

ПРОЕКТИРАНЕ НА МОРСКИ ФАР ОТ СТОМАНОБЕТОН

Станислав ЦВЕТКОВ¹, Валентин ГРОЗЕВ²

DESIGN OF R.C. MARINE LIGHTHOUSE

Stanislav TSVETKOV, Valentin GROZEV

ABSTRACT

The construction of marine lighthouses, especially for the territory of our country (Bulgarian Black Sea), is a difficult and almost impossible process. This is mainly due to the GPS equipment of the sailing vessels and financial shortages. More globally, lighthouses, have attractive and sentimental functions, but there are some that actually work and fulfill their intended purpose. The report shows fragments of the architectural and structural parts of a marine lighthouse project located on the shore. The supporting structure consists of the combination of a truncated pyramid and a cylinder with variable geometry by height (truncated hollow cone), with the pyramidal part stiffening the cylindrical one. From the foundation plate, the two structures begin at the same time, ending the pyramidal part up to a certain elevation and only the cylindrical part (the main support for the structure of the lamp itself) remaining upwards. The considered facility performs both metrological (in the pyramidal part), recreational (on the roof plate of the pyramidal part) and signaling (from the top of the tower) functions.

Key words: wind loads, shell structures, Eurocodes, Tower (software)

¹ Гл. ас. д-р инж., Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, Строителен факултет, катедра „Строителни конструкции“, e-mail: st.cvetkov@vsu.bg

² Студент, Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, специалност „Строителство на сгради и съоръжения“, специализация „Строителни конструкции“

1. Общи сведения

Морският фар е кулообразно съоръжение, излъчващо силна светлина за обозначаване морските пътища на плавателните съдове. Изгражда се на брега, на остров или плитчини в големите водни басейни. Обзаведен е със силен светлинен източник, оборудван с оптична система за усилване на светлината, звукова система за предупреждение (сирена) и обикновено е боядисан в контрастни цветове.

Морските фарове се използват за сигнализация за опасни области от сушата, скали на неочаквани места, както и за безопасно навлизане на кораби в пристанища. Тези строителни съоръжения и навигационни знаци по българското Черноморие са под грижата на българската държава от 1909 година. Строителството на морски фарове, специално за територията на нашата страна е труден и почти неосъществим процес. Причините за това са главно GPS-обзавеждането на плавателните съдове и финансови липси. В по-глобален аспект, фаровете като строителни съоръжения имат атракционна и сантиментална функции, но има и такива, които в действителност работят и изпълняват предназначението си. След направено проучване за съоръженията в България, се установи, че те са с не голяма височина, в по-голямата си част са зидани или от бетон и местоположението им е главно на брега.

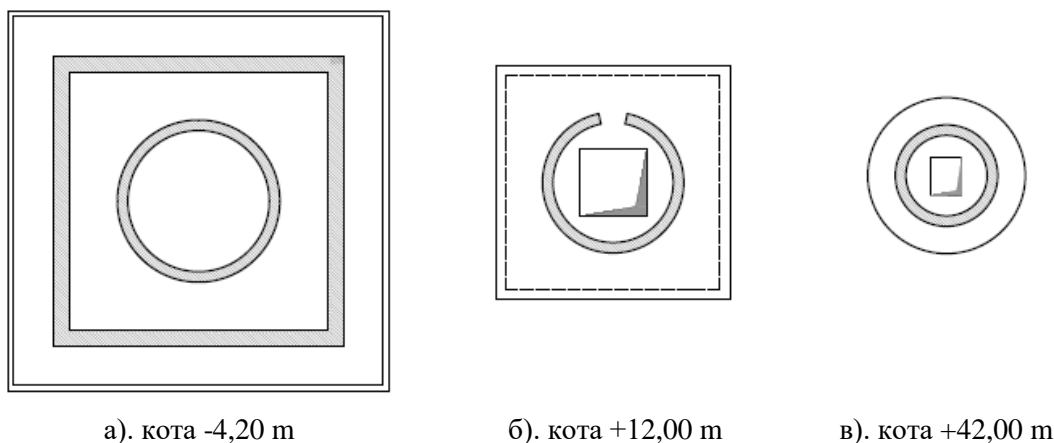
2. Предмет на изследването

Анализирано е съоръжение от монолитен стоманобетон, намиращо се в град Ахтопол (България). Местоположението на фара е избрано на брега. Цялото съоръжение е с височина 45,64 m от кота $\pm 0,00$ m. Носещата конструкция е съставена от съчетаването на две пространствени форми: пресечени пирамида и конус с променлива геометрия във височина (пресечено кухо тяло), като пирамидалната част закоравява коничната. От фундаментната плоча, двете структури започват едновременно, като пирамидалната част прекъсва до определена кота и нагоре остава само коничната част (основна опора за конструкцията на самия фар). Идеята за тази концепция е взимствана от вече несъществуващия „Александрийски фар“ (The Lighthouse of Alexandria).

Първото тяло (с форма на пресечена пирамида) започва от кота -3,00 m и достига до кота +12,00 m, на която е изградена площадка. В тази зона за рекреация, туристите могат да почиват и да се наслаждат на създалата се гледка от морето. Габаритните размери започват от 11,10 m/11,10 m в основата и достигат до 9,00 m/9,00 m при кота +12,00 m. Стените са с дебелина 60 cm.

Във второто тяло (с форма на пресечен конус), е поместена витата стълба, обслужваща върха, е конструкцията на самия фар. Този кух пресечен конус започва от кота -3,00 m и достига до кота +41,80 m, на която е изградена площадка, върху която е разположено самото оборудване на фара. Габаритните размери започват от диаметър 6,20 m на кота -3,00 m и достигат до диаметър 3,85 m на кота +41,80 m. Стените са с дебелина 40 cm.

На фиг. 1 са показани хоризонтални разрези през конструкцията.



а). кота -4,20 m

б). кота +12,00 m

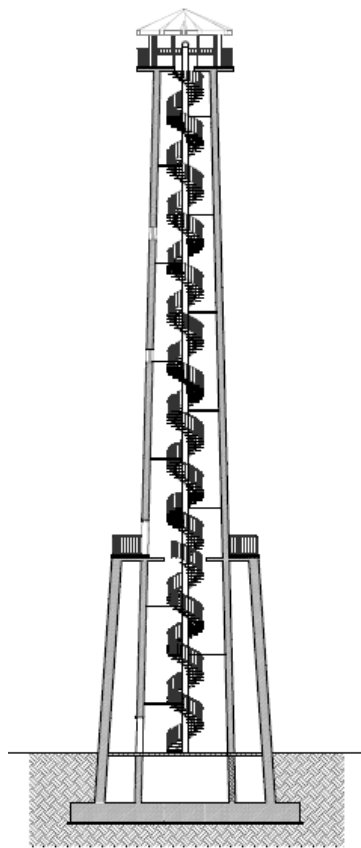
в). кота +42,00 m

Фиг. 1. Кофражни схеми (фрагменти) на хоризонталните нива

Входът е решен да бъде от Запад, като се осъществява през врата с размери 100/220 cm. Настилките на всяка една плоча ще бъдат изпълнени от мразоустойчив гранитогрес, като е решено да бъдат положени и два пласта хидроизолация. На всяка една площадка са изградени парапети, осигуряващи безопасността на посетители и работници. От кота 12,00 m до върха на съоръжението, достъпът за външни лица е изцяло забранен, допускат се единствено лица, които работят за поддръжката на фара.

Подземното пространство е високо 2,80 m. Придвижването е осигурено със стълба, която е изцяло вътрешна. Конструкцията на стълбите е стоманена, съставена от вертикални стоманени профили, със заварени към тях стъпала от рифелова ламарина и профили, които са укрепени към стоманобетонната стенна конструкция с укрепващи връзки от стоманени профили. На един оборот са конструирани 16 броя стъпала с размери 17,5/28 cm. На нивото на последната площадка е предвидено изграждане на ревизионен капак, осигуряващ достъпа над нея.

На фиг. 2. е показано надлъжното (осно) сечение през конструкцията.



Фиг. 2. Вертикален разрез

Фасадата на фара (видим бетон) е решена като през разстояние от 5 m се редуват светлоотразителни бои, с цел възможно най-голяма видимост. Използвани са: цвят по RAL 9003 („Сигнално бяло“) и цвят по RAL 3024 („Светещо лъчисто червено“). По височина ще се изпълнят два прозореца с размери 140/80 cm, осигуряващи естествено осветление. Отстрани и околоръст ще бъде изграден плочник. Съоръжението е фундирано на обща фундаментна плоча с необходимата хидроизолация.

По-надолу на фиг. 3 са показани пространствените изображения (3D) на фара, изготвени на база архитектурно-конструктивни размери на обекта. Вижда се, че съоръжението е ситуирано на хълмист терен, който има планински вид. До обекта свободно могат да се проектират улици и алеи, фонтани и други елементи (и пространства) на градската среда.



а).



б).

Фиг. 3. Визуализации: а). ден; б). нощ)

Моделът е изготвен на ArchiCAD, а картинката на Lumion (с помощта на арх. Х. Хасанов – възпитаник на ВСУ „Л. Каравелов“-София).

Предвид: въздушните течения, изпаренията от водата и слъчевата радиация, са необходими периодични „козметични“ поддръжки и ремонти.

3. Конструктивно решение [3]

Съгласно инженерно-геоложко задание (профил) се фундамира в пласт глинест пясък със следните характеристики: $q_{R0}=220 \text{ kN/m}^2$, тип D (съгласно Еврокод 8), Винклерова константа: $k_w=20000 \text{ kN/m}^2/\text{m}^3$ - за основни комбинации и $k_w=60000 \text{ kN/m}^2/\text{m}^3$ - за сеизмични комбинации.

За всички конструктивни елементи е приет бетон с клас по якост на натиск C30/37 по БДС EN 206:2013+A1:2016/NA:2017, а за подложен бетон при фундамирането – C12/15. Армировъчната стомана е с клас B500B по БДС 9252:2007.

Фундаментна плоча е на кота -4,20 m и е с размери: 14,10 m/14,10 m/1,20 m.

Плочите на коти: $\pm 0,00 \text{ m}$ и $+12,00 \text{ m}$ са безредови, с дебелини 20 cm, като в плочата на $+12,00 \text{ m}$ е предвиден отвор с размери 2,60 m/2,60 m, позволяващ преминаването на витата стълба.

Плочата на кота $+42,00 \text{ m}$ също е безредова, с дебелина 20 cm, с кръгла форма (диаметър 600 cm). Предвиден е технологичен отвор с размери 1,20 m/1,50 m, за достъп до върха на конструкцията.

Стената с форма на пресечена пирамида и трапецовидни опорни стени, в основата си на кота -3,00 m е с размери 11,10 m/11,10 m, а на кота +12,00 m, размерите са 9,00 m/9,00 m. Стените са с дебелина 60 cm, а височината им е 15 m.

Коничната стена е с променлив диаметър, в основата си на кота -3,00 m е с диаметър 6,20 m, а на кота +41,80 m – с диаметър 3,85 m. Стените са с дебелина 40 cm, а височината им е 44,80 m.

Постоянните въздействия са изчислени на база архитектурен проект, съгласно предписанияте: настилки, парапети и др. Променливите въздействия са приети, както следва: обслужващ персонал, посетители и мебелировка (и елементи от озеленяването – саксии) – $q_k=3 \text{ kN/m}^2$; сняг – $S_t=0,91 \text{ kN/m}^2$; вятър – $q_{b,0}=0,70 \text{ kN/m}^2$ (използвана е автоматичната команда „Вълшебник“ в програмния продукт, при въвеждането му, след предварителни изчисления – за интензитет и посока). Температурни въздействия не са отчитани при анализите, за вътрешно и външно нагряване (по преценка, външната температура не е висока, за да причинява екстремни напрежения, а отвътре съоръжението е неотопляемо).

Част от коничната стена над пирамидалната част (с височина 7,55 m) е моделирана като „критична“ зона (с намален наполовина еластичен модул на бетона като материал и нулиран коефициент на Poisson).

За статико-динамичното изследване на конструкцията (поемаща вертикалните и хоризонталните въздействия от вятър и земетръс) е използван програмен продукт Tower (по МКЕ). Съставен е пространствен изчислителен модел с реални размери на елементите и със съответните характеристики на материалите [1], [2], [4].

При модалния анализ са включени собственото тегло на конструкцията (постоянни въздействия) и вятъра, за генериране на модални маси. Отчетени са 64 броя форми на собствени трептения за достигане на min 90% активирана модална маса в двете ортогонални посоки. Получен е период на трептене за първа форма $T_1=0,63 \text{ s}$.

Направена е проверка за възможността от появата на ветрови резонанс (резонансни трептения в строежите, в направление перпендикулярно на посоката на вятъра), която е удовлетворена по отношение на критичната скорост на вятъра, съгласно ф-ла. 1:

$$v_{cr.} = \frac{5 \cdot D_{cone}}{T_1} > 25 \text{ m/s} \quad (1)$$

Предвид сеизмичното райониране, обектът е с $a_g/g=0,11$. Приет е коефициент на поведение $q=1,5$ – за хоризонтална компонента на сеизмичното въздействие.

4. Резултати от анализите

Стойности на напреженията (като средни и максимални – във ф-ла. 2) под основната плоскост на фундамента при характеристична и сеизмична комбинации:

$$\left| \begin{array}{l} \sigma_{mt,(G_k+\psi_k)} = 181,72 \text{ kN/m}^2 < q_{R0} = 220 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{max,E} = 340,26 \text{ kN/m}^2 \ll 4 \cdot q_{R0} = 880 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right. \quad (2)$$

Максималното хоризонтално преместване (отклонение, по ф-ла 3) във върха на съоръжението има стойност:

$$\delta_{max} = 1,14 \text{ cm} < H / 250 \approx 17 \text{ cm} \quad (3)$$

След извършен анализ на армировките на елементите, предвид напрегнатото състояние, са установени и приети показаните по-долу диаметри. Конструиранието се извършва съгласно Системата конструктивни Еврокодове.

За фундаментната плоча са получени следните диаметри носещи армировки, оформящи мрежи (в двете посоки): N18/10 cm – за долна и горна армировки, и N12/10 cm – за средната армировка. Допълнително е конструирана мрежа от N12/20 cm в областта на конуса като долна

армировка. Монтажните столчета са за средната и горна армировки - за поемане на усукващи моменти.

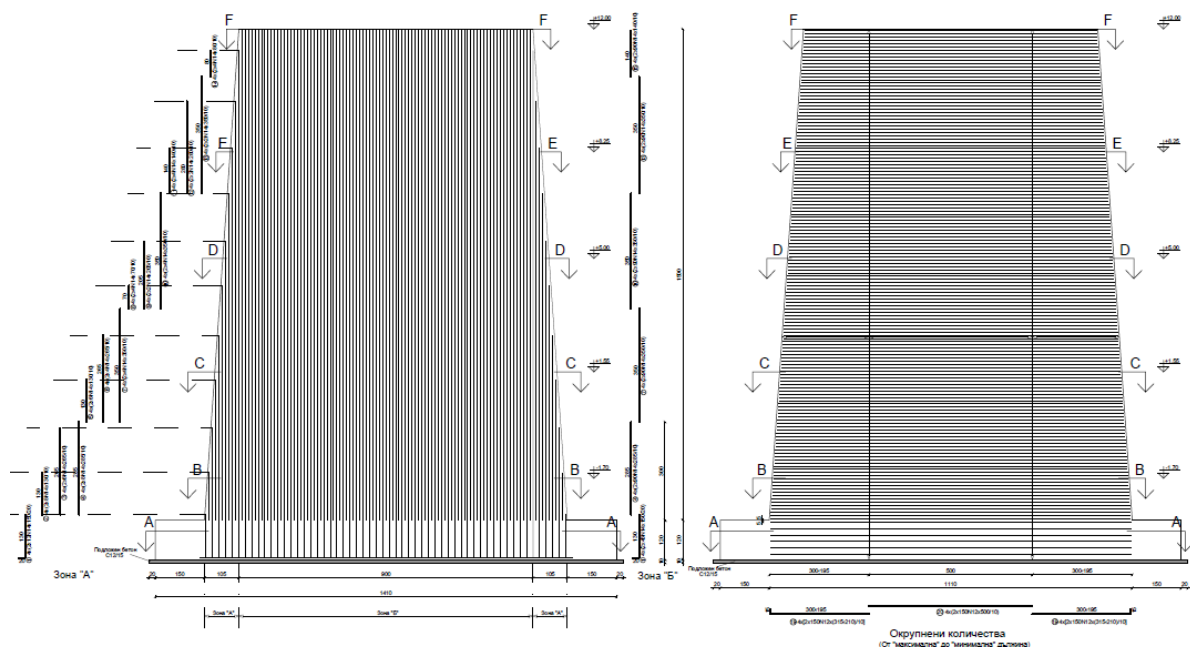
В областта на конуса (централно), от двете страни на стената, се конструират стремена като елементи срещу продъване – N10/ 20 (25) cm.

За плочата на к. +12,00 m са конструирани долна и горна армировки в двете посоки – N14/ 10 cm.

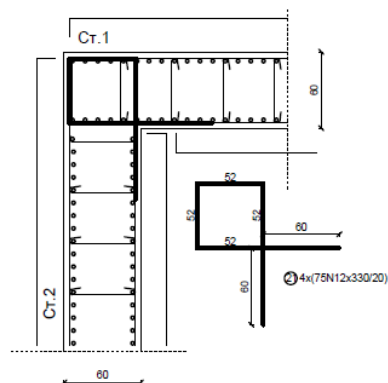
За плочата на к. +42,00 m са конструирани долна армировка в двете посоки – N12/10 cm и горна армировка в двете посоки – N16/10 cm.

За трапецовидните стени са конструирани двойни мрежи от: N14/10 cm – за вертикалните пръти от мрежата и N12/10 cm – за хоризонталните пръти от мрежата (виж фиг. 4).

За осигуряване непрекъснатостта на армировъчните скелети, са предписани механични муфи, а допълнително ъгловите връзки между стените, се армират с ъглово затворени фибри със стърчащи краища от N12/20 cm (фиг. 5).



Фиг. 4. Фрагмент (снимка) от армировъчен план на трапецовидни стени (вертикална и хоризонтална армировки)



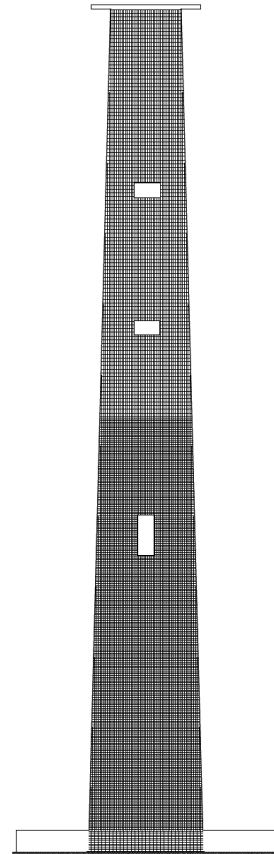
Фиг. 5. Детайл за свързване на ъглови стени

За коничната стена са получени: меридианна армировка N12/10 cm и пръстеновидна армировка: до к. +22,55 m – N14/10 cm и нагоре – N12/ 20 cm. Прието е снаждане за прътите 60.ф (виж фиг. 6).

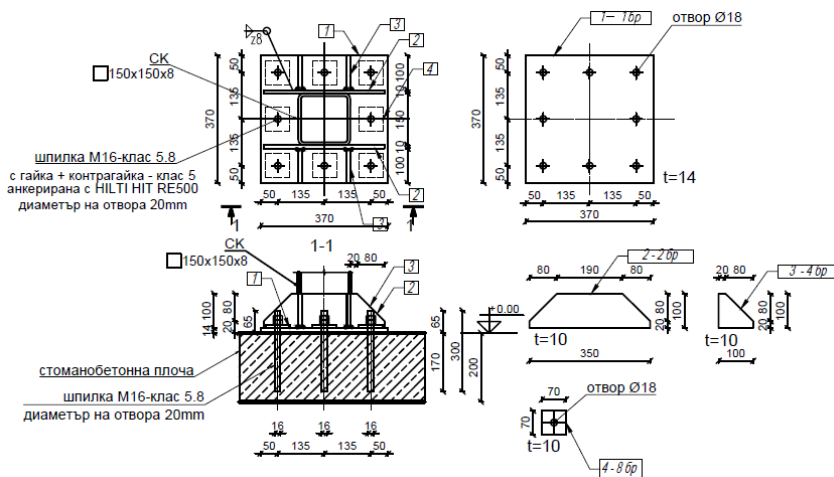
За отворите (за вратите и прозорците) се конструира обрмчване с допълнителна армировка от прави скелети под формата на скрити колони и греди, ограждащи линейно и непосредствено отворите. Необходимостта се изисква заради появата на разцепващи напрежения в бетона. Армировката е от 6N14 (2x3N14 – за страна), свързана със стремена от N8/15 cm. Принципно, за прозорци и врати детайлите са приети идентични.

В технологично отношение, подобни съоръжения успешно се изграждат с вертикално преместваем („катерещ“) кофраж. В случая такъв кофраж може да се използва и за двете форми.

Освен укрепванията („запъвания“) към стената, с профили през определено разстояние, е необходимо и анкериране на централната носеща колона на стълбището, към долната подова плоча (фиг. 7).



Фиг. 6. Общ изглед на армировките за конична стена (меридианна и пръстеновидна)



Фиг. 7. Детайл на фиксиране на стоманена носеща колона на стълбището към стоманобетонна подова плоча

5. Изводи и заключение

Разгледаното съоръжение изпълнява едновременно следните функции:

А). метрологична (в пирамидалната част) – за разполагане на измервателна и индикационна техника (като: термометри, барометри, уреди за измерване на замърсявания във въздуха и др.) за нуждите на различни институции и организации;

Б). рекреационна (върху покривната плоча на пирамидалната част) – за разполагане на: пейки, часовник и бинокли-телескопи за пейзажно далечно наблюдение, като това действа на хората положително в психологическо отношение;

В). сигнализация (от върха на кулата) – фарът създава светлинни сигнали, а уредбите му генерират звукови сигнали.

Г). културно-историческо наследство- морските фарове са част от културното наследство на България, което все още стои неоченено. Най-старите навигационни съоръжения очакват да бъдат документирани, за да представят своята внушителна история. Днес много от тях биха предизвикали туристически интерес, стига да бъдат социализирани и адаптирани. За да има бъдеще културно наследство е нужно да възпитаваме респект към историята, труда и постиженията на поколенията преди нас [5].

Архитектурно-композиционните решения при морските фарове като инженерни се основават на (почти) същите принципи, които се взимат предвид при проектирането на сградите. За постигане на естетическа изразителност е необходимо умело боравене с основните композиционни средства (обемно-пространствена структура и тектоника) и с главните (пропорции, отношения между архитектурните форми в композицията, насоченост, мащаб, ритъм, членение и др.) и допълнителни (цвет, светлина, фактура и др.) средства за хармонизация [6]. Специфичните проблеми на всяко пространство (дори и морския бряг), зависят от градоустройствени и архитектурни аспекти: съхранение на идентичността и специфичната обемно-пространствена композиция, силует и облик на всяка улица и булевард в контекста на историческото му развитие; хармонични пропорции на уличното пространство, архитектура на прилежащите сгради и съоръжения, и др. [7].

Разгледаните съоръжения са важни при проблеми със сателитните мрежи и могат да се използват като аварийни. Формите и конструкциите могат да бъдат възможно най-различни. Представеният доклад има за цел да покаже възможността за проектиране на ново съоръжение, съгласно Еврокодовете (получените армировки като сечения са напълно в „норма“ за такъв вид конструкция). Разгледаната конструкция може да стане „партньор“ или „заместник“ на стар фар, който е трудно достъпен и опасен (при обслужване) за здравето и живота на хората.

Също така, едно такова внушително съоръжение може да бъде част от архитектурния силует на мястото, където се намира.

ПРЕПРАТКИ

- [1] Георгиев Г., Ст. Цветков, Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции, част Първа, глава Втора: Стенни конструктивни системи, ВСУ, С., 2013
- [2] Георгиев Г., Ст. Цветков, Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции, част Втора: Рамкови конструктивни системи, ВСУ, С., 2014
- [3] Георгиев Г., Ст. Цветков, Ръководство за проектиране на специални стоманобетонни конструкции по Еврокод, част Първа, глава Първа: Общи сведения за анализ и конструиране на специални стоманобетонни конструкции, ВСУ, С., 2014
- [4] Георгиев Г., Ст. Цветков, Ръководство за проектиране на специални стоманобетонни конструкции по Еврокод, част Втора: Сеизмичен анализ на съоръженията, ВСУ, С., 2016
- [5] Илиева Ж., За да има бъдеще българското културно-историческо наследство, УниБИТ, С., 2014
- [6] Илиева Ю., Метални покривни покривки, Дисертационен труд за придобиване на ОНС „доктор“, УАСГ, Архитектурен факултет, катедра „Сградостроителство“, София, 2013
- [7] Сотирова П., Градска мобилност и транспортна инфраструктура. УАСГ, С., 2018