



Получена: 31.12.2023 г.

Приета: 07.02.2023 г.

## ПРЕДВАРИТЕЛНО НАПРЕГНАТА МЕМБРАННА КОНСТРУКЦИЯ ЗА ЗАЩИТА И ПОКАЗВАНЕ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИ РАЗКОПКИ ПРИ МОГИЛА „ЮНАЦИТЕ“

В. Танев<sup>1</sup>, Н. Керенчев<sup>2</sup>

*Ключови думи:* археологически разкопки, предварително напрегнати текстилни покрития, нелинейни анализи, фундиране и земна основа.

### РЕЗЮМЕ

Могилата „Юнаците“ е една от най-внушителните археологически разкопки в Европа. Това е място, което е било населявано повече от шест хиляди години, а разкопките започват в ранната 1939 и продължават до днес. Основното предизвикателство е свързано с технологията на консервация, защита и представяне на различните археоложки слоеве, където класическите подходи са абсолютно неприложими. За защитата и експонирането на част от разкопките е разработено предварително напрегнато текстилно покритие, което следваше да се фундира с минимални намеси в могилата. За фундирането са използвани бетонни стандартни тетраподи и габиони, които са обвързани в специална система, позволяваща пренасяне на големи опънни сили, без да се нарушава намиращата се под фундирането археология. Тримерни нелинейни модели са използвани за моделиране на конструкцията на покритието, както и на фундирането. Използван е тримерен еластопластичен модел за моделиране на почвата, предоставящ реалистични данни за оценка на носещата способност на тетраподите и преместванията на отделните фундаменти. Оценено е влиянието от деформациите на почвата и стоманените елементи, които оказват съществено влияние върху напрегнатото състояние на мембранната повърхнина.

---

<sup>1</sup> Вълчо Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [Tanev\\_fce@uacg.bg](mailto:Tanev_fce@uacg.bg)

<sup>2</sup> Николай Керенчев, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [Kerenchev@hotmail.com](mailto:Kerenchev@hotmail.com)

## 1. Въведение

Могилата „Юнаците“ е една от най-внушителните археологически разкопки в Европа. Това е място, което е било населявано повече от шест хиляди години. От научна гледа точка могилата „Юнаците“ е рядък обект – свидетелство за бита и културата със слоеве от Средновековието (12 – 14 век), Римската империя (2 – 4 век), Желязната (тракийската) епоха (1 хилядолетие пр.н.е.), бронзовата епоха (3 хилядолетие пр.н.е.) и медната епоха или халколита (5 хилядолетие пр.н.е.). Това е важно за разбирането на обитаването, развитието и стратиграфията на неолитните култури в Югоизточна Европа, особено за халколита<sup>1</sup>, вж. фиг. 1.

Едни от големите предизвикателства пред научната общност са свързани най-вече с местоположението и естеството на самия обект. Те отразяват високата му уязвимост, трудности при консервация на археологическите разкрития и възпрепятстват работата на специалистите на място. Към редовните групи предизвикателства като заплахи за археологическите структури, затруднения за археологическите екипи и липса на посетителска инфраструктура следва да се добавят и предизвикателствата, свързани с желанието ни да консервираме и покажем археологическите находки в една „относително“ защитена среда за посетителите.

Последното от множеството предизвикателства наложи да се измисли, разработи и конструира възможно най-сфирното покритие над консервираните находки, което да е в унисон с постоянно променящия се ландшафт на могилата. Инженерното предизвикателство бе допълнително усложнено от множество ограничения – археологически, архитектурни и др., породени от уникалността на могилата „Юнаците“ и желанието на екипа да създаде максимално оптимизирана конструкция за защита от атмосферни влияния.



Фиг. 1. Общ изглед към могилата и археологическите разкопки

---

<sup>1</sup> Някои учени дори говорят за култура на „Юнаците“. Какъвто и да е случаят, могилата „Юнаците“ се счита за важен показател за периодизацията.

## 2. Идея за защита на консервираните и експонирани археологически слоеве

### 2.1. Текстилна мембрана срещу мрежа от пресичащи се въжета

Архитектурната идея бе да се защитят откритите археологически слоеве с възможно най-лека конструктивна система. Отчитайки пейзажа около могила „Юнаците“ се търсеше гладка и нелинейна форма на покритието. Конвенционалните конструктивни материали като стомана, дървесина и бетон не бяха приложими, поради по-високата им цена за проектиране и изграждане на гладка повърхнина. След разработване на множество идейни проекти, се взе решение да се използва предварително напрегната лека мембранна повърхност за покриване на разкопките [1 – 3]. Бяха направени предварителни проучвания за избор на различни варианти за гладка конструктивна повърхнина: текстилна мембрана и мрежа от стоманени въжета.

Тук накратко са описани някои предимства и недостатъци на представените по-горе две конструктивни възможности. Предимствата на стоманената мрежа са: конструктивна здравина; по-малка поддръжка по отношение на стоманената мрежа, по-висока издръжливост във времето в сравнение с полиестерните мембрани. Основните недостатъци са: трудност при сглобяване и предварително напругане, необходимост от защитно покритие под или над мрежата, по-висока цена за стоманени въжета и монтажни детайли.

Основните недостатъци на текстилните мембрани са: регулярно предварително напругане във времето за компенсиране на релаксацията, поддръжка на текстилната мембрана поне веднъж годишно – почистване, кратко време за експлоатация в диапазон от 30 – 40 години. Предимствата са: лесно производство, сглобяване и предварително напругане, съвместяване на носеща и покривна функция в един материал, по-ниска цена на квадратен метър в сравнение с мрежата от стоманени въжета.

Въз основа на по-горе изложените предимства и недостатъци на двата варианта беше извършен технико-икономически анализ, от който бе избрано напрегнатото текстилно мембранно покритие, което да бъде разработено и проектирано.

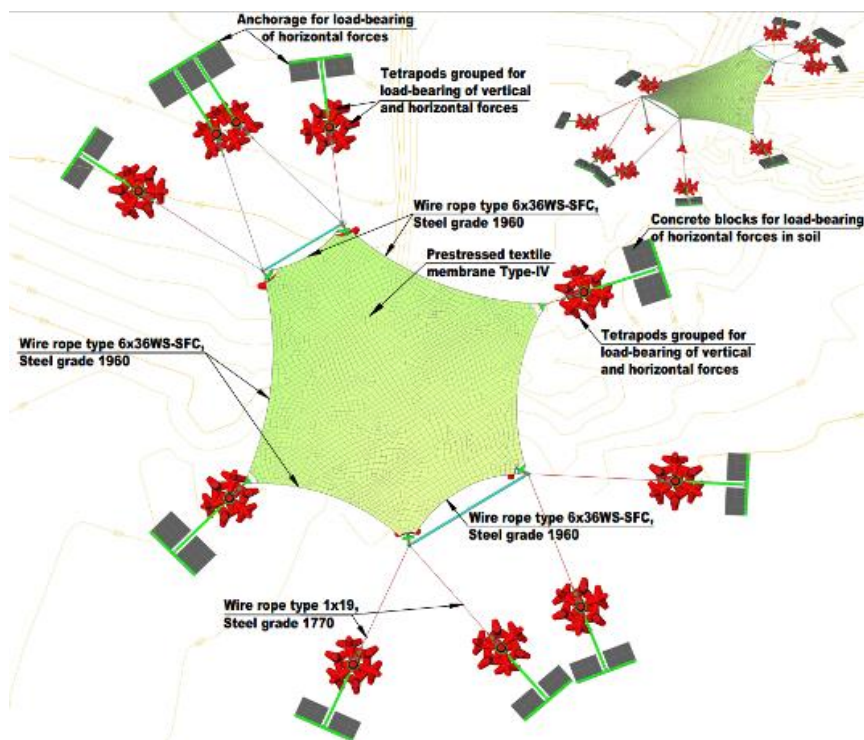
### 2.2. Концепция за фундиране

Очакванията на археолозите бяха за „лека“ конструкция, чието фундиране не следваше да поврежда древните артефакти в слоевете под терена. Проблемът на леките конструкции е, че често изискват „тежко“ фундиране. Това концептуално изискване водеше до единствено възможното конструктивно решение за „*плитко фундиране*“. Как да се поемат големи опънни и хлъзгащи сили при „*плитко фундиране*“? Естетичността на конструкцията и фундирането поставиха и други ограничаващи условия като: безмонолитен бетон, малка маса на елементите, стоманената конструкция елегантна и др.

След дълга дискусия за възможните видове фундирания архитектите, археолозите и инженерите се договориха за фундиране с използване на стандартни тетраподи. Концепцията за фундирането бе разработена при предпоставка за „*разделяне на фундирането*“. Група от тетраподи да поемат вертикалната компонента на опорната реакция, а анкерна котва, с бетонни блокове, да поема хоризонталната компонента на опорната реакция. Преди да се изпълни каквото и да е фундиране, зоните на строителните изкопи трябваше да се проучат археоложки за потенциални артефакти в тях.

### 3. Текстилна мембранна повърхнина и опорна конструкция

За да се избере форма на покритието, бяха разработени три различни варианта на повърхнината: хиперболична, конусообразна и ветрилообразна. При отчитане на спецификите на терена и пейзажа около могилата бе избрана хиперболична форма на покритието, вж. фиг. 2. Изпълнен бе анализ за намиране на формата, за да се определи окончателната геометрия на повърхнината, въз основа на многобройни промени на височини на пилони, разположение на точките за фундиране и отношение на предварителното налягане в две взаимно перпендикулярни направления. Разликата във височината между високите и ниските точки бе определяща за формата на повърхнината.



Фиг. 2. План и изометрия на конструктивната система

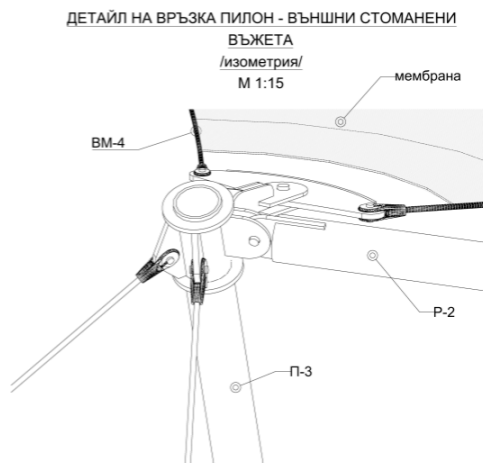
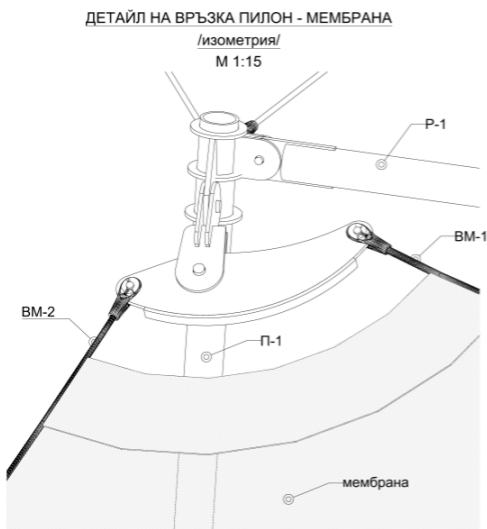
Повърхнината е съставена от четири високи точки и две ниски точки, като високите точки са окачени на стоманени пилони, обединени при върха със стоманен елемент, ставно свързан към тях, а ниските точки директно отвеждат силите към съставния фундамент посредством специализирано стоманено устройство за хидравлично налягане. В план формата на повърхнината изглежда като неправилен шестоъгълник. Две от четирите високи точки са разположени върху могилата на кота 234,62 m, а останалите са разположени около могилата на кота 231,62 m, вж. фиг. 2. Едната (лявата) от ниските точки е разположена в близост до основата на могилата, а другата е в близост до дълбок 8 m проучвателен изкоп. Фундаментите на ниските точки са на различни коти, съответно: 224,12 m и 226,12 m.

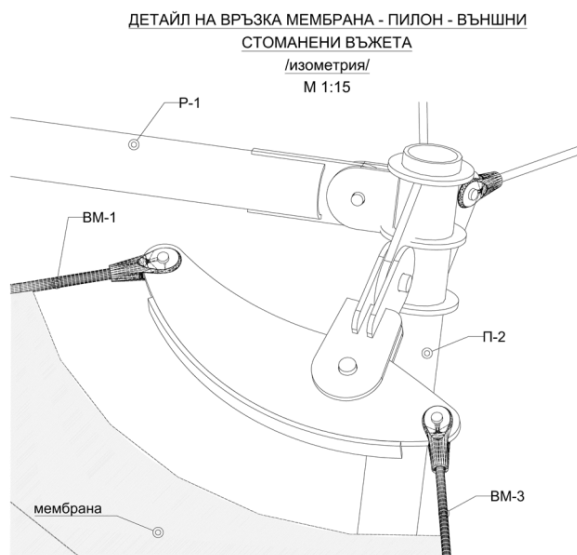
Анализът за намиране на формата бе реализиран с ортотропен материал със следните модули на еластичност  $E_{warp} = 1375 \text{ N/mm}^2$  и  $E_{weft} = 1003 \text{ N/mm}^2$ , където „warp“

е основата на материала (основни нишки по дължина), а „weft“ е вътъка на материала (перпендикулярни нишки на основните). Зададеното начално предварително налягане, при намиране на формата на повърхнината, по направление основата на материала (X) и по вътъка на материала (Y) бе със стойности 4 kN/m и 2 kN/m. Отношението между налягането по основата и по вътъка има значение и за формата на покритието. Високите точки са опрени на пилони с кръгло напречно сечение CHS 273×16 и CHS 219,1×6,3 от стомана клас S 355 J2. Всяка от високите точки е допълнително укрепена към фундаментите посредством две стоманени въжета, а между върховете на пилоните е монтиран стоманен ставен елемент (разпънка), вж. фиг. 3. Тези елементи са от основна важност за глобалната неизменяемост на конструктивната система, осигуряват стабилността и неуязвимостта на конструкцията. Втората им функция е да ограничат преместванията на върховете на пилоните, които оказват съществено влияние на деформациите на мембранната повърхнина.

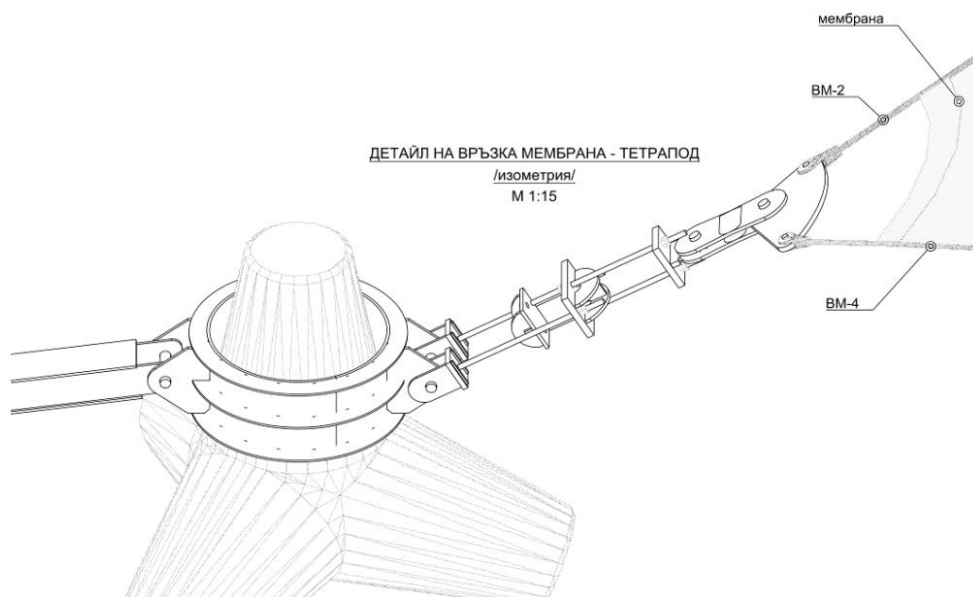


Фиг. 3. Тримерен изчислителен модел по крайни елементи (МКЕ)





**Фиг. 4. Характерни детайли на мембрана към опорна конструкция**



**Фиг. 5. Характерен детайл за връзка на мембрана към фундамент**

Опорният контур на мембраната е оформен посредством стоманени въжета от тип 6×36WS – SFC с номинални диаметри съответно: 24 mm, 32 mm и 40 mm. Класът на стоманата за въжетата е Y1960 N/mm<sup>2</sup>, стомана, предназначена за предварително налягане. Въжетата, свързващи пилоните с фундаментите от тетраподи, са оразмерени от тип 1×19 с номинален диаметър 30 mm и клас на стоманата Y1770 N/mm<sup>2</sup> [4, 9]. Общата площ на мембранната повърхнина е 700 m<sup>2</sup>, а детайлите за връзка на мембраната към пилоните и фундаментите са представени на фиг. 4 и фиг. 5.

## 4. Нелинейни статически изчисления и конструиране



а)



б)



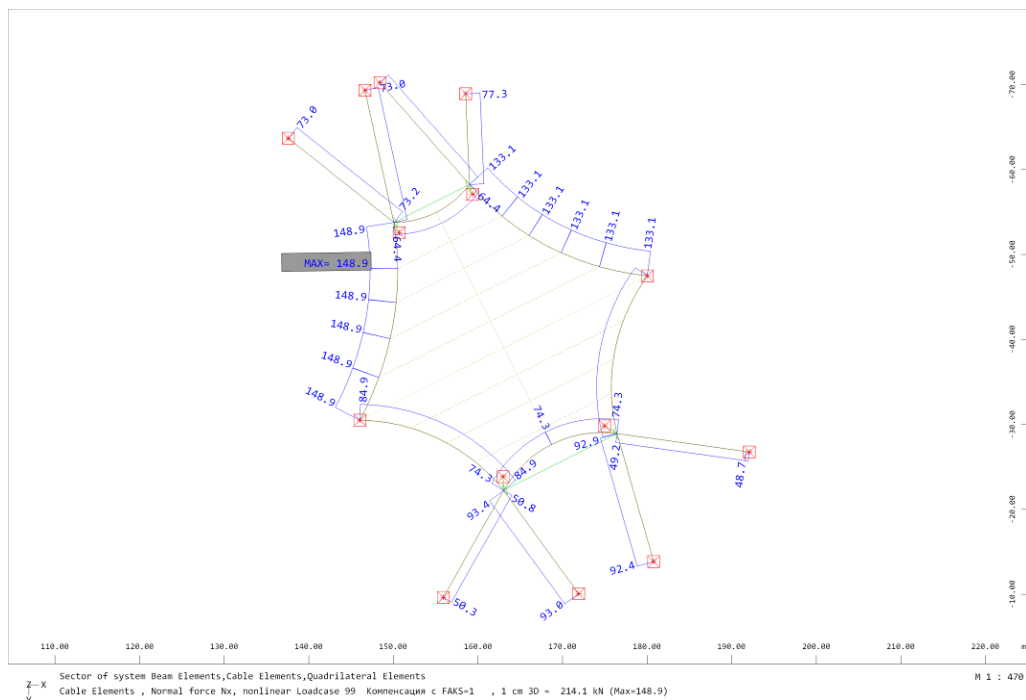
в)

**Фиг. 6. Резултати от статически нелинейни решения:**  
а) напрегната конструкция, б) несиметричен сняг и вятър с коефициент за съчетание,  
в) несиметричен сняг с коефициент за съчетание и вятър

Изчисленията са проведени с използване на софтуерния продукт SOFiStiK чрез нелинеен анализ от трети ред (големи премествания и големи завъртания), но с линеен материал за стоманата и линеен ортотропен материал за мембраната. Резултатът от намиране на формата на повърхнината е уравновесени вътрешни сили (напрежения) спрямо конкретна намерена форма, които са записани като начално състояние на изчислителния модел. Всички последващи комбинации от въздействия се прилагат върху изчислителен модел с напрегната мембрана.

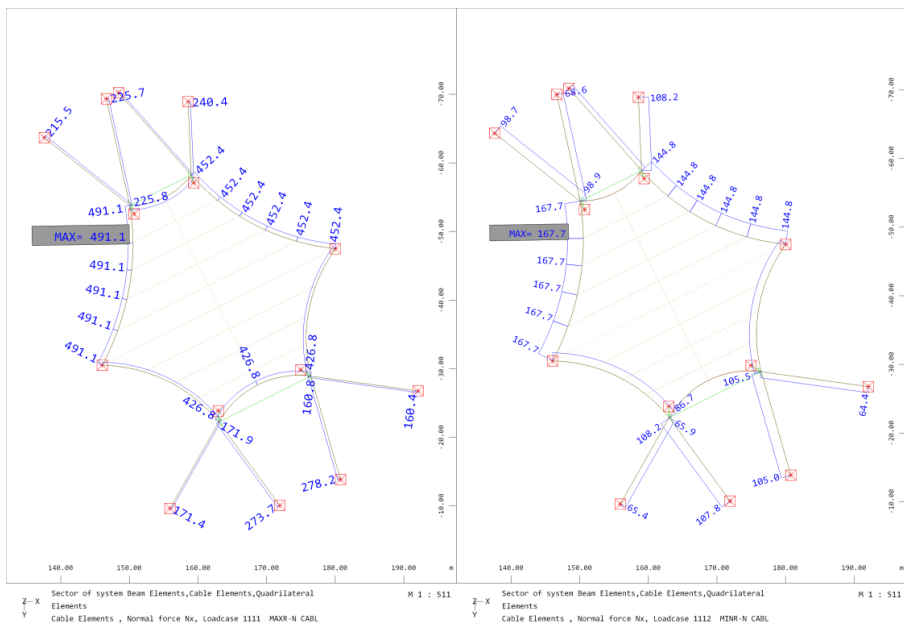
За изчисленията са създадени десет характеристични и десет изчислителни комбинации на въздействията (симетрични и несиметрични), с които са проверени експлоатационните и крайните гранични състояния на конструкцията. След нелинейните решения е направена обвивка на граничните усилия, както и на характеристичните гранични деформации и премествания. Тук са представени само частични резултати за онагледяване на деформираното и напрегнато състояние, вж. фиг. 6.

За представените на фиг. 7, 8 и 9 резултати са оразмерени въжетата, пилоните, стабилизиращите връзки между пилоните, както и детайлите за връзка мембрана пилон и мембрана фундамент. Основният проблем при конструирането на детайлите бе голямата разлика в усилията на съседни въжета, които се присъединяват към един пилон. Проблемът с голямата разлика е преодолим, ако за отделните товарни комбинации отношенията на силите в двете съседни въжета остава константно. Тук са представени отношенията на силите между съседни въжета от предварително налягане, обвивка на гранични усилия и обвивка на характеристични усилия, вж. фиг. 7, 8 и 9.



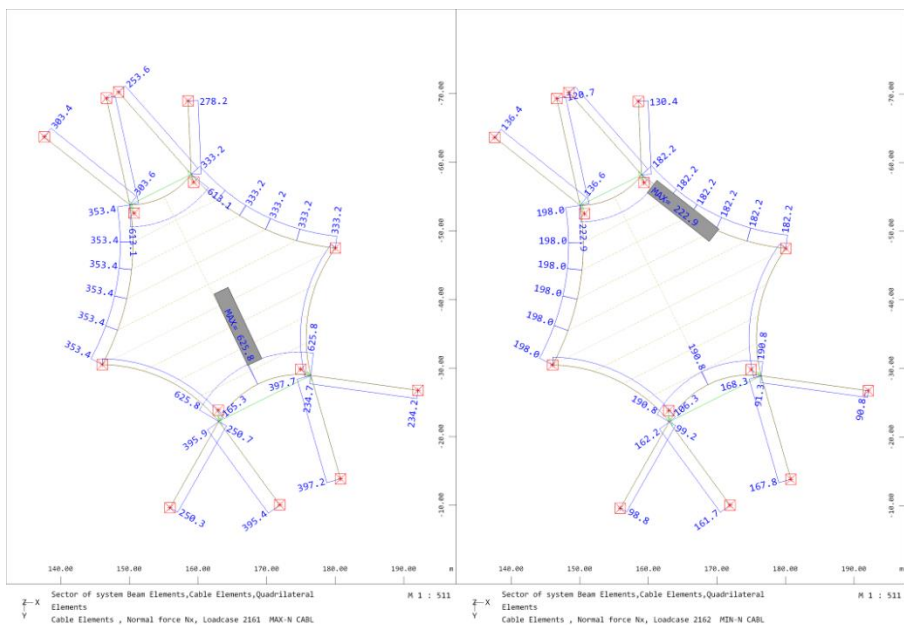
**Фиг. 7. Резултати от нелинейни решения: напрегната конструкция**

Отношение на сили:  $F_{\max}/F_{\min} = 148,9 \text{ kN} / 64,4 \text{ kN} = 2,31$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 133,1 \text{ kN} / 64,4 \text{ kN} = 2,07$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 84,9 \text{ kN} / 74,3 \text{ kN} = 1,14$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 78,8 \text{ kN} / 74,3 \text{ kN} = 1,06$ .



**Фиг. 8. Резултати от нелинейни решения: максимални и минимални усилия от характеристични комбинации**

Отношение на сили:  $F_{\max}/F_{\min} = 491,1 \text{ kN} / 428,1 \text{ kN} = 1,15$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 452,4 \text{ kN} / 428,1 \text{ kN} = 1,06$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 167,7 \text{ kN} / 0 \text{ kN}$ ;  $F_{\max}/F_{\min} = 144,8 \text{ kN} / 0 \text{ kN}$ .



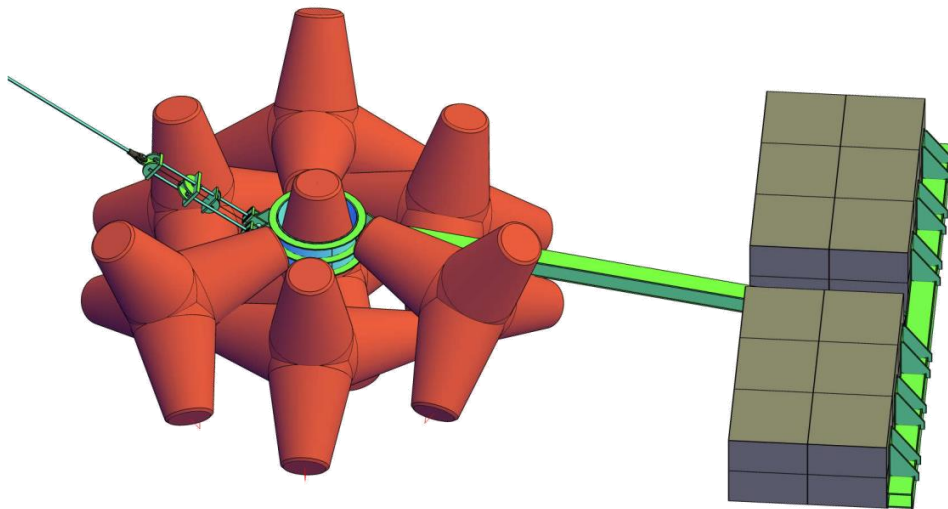
**Фиг. 9. Резултати от нелинейни решения: максимални и минимални усилия от изчислителни комбинации**

Отношение на сили:  $F_{\max}/F_{\min}= 353,4 \text{ kN} / 613,1 \text{ kN} = 0,58$ ;  $F_{\max}/F_{\min}= 333,2 \text{ kN} / 613,1 \text{ kN} = 0,54$ ;  $F_{\max}/F_{\min}= 198,0 \text{ kN} / 222,9 \text{ kN} = 0,88$ ;  $F_{\max}/F_{\min}= 182,2\text{kN} / 222,9 \text{ kN} = 0,82$ .

За един и същ възел на мембрана, въжета и опорен пилон имаме следните отношения 2,31, 1,15 и 0,58, а за симетричния огледален възел имаме отношения 2,07, 1,06 и 0,54. За да са в статично равновесие, детайлите, показани на фиг. 4, отношенията между силите на съседни въжета следва да са константна величина. Факт е, че изискването не е изпълнено, което означава, че при определени комбинации на въздействия обединяващата стоманена плоча, към която са присъединени въжетата, ще се завърта спрямо опорната си точка.

## 5. Изчисления за доказване на носеща способност и деформативност на фундирането

Фундирането трябва да удовлетвори всички комбинации от натоварвания, особено ветровите. Изчислените сили от мембранната структура са относително големи, като при фундаменти преобладават опънните усилия. Фундаменти: F1 – 303 kN, F2 – 505 kN, F3 – 279 kN, F4 – 423 kN, F5 – 397 kN, F6 – 251 kN, F7 – 234 kN и F8 – 396 kN. Тъй като максималната дълбочина на основата е ограничена до 1,5 m от нивото на земната повърхност, само обединените тетраподи не са достатъчни да поемат силите във въжетата, фиг. 10. Необходими са допълнителни бетонни блокчета, обединени със стоманен профил с цел поемане на хоризонталното въздействие. Въздействията са по посока на въжетата, т.е. реакциите са във вертикална  $R_v$  и една хоризонтална посока  $R_h$ .



Фиг. 10. Концепция за поемане на големи опънни сили, чрез плитко фундиране

Прието е решение, при което основата се разделя на две части. Първата, така наречената тетраподна част, трябва да поема вертикални въздействия  $R_v$ , а втората, така наречената анкерираща част, трябва да поеме хоризонтални сили  $R_h$ . От решаващо значение за тази конструктивна концепция е да се гарантира, че „тетраподната част“ винаги трябва да бъде по-тежка от вертикалната реакция  $R_v$ . Твърдата връзка между

„тетраподната“ и „анкерната“ част е проектирана с напречно сечение от заварена стоманена кутия.

Всички фундаменти се изпълняват от предварително изготвени на площадка елементи, монтирани с помощта на кран. Важно за концепцията на проекта е възможността за демонтаж и премахване на съществуващата конструкция, включително фундаментите, което се явява и основен проблем по въпроса как да се измисли, изчисли, проектира и реализира такъв вид финансиране.

### 5.1. 3D еластопластичен модел

Изчисляването на носещата способност и особено деформацията на група тетраподи, заобиколена от почва, не е често срещан проблем, който може да бъде решен с помощта на класическите геотехнически методи. Теориите на Ранкин, Кулон и Бринч Хансен са приложими само за проста геометрия и условия на натоварване [5]. Правилното решение в случая е компютърно изчисление с помощта на метод на крайните елементи (МКЕ) и моделиране на еластопластичната среда с подходящ материален модел. Въз основа на очакваните пътища на напреженията и големината на деформациите е избран материален модел, който може да представя еластопластичните почвени условия както при натоварване, така и при разтоварване. Приложеният тук модел е моделът с двойно изотропно уякчаване, по-известен като HSM [6]. Геометричното гранично условие и 3D мрежата от крайни елементи не са от особено значение в конкретната геотехническа гледна точка. В случая важните входни данни за изследването са параметрите на почвата и взаимодействието на конструкцията и почвата. Поради археологическия характер на обекта не се допускат сондажи. Параметрите на почвата се основават на незначителни геоложки проучвания и най-вече на добре познати корелации [7]. Параметрите на почвата за изчислението са показани в табл. 1.

Таблица 1. Изчислителни параметри за модела на материала HSM

Параметър	Означение	Единица	Стойност
Модел на материала			HSM
Обемно тегло	$\gamma_n$	kN/m <sup>3</sup>	18
Обемно тегло на водонас. почва	$\gamma_r$	kN/m <sup>3</sup>	20
Оедометричен модул	$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	10000
Модул при 50% якост на срязване	$E_{50}$	kN/m <sup>2</sup>	12000
Модул на разтоварване и повторно натоварване	$E_{ur}$	kN/m <sup>2</sup>	45000
Съотношение на <i>Poisson</i> – разтоварване, повторно натоварване	$\nu_{ur}$	-	0,2
Референтно напрежение	$p_{ref}$	kPa	100
Параметър $m$	$m$	-	0,6
Параметър $R_f$	$R_f$	-	0,9
Степен на преуплътняване	$OCR$	-	1
Кохезия	$c$	kPa	5
Ъгъл на вътрешно триене	$\phi$	°	20

Проблемът с взаимодействието между конструкцията и земна основа е по-значим при анкерната група от бетонни блокчета, която поема хоризонталното въздействие, поради което коефициентът на триене се намалява до 0,7 от триенето на почвата. Поради сложната геометрия триенето на групата тетраподи с околната почва не се редуцира. Трудности има и от геометрична гледна точка, където състоянието на мрежата от крайни елементи не позволява контакт между сложните форми на тетраподите. В 3D модела тетраподите са преместени на 10 – 20 cm разстояние (т.е. са без пряк контакт) поради вече описаните проблеми. Всичко това не се отразява значително на решението и резултатите за деформации и премествания могат да се приемат за меродавни.

Товарните комбинации са обобщени до две основни:

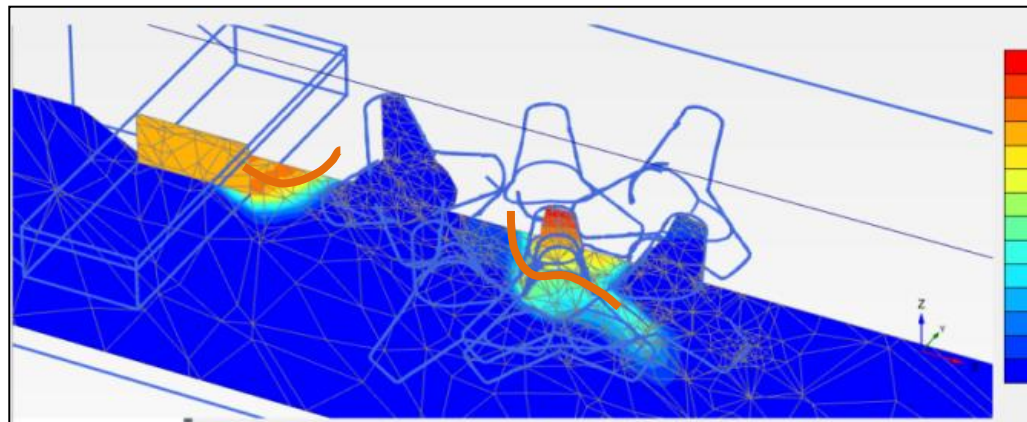
- Осова сила  $N = 524$  kN с 25-градусов наклон (опън);
- Осова сила  $N = 410$  kN с 35-градусов наклон (опън).

## 5.2. Резултати от изчисленията

След решаването на 3D модела по крайни елементи може да бъдат изведени резултати за носещата способност и съответния коефициент на сигурност. Коефициентът на сигурност е получен на базата на метода на редукция на якостта на срязване на почвата, като съответно за първата и втората комбинация стойностите са 1,55 и 2,08 (вж. фиг. 11 и табл. 2).

Таблица 2. Коефициент на безопасност за съставените случаи на натоварване

Модел	$N$ , kN	Наклон, градуси	$F_s$ по метода на редукция на якостта
Първи модел	524	25	1,55
Втори модел	410	35	2,08

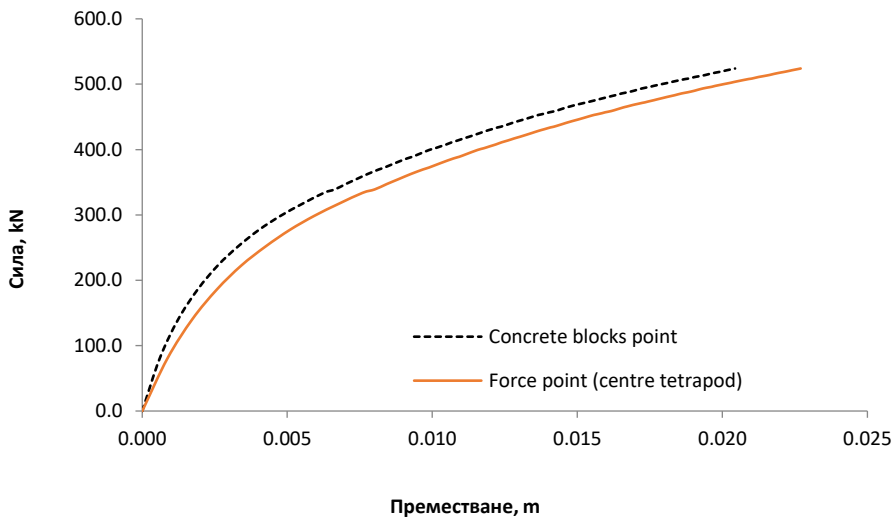


Фиг. 11. Механизми за разрушение за меродавния коефициент на сигурност  $F_s = 1,55$

Геотехническият модел по крайни елементи се различава от класическите решения в много аспекти. Един от най-важните е критерият за носеща способност. В много геотехнически издания срязващите деформации са един от критериите за разрушение на почвата. Методът на крайните елементи е базиран на връзката напрежения деформации,

така че, ако е наличен добре подбран еластопластичен материален модел с относително добре обосновани параметри, лесно се получават и коректни стойности на срязващите деформации. В конкретния случай деформациите на срязване надвишават 1 %, което често се счита за граница. Въпреки това, състоянието още не е граничното, тъй като това се случва само при централния (опънат) тетрапод. При групата на тетраподите и бетонния анкерен блок срязващите деформации не надвишават 0,8 %. Изместването на бетонния блок е до около 20 mm, а относителното преместване между бетонния блок и основата на тетраподите може да ни даде реалната очаквана осова сила в стоманените свързващи елементи.

Трябва да се отбележи, че при преместване от 20 mm на анкерната част анализът сочи, че усилията в мембранната повърхнина и въжетата намалява с 30 – 40 %. Последното е причина за необходимостта от регулярно донепрягане на повърхнината до затихване на преместванията във фундамането и установяване на равновесно напрегнато състояние в мембранната повърхнина.



Фиг. 12. Преместване на избраните точки от модела

## 6. Заключение



Фиг. 13. Могила „Юнаците“ със защитната мембранна конструкция [10]

Изследването на предварително напрегнати конструкции е сложна нелинейна задача, за чието решение е необходим специализиран софтуер. Фундирането оказва значително влияние върху деформираното и напрегнато състояние на мембранната конструкция, особено когато то е плитко. Основното предизвикателство за опазване, защита и експониране на различни археологически слоеве тук е преодоляно с помощта на напрегнато текстилно мембранно покритие и „тетраподна“ система за фундиране. Макар и екстравагантно решение, тази конструкция ще покрие част от селищната могила „Юнаците“ и ще впечатли посетителите със своята стройна визия за следващите 20 ÷ 40 години (фиг. 13).

## Благодарности

Настоящата практическа реализация и числени изследвания са подкрепени от екип архитекти в лицето на Ателие 3, арх. Доника Георгиева, арх. Мирослав Велков и арх. Д. Ковачева.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kugel, N., Rein, A.* Retractable Roof Fortress Kufstein. Tensinet Symposium 2007, Empheral Architecture Time and Textiles, pp. 301-309, Liberia CLUP Soc. Coop., Milano (2007), ISBN 9 788870 909326.
2. *Lombardi, S., Canobbio, R.* Covering for Archeological Sites. Tensinet Symposium 2010, Tensile Architecture: Connecting Past and Future, pp. 339-349, GSP 1900 Ltd., Sofia (2010), ISBN 978-90-9025666-5.
3. *Dieringer, F., Widhammer, A., Wühner, R., Bletzinger, K.* Computational Cutting Pattern Generation for Membrane Structures. Tensinet Symposium 2013, [RE]THINKING Lightweight Structures, pp. 13-21, Tensinet, Istanbul (2013), ISBN 9789072325068.
4. *Seidel, M.* Tensile Surface Structures, A Practical Guide to Cable and Membrane Construction, 1<sup>st</sup> edn., Ernst&Sohn Verlag, Berlin, Germany (2009), ISBN 978-3-433-02922-0.
5. *Muir Wood, D.* Geotechnical Modelling (1st ed.). CRC Press, (2004).
6. *Schanz, T., Vermeer, P. and Bonier, P.* Formulation and verification of the Hardening Soil model. In Beyond 2000 in Computational Geotechnics. Balkema, Rotterdam, 1999.
7. *Ilieva, K.* Comparison of the deformation under a strip foundation with applying different constitutive models, Sofia (2020), ISSN 2534-9759 S1277.
8. BDS EN 1993-1-1, 1-8, 1-9 и 1-11, 2012. Eurocode 3. Части 1-1, 1-8, 1-9 и 1-11.
9. BDS EN 12385-1 до 12385-10, 2008.
10. <https://atelier-3.com/en/portfolio/tell-yunatsite/>, 2022.

# PRESTRESSED TEXTILE MEMBRANE STRUCTURE FOR EXPOSURE AND PROTECTION OF PREHISTORIC SITE YUNATSITE

V. Tanev<sup>1</sup>, N. Kerenchev<sup>2</sup>

*Keywords: prehistoric site, prestressed textile membrane, tetrapod footing, 3D nonlinear soil model*

## ABSTRACT

Tell Yunatsite is one of the most imposing prehistoric sites in Eastern Europe. It is an example of a site that has been inhabited for thousands of years. Archaeology on site began in 1939 and is still continuing. The challenge of these archaeological excavations is how to protect and expose different archaeological layers. A prestressed textile membrane is chosen to preserve the place where the prehistoric structures are exhibited. The footing should withstand all the tensioning membrane forces, without penetrating the historic layers below. The precast tetrapod ensures temporariness and reversibility in the context of the prehistoric and future layering. The 3D plastic model calculation provides realistic data for estimating the tetrapod footing bearing capacity, safety factors and the membrane deflection induced by the soil and the steel elements deformations. This case study defines some of the problems related to membrane construction and footing on prehistoric layers and provides a solution capable of ensuring stability and robustness of such type of structures.

---

<sup>1</sup> Vatyu Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Structural Composites", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [Tanev\\_fce@uacg.bg](mailto:Tanev_fce@uacg.bg)

<sup>2</sup> Nikolay Kerenchev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [kerenchev\\_fte@uacg.bg](mailto:kerenchev_fte@uacg.bg)