

АРМИРАН НАСИП ИЛИ ЕСТАКАДА – ОПТИМИЗАЦИЯ НА РЕШЕНИЕТО

Венцислав Венков¹

REINFORCED EMBANKMENT OR OVERPASS – OPTIMIZATION OF THE STRUCTURAL SOLUTION

Ventsislav Venkov¹

Abstract:

With the increasing investments and the strategic goals set for the modernization of national infrastructure, the need for constructing facilities that ensure safe and efficient crossings between transport infrastructure and other technical systems is becoming increasingly common [4]. The development of the modern transport system requires integration between different modes of transport – railway, road, and urban – ensuring continuity of movement, optimal geometric parameters, and a high level of safety for all road users [4][6]. These objectives necessitate the design and construction of various types of grade-separated facilities, such as underpasses and overpasses, which eliminate conflict points between transport corridors and minimize the risk of traffic accidents. For such structures, typically executed as reinforced concrete systems, the principles of Eurocode 2 for the design of concrete structures are applied [2].

In urbanized areas, where available space is limited, the selection of an appropriate structural solution becomes particularly important, as it must combine technical reliability, economic efficiency, and minimal impact on the existing environment and surrounding developments. In this context, alternative design approaches for overcoming elevation differences at crossings are increasingly being considered – viaducts or reinforced soil structures – with the choice between them depending on the geometric parameters of the alignment, geotechnical conditions, and economic considerations.

The present report examines such a case – the construction of an overpass in an urban environment at the intersection of a road and a railway facility – aiming to provide a technical and economic comparison between the two approaches: a viaduct structure and a reinforced soil structure.

Keywords:

Reinforced soil structure, Reinforced embankment, Viaduct structure, Infrastructure, Railway, Road, Overpass

¹Венцислав Венков, студент по Транспортно строителство – бакалавърска степен, катедра „Транспортно строителство и съоръжения“, Факултет ТСТТ, Висше Транспортно училище "Тодор Каблешков", София, България, e-mail: venkov.vencislav23@gmail.com

¹Ventsislav Venkov, Bachelor student of Transport Construction, Department of Transport Construction and Facilities, Faculty of Transport Construction and Transport Technologies, Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, Bulgaria, e-mail: venkov.vencislav23@gmail.com

1. УВОД

С нарастващите инвестиции и поставените стратегически цели за модернизация на автомобилните и железни пътища у нас, все по-често възниква необходимостта от изграждане на съоръжения, които да осигурят безопасно и ефективно пресичане на транспортната инфраструктура с други елементи от транспортната и техническата инфраструктура [4].

Развитието на съвременната транспортна система изисква интеграция между различните видове транспорт – железопътен, пътен и градски – при гарантиране на непрекъснатост на движението, оптимални габарити и висока степен на безопасност за участниците в трафика [4][6].

Тези цели налагат проектиране и изпълнение на различни типове съоръжения за разделяне на нивата на движение, като подлези и надлези, които елиминират конфликтните точки между транспортните коридори и минимизират риска от пътнотранспортни произшествия. При подобни съоръжения, изпълнявани основно като стоманобетонни конструкции, се прилагат принципите на Еврокод 2 за проектиране на стоманобетонни конструкции [2].

На много места, най-често в урбанизираните територии, където наличният терен е ограничен, изборът на подходящо конструктивно решение придобива особена важност, тъй като то трябва да съчетава техническа надеждност, икономическа ефективност и минимално въздействие върху съществуващата среда и застрояване.

В този контекст все по-често се разглеждат алтернативни подходи за преодоляване на разликата във височините при пресичанията – естакади или армирани насипи, като изборът между тях зависи от геометричните параметри, геотехническите условия и икономическите съображения.

Този доклад разглежда именно такъв случай – изграждане на надлез в градска среда при пресичане на пътен и железопътен обект, като се цели да се направи техническа и икономическа съпоставка между двата подхода: естакада и армиран насип.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ОБЕКТА

Обектът разглежда надлез над железопътна линия, разположен в застроена градска територия.

Проектни данни:

- Категория на пътя: Улична мрежа [4] [6]
- Обща дължина на подхода: 154 m
- Максимална височина на подхода: 11,36 m
- Минимална височина в началото на подхода: 0 m
- Надлъжен наклон: 7%[6]
- Ширина на пътното платно: съгласно габарит Г10,50 (2 ленти + тротоари) [4][6]

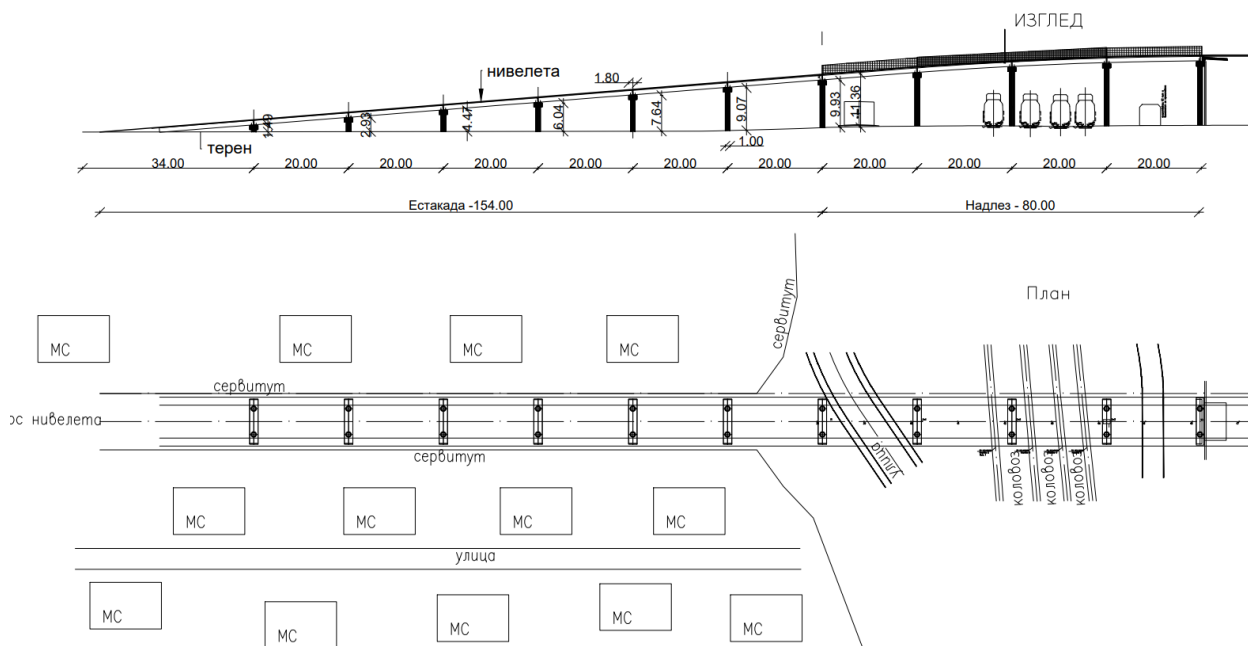
Теренът е ограничен странично от застрояване и подземни комуникации, което възпрепятства изпълнението на естествени пътни насипи към надлеза.

3. КОНСТРУКТИВНИ РЕШЕНИЯ

3.1. Вариант с естакада

Естакадата представлява стоманобетонна конструкция с 6 отвора (през 20 m – осово разстояние), състояща се от колони, ригели, пилотни фундаменти и стоманобетонни предварително напрегнати греди. Максималната височина на съоръжението е 11,36 m.

Пилотите ($\varnothing 1000$ mm) пренасят натоварването към по-дълбоки и плътни почвени пластове. Стоманобетонните греди са дълги по 20 m. (фиг.1).



Фигура 1. План и Изглед на решението с Естакада

Естакадата е конструкция с постоянни характеристики, чиято носимоспособност и деформационно поведение не зависят от геометрията на терена или от качеството на изграден насип. Това я прави предвидима, устойчива и надеждна в дългосрочен план — качества, които са решаващи в урбанизирана среда с ограничено пространство и високи експлоатационни натоварвания.

Естакадата се изпълнява като стоманобетонна конструкция с поредица от прости греди, фундирана върху пилоти. Основните изчислителни принципи и критерии за носимоспособност и експлоатационна годност са определени в Еврокод 2 [2].

Естакадите, както и мостовете, са подложени на стандартни подвижни товари, които при изчисленията се умножават по частните коефициенти на безопасност, определени в Еврокод 1, Част 2 — „Подвижни натоварвания от трафик върху мостове“ [5].

Естакадата осигурява постоянна носимоспособност и добра устойчивост, независимо от качествата на земната основа, но изисква дълбоко фундиране и значителни строителни ресурси [1][2].

Предимства:

- Добра приспособимост към градска среда.
- Минимални земни работи — конструкцията изисква само колони и фундаменти, което е решаващо предимство в градска среда, където сервитутът е много ограничен и трябва да се съобразим с наличното застрояване.
- Геотехническите условия — чрез пилотно фундиране се елиминира рискът от слягания и деформации при слаб терен или високи подпочвени води.
- Възможност за комбинирано преминаване — под естакадата могат да се разполагат пешеходни, велосипедни или локални улици, без конфликти с пътното движение.

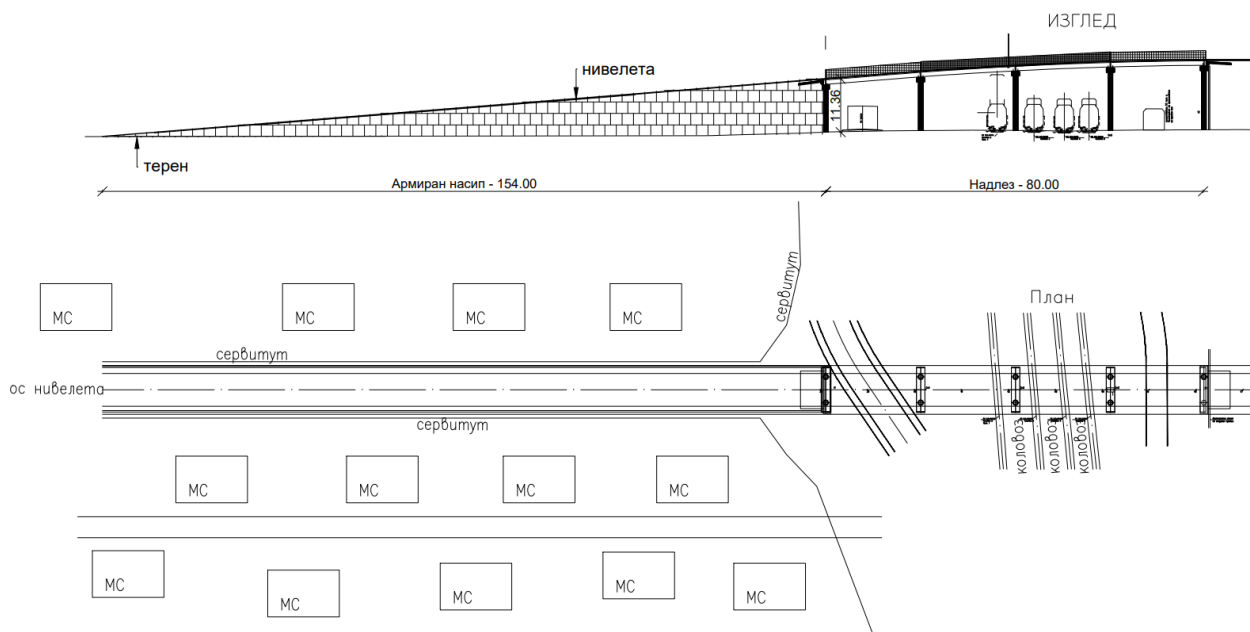
- Дълготрайност на конструкцията – при правилна системна поддръжка и антикорозионна защита конструкцията може да функционира над 100 години.
- Добра сеизмична устойчивост – естакадите се проектират като еластични системи с контролирана деформация, което ги прави по-безопасни в сеизмично активни райони.
- Лесен достъп за инспекция и поддръжка

Недостатъци:

- Висока първоначална стойност.
- По-дълъг срок за изпълнение - монолитното бетониране, изчакването на технологични срокове и монтажът на допълнителни елементи (фуги, лагери, парпети, хидроизолация) удължават общия строителен цикъл.
- Необходимост от специализирана техника и кофражни системи - изпълнението изисква тежка механизация, опитен персонал и контрол върху качеството на бетона, което оскъпява процеса и усложнява организацията.
- Периодична поддръжка и обследвания - за да се гарантира дълготрайност, конструкцията трябва да се инспектира регулярно – особено фугите, лагерите и повърхностната защита. Това води до постоянни експлоатационни разходи.
- По-голяма чувствителност към температурни деформации - дългите отвори налагат предвиждане на дилатационни фуги и лагери, които са потенциални зони за дефекти и течове.

3.2. Вариант с армиран насип

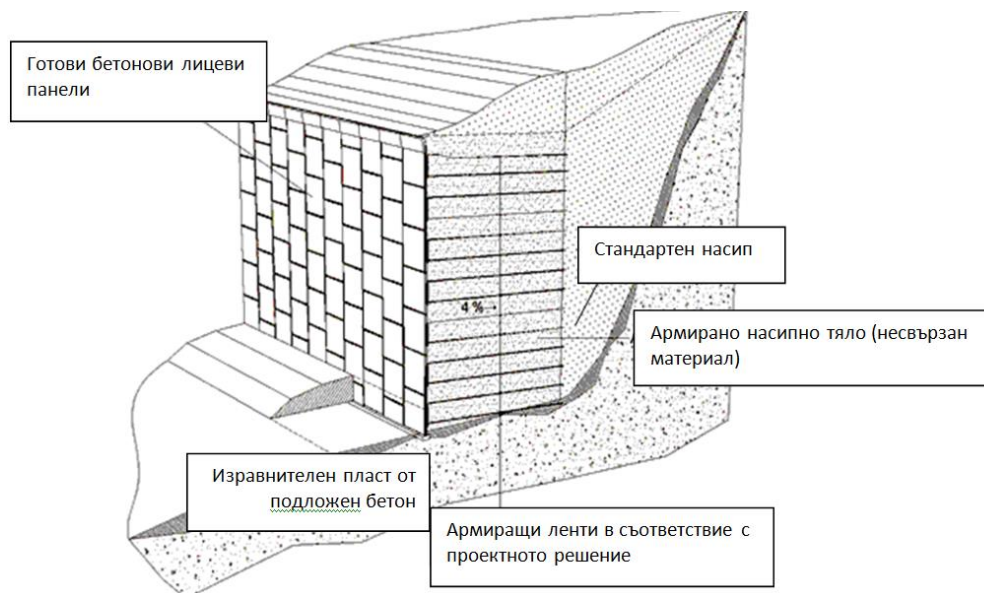
Армираният насип е с дължина 154 m и максимална височина 11,36 m. Конструкцията от армиран насип предвижда затваряне на устоя при надлеза с ширина 10,50 m. Обемът на армираният насип е $\sim 9700 \text{ m}^3$. – фиг. 2.



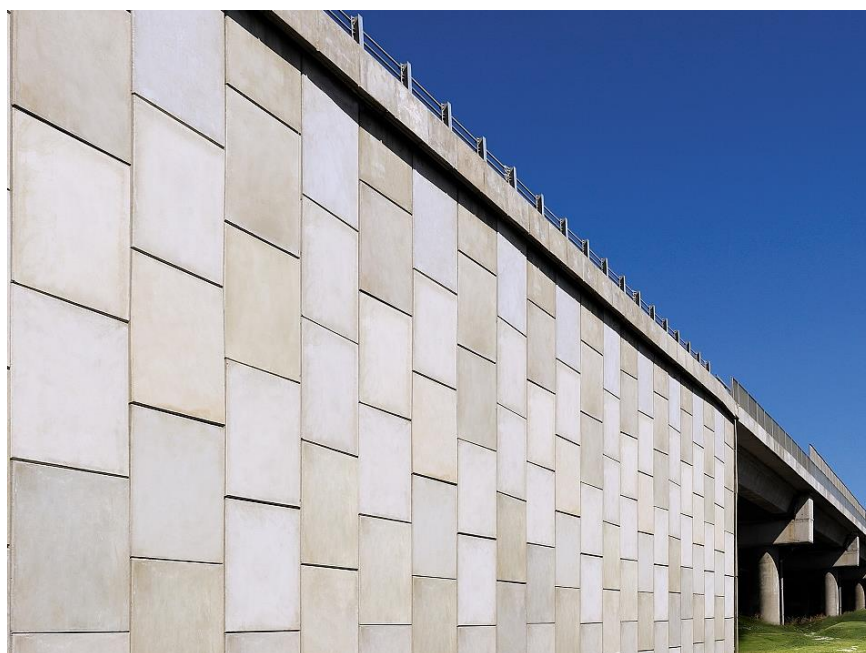
Фигура 2. План и Изглед на решението с Армиран насип

Армонасипната конструкция се състои от:

- Армирано насипно тяло с армиращи полимерни ленти;
- Предварително изготвени бетонни панели за лицето, служещи за облицовка и защита на конструкцията от ерозия; - фиг.3 и фиг.4.



Фигура 3. Типов изглед на Армиран насип – тип сегментни стени



Фигура 4. Армиран насип – тип сегментни (Източник - <https://vjf.bg/vjf-project/armirashta-konstruktsiya-s-vertikalno-litse-ot-betonovi-paneliseverna-skorostna-tangenta-sofia/>)

Армо-насипните конструкции с вертикални бетонови панели тип сегментни стени включват в себе си предварително отлети лицеви бетонови панели, които се свързват с армиращи, полимерни геоленти. Статическата работа на армираните насипи се основава на триенето между насипния материал и високоякостните армиращи ленти. Бетонните плочи поемат активния земен натиск, прехвърлят го на високоякостните ленти, а те, посредством триенето, го пренасят в тялото на насипа, но извън повърхнината на срязване, формулирана по Теорията на *Rankine*. Идеята за тази концепция идва от аналогията със стоманобетона. Нейн автор е френският инженер *Vidal* през 1967 г., когато е патентована системата *Terre armee*.

Важните фактори за успешната работа на този тип армо-насипи са (1) видът на материала за насип – зърнометричен състав, физико-механични показатели (ъгъл на вътрешно триене, кохезия и обемно тегло) и високата степен на неговото уплътняване; (2) достатъчно голямата дължина, ширината и якостта на опън на полимерните ленти; (3) Геометричните размери и формата на отделните бетонни панели е важна, доколкото това определя максималната стойност на припадащата им се част от активния земен натиск.

Всеки един компонент от системата има своите функции, гарантиращи правилното изпълнение, устойчивостта и дълготрайността в експлоатационно отношение и при неблагоприятни въздействия.

Основните принципи на проектиране на такива системи са дефинирани в няколко стандарта, каквито са BS 8006-1:2010 [3], AASTO [8], както и в нашите Норми за проектиране на автомобилни пътища [6]. В новата генерация на Еврокод 7 този въпрос също ще бъде регламентиран.

Една от най-съществените особености при този тип конструкции и с такава голяма височина, е да се изчисли срокът на консолидация в основата [7]. Срокът на консолидация трябва да бъде по-къс от срока за пускане на съоръжението в експлоатация. За съжаление, у нас много често напоследък точно този проблем бива пропускан в проектните решения. Резултатите водят до ежегодно образуване на праг между насипа и коравата конструкция на моста. Прагът предизвиква удар по конструкцията, яма в пътното платно, неустойчивост на автомобила, ускорено износване на конструкциите и ежегодно ремонти на пътя.

Предимства:

- По-ниска първоначална стойност.
- По-бързо и просто изпълнение.
- Гъвкавост при изпълнение - лесно се адаптира към терена и трасето. Позволява промени по време на строителството без сложни корекции.
- Високата степен на устойчивост на армиращите ленти и тяхното поведение в различни условия и среда гарантира дълговечността на конструкцията.
- Добра интеграция с околния терен - позволява плавен преход между съоръжението и естествената земна повърхност, без необходимост от допълнителни подпорни стени.
- Малка поддръжка в експлоатация - при коректен дренаж конструкцията практически не изисква обслужване, за разлика от бетонови стени с фуги, хидроизолации и видими пукнатини.
- Икономически изгодното решение при височини 6–12 m. При тези височини класическите подпорни стени стават неефективни поради големи моменти и

количества бетон. Армираният насип елиминира нуждата от масивна стена и намалява разходите за бетон, армировка и фундиране.

Недостатъци:

- При по-големи височини и концентрирани натоварвания е необходим по-прецизен контрол на съвместната работа между насипа и геолентите, както и стриктно изпълнение на уплътняването.
- Изпълнението изисква висока точност при изграждане на отделните пластове и позициониране на армировъчните ленти, като грешки в процеса могат да доведат до неравномерни деформации и локални нестабилности.
- Изисква се подходящ материал за обратен насип
- При значителни височини себестойността на конструкцията се увеличава, а икономическото предимство спрямо естакадата се намалява.
- Системата е чувствителна към дренажните условия и изисква осигуряване на ефективно отводняване, за да се предотвратят намалена носимоспособност и локални повреди.
- Визуално армираният насип може да изглежда масивен в градска среда и изисква архитектурно или ландшафтно оформление за по-добра интеграция.
- При слаба основа са необходими допълнителни мерки за заздравяването ѝ.
- Времето за консолидация на основата трябва да бъде по-малко от срока на строителство на пътния участък.

4. СЪПОСТАВКА НА ДВЕТЕ КОНСТРУКТИВНИ РЕШЕНИЯ

Двете разглеждани конструктивни решения – армиран насип и естакада – имат едно и също предназначение - да осигурят необходимата височина и габарит при пресичане на път или жп линия.

Разликата между тях е в типа на конструкцията, в начина, по който конструкцията поема и предава натоварванията, в изискванията към фундирането и в икономическата ефективност при различни пространствени и геотехнически условия.

От конструктивна гледна точка естакадата е масивна носеща конструкция, съставена от стоманобетонна плоча, греди и колони, фундирани върху пилоти.

Нейната носимоспособност е практически независима от терена, но се концентрира върху малка площ, което изисква дълбоко фундиране.

Армираният насип представлява гъвкава почвена конструкция, в която тялото и армиращите геоленти работят съвместно и осигуряват устойчивост чрез триене. Благодарение на механичната връзка между готовите фабрични панели и армиращите компоненти се осигурява монолитност на конструкцията. Това позволява ефективното поемане и разпределяне на натоварванията, респективно хоризонтални и вертикални деформации.

При армираните насипи няма необходимост от дълбоко фундиране на конструкцията, когато земната основа е в състояние да поеме проектните напрежения от насипа.

Технологията на изграждане също е съществено различна. Естакадата изисква изпълнение на монолитни стоманобетонни елементи, кофраж, армировка и контрол на технологичните срокове при бетониране. При армирания насип строителството се извършва

чрез поетапно насипване, уплътняване, монтиране на лицевите елементи и разстилане на лентите.

Липсата на мокри процеси позволява непрекъсната работа през различните сезони и постигане на значително по-кратък срок на изпълнение.

В реални условия изграждането на армиран насип отнема приблизително два пъти по-малко време от строителството на аналогична по размер естакада.

От икономическа гледна точка армираният насип има ясно изразено предимство при височини до 8–12 метра.

Стойността на строителството е чувствително по-ниска поради липсата на пилотно фундиране, на стоманена армировка и бетон. При равни габарити и височина разходът за изграждане на армиран насип е с около 30–40% по-малък от този за естакада. Освен това, експлоатационните разходи са минимални – няма лагери, дилатационни фуги или хидроизолации, които да се поддържат и подменят през годините.

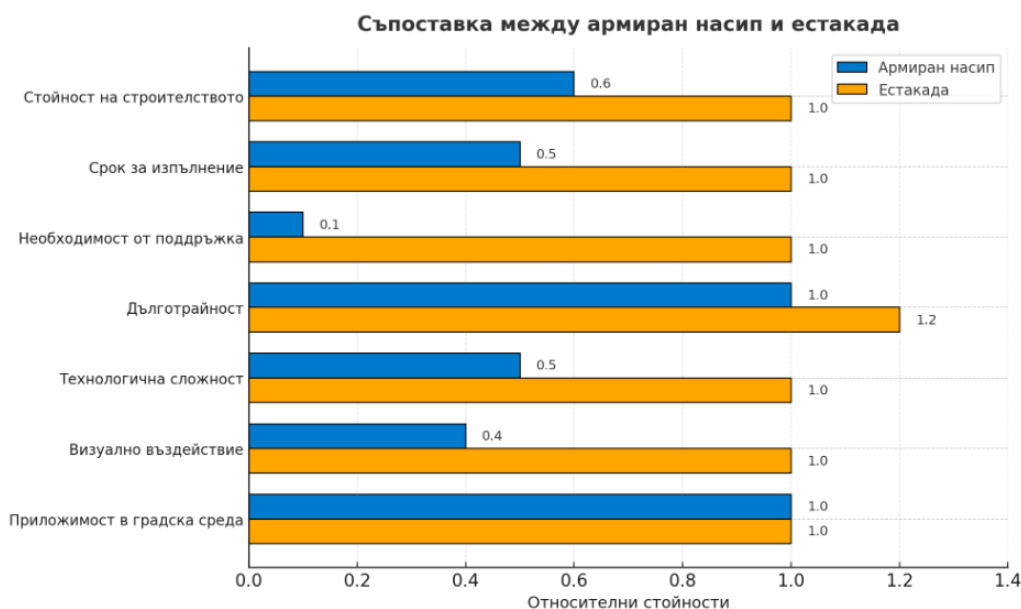
При естакадата тези елементи са неизбежни и изискват регулярна поддръжка, което води до натрупване на допълнителни разходи в дългосрочен план.

По отношение на устойчивостта и дълготрайността, двете системи осигуряват надеждност, но с различна философия на поведение.

Естакадата има по-дълъг теоретичен експлоатационен живот, но този потенциал се постига с активна поддръжка и периодични ремонти.

Армираният насип представлява пасивна система без подвижни елементи и без детайли, подлежащи на износване. При правилно изпълнение и осигурен дренаж той гарантира дълготрайна устойчивост и предвидимо поведение на конструкцията във времето. Липсата на твърди връзки между отделните слоеве позволява на системата да поема минимални деформации, без това да нарушава целостта ѝ.

На фиг.5. е показана диаграма, съпоставяща относителните разлики на двете конструктивни решения една спрямо друга.



Фигура 5. Диаграма съпоставяща двете конструктивни решения

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разглежданото съоръжение и при наличните условия армираният насип представлява конструктивно и икономически по-целесъобразното решение спрямо естакадата.

Конструкцията осигурява необходимата носимоспособност и дълготрайност при оптимално използване на материали и работна сила.

Благодарение на взаимодействието между насипа и армиращите елементи се постига равномерно разпределение на напреженията и устойчива работа на системата, без нужда от дълбоко фундиране или допълнителни укрепителни мерки.

Технологията на изграждане е опростена и позволява поетапно изпълнение без мокри процеси, без големи количества армировка и бетон, кофриране и декофриране, допълнителни работни площадки и временна носеща конструкция (скеле).

Липсата на необходимост от технологично време за набиране на якост на бетона допълнително съкращава срока за строителство и позволява непрекъснат работен процес, това води до съществено намаляване на сроковете за строителство, ограничаване на строителните рискове и по-добра управляемост на процеса.

Освен това армираният насип изисква минимална експлоатационна поддръжка, тъй като не съдържа лагерни възли, дилатационни фуги или други подвижни елементи, подлежащи на амортизация.

Благодарение на вертикалните лицеви стени и компактната форма, конструкцията се вписва добре в градската среда и позволява ефективно използване на наличното пространство. Визуалният ефект е по-мек и не натоварва градската гледка, като същевременно осигурява плавно конструктивно свързване. В комбинация с възможността за облицоване на фасадата, решението предлага не само техническа, но и естетическа адаптивност.

В този контекст армираният насип може да се разглежда като оптимално инженерно решение при изграждане на подобни съоръжения в урбанизирана среда – икономически-ефективно, технологично по-бързо изпълнимо и дълготрайно, като осигурява пълна конструктивна надеждност и непрекъсната експлоатационна функционалност на пътната инфраструктура.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 1997:2007, *Еврокод 7: Геотехническо проектиране*, София, 2007
- [2] БДС EN 1992:2004, *Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции*, София, 2004
- [3] BS 8006-1:2010, *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, British Standards Institution, Лондон, 2010
- [4] Николов, В., *Проектиране и строителство на пътища*, 4-то преработено и допълнено издание, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2012
- [5] БДС EN 1991:2002, *Еврокод 1: Въздействия върху конструкциите*, София, 2002
- [6] МРРБ, *Наредба № РД-02-20-2 за проектиране на пътища*, София, 2018
- [7] Колев, Ч., *Насипни конструкции или защо има вълни по нашите магистрали?*, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2018, ISBN 978-954-12-0253-1
- [8] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *LRFD Bridge Design Specifications – 10th Edition*, AASHTO, Вашингтон D.C., 2024