} = H_{T2} = \frac{k_z L}{2} H_{\text{дин}}, \quad (19)$$

коэффициент на относителна коравина

$$k_z = 4 \sqrt{\frac{U_z}{4E_p I_z}}, \quad (20)$$

$$M_{T1} = M_{T2} = \frac{M_{\text{кр.}} U_{\phi} L}{\beta_{\phi}}. \quad (21)$$

където  $I_z$  е инерционен момент на релсата, отнесена към вертикалната ос през центъра на тежестта и в  $\text{m}^4$ ;

$H_{\text{дин}}$  – динамична сила, предадена от релсата върху траверсата;

$\beta_{\phi}$  – торсионна твърдост на релсата;

$H_{\text{дин}} = H(1 + 0,003v)$  – отчита се фактът, че тя е приложена в главата на релсата.

Вертикалните сили  $P_{T1}$  и  $P_{T2}$  могат да бъдат еднакви или различни. Хоризонталните сили  $H_{T1}$  и  $H_{T2}$ , които се предават на траверсата чрез релсовите скрепления, могат също да бъдат различни по размер и еднопосочни или разнопосочни. Моментите на огъване  $M_{T1}$  и  $M_{T2}$  могат също да имат различни посоки. Огъване на стоманобетонни траверси в хоризонтално положение; равнината от въздействието на надлъжните сили (сили на огъване, температурни сили в релсите) се пренебрегват. Вертикалното натоварване на траверсата реално не се осъществява симетрично, особено в кривите участъци от пътя, където наличието на допълнителна хоризонтална сила води до претоварване на външното и разтоварване на вътрешните релси. Едновременно появата на максимални вертикални сили на двете подрелсови сечения е малко вероятно. Опитно е установено, че ако под едната релса действа сила  $P_{T\text{max}}$ , то тогава под другата силата не може да надвишава  $0,75P_{T\text{max}}$ .

### **Оразмеряване**

Има известни различни начини за изчисляване на гредите на еластична основа, придържащи се към хипотезата за коефициента на леглото.

Методът, който се прилага, е характерен с това, че пълната сила и геометрични характеристики (огъващ момент, сръзване сила, ъгълът на отклонение на въртене на сечението) във всяка точка траверси са изразени по отношение на началните стойности на тези параметри в края на равенството (фиг. 8). Основната характеристика на уравнението на отклонението на леглото като греди на еластична основа е стойността на:

$$k = 4 \sqrt{\frac{bc}{4EI}}, \quad (22)$$

където  $b$  е ширина на траверсата в  $\text{m}$ ;

$c$  – коефициент на леглото на траверсата в  $\text{kN/m}^3$ ;

$E$  – модул на еластичност на траверсата в  $\text{kN/m}^2$ ;

$I$  – инерционен момент на траверсата в  $\text{m}^4$ .

Така се приема, ако напречното сечение на траверсата е едно и също по цялата си дължина. В действителност обаче, следва

$$k_1 = 4 \sqrt{\frac{b_1 c_1}{4EI_1}} \quad (23)$$

и

$$k_2 = 4 \sqrt{\frac{b_2 c_2}{4EI_2}}, \quad (24)$$

$$M_x = S_o C_z + N_o D_z, \quad (25)$$

$$Q_x = k_1 (S_o B_z + N_o C_z), \quad (26)$$

$$Y_x = k_1^2 (S_o A_z + N_o B_z), \quad (27)$$

$$\Phi_x = k_1^3 (-4S_o D_z + N_o A_z). \quad (28)$$

На участъка от А до Б

$$M_x = S_o C_z + N_o D_z - \frac{p}{k_1^2} C_{z-a} + \frac{\Delta p}{k_1^3} D_{z-a}, \quad (29)$$

$$Q_x = k_1 (S_o B_z + N_o C_z) - \frac{p}{k_1} B_{z-a} + \frac{\Delta p}{k_1^2} C_{z-a}, \quad (30)$$

$$Y_x = k_1^2 (S_o A_z + N_o B_z) - p (A_{a-z} - 1) + \Delta p \left[ \frac{B_{z-a}}{k_1} - (x-a) \right], \quad (31)$$

$$\Phi_x = k_1^3 (-4S_o D_z + N_o A_z) + 4k_1 p D_{z-a} + \Delta p (A_{z-a} - 1). \quad (32)$$

На участъка от Б до  $O_2$

$$M_x = S_o C_z + N_o D_z - \frac{p}{k_1^2} (C_{z-a} - C_{z-\beta}) - \frac{\Delta p}{k_1^2} (b-a) C_{z-\beta} + \frac{\Delta p}{k_1^3} (D_{z-a} - D_{z-\beta}), \quad (33)$$

$$Q_x = k_1 (S_o B_z + N_o C_z) - \frac{p}{k_1} (B_{z-a} - B_{z-\beta}) - \frac{\Delta p}{k_1} (b-a) B_{z-\beta} + \frac{\Delta p}{k_1^2} (C_{z-a} - C_{z-\beta}), \quad (34)$$

$$Y_x = k_1^2 (S_o A_z + N_o B_z) - p (A_{a-z} - A_{z-\beta}) - \Delta p (b-a) A_{z-\beta} + \frac{\Delta p}{k_1} (B_{z-a} - B_{z-\beta}), \quad (35)$$

$$\Phi_x = k_1^3 (-4S_o D_z + N_o A_z) + 4k_1 p (D_{z-a} - D_{z-\beta}) + 4k_1 \Delta p (b-a) D_{z-\beta} + \Delta p (A_{z-a} - A_{z-\beta}). \quad (36)$$

В тези уравнения първоначалните условия са стойностите на  $C_o$  и  $N_o$ , пропорционални на деформацията и ъгъла на въртене в началото на траверсата. Те се определят с формулите:

$$S_o = \frac{b_1 c_1}{k_1^2} y_o. \quad (37)$$

$$N_o = \frac{b_1 c_1}{k_1^3} \varphi_o. \quad (38)$$

$$A_o = \cosh z. \quad (39)$$

$$B_z = \frac{1}{2} (\sinh z + \cosh z). \quad (40)$$

$$C_z = \frac{1}{2} \sinh z. \quad (41)$$

$$D_z = \frac{1}{4} (\sinh z - \cosh z). \quad (42)$$

$$z = kx. \quad (43)$$

$$z - a = k(x - a). \quad (44)$$

$$M_x = M_1 A_z + Q_1 \frac{B_z}{k_2} + Y_1 \psi \frac{C_z}{k_2^2} + \Phi_1 \psi \frac{D_z}{k_2^3}. \quad (45)$$

$$Q_x = -M_1 4k_2 D_z + Q_1 A_z + Y_1 \psi \frac{B_z}{k_2} + \Phi_1 \psi \frac{C_z}{k_2^2}. \quad (46)$$

$$Y_x = -M_1 4k_2^2 C_z - Q_1 4k_2 D_z + Y_1 \psi A_z + \Phi_1 \psi \frac{B_z}{k_2}. \quad (47)$$

$$\Phi_x = -M_1 4k_2^3 B_z - Q_1 4k_2^2 C_z - Y_1 \psi 4k_2 D_z + \Phi_1 \psi A_z. \quad (48)$$

В тези уравнения  $M_1$ ,  $Q_1$ ,  $Y_1$  и  $\Phi_1$  са силата и геометричните характеристики на крайната точка  $O_2$  на подрелсовата зона, определена по уравненията по-горе, но заменена с  $x = l_1$ .

Основната характеристика на огъването на траверси в средния участък е

$$k_2 = \sqrt[4]{\frac{b_2 c_2}{4EI_2}}, \quad (49)$$

като се заместват характеристиките за съответния участък.

$$\psi = \frac{b_2 c_2}{b_1 c_1}. \quad (50)$$

При симетрично натоварване от релсите в средното сечение на траверсата се получава за  $Q = 0$  и за  $\varphi = 0$ . В този случай за средното сечение на траверсата имаме равенството:

$$y_x = y_1 + \varphi_1 x - \frac{M_1 x^2}{2EI_2}, \quad (51)$$

$$\varphi_x = \varphi_1 - \frac{M_1 x}{2EI_2}, \quad (52)$$

$$M_x = M_1, \quad (53)$$

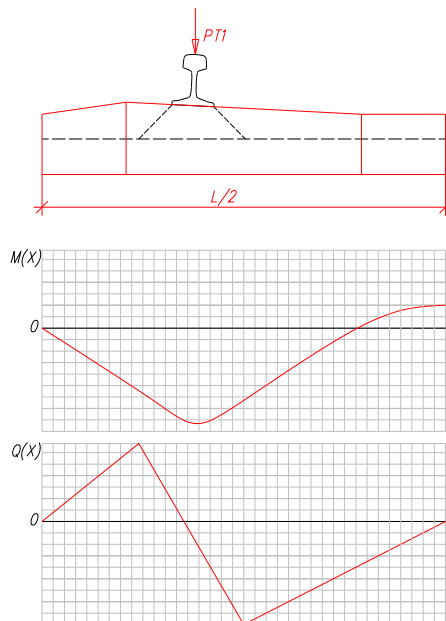
$$Q_x = Q_1 = 0. \quad (54)$$

Ако се изхождайки от зависимостта, че  $q = cy$ , се получава следното:

$$\sigma_{\text{б.л.}} = cy. \quad (55)$$

Траверсата се разглежда като къса греда с ограничена дължина, лежаща върху еластична основа с коефициент на леглото  $C$  (dN/cm<sup>3</sup>) [28] ( $C = 50$  dN/cm<sup>3</sup> през зимата), натоварена с две симетрични концентрирани сили спрямо оста на гредата. Разделяме дължината на траверсата на  $n$  брой участъци и решаваме уравненията по формули (45), (46), (47) и (48).

Стойностите на момента и на напречната сила са изобразени в диаграми –  $M$  (l) и  $Q$  (l) (фиг. 8). Концентрираната сила е със стойност 1 kN.



**Фиг. 8. Диаграми на момента и на напречната сила от концентрирана сила  $P_{T1}$**

Моментовата диаграма е със знак-променливи стойности в зоните под и между релсите. Най-големи положителни стойности на огъващите моменти са в подрелсовото сечение, а най-голямата отрицателна стойност е в оста на траверсата. Стойностите на огъващите моменти, получени чрез пресмятане в средата и в подрелсовото сечение на траверсата, трябва да са по-малки от допустимите. Съответно са:

- за жп магистрали –  $M_{\text{доп}} = 17 \text{ kN.m}$ ;
- за I и II категория железен път –  $M_{\text{доп}} = 19 \text{ kN.m}$ . Изчисляването на граничните стойности на моментите и напречните сили се извършва в съответствие с БДС EN 13230-2009.

### **Избор на бетон и армировка**

Площта на напречното сечение на армировката се определя съгласно следната формула:

$$F_n = \sum n_i f_a \cdot \quad (56)$$

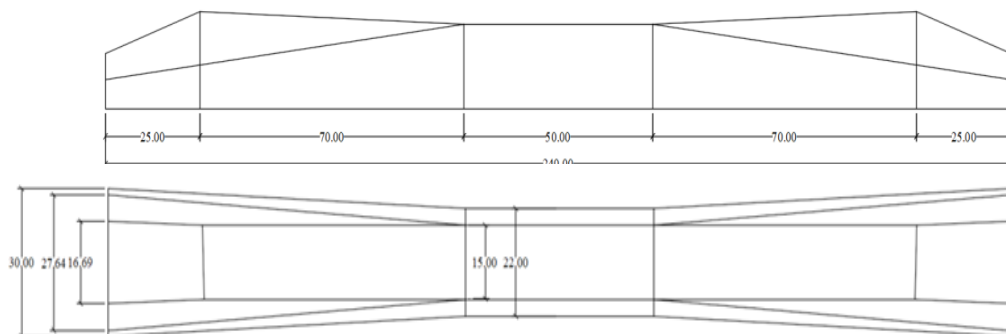
$$a_n = \frac{\sum n_i f_a y_i}{F_n}, \quad (57)$$

където  $\sum n_i$  е общият брой армировъчни струни;

$f_a$  – площ на напречното сечение на една струна в  $\text{mm}^2$ ;

$y_i$  – хоризонтално разстояние между отделните сечения на армировъчните струни.

Според техническите изисквания на ДП „НК ЖИ“, бетонът трябва да има клас на якост, не по-малък от C40/50 и клас по мразоустойчивост, не по-малък от Вm150. Траверсите от типа СТ4, като част от конструкцията, горното строене на железния път на се изчисляват на огъване. На фиг. 9 са показани геометричните размери на стоманобетонна траверса тип СТ4.



**Фиг. 9. Геометрични размери на стоманобетонна траверса СТ4**

Предварително напрегнатата стоманена армировка трябва да бъде съгласно ENV 10138-1995 и BS 5896:1980. Чрез нея се осигурява достатъчна носимоспособност на траверсата чрез т.нар. струни, разпределени по напречното сечение по такъв начин, че равномерно и постепенно да поеме освободеното предварително напрежение. Механичните показатели на армировъчната стомана трябва да бъдат: якост на опън –  $1570 \div 1620 \text{ N/m}^2$ ; граница на еластичност (условна граница на провлачване) –  $1300 \div 1420 \text{ N/m}^2$ ; относително удължение –  $\leq 3,5\%$ .

## **2.4. Проверка на остатъчната носимоспособност на извадените от железния път стоманобетонни траверси**

За да се провери остатъчната носимоспособност на стоманобетонните траверси, се тръгва от проверката при какви условия на работа са били в железния път. От голямо значение е да се установи категорията на железопътните линии, за които са били предназначени.

Траверсите са изчислени по носеща способност и пукнатино-устойчивост. Стоманобетонните траверси са изчислявани по действащите тогава „Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции“ – 1988 г. Методът на изчисление е по гранични състояния, при настъпването на които конструкцията престава да удовлетворява експлоатационните изисквания. Граничните състояния от първа група (крайни гранични състояния) водят до загуба на носимоспособност или до пълна непригодност за експлоатация на стоманобетонните траверси.

Изчисляването за гранични състояния от първа група осигурява траверсите срещу разрушение от умора, вследствие на действието на многократно повтарящо се динамично натоварване при едновременно неблагоприятно въздействие на външната среда (периодично овлажняване, замръзване и размръзване и др.). Изчислението на траверсите по гранични състояния от втора група осигурява траверсите срещу образуване на пукнатини. Стоманобетонните траверси се отнасят към конструкциите I категория по пукнатиноустойчивост, в които образуването на пукнатини от изчислителни товари не се допуска. Изчисление по деформации обикновено не се прави, като същото се заменя с проверка на допустимите напрежения в баласта под траверсите които са пропорционални на огъването. При изчисление на стоманобетонните траверси за нормативно натоварване се приема максимално натоварване от релсата върху траверсата, с отчитане на хоризонталните сили в кривите. Стоманобетонните траверси се отнасят към конструкциите първа категория по пукнатиноустойчивост, при които не се допуска образуването на пукнатини от изчислителните товари. За оценка на износоустойчивостта и пукнатиноустойчивостта, граничните моменти в оразмерителните сечения на траверсата са съпоставени с максималните вероятни моменти в същите сечения на траверсата при нейната работа в железния път.

## **3. Методи за оценка и повторно използване на извадените от железния път стоманобетонни траверси**

Стоманобетонните траверси са предназначени за използване за всички железопътни линии и коловози с ширина на коловозите 1435 mm. Работата им в железния път е до момента, в който се налага смяна поради влошено техническо състояние или промяна на типа на горното строене. Оценка на техническото им състояние се извършва визуално, като се следят появите на пукнатини. При оценяване на разрушаването на стоманобетонните траверси съществува групиране спрямо разрушаването на бетона или на армировката. За негодни за експлоатация и подлежащи на смяна се смятат траверсите: при наличието на надлъжна пукнатина, по-широка от 2 mm, преминаваща през двата отвора за ПАК-68И или през двете групи пластмасови дюбели; при наличие на повече от една напречна пукнатина в средното сечение; при невъзможност за изваждане на анкерните болтове при ПАК-68И или на скъсани тирфони в дюбелите; при деформации в анкерната плоча при скрепление ПАК-68И; при потънали, измъкнати, разместени или липсващи пластмасови дюбели; при откъртвания на бетон в челата на траверсите, когато е засег-



пителните елементи е по-голямо от 2 mm и когато има наличие на пукнатини, елементите се изваждат от пътя. Също така се изваждат при наличие на отчупвания, огъвания, износвания на резбата, износвания на пружинната шайба, стегателната плочка и др.

Всички скрепителни елементи: връзки, болтове, подложки, крампони, тирфони, стегателни плочки, пружинни шайби и еластични клеми при изваждането им от пътя е необходимо да бъдат сортирани в зависимост от степента на тяхната годност и възможност за по-нататъшно използване. И те, както и останалите елементи от горното строене на железния път, се групират. В първа група са елементите, годни за влагане в пътя, без да са ремонтирани. Втора група са елементите, годни за влагане в пътя, но след като преминават през предварителна обработка. И трета група са елементи, които са свършено негодни и се предават за претопяване.

### **4.3. Железопътни траверси**

#### *– Дървени*

След като са групирани за повторно влагане, дървените траверси се почистват и се премахва загнилата и износена дървесина. Получилите се отвори се запълват с дървени дюбели и се бандажират краищата против пукнатини. Всички тези мероприятия са за подготовка на дървените траверси, които ще се влагат повторно в железния път. Останалите, които не подлежат на обработка, се складират и окачествяват за бракуване. Предават се в предприятията за горене.

#### *– Стоманобетонни*

В зависимост от тяхната годност те се групират, като всяка една от групите траверси определя и по-нататъшната им употреба.

Траверсите, годни за влагане от 1 до 4 категория железопътни линии и съответните преходни гарови коловози, са от първа група. За 5 и 6 категория са траверси – втора група за гарови и индустриални коловози. Тези траверси, които преминават през допълнителна обработка (ремонт) са трета група. Към последната четвърта група траверси се отнасят тези, които съвсем не могат да бъдат влагани в железопътното строителство. Но те имат възможности за приложение в други инфраструктурни обекти.

### **4.4. Трошен камък от баластовата призма**

Съгласно вътрешноведомствена нормативна уредба в България, по железния път се допуска за повторна употреба баласт от жп линии. Това е възможно след подходящо преработване на издетия от пътя баласт и преминал през съоръжения за рециклиране.

Оценка на годността на баластовата призма се изразява в процентно замърсяване на трощения камък, както и експлоатационното му състояние.

Рециклираният баласт се дели на два класа: клас I – за жп линии от 1 до 4 клас; II – при клас за жп линии 5 и 6 клас и гарови коловози.

Рециклираният баласт се използва за изграждане на баластовата призма както следва: в пълен профил при проектна скорост до 90 km/h; като долен слой с максимална дебелина 250 mm, при скорост до 160 km/h [19].

Баластът, който не попада в нормативните изисквания за повторна употреба за влагане в железния път, се депонира на отредените за целта места. Без допълнителна преработка той служи за насипване на пропаднали терени, рекултивация на нарушени зони, конструкция на горски и селскостопански пътища. Така предложените решения за

влагане на железопътни материали, както за железопътни отсечки, така и за друг тип инфраструктурни обекти, превръщат излезлите от първоначална употреба елементи на железния път (отпадък) в ресурс.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-103/2017 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ. Изказвам искрени благодарности за съдействието на екипа от специалисти, довели до реализацията на проекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закон за устройство на територията. В сила от 31.03.2001 г., изм. и доп. ДВ. бр.103 от 28.12.2017 г., 156 стр.
2. Закон за железопътния транспорт. В сила от 01.01.2002 г. изм. и доп. в ДВ. бр. 58 от 26.07.2016 г.
3. Закон за управление на отпадъци. Изм. ДВ. бр.102 от 22.12.2017 г., 100 стр.
4. Закон за опазване на околната среда. Изм. и доп., бр. 62 от 14.08.2015 г.
5. Наредба 55 за проектиране и строителство на жп линии, жп гари, жп прелези и други елементи на жп инфраструктурата. Обн. ДВ. бр.18 от 05.03.2004 г., попр. ДВ. бр.20 от 12.03. 2004 г., попр. ДВ. бр.42 от 21.05.2004 г.
6. Директива 96/48/ЕО на съвета от 23 юли 1996 г. относно оперативната съвместимост на транс европейската високоскоростна железопътна система, официален вестник на европейските общности 17.9.1996, 19 стр.
7. Наредба за управление на строителните отпадъци и за влагане на рециклирани строителни материали. ДВ, бр. 98 от 08.12.2017 г., в сила от 12.12.2017 г., 21 стр.
8. Ръководство за управление на строителни отпадъци на територията на Р България. Изд. на МОСВ, 59 стр.
9. Наредба № 2 от 23.07.2014 г. за класификация на отпадъците. Изм. и доп. ДВ. бр.32 от 21.04.2017 г.
10. Наредба № 7 от 24.08. 2004 г. за изискванията, на които трябва да отговарят площадките за разполагане на съоръжения за третиране на отпадъци. Обн., ДВ, бр. 81 от 17.09.2004 г., 16 стр.
11. Стратегия за развитие на железопътния транспорт в Република България и план за оздравяване и развитие на групата на „Холдинг БДЖ” ЕАД за периода 2015 – 2022 г.
12. Национален стратегически план за управление на отпадъци от строителство и разрушение на територията на България 2011 – 2020 г.
13. Директива 2001/16/ЕО на европейския парламент и съвета от 19.03.2001 г. за оперативната съвместимост на трансевропейската конвенционална железопътна система.
14. Директива 2008/98/ЕО на европейския парламент и на съвета от 19.11.2008 г. относно отпадъците и за отмяна на определени директиви. Официален вестник на Европейския съюз от 22.11.2008 г., 28 стр.
15. Регламент (ЕС) № 305/2011 на европейския парламент и на съвета от 09.03. 2011 г. за определяне на хармонизирани условия за предлагането на пазара на строителни продукти. Официален вестник на Европейския съюз от 4.4.2011 г., 39 стр.
16. Решение № 00 - до - 283 - 00 от 15.06.2009 г. на МОСВ към ДП “НК ЖИ“.

17. Инструкция за възстановяване и повторно употреба на жп материали – 06.1997 г.
18. Технически изисквания за железопътната инфраструктура. НК ЖИ, 2012 г., 762 стр.
19. Технически спецификации на ДП „НК ЖИ“. <http://www.rail-infra.bg>.
20. Инструкция за ремонт и поддръжка на горното строене на железен път и железопътни стрелки. <http://www.rail-infra.bg>.
21. Managing sustainable development.
22. Network rail infrastructure limited annual return, 2015.
23. Modern railway track emeritus professor of railway engineering, Delft University of Technology, Director of ESVELD Consulting Services.
24. *Dr. Bernhard Lichtberger*. Track compendium formation, permanent way, maintenance, economics.
25. *Золотарский, А. Ф.* Железобетонные шпалы для рельсового пути. Москва, Транспорт – 1980 г.
26. *Шахуняц, Г. М.* Железнодорожный путь.
27. *Чернишев*. Практически метод расчета пути. Транспорт – 1967 г.
28. *Иванов, Г.* Горно строене и поддръжане на железния път. София, 1980.
29. *Денчева, З.* Горно строене и поддръжане на железния път. София, 2014.
30. *Тодоров, Т.* Проектиране на пътни настилки. София, 1976 г.
31. *Тодоров, Ст.* Проектиране и строителство на жп линии. Учебник за УАСГ, Печатна база на УАСГ, 2006 г., стр. 300.

## RECOVERY OF RAIL WASTE FOR BUILDING PURPOSES

N. Postolova<sup>1</sup>

*Keywords: materials, concrete sleepers, recovery, railway track*

### ABSTRACT

The possibilities to use the materials removed during the railroad repair works and reuse them based on: remaining weight-carrying capacity in the whole products, rails and sleepers, ability to use the materials as products in other construction activities: railroad, road or other infrastructure construction, reuse based on the valuable raw materials they contain: iron, construction additive materials, etc. are analysed. Based on the analysis common methods used in scientific research and for the realization of practical problems are considered. The work and performance of the concrete sleepers in the unified construction of the railroad, considering the above specifics, are investigated. The remaining weight-carrying capacity of the concrete sleepers removed from the railroad and the possibility to use this capacity in other transport projects such as base for service and secondary roads, supporting and strengthening walls on steep slopes, base for storage areas and unloaders as well as weak points of the railroad is evaluated.

---

<sup>1</sup> Nina Postolova, Eng., Dept. “Railway Construction”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ninapb@mail.bg