



Получена: 30.06.2022 г.

Приета: 22.07.2022 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА АНКЕРНИ УСТРОЙСТВА ЗА КАТЕРЕЩИ КОФРАЖИ – ИЗПИТВАНЕ НА ПИЛОТНИ ОПИТНИ ОБРАЗЦИ

В. Николов¹, Л. Хрисчев², П. Христов³, Г. Иванов⁴, Б. Даалов⁵

Ключови думи: анкерни устройства, катерещ кофраж, разрушение от опън, разрушение от срязване

РЕЗЮМЕ

В статията е представена методиката и получените резултати от експериментални изследвания за определяне на носимоспособността на анкерни устройства за катерещи кофражи. Изследването е извършено с изпитване на пилотни опитни образци, подложени на опън и на срязване, съгласно предпоставките на ЕТАГ 001. Изведени са конкретни зависимости между носимоспособността на анкерните устройства и якостта на натиск на бетона.

С провеждането на това предварително изпитване е извършена и оценка на адекватността на модела, съблюдаване на правилното изпълнение, като са констатирани някои критични зони, които могат да повлияят на коректността на получените резултати. Същите следва да се вземат предвид при изпитването на основната серия от опитни образци.

¹ Виктор Николов, инж. докторант, кат. „Технология и механизация на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: viktor.nikolov.93@abv.bg

² Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l.hrishev@abv.bg

³ Петър Христов, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: pchristov_fce@uacg.bg

⁴ Георги Иванов, гл. ас. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: givanov_fce@uacg.bg

⁵ Борислав Даалов, доц. д-р инж., кат. „Строителни конструкции”, ВСУ „Л. Каравелов, ул. „Суходолска“ № 175, София, e-mail: bobdaal@abv.bg

1. Въведение

Изпълнението на високи стоманобетонни конструкции като комини, охладителни кули, водни кули, стоманобетонни ядра на сгради, стълбове и устои на мостове, язовирни стени и др., налагат употребата на катерещи се кофражи [1]. Основните предимства на този тип кофражни системи са, че отпада голямото количество вътрешно скеле в съоръженията [2], намалява се трудоемкостта, съкращават се сроковете за изпълнение и се повишава кратността на употреба на кофражните комплекти.

Проектирането на конструкцията на катерещите кофражни системи следва да се извършва съгласно изискванията на БДС EN 12812 [3]. При проектирането се вземат предвид собственото тегло на елементите, експлоатационното натоварване, а също и натоварването от вятър. Натоварванията оказват съществено влияние върху точките на окачване и респективно анкерните устройства. Предпоставка за необходимостта от оценка на въздействията върху анкерните устройства се дискутира в редица научни работки [4 – 8], насоките на Европейската организация за техническа оценка (ЕОТА) [9], както и в техническата документация за този тип кофражни системи. В [10] е посочено, че ефектът от натоварванията в комбинация с неблагоприятни фактори като близост до ръба на стоманобетонния елемент и прилагането на натоварвания в ранна възраст на бетона могат да допринесат за достигане на крайно гранично състояние на елементите по време на експлоатация.

Проучване на видове катерещи се кофражи, използвани в практиката, показва, че производителите на този тип системи предлагат решения, които следва да се прилагат при удовлетворяване на определени предпоставки и условия. Те включват минимално отстояние на анкерното устройство до ръба на стоманобетонния елемент, минимална якост на натиск на бетона (10 N/mm^2), конкретни изисквания към залагането на анкерното устройство и др. Когато възникне ситуация, налагаща продължаване на изпълнението в различни от предписаните условия, във фирмените технически данни се препоръчва изпълнителят да се обърне към специалист, който да проведе необходимото изследване *in-situ* и да предостави оценка и решение за справяне с възникналия проблем [10].

Наблюдения върху конкретни строителни обекти и извършения технологичен анализ показват, че съществуват редица случаи, при които е налице невъзможност за спазването на някои от тези предпоставки [11]. Част от срещаните технологични проблеми са свързани с изместване на работната fuga по височина по време на бетонирането и съответно намаляване на разстоянието от анкерящото устройство до нея и/или намаляване на разстоянието до ръба на стоманобетонния елемент.

Целта на изследването по научноизследователския проект е да се извърши експериментално определяне на носещата способност на анкерни устройства за катерещи се кофражи при определени условия на работа, които включват минимално отстояние до ръба на стоманобетонния елемент и работа при ранна възраст на бетона, в т.ч. и при якост на натиск, по-ниска от 10 N/mm^2 , която е основен фактор за декофриране и катерене.

В настоящата статия са представени резултатите от изпитването на пилотни опитни образци. С този първи етап на изследването по научноизследователския проект се цели да се даде предварителна оценка на адекватността на модела и да се набележат евентуални зони за подобрене, преди започване на изпитването на пълната серия от експериментални образци.

2. Методика на експерименталното изследване при изпитване на пилотните опитни образци

Методиката, приложена в конкретното експериментално изследване, включва:

- определяне на якостта на натиск на бетона в съответствие с БДС EN 12390 [13 – 15];
- експериментално изследване на носимоспособността на анкерни устройства за катерещи се кофражи на опън и на срязване, съгласно предпоставките на ETAG 001 [16-17] и БДС EN 1992-4 [18].

2.1. Определяне на якостта на натиск на бетона

Определянето на якостта на натиск на бетона е извършено съгласно БДС EN 12390-3 [13]. Изготвени са пробни тела с размери 150/150/150 mm, които са изпитани на 1-ия, 3-ия, 7-ия, 14-ия и 28-ия ден. Съгласно посочения стандарт кубовата якост на натиск ($f_{c,cube}$) при изпитване на стандартни бетонни пробни тела се изчислява с точност 0,1 МПа, по следната формула:

$$f_{c,cube} = K_f K_s \frac{F}{A}, \quad (1)$$

където $f_{c,cube}$ е кубова якост на натиск на пробата, (N/mm²);

F – максималната сила, при която е настъпило разрушаването на пробата, N;

A – площта на напречното сечение, върху която действа силата, mm²;

K_f – корекционен коефициент за влиянието на формата и размерите на пробното тяло;

$K_s = 1$, когато пробните тела се съхраняват съгласно БДС EN 12390-2 [15] и при пробни тела, изрязани от конструкции и готови стоманобетонни елементи;

$K_s = 0,95$, когато пробните тела се съхраняват съгласно БДС EN 206 [19].

2.2. Определяне на носимоспособността на анкерни устройства, подложени на опън и срязване (пилотни опитни образци)

2.2.1. Изследвани параметри

Изследваните параметри, по отношение на анкерните устройства, са носимоспособност (сила) F [kN] и преместване d_f [mm]. С цел симулиране на ранно декофриране и катерене образците се изпитват при различна възраст на отлежаване, като отстоянието на анкерното устройство до ръба на стоманобетонния елемент е фиксирано на 30 cm.

Изпитването на образците е проведено както следва:

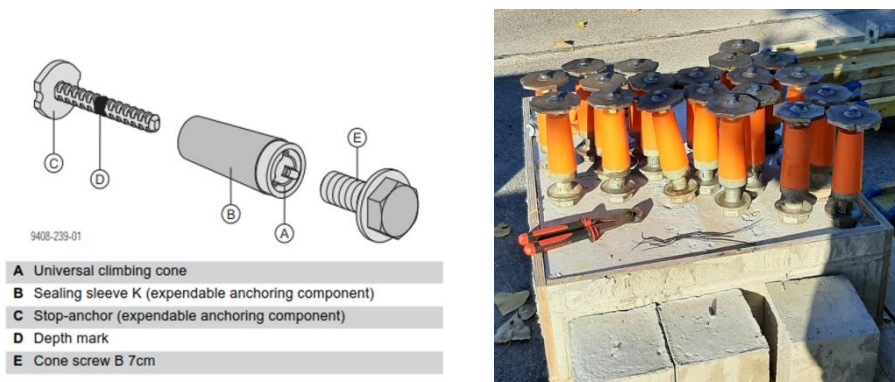
- 5 бр. образци, подложени на опън, на възраст – 1-и; 3-и; 7-и; 14-и и 28-и ден;
- 3 бр. образци подложени на срязване, на възраст – 1-и; 3-и и 28-и ден.

2.2.2. Опитна постановка

Подробно описание и пояснения за подбора на използваните материали, анкерни устройства, изпитвателен стенд и апаратура са представени детайлно в [12]. В изложението на настоящата статия по-долу са дадени само основни моменти, свързани с реализирането на опитната постановка.

2.2.2.1. Анкерни устройства за катерещ кофраж

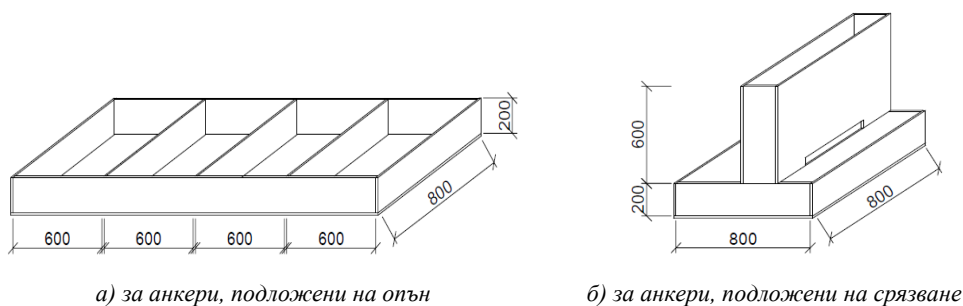
Анкерно устройство, използвано в настоящото изследване е „Stop-Anchor 15.0 B11“ (фиг. 1). Основни характеристики на анкерното устройство са: дължина на анкерния прът – 11,5 cm (монтиран към конуса – 16 cm); диаметър на анкерния прът – 15 mm; диаметър на закотвящата плочка – 90 mm.



Фиг. 1. Анкерно устройство – „Stop-Anchor 15.0 B11“

2.2.2.2. Опитни образци

За изготвянето на опитните образци са изработени кофражни форми с размери, представени на фиг. 2. Използван е бетон клас C25/30, доставен от цех за производство на бетонни смеси, като консистенцията е клас S3. Чрез използването на бетон със сравнително нисък клас се цели да се изследва носимоспособността на анкерните устройства, при якост на натиск на бетона, по-ниска от 10 N/mm^2 , каквато би могла да се очаква на възраст 1 ден. Общ вид на изпълнените и бетонираните образци, със заложените към тях анкерни устройства за катерещ кофраж, е даден на фиг. 3.



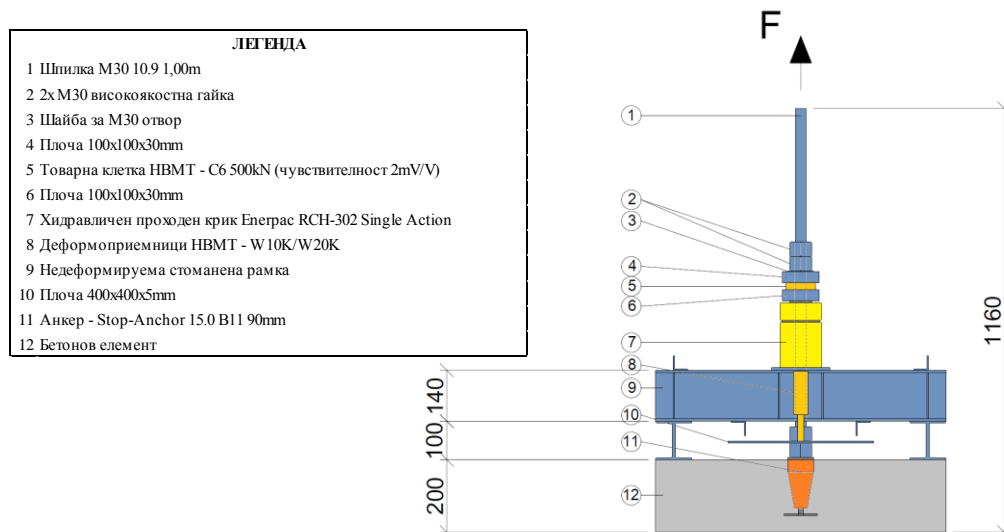
Фиг. 2. Схема на кофражните форми за изпитване на анкерни устройства



Фиг. 3. Общ вид на изпълнени и бетонирани образци със заложените към тях анкерни устройства

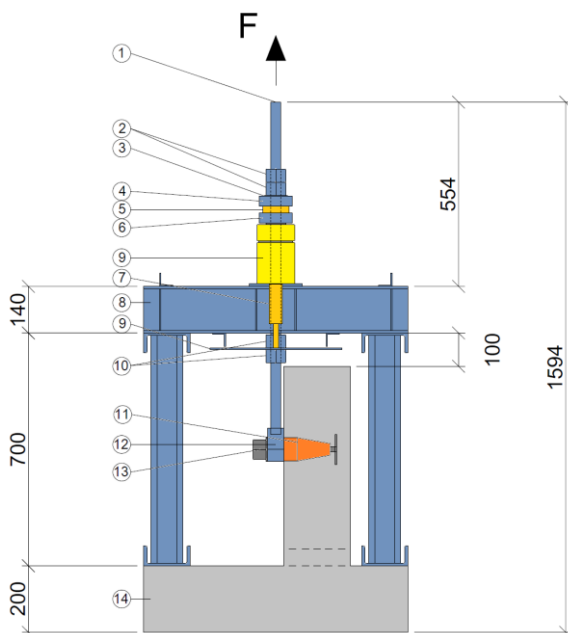
2.2.2.3. Изпитвателни стендове

При спазване на предписанията на ETAG 001 [16] са разработени изпитвателни установки (стендове) за изпитване на анкерите на опън (фиг. 4) и за изпитване на анкерите на срязване (фиг. 5). Изпитвателните стендове включват конструкция от проектирани и изработени за нуждите на изследването стоманени рамки, товарна клетка и по два броя деформоприемници. Натоварването се реализира посредством проходен хидравличен цилиндър.



Фиг. 4. Схема на експерименталната установка за изпитване на анкерите на опън

ЛЕГЕНДА	
1	Шпилка М30 10.9 1,00m
2	2x М30 високоякостна гайка
3	Шайба за М30 отвор
4	Плоча 100x100x30mm
5	Товарна клетка НВМТ - С6 500kN (чувствителност 2mV/V)
6	Плоча 100x100x30mm
7	Деформоприемници НВМТ - W10K/W20K
8	Недеформируема стоманена рамка
9	Плоча 400x400x5mm
10	2x М30 високоякостна гайка
11	Анкер - Stop-Anchor 15.0 B11 90mm
12	Недеформируем ръкав от стомана S355JR
13	Болт В7cm 30mm
14	Бетонен елемент



Фиг. 5. Схема на експерименталната установка за изпитване на анкери на срязване



а) за анкери, подложени на опън



б) за анкери, подложени на срязване

Фиг. 6. Общ вид на експерименталната установка за изпитване на пилотните анкери

2.2.2.4. Апаратура

Спецификацията на използваната апаратура е посочена в табл. 1.

Таблица 1. Спецификация на използваната апаратура

Индуктивни деформоприемници (датчици) за преместване (Inductive Displacement Transducers):		
Производител	Hottinger Baldwin Measurement Technologies (HBMT)	
Тип	W10TK / W20TK	
Номинално преместв	10 / 20mm	
Приблизителен обхв	24 / 44mm	
Клас на точност	0.4 (0.2)	
Датчик за сила (Load Cell):		
Производител	Hottinger Baldwin Measurement Technologies (HBMT)	
Тип	C6	
Номинално натоварв	500kN	
Чувствителност	2mV/V	
Клас на точност	0.5	
Многоканална измервателна система (Multipoint measurement device):		
Производител	Hottinger Baldwin Measurement Technologies (HBMT)	
Тип	Quantum	
Брой канали	8бр.	
Софтуер	Catman	
Хидравличен цилиндър (Hydraulic Cylinder):		
Производител	Energac	
Тип	RCH-302	
Работно налягане	700 атм.	
Максимално натовар	326kN	
Тонаж	30г.	
Работен ход	64mm	

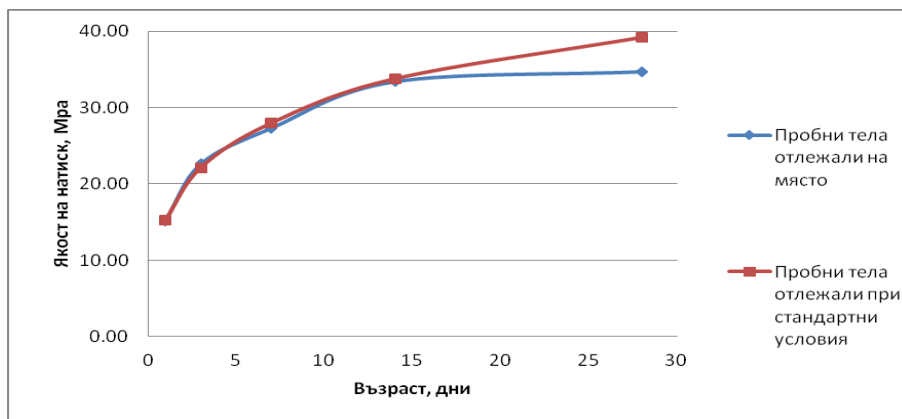
3. Резултати и анализ

3.1. Определяне на якостта на натиск на пробни тела – в съответствие с БДС EN 12390-3

Якостта на натиск е определена от една страна за пробни тела, отлежали в стандартни лабораторни условия, а от друга – за пробни тела, отлежали на място. Пробните тела, отлежали на място, са съхранявани в непосредствена близост и при аналогични условия, както изпитваните пилотни опитни образци. Получените резултати са представени в табл. 2 и графично на фиг. 7.

Таблица 2. Якост на натиск на пробните тела, изпитани съгласно БДС EN 12390-3

Якост на натиск, МРа	Възраст, дни				
	1	3	7	14	28
Пробни тела, отлежали на място	15,17	22,60	27,30	33,40	34,70
Пробни тела, отлежали в лабораторни условия	15,23	22,10	27,95	33,75	39,17
Разлика, %	0,44	2,26	2,33	1,04	11,40



Фиг. 7. Развитие на якостта на натиск на пробни тела, отлежали при стандартни лабораторни условия и на място

От представените резултати е видно, че пробните тела, отлежали в стандартни лабораторни условия се характеризират с по-голяма якост на натиск на 28-ия ден спрямо тези, отлежали на място. За конкретното изследване разликата на възраст 28 дни е 11,4%. На възраст до 14 дни практически няма разлика в якостта на натиск на пробните тела, отлежали на място и тези, отлежали в лабораторни условия. Прави впечатление, че при използвания бетон C25/30 се забелязва сериозен ръст в набирането на якост още през първите 24 ч. от експеримента. Това до голяма степен може да се обясни с високите среднодневни температури в първите няколко дни след бетонирането на образците (м. август 2021 г.).

Поради тази причина, с цел изследване на носимоспособността на анкерните устройства при якост на натиск на бетона, по-ниска от 10 N/mm^2 , при провеждане на експерименталното изследване с основната серия образци следва бетонирането и отлежаването на образците да се извърши при по-ниски стойности на среднодневната температура и по-нисък клас бетон.

3.2. Резултати от експерименталното изследване на опън и на сръзване на анкерните устройства

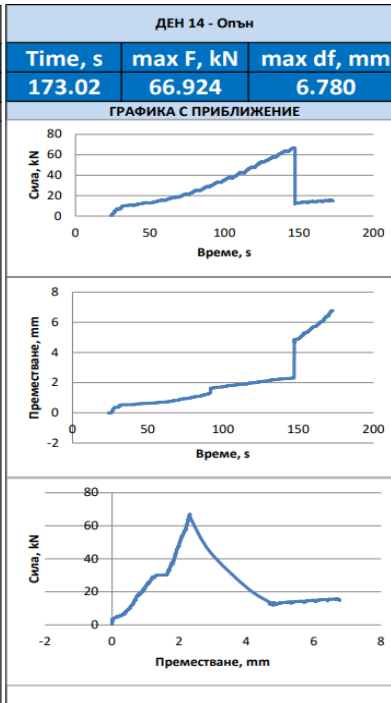
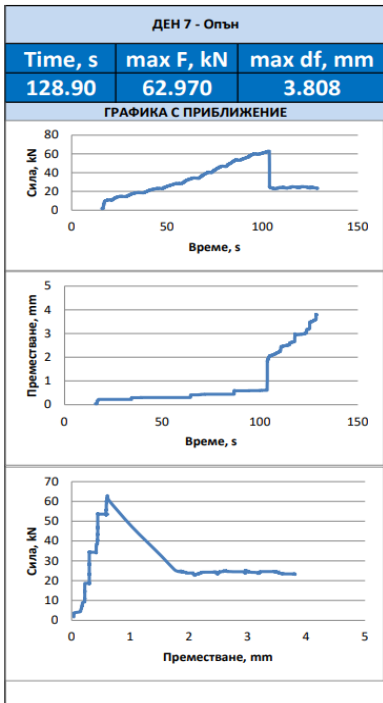
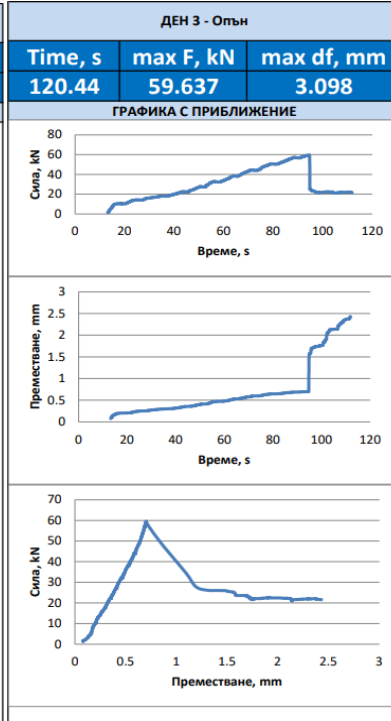
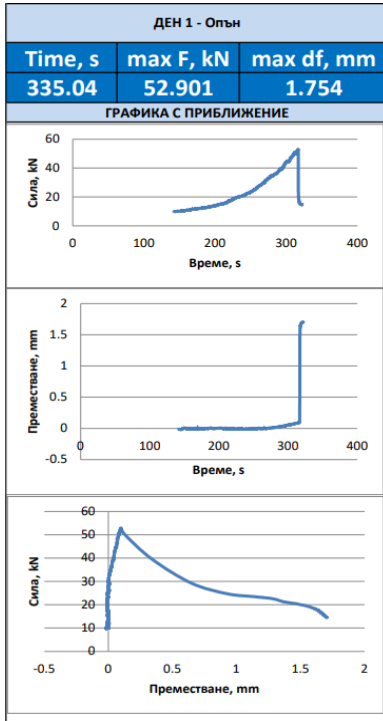
В посочените по-долу фигури, за всеки един образец (5 подложени на опън и 3 на сръзване), са представени следните величини:

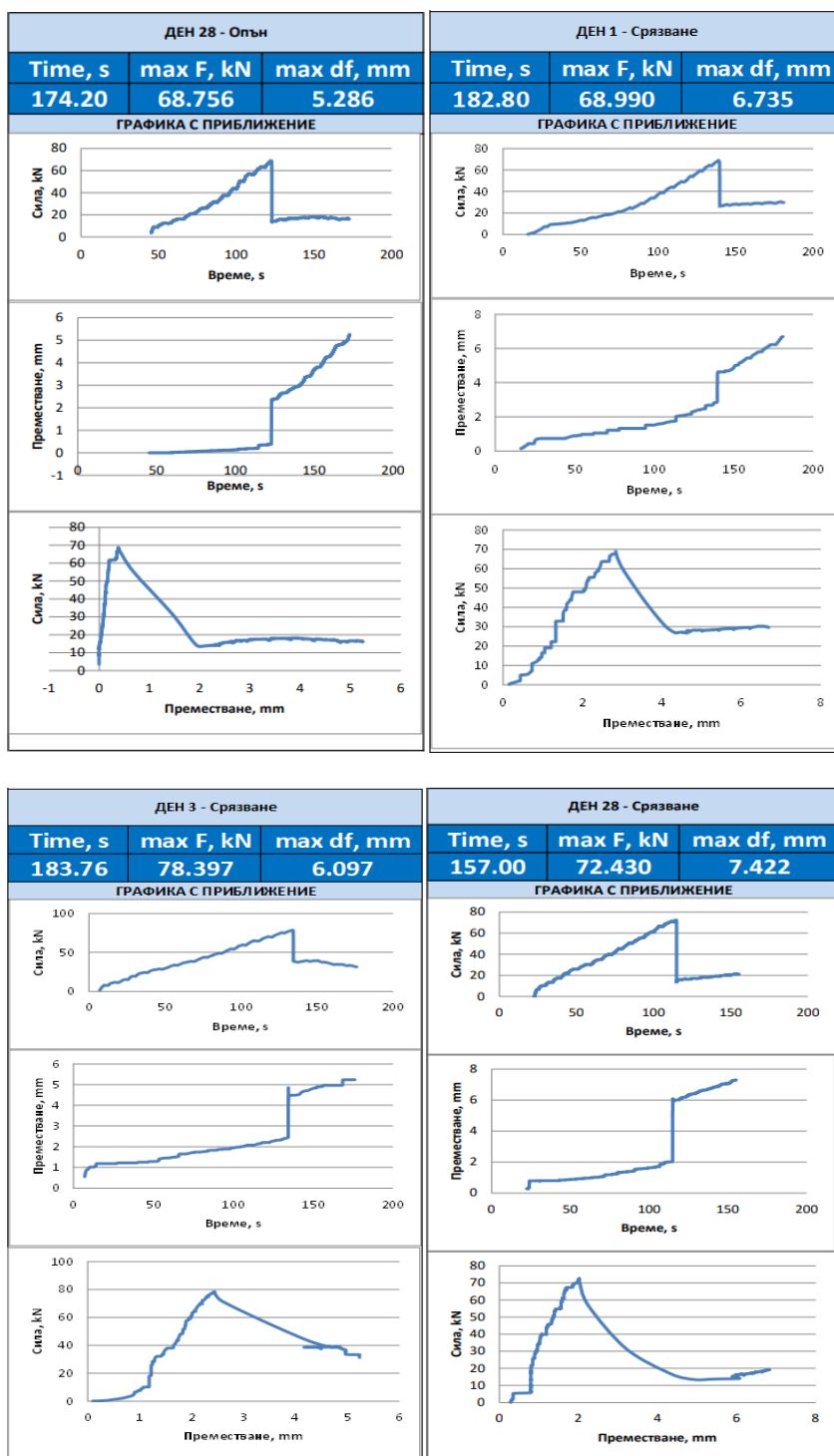
- Време, s;
- Критична сила F , kN;
- Преместване d_f , mm.

Представените зависимости са както следва:

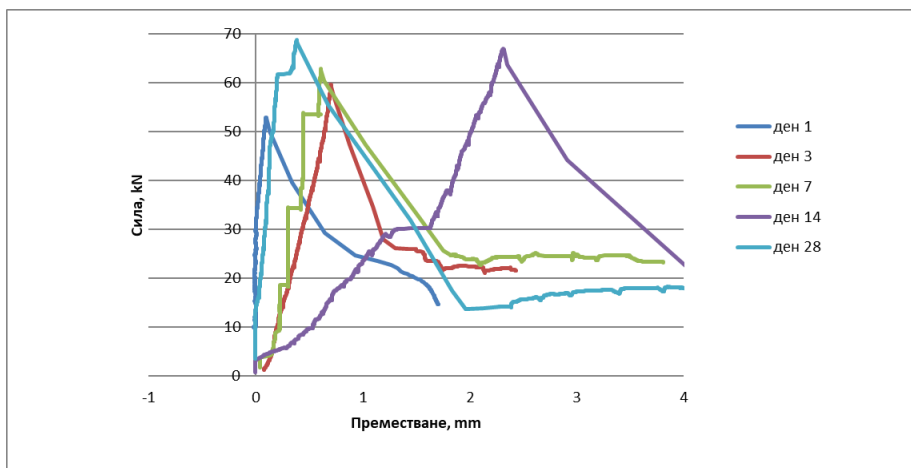
- „Сила – Време”;
- „Преместване – Време”;
- „Сила – Преместване”.

Същите са дадени на фиг. 8, като са посочени максималната носимоспособност ($\max F$) и максималното преместване ($\max d_f$). В обобщение са представени графики – фиг. 9 и фиг. 10, които отразяват обобщените зависимости „Сила – Преместване” за изследваните на опън и съответно на сръзване, опитни образци.

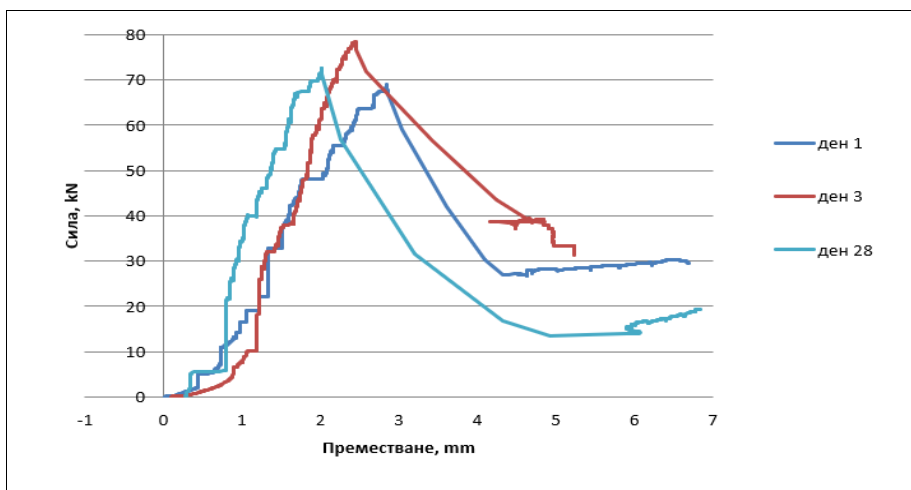




Фиг. 8. Зависимости „Сила – Време”, „Преместване – Време” и „Сила – Преместване” за изследваните опитни образци



Фиг. 9. Обобщена зависимост „Сила – Преместване“ за 5-те образца, изпитани на опън, на възраст 1-и, 3-и, 7-и, 14-и и 28-и ден



Фиг. 10. Обобщена зависимост „Сила – Преместване“ за 3-те образца, изпитани на срязване, на възраст 1-и, 3-и и 28-и ден

Представените резултати от проведеното изследване за определяне на носимоспособността на анкерите на опън показват, че с увеличаване на възрастта на бетона и съответно с увеличаване на якостта на натиск, се повишава носимоспособността на анкерните устройства на опън. На възраст 1 ден носимоспособността на анкерните устройства е 59,1 kN, а на възраст 28 дни – 68,75 kN. Стойността на преместването, при което се наблюдава максимална стойност на носимоспособността (силата) е със стойност до 1 mm.

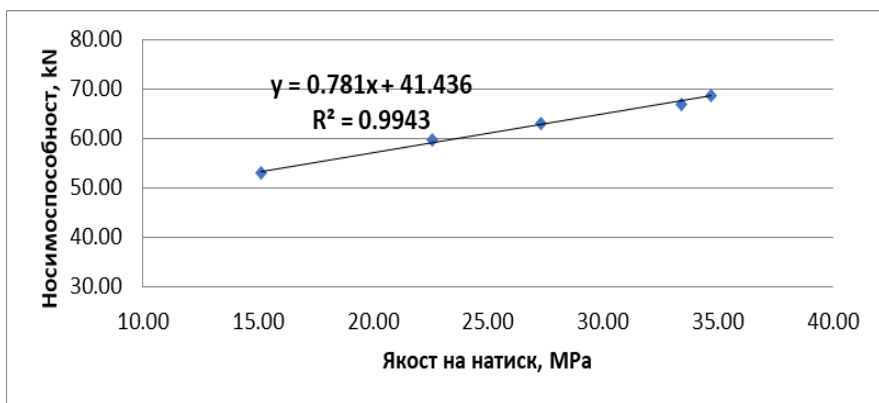
По-голяма стойност на преместването е констатирана само при опитния образец, изпитан на възраст 14 дни. Това най-вероятно се дължи на наличието на известни хлабини във връзките между елементите на изпитвателния стенд. Поради тази причина при изпитването на пълната серия от експериментални образци, закрепването и позиционирането на стенда и неговите елементи е необходимо да се извършва с повишено внимание.

По отношение на носимоспособността на анкерните устройства на срязване най-голяма стойност на носимоспособността е определена на възраст 14 дни – 78,4 kN, докато на възраст 28 дни тя е със стойност 72,43 kN. Преместванията са в диапазона от 1,5 mm до 3,5 mm и като стойности са по-големи от тези, определени при изпитването на опън. Това се дължи от една страна на начина на работа на анкерното устройство, а от друга – на спецификата при прилагането на силата на срязване.

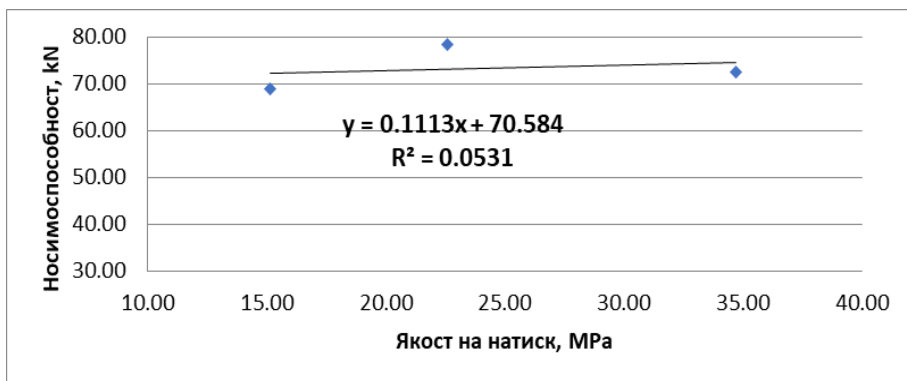
С цел отчитане на влиянието на фактора „якост на натиск на бетона“ е извършен допълнителен анализ с използване на регресионен анализ. Задачата му е да се намери съотношение, свързващо изходната величина и факторите (в настоящия експеримент това е якостта на натиск на бетона на изготвените елементи). Съотношението се изразява чрез регресионно уравнение, чиито коефициенти са оценени така, че сумата от квадратите на отклоненията по ординатната ос (O_y) да бъде минимална. В настоящото изследване изходната величина е носимоспособността на анкера, съответно на опън или на срязване.

Въз основа на получените данни от експерименталните изследвания са построени регресионните уравнения и е определен коефициентът на детерминация R^2 , който отразява разсейването на измерените опитно стойности около предсказаните по модела (регресионното уравнение). Той е един от критериите за оценка на адекватността на регресионния модел. При използване на коефициента на детерминация във връзка с корелационния коефициент, стойност между 0,7 и 0,9 се интерпретира като висока, а над 0,9 като много висока. По-високите стойности на корелация (по-близки до 1) показват, че влиянието на даден фактор (якост на натиск на елемента) върху изходната величина (носимоспособност) е по-голямо и съответно по-ниски стойности на коефициента на детерминация R^2 (по-близки до 0) показват, че влиянието на даден фактор върху изходната величина е по-малко.

Дадените по-долу зависимости, регресионните уравнения и коефициенти са определени въз основа на експериментално получените данни за якостта на натиск на бетона, от изпитването на пробни тела отлежали на място и съответно якостта на анкерите на опън и на срязване при съответната възраст и фиксирано отстояние до ръба на елемента – 30 cm.



Фиг. 11. Зависимост между якостта на натиск на бетона и носимоспособността на анкерите на опън, за анкери, монтирани на разстояние 30 cm от ръба на ст.бет. елемент



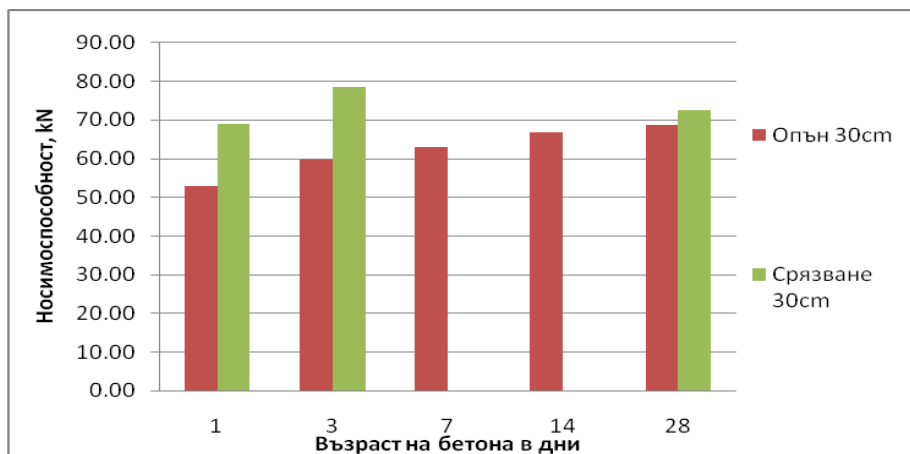
Фиг. 12. Зависимост между якостта на натиск на бетона и носимоспособността на анкерите на срязване, за анкери, монтирани на разстояние 30 cm от ръба на ст.бет. елемент

Ако се анализират резултатите представени по-горе, може да се каже, че е налице зависимост, изразяваща се в повишаване на носимоспособността на анкерите в зависимост от якостта на натиск на бетона. Определен е коефициент на детерминация със стойности от порядъка на 0,9943 при изпитванията на опън. Високата стойност на коефициента ($R^2 > 0,9$) дава възможност получената корелационна зависимост между параметрите на якостта на натиск и носимоспособността на анкерите на опън да се оцени като много висока.

Същото не може еднозначно да се твърди по отношение на носимоспособността на срязване. Причина за това от една страна е ограниченият брой изследвани образци, а от друга – неочаквано разрушение в зоната на фугата на Т-образния елемент. Това разрушение е представено на фиг. 13. Поради тази причина образецът, изпитван на възраст 28 дни, може да се счита за компрометиран и съответно не може да бъде извършено коректно заключение. Това налага бъдещо допълнително армиране в двата края на образците за изпитване на срязване, с цел недопускане на подобни типове разрушения и при изпитването на елементите от основната серия.



Фиг. 13. Констатирано разрушение на образца за изпитване на срязване на възраст 28 дни



Фиг. 14. Носимоспособност на анкерите на опън и на срязване при разстояние 30 cm от ръба на ст.бет. елемент

Извършено е също и сравнение между стойностите – носимоспособност на опън и срязване. Прави впечатление, че при всички разгледани случаи, носимоспособността на анкерните устройства на срязване е по-голяма от тази на опън. Това е ясно изразено при образците, изпитани на възраст 1 и 3 дни и в по-малка степен при образца на възраст 28 дни. Възможна причина е именно констатираният дефект при образца на срязване, изпитан на възраст 28 дни, дискутиран по-горе. Това, още веднъж, потвърждава необходимостта от допълнително армиране в двата края на образците за изпитване на срязване.

Предвид получените по-големи стойности на носимоспособности на срязване спрямо тези на опън, при изпитване на основната серия от опитни образци би следвало да се очаква аналогична зависимост.

3.3. Насоки при изпитването на основната серия от експериментални образци

Въз основа на получените резултати от извършените изследвания, преди започване на изпитването на основната серия от експериментални образци, е необходимо да се вземе предвид следното:

- При бетониране и отлежаване при високи среднодневни температури още след 24 ч. е достигната якост на натиск на бетона над 15 N/mm^2 , което възпрепятства изследванията върху симулацията на „катерене при ранно декофриране”, т.е. при якост на натиск, по-ниска от 10 N/mm^2 . С цел изследване на носимоспособността на анкерните устройства при якост на натиск на бетона, по-ниска от 10 N/mm^2 , при провеждане на експерименталното изследване с основната серия образци, следва бетонирането на образците да се извърши при по-ниски стойности на среднодневната температура и с използване на по-нисък клас бетон.
- При изпитване на срязване на възраст 28-и ден се констатира неочаквано разрушение в зоната на работната fuga на образца, при което е получена по-ниска стойност на носимоспособността на срязване спрямо тази на възраст 3 дни. Необходимо е да се предприемат конкретни мерки, изразяващи

се в допълнително армиране в двата края на образците за изпитване на срязване, при изследването на елементите от основната серия.

- Закрепването и позиционирането на стенда и неговите елементи е необходимо да се извършва с повишено внимание, в т.ч. щателно почистване на повърхностите, върху които стъпва стендът, предварително отстраняване на хлабините във връзките между елементите на изпитвателния стенд и др.

4. Заключение

Въз основа на анализа от проведеното експериментално изследване, на пилотни опитни образци на анкерни устройства за катереци кофражи, може да се обобщи следното:

- С увеличаване на якостта на натиск на бетона се наблюдава и увеличаване на носимоспособността на анкерните устройства на опън.
- Налице е корелационна зависимост между носимоспособността на анкерните устройства и якостта на бетона.
- Констатирано е, че стойността на носимоспособността на анкерните устройства на срязване е по-голяма от тази на опън при образците, изпитани на възраст 1 и 3 дни. Поради компрометиране на образеца, изпитан на срязване на възраст 28 дни, същото не може да се твърди със сигурност, въпреки че достигнатата носимоспособност на срязване надхвърля тази на опън.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-134/2020 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ, за което им изказваме нашата благодарност.

Авторите изказват искрена благодарност на инж. Мартин Алексиев и фирма „Атмикс“ ООД за осигуряването на бетонната смес за извършване на експеримента.

Изказват се специални благодарности и на фирма „Дока България“ ЕООД, за пълното съдействие и подкрепата при реализиране на изследванията.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kirov, N.* Formwork and Scaffoldings. Daniel SG, 2006, ISBN-10:954-91452-9-8.
2. *Petkov, J.* Technology of construction processes. Technica, 1989.
3. BDS EN 12812:2008, Falsework – Performance requirements and general design. Bulgarian Institute for Standardization, 2018.
4. *Kolarov, V., Velinov, K.* Study of the behavior of concrete anchors according to prEN 1992-4 (Eurocode 2). // Annual of the UACEG Sofia, Volume XLVIII, VIII-B, 2014-2015.
5. *Grosser, P.* Load-bearing behavior and design of anchorages subjected to shear and torsion loading in uncracked concrete. // PhD Thesis, Universität Stuttgart, 2012.

6. *Pallarés, L., Hajar, J.* Headed Steel Stud Anchors in Composite Structures: Part II – Tension and Interaction. // Journal of Constructional Steel Research, Volume 66, Issue 2, 2010, ISSN 0143-974X, 213-228.

7. *Winters, J., Dolan, C.* Concrete breakout capacity of cast-in-place concrete anchors in early-age concrete. // PCI Journal, 2014, 59(1):114-130.

8. *Furche, J., Elinghausen, R.* Lateral Blow-Out Failure of Headed Studs Near a Free Edge. // Anchors in Concrete: Design and Behavior, Detroit ACI, 1991, 235-252.

9. ETAG 001. 2013, Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete. EOTA.

10. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999715002_2020_02_online.pdf, посетен на 16.08.2021.

11. *Nikolov, V., Hrishev, L., Beleva, K.* Modern climbing formwork systems – A review. // Conference Proceedings XIX International Scientific Conference on Construction and Architecture VSU'2019, Sofia, Bulgaria, 2019, ISSN 1314-071X, 6.02.1-8.

12. *Nikolov, V., Hrishev, L., Hristov, P.* Experimental program for investigation of anchor devices for climbing formwork. // Annual of the UACEG Sofia, Volume 54, Issue 4, 2021, 763-776.

13. BDS EN 12390-3:2019. Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. Bulgarian Institute for Standardization, 2019.

14. BDS EN 12390-1:2021. Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds. Bulgarian Institute for Standardization, 2021.

15. BDS EN 12390-2:2019. Concrete tests – Test specimens – Part 2: Making and curing of test specimens for strength tests. Bulgarian Institute for Standardization, 2019.

16. ETAG 001. 2013, Annex A: Details of Tests. EOTA.

17. ETAG 001. 2013, Annex C: Design methods for anchorages. EOTA.

18. BDS EN 1992-4. 2018, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 4: Design of fastenings for use in concrete. Bulgarian Institute for Standardization, 2018.

19. BDS EN 206:2013 + A2:2021, Concrete – Specification, performance, production and conformity.

EXPERIMENTAL STUDY OF LOAD CAPACITY OF ANCHOR DEVICES FOR CLIMBING FORMWORK – EXAMINATION OF PILOT TEST SAMPLES

V. Nikolov¹, L. Hrishev², P. Hristov³, G. Ivanov⁴, B. Daalov⁵

Keywords: anchors, climbing formwork, pull-out failure, shear failure

ABSTRACT

The paper presents the methodology and the acquired results of experimental studies about determining the load-bearing capacity of anchor devices for climbing formwork. The research is conducted by pilot test specimens subjected to tensile and shear forces, according to the prerequisites of ETAG 001. Specific relationships between the bearing capacity of the anchor devices and the compressive strength of the concrete are derived.

With the conduct of this preliminary test, an assessment of the adequacy of the model is performed, the correct implementation is observed, and some critical areas which may affect the correctness of the obtained results are identified. These should be taken into account when testing the main series of test specimens.

¹ Viktor Nikolov, Eng., PhD Student, Dept. “Construction Technology and Mechanization”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: viktor.nikolov.93@abv.bg

² Lachezar Hrishev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanization”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: l.hrishev@abv.bg

³ Petar Hristov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: pchristov_fce@uacg.bg

⁴ Georgi Ivanov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanization”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: givanov_fce@uacg.bg

⁵ Borislav Daalov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, VSU “L. Karavelov”, 175 Suhodolska St., Sofia, e-mail: bobdaal@abv.bg