

КОМПЛЕКСНА ОЦЕНКА НА ЯКОСТТА НА БЕТОНА ВЪЗ ОСНОВА НА РЕЗУЛТАТИ ОТ ИНДИРЕКТНИ И ДИРЕКТНИ ИЗПИТВАНИЯ

Димитър Маноилов ¹

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF CONCRETE STRENGTH BASED ON INDIRECT AND DIRECT TEST RESULTS

Dimitar Manoilov ¹

Abstract:

The present report examines an approach for a comprehensive assessment of the strength characteristics of concrete by combining results from indirect (non-destructive) and direct, local damage (destructive) testing methods. The main goal is to improve the accuracy and reliability in determining the actual strength of concrete structures.

The study analyzes results obtained through methods such as the Schmidt hammer rebound test and testing of core samples extracted from the structure. Statistical processing and correlation analysis of the data are carried out in order to establish the relationships between the different indicators. Based on the combined analysis, a methodology for strength evaluation is proposed, which allows for more accurate prediction of the concrete characteristics under real conditions

Keywords:

concrete, strength characteristics, reliability, non-destructive methods, destructive methods

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Якостта на бетона е един от основните показатели, определящи носимоспособността, дълготрайността и безопасността на строителните конструкции. В процеса на експлоатация бетонът е подложен на различни външни въздействия –сеизмични въздействия [6, 8,9,10], климатични фактори, корозионни процеси и др. [7,11] ., които могат да доведат до промяна в неговите физико-механични свойства. Поради това е от съществено значение да се осигури точна и надеждна оценка на реалната якост на бетона както при приемателния контрол, така и при обследване на съществуващи конструкции.

Традиционните рушителни методи, макар и прецизни, често са ограничени поради необходимостта от извличане на проби, което води до локални повреди и не винаги е приложимо при експлоатирани обекти. От друга страна, безразрушителните методи предоставят бърз и неинвазивен начин за оценка, но резултатите им зависят от редица фактори като влажност, възраст на бетона и структурата на материала, което може да намали точността.

Димитър Маноилов ¹, студент, 3-ти курс, Строителен факултет, Строителство на сгради и съоръжения, Университет по архитектура строителство и геодезия, бул. Христо Смирленски 1, гр. София, sfac.17831@uacg.bg

Dimitar Manoilov ¹, student, 3rd year, Faculty of Civil Engineering, Building Construction and Facilities, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Hristo Smirnenski 1 Blvd., Sofia, sfac.17831@uacg.bg

Поради това възниква необходимост от разработване на комплексен подход, който да комбинира предимствата на двата типа методи. Така се постига по-висока достоверност и обективност на резултатите.

2. МЕТОДИ

2.1 Разрушителни методи

Разрушителните методи се основават на вземане на проби (ядки) от конструкцията и тяхното лабораторно изпитване на натиск. Те предоставят директна и надеждна информация за реалната якост на бетона, тъй като измерват физическата устойчивост на материала при натоварване до разрушаване. Основните предимства на тези методи са високата точност и възможността за определяне на редица допълнителни параметри – плътност, порьозност, модул на еластичност и др. Недостатъците им обаче са свързани с инвазивния характер на изпитването, което води до локални повреди по конструкцията, както и с ограничената представителност на пробите.

2.2. Безразрушителни методи

Безразрушителните методи позволяват оценка на якостта без повреждане на конструкцията. Сред най-разпространените са:

- „Скорост на разпространение на ултразвуков импулс“ – измерва скоростта на преминаване на ултразвукови вълни през бетона, която зависи от неговата плътност, структура и наличие на дефекти.
- „Метод за определяне големината на отскока“ (чук на Шмидт) – базира се на измерване на отскока на ударно тяло от повърхността на бетона, като се приема, че той е пропорционален на повърхностната твърдост и якостта на натиск.

2.3. Необходимост от комбиниран подход

За да се компенсират ограниченията на отделните методи, в последните години се развиват комбинирани методи за оценка на якостта, които използват данни както от безразрушителни, така и от рушителни изпитвания. Чрез корелационен анализ и регресионни зависимости между резултатите от двата типа методи се постига по-точна оценка на характеристиките на бетона.

3. ОСНОВНИ ЗАДАЧИ

- Да се анализират съществуващите методи за определяне на якостта на бетона и тяхната приложимост.
- Да се извършат експериментални изпитвания чрез чук на Шмид и пробни ядки, извлечени от конструкцията.
- Да се обработят резултатите статистически и да се изследват корелациите между двата типа методи.
- Да се предложи комбинирана методика за оценка на якостта на бетона, осигуряваща по-висока точност и надеждност.

4. МЕТОДОЛОГИЯ

4.1. Обект на изследването

Изследването е проведено върху участъци от съществуваща стоманобетонна конструкция, изпълнена с бетон клас C25/30. Избрани са представителни зони от различни конструктивни елементи (греди, колони, плочи), които отразяват реалните експлоатационни условия на материала. Основната цел е да се оцени актуалното състояние на бетона чрез комбиниране на данни от безразрушителни и рушителни изпитвания.

4.2. Използвани методи и апаратура

В изследването са приложени два основни метода:

• **Безразрушителен метод: Изпитване с чук на Шмид, при което се измерва стойността на отскока от повърхността на бетона съгласно БДС EN 12504-2, инструкции [3]**

1. Предварително се калибрира уредът с валиден сертификационен стикер.
2. Определят се зони за изпитване с размери минимум 15×15 см или по-големи.
3. Повърхността на бетона се почиства от мазилка, боя, шпакловка или други защитни покрития.
4. Не се допуска проверка на бетон в участъци с видими пукнатини, пори или разслоен/неуплътнен бетон.
5. Не се допуска проверка на овлажнени или ерозирани участъци. Повърхността трябва да бъде гладка и предварително почиствена с твърда шкурка или камбана-шмиргел с ъглошлайф.
6. Не се допуска проверка върху малки покрития на армировката.
7. Не се допуска проверка по ъгли и ръбове на елементи (по-малко от 50 мм от края).
8. Минималното разстояние между центровете на ударите трябва да бъде 25 мм.
9. На всяка маркирана позиция се извършва поредица от минимум 9 удара (или друг предварително съгласуван брой), като се записват отделните стойности.

• **Разрушителен метод: Изпитване на ядкови проби, извлечени от същите участъци, съгласно БДС EN 12504-1, инструкции [2]**

1. Дължина на ядките: Препоръчително съотношение на височина към диаметър (h:d) 2:1 или 1:1.
2. Диаметър на ядките: Да бъде съобразен с дебелината на сечението на елемента.
3. Предварително: Проверява се местоположението на вложената армировка, с цел ядката да се срязва, по възможност, без да засяга арматурата.
4. Не се разрешава вземане на ядки от зони с пукнатини, пори, разслоен или неуплътнен бетон, както и от овлажнени или ерозирани участъци.
5. Съхранение: Ядките се съхраняват в херметически затворени контейнери до момента на изпитване.
6. Подготовка: Ядките се подготвят чрез срязване с диамантена машина, в съответствие с изискванията за диаметър и дължина.
7. Обработка: Ядките се обработват чрез шлифование или капсулиране на краищата с материал, който предотвратява преждевременното разрушаване и осигурява равномерно разпределение на натиска по повърхността на пробата при изпитване.
8. Изпитване: Ядките се изпитват на преса, калибрирана и маркирана с валиден сертификационен стикер.

5. СТАНДАРТ [БДС EN 13791:2019] [1, 13]

Този стандарт обхваща два начина за оценяване на оценка на характеристичната якост на натиск на място за зона на изпитване и якостта на място за специфични места. Оценяването на класа по якост на натиск на бетон за конструкция по време на изграждането и, когато има съмнение относно якостта на натиск, възникнало въз основа на резултати от стандартни изпитвания или съмнение по отношение на качеството на изпълнение. Местата на вземането на ядките от един конструктивен елемент, поради причината че бетона не е еднороден и зависи от много фактори, начина на полагане, вибриране и атмосферните условия. За целта и за сигурността на конструкцията се прави предварителна проверка склонометър - Шмид на повече зони от елемента от едната и от другата страна и при спазване на изискванията съгласно точка 2, от двете страни на

елемента, по възможност. От всичките зони, в които се прави изпитването с Шмид се взема тази, в която медианата е най-ниска е подходящо за взимане на ядка от елемента. При спазване на стандарт БДС EN 12504-1.

5.1. Пробни образци – ядки

След запознаване с изискванията за местата на изрязване на пробни образци, минимален диаметър, минимална височина, необходимия брой, методите за подготовка в лабораторни условия съгласно национални приложения, следва изрязване на пробните тела и обработка на получените резултати. [2,5]

Измерват се височината, диаметъра и масата на пробното тяло. Получените резултати се записват в Таблица 1 (1,2,3). Пробните тела се изпитват на преса за получаване на силата на разрушение (4) или директно получаване на характеристичната якостта на натиск. В случай на данни за получената сила на разрушение се пресмята площта на цилиндричните образци (5). От получените резултати се изчислява характеристичната якост на натиск $f_{c,cyl,1:1core}$ [MPa].

Съгласно БДС EN 13791:2022 NA [14] при наличие на армировка перпендикулярна на посоката на натоварване, резултатът от изпитването се умножава по корекционен коефициент, получен по формулата,

$$K_s = 1 + 1,15 \cdot \left(\frac{\phi_r \cdot h}{\phi_c \cdot L} \right) \quad (1)$$

където:

K_s - е корекционен коефициент за наличие на напречна армировка;

φ_r - е диаметър на армировъчен прът;

φ_c - е диаметър на цилиндрично пробно тяло, получено от ядка;

L - е дължината на пробното тяло, получено от ядка;

h - е разстоянието от оста на напречен армировъчен прът до най- близката повърхност на пробно тяло, подложена на натиск.

Коригираната стойност на якостта на бетона на място се получава по една от формулите: **f_{c, cyl, 1:1core} = K_s** - якостта на пробното тяло (2)

или

$$\mathbf{f_{c, cyl, 2:1core} = K_s}$$
 - якостта на пробното тяло (3)

При изпитване н ядки с армировка успоредна на изпитваната сила, не включваме даденият резултат в разработката.

- **CLF – Core Length Factor**

В практиката често височината на изрязаните цилиндрични пробни тела (ядки) от конструктивните елементи не отговарят на теоретично изпитаните и е необходимо те да се преобразуват. Отношение 2:1. За определяне на якостта на място, резултатът от изпитването на ядка се преобразува в еквивалентна стойност на ядка 2:1 чрез използване на коефициента за дължина на ядка (CLF – Core length factor). За обикновен бетон коефициентът за преобразуване на ядка 1:1 към ядка 2:1 има стойност 0,82 – EN 13791 - 2019.

5.2. Статистически бегълци

Чрез оценяване на разликата между най-ниския или най-високия резултат от изпитване и средната стойност от всички резултати от изпитване е възможно да се определи, дали най-ниският или най-високият резултат са статистически бегълци.

Най – високата стойност от n последователни резултата от изпитване трябва да се разглежда като статистически беглец, когато:

(4)

$$\frac{f_{c, is, highest} - f_{c, m(n)is}}{s} > G_p$$

f_{c, is, highest} - най-високата стойност от n резултата от изпитване

f_{c, m(n), is} - средна стойност от n резултата от изпитване

s - стандартното отклонение

(5)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

Таблица 1. Критични стойности (G_p) при изпитване за статистически бегълци

Брой на стойностите от изпитване	G _p
4	1,496
5	1,764
6	1,973
7	2,139
8	2,274
9	2,387
10	2,482
11	2,564
12	2,636
13	2,699
14	2,755
15	2,806
16	2,852
17	2,894
18	2,932
19	2,968
20	3,001
25	3,135
30	3,236

Забележка: Дадени са изпитвания до 30-ти брой , за разлика от БДС 13791:2019- НА, табл. 5, където са дадени до 250 броя на изпитване

- Най – ниската стойност от n последователни резултата от изпитване трябва да се разглежда като статистически беглец, когато: (6)

$$\frac{f_{c, m(n)is} - f_{c, is, lowest}}{s} > G_p$$

f_{c, is, lowest} - най-ниската стойност от n резултата от изпитване

f_{c, m(n), is} - средна стойност от n резултата от изпитване

s - стандартното отклонение

(7)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

Забележка: в случай на възможни статистически бегълци при двете крайности, процедурата трябва да се приложи към стойността, която се отклонява най-много от

средната. Преди да се повтори тестът първият статистически беглец трябва да се изключи от изчислението на средната стойност и стандартното отклонение. Стандартното отклонение на n резултата трябва да се приеме за равно на по-голямата от двете стойности – изчислителната стойност или стойността, при която се получава коефициент на вариация 8%.

5.3. Определяне на якостта на натиск, въз основа на данни от изпитване на ядки

След извършване на проверката за статистически бегълци, всички валидни стойности се използват за определяне на средната якост на натиск на място $f_{c,m(n)is}$ и на стандартното отклонение s за зоната на изпитване.

Забележка:

Стандартното отклонение на n резултата трябва да се приеме за равно на по-голямата от двете стойности – изчислителната стойност или стойността, при която се получава коефициент на вариация 8%.

Характеристичната якост на натиск на място $f_{ck,is}$ е по-ниската от:

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n \cdot s, \quad (8)$$

където:

k_n - коефициент за броя на резултатите се отчита от т.8, табл.6, съгласно [1] или

$$f_{ck,is} = f_{c,is,lowest} + M \quad (9)$$

където:

M - се основава на стойността на $f_{c,is,lowest}$, се отчита от т.8, табл.7, съгласно [1]

В настоящият доклад са представени данни на 13 ядки взети от обект в експлоатация, с цел оценка на вероятната якост на вложения бетон - съгласно стандарт БДС 13791:2019 [1]

5.4. Определяне на якостните характеристики на бетона

За оценяване на вероятната якост на натиск на бетона на съществуваща конструкция въз основа на данни от изпитване на ядки $f_{c,cyl,1:1core}$, преобразувани с CLF (Core Length Factor-коефициент коригиращ височината на пробното тяло) към ядка $f_{c,cyl,2:1core}(150/300mm)$ и оценяване на якост на натиск на бетона на съществуваща конструкция въз основа на данни, получени при индиректно изпитване от измерване на големината на отскока. Безразрушително изпитване чрез отчитане на големината на отскока чрез уред- склерометър на Шмидт. Този уред измерва еластичния отскок. Чрез отчета му се получава оценка за повърхностната твърдост на бетона. Таблично се отчита средната вероятна якост на бетона, която съответства на средния отскок на тежката маса на уреда Шмидт.

6.1. Изрязване на ядки от конструктивни елементи

Таблица 2. Резултати от изпитване на преса

Пробни образци -ядки										
№	Пробен образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Височина [mm]	Диаметър [mm]	Маса [kg]	Сила на разрушение [kN]	Площ [cm ²]	Якост на натиск [MPa] $f_{c,cyl,1:1core}$	K_s	CLF	Якост на натиск [MPa] $f_{c,cyl,2:1core}$
1	Я1.Ш.	100	100	2,357	287,38	78,5	36,6	1,0	0,82	30,02
2	Я2.Ш.	100	100	2,335	305,37	78,5	38,9	1,0	0,82	31,90
3	Я3.Ш.	100	100	2,178	245,7	78,5	31,3	1,0	0,82	25,67
4	Я4.Ш.	100	100	2,289	287,38	78,5	36,6	1,0	0,82	30,02
5	Я10.Ш.	100	100	2,335	217,45	78,5	27,7	1,0	0,82	22,71
6	Я11.Ш.	100	100	2,223	223,91	78,5	28,5	1,0	0,82	23,39
7	Я12.Пл.	100	100	2,328	291,24	78,5	37,1	1,0	0,82	30,42
8	Я14.Пл.	100	100	2,274	231,6	78,5	29,5	1,0	0,82	24,19
9	Я15.1.Ш.	100	100	2,178	226,87	78,5	28,9	1,0	0,82	23,70
10	Я17.Пл.	100	100	2,353	263,55	78,5	33,6	1,0	0,82	27,53
11	Я18.Пл.	100	100	2,330	215,88	78,5	27,5	1,0	0,82	22,55
12	Я19.Пл.	100	100	2,320	251,2	78,5	32,0	1,0	0,82	26,24
13	Я20.Пл.	100	100	2,283	249,63	78,5	31,8	1,0	0,82	26,08

В таблицата са дадени якостта на 13 бр. ядки, взети от плочи и шайби, при които в нито една от ядките няма армировка, за които K_s е корекционен коефициент за наличие на напречна армировка;

Оценка за резултатите въз основа на данни от изпитване на ядки, съгласно т. 8.1

Забележка: В проведеният анализ т.1.2. за оценка на якостта на натиск на изрязаните пробни тела са премахнати резултатите от настилката.. Резултатите от изпитване на пробни тела от настилката, $f_{cyl, 1:1core}$ са представени в V.т.

Направена е проверка за статически бегълци на 13бр. ядки, съгласно т.5.2 и проверката е удовлетворена.

Таблица 3. Характерната якост на натиск на място на 13 бр. ядки

Определяне на якост на натиск, въз основа на данни от изпитване на ядки		
№	Ядка	$f_{c, is, cyl}$ [MPa]
1	Я1.Ш.	30,02
2	Я2.Ш.	31,91
3	Я3.Ш.	25,67
4	Я4.Ш.	30,02
5	Я10.Ш.	22,71
6	Я11.Ш.	23,39
7	Я12.Пл.	30,42
8	Я14.Пл.	24,19
9	Я15.1.Ш.	23,70
10	Я17.Пл.	27,53
11	Я18.Пл.	22,55
12	Я19.Пл.	26,24
13	Я20.Пл.	26,08
$f_{c, m(9)is}$		26,495
$f_{c, is, lowest}$		22,550
s		3,217
8% коеф.на вариация		
s >		2,12 Да
Брой ядки		13
kn		1,855
$f_{c, m(m), is} - kn * s$		20,53
$f_{c, i, lowest} + M$		26,55

6.2. Обработка на резултатите от комбинирания метод

Данните от двата метода се подлагат на **статистическа обработка** – определяне на средни стойности, стандартно отклонение и коефициент на вариация. След това се извършва **корелационен анализ** за установяване на зависимост между резултатите от безразрушителните и рушителните методи. За целта се използва **регресионна зависимост** [12].

6.2.1. Цел на комбинирания подход

Чрез комбиниране на резултатите от двата метода се цели да се получи **по-точна и представителна оценка на реалната якост на бетона**, като се минимизира влиянието на случаен фактор и локални различия в структурата на материала. Получената зависимост може да се използва като **калибрационна крива** за бъдещи безразрушителни обследвания на сходни конструкции.

Използване на индиректно изпитване, което е специално калибрирано за данни от изпитване на ядки, изрязани от разглежданата конструкция

Преди да се изрежат ядки трябва да се проведе проучване чрез индиректно изпитване. Данните от него се използват при избора на местата за изрязване на ядки. Ядките трябва да се вземат от места, където получените стойности от индиректното изпитване на разположение. Трябва да се получат най-малко 10 двойки резултати от изпитване и местата на изпитване на ядки трябва да обхващат цялата съвкупност от

стойности от индиректното изпитване, включително и екстремните, ако за конструкцията е безопасно да се изрязват ядки в тези екстремни места.

Резултатите от изпитването трябва да се преобразуват в стойности на якост на натиск на място f_c , i_s и трябва да се начертае графика на зависимостта на стойностите на якост на натиск на място (по ос у) и резултатите от индиректното изпитване (по ос х).

6.2. Обработка на резултатите от комбинирания метод

Данните от двата метода се подлагат на **статистическа обработка** – определяне на средни стойности, стандартно отклонение и коефициент на вариация. След това се извършва **корелационен анализ** за установяване на зависимост между резултатите от безразрушителните и рушителните методи. За целта се използва **регресионна зависимост** [12].

6.2.1. Цел на комбинирания подход

Чрез комбиниране на резултатите от двата метода се цели да се получи **по-точна и представителна оценка на реалната якост на бетона**, като се минимизира влиянието на случаен фактор и локални различия в структурата на материала. Получената зависимост може да се използва като **калибрационна крива** за бъдещи безразрушителни обследвания на сходни конструкции.

6.2.2. Обработка на резултатите от склерометър „Schmidt” тип N

Таблица 4. Примерни стойности от големината на отскока от склерометър „Schmidt” тип N

Място на изпитване	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
#	ЯДКИ												
	Я1.Ш.	Я2.Ш.	Я3.Ш.	Я4.Ш.	Я10.Ш.	Я11.Ш.	Я12.Пл.	Я14.Пл.	Я15.1.Ш.	Я17.Пл.	Я18.Пл.	Я19.Пл.	Я20.Пл.
Ъгъл	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+90	+90	+0	+90	+90	+90	+90
1	38	41	38	41	35	32	41,5	37	36	42,5	30,8	36	34
2	40	42	38	42	36	38	42,5	38	36	38,3	31,9	34	35
3	43	45	42	41	36	34	36,1	40	38	38	35	36	35
4	42	43	36	41	33	34	39,3	38	34	38	35	38	37
5	40	43	36	42	38	36	39,5	36	36	38	34	36	36
6	38	42	40	42	33	38	39,5	37	38	38,3	31,9	36	38
7	40	41	36	41	37	36	41,5	39	40	38	34	34	37
8	45	43	40	40	35	34	38,3	38	36	38	34	32	37
9	48	40	38	42	37	34	40,4	39	38	40,4	35	36	34
10	43	46	36	40	36	36	41,5	37	36	38,3	31,9	34	34
Медиана	41,0	42,5	38,0	41,0	36,0	35,0	40,0	38,0	36,0	37,0	34,0	36,0	35,5
25% от медиана	10,25	10,63	9,50	10,25	9,00	8,75	9,99	9,50	9,00	9,25	8,50	9,00	8,88
Долна граница	30,75	31,88	28,50	30,75	27,00	26,25	29,96	28,50	27,00	27,75	25,50	27,00	26,63
Горна граница	51,25	53,13	47,50	51,25	45,00	43,75	49,94	47,50	45,00	46,25	42,50	45,00	44,38
Валиден	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

В зависимост от вида на уреда и ъгъла на използване (+90,+45,+0,-45,-90 – плочи, стени, колони, вути), отчетите се коригират спрямо посочени от производителя препоръки, които са представени в графичен вид. Необходимо е да се вземат най-малко 10 отчета за всяко място на изпитване и се определя тяхната медиана. Прави се проверка на получените стойности за отскока, спрямо за долната и горната граница, която се получава

като разлика или сбор на 25% от медианата стойност. При наличие на невалиден отчет, той се премахва и се пресмята медианата. Ако два или повече отчета не отговарят на проверката, следва да се избере нова място на изпитване.

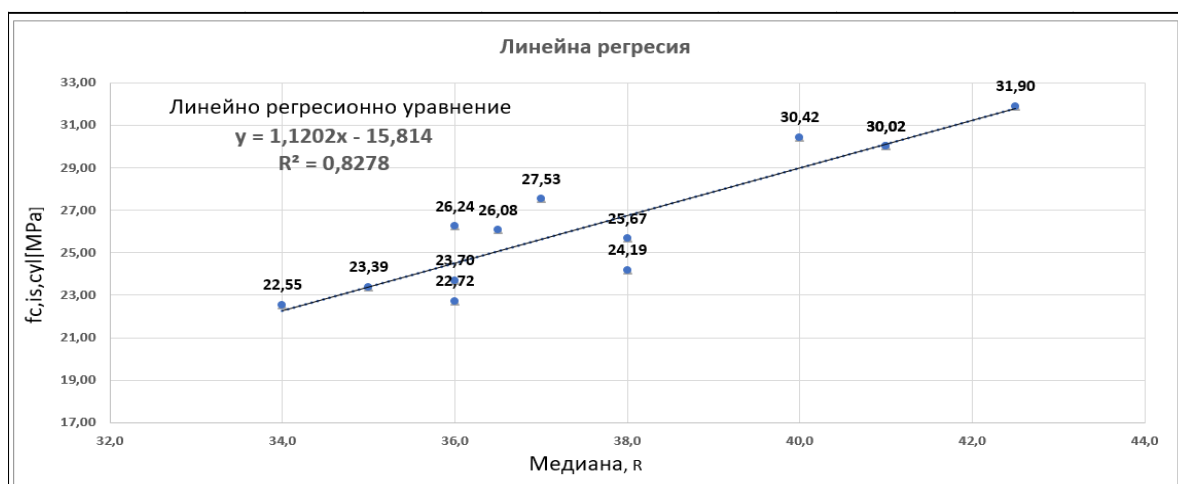
6.2.3. Линејна регресия

Примерни данни получени от индиректно изпитване и изпитване на ядки на преса за постројаване на графика за линејна регресия и получаване на линејно регресионно уравнение

Таблица 5. Данни за линејна регресия

Място на изпитване	Медиана, R	$f_{c, is, cyl}$ [MPa]
Я1.Ш.	41,0	30,02
Я2.Ш.	42,5	31,90
Я3.Ш.	38,0	25,67
Я4.Ш.	41,0	30,02
Я10.Ш.	36,0	22,72
Я11.Ш.	35,0	23,39
Я12.Пл.	40,0	30,42
Я14.Пл.	38,0	24,19
Я15.1.Ш.	36,0	23,70
Я17.Пл.	37,0	27,53
Я18.Пл.	34,0	22,55
Я19.Пл.	36,0	26,24
Я20.Пл.	36,5	26,08

Използване на индиректно изпитване, което е специално калибрирано за данни от изпитване на ядки, изрязани от разглежданата конструкция. Резултатите от изпитването трябва да се преобразуват в стойности на якост на натиск на място f_c , i_s и трябва да се начертае графика на зависимостта на стойностите на якост на натиск на място (по ос у-ядки) и резултатите от индиректното изпитване (по ос x- медианата от получените изпитвания по Шмид).



Фигура 1. Диаграма на линејна регресия

Чрез използване на установеното линейно регресионно уравнение, всички валидни резултати от индиректното изпитване се преобразуват към техните еквивалентни регресионни стойности, дори за местата на изпитване, където има действителен резултат от изпитване на ядки.

6.2.4. Характерната якост чрез комбинирания метод получени са следните резултати от формули (6), (7)

Получена якост на натиск на място на ядки т.6.1.2

$$\begin{aligned} 1. f_{ck, is} &= f_{c, m(n)is} - kn.s = 20,53 \text{ Мпа} \\ 2. f_{ck, is} &= f_{c, is, lowest} + M = 26,55 \text{ Мпа} \end{aligned}$$

Получена якост на натиск от комбинирания метод т.6.2.4

$$\begin{aligned} 1. f_{ck, is} &= f_{c, m(n)is} - kn.s = 22,38 \text{ Мпа} \\ 2. f_{ck, is} &= f_{c, is, lowest} + M = 24,03 \text{ Мпа} \end{aligned}$$

Съгласно изискването на стандарта и вероятната якост се приема на **20,53 Мпа** [1]

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От индиректния и директния метод, получената вероятна якост на бетона с най-ниските стойности на **$f_c, m=$ от 20,53 Мпа до 22,38 Мпа**. Съгласно стандарта якостта се приема C20/25, която не отговаря на проектната документацията и влияе върху надежността и бъдещата експлоатация на конструкцията.

При спазването на стандарт БДС EN 13791 :2019, затруднява спазването му в случаи, че конструкцията е още в експлоатацията относно местата за изпитване и броя на взетите пробни ядки, поради причината че стандарта изисква минимум 8 бр. ядки за 30 м³ бетон,

Стандарт БДС EN 13791:2019 не е приложим за конструктивни елементи с максимален процент на армиране, особено при колони.

Стандарта е по-подходящ за стоманобетонни конструкции по време на тяхното изпълнение до груб строеж. Директен и индиректен метод дават по- достоверни резултати за вероятната якост на бетона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13791:2019 – Оценяване на якост на натиск на бетон на място, в конструкции и готови бетонни компоненти.
- [2] БДС EN 12390-3 - Изпитване на втвърден бетон. Част 3: Якост на натиск на пробни тела
- [3] БДС EN 12504-1 - Изпитване на бетон в конструкции. Част 1: Ядки. Изрязване, проверка и изпитване на натиск
- [4] БДС EN 12504-2 - Изпитване на бетон в конструкции. Част 2: Изпитване без разрушаване. Определяне на големината на отскок
- [5] БДС EN 206:2013+A2:2021- Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие
- [6] Emad Abdulahad and Aleks Grancharov, Seismic design of an existing six story administrative building, OP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1323, International Scientific Conference CIVIL ENGINEERING DESIGN AND

- CONSTRUCTION 12/09/2024 - 13/09/2024 Varna, Bulgaria Citation Emad Abdulahad and
- [7] Aleks Grancharov 2024 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1323 012016 DOI 10.1088/1757-899X/1323/1/012016
- [8] Emad Georgos Abdulahad , Ghoson Danhash, Recommendations for Seismic Assessment of Heritage Buildings and Methods of Strengthening, 5th International Conference on Protection of Historical Construction (PROHITCH 2025) At: Napoli, Italy, DOI: 10.1007/978-3-031-87312-6_14
- [9] E Abdulahad and E Mahmud Seismic behaviour before and after strengthening of solid confined masonry walls with glass fiber reinforced polymers - analysis of hysteresis curves, obtained by shaking table tests November 2020 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 951, 11th International Conference on Civil Engineering Design and Construction - DCB'2020 10-12 September 2020, Varna, Bulgaria, DOI 10.1088/1757-899X/951/1/012018
- [10] Emin Mahmud , Zdravko Bonev, Emad Georgos Abdulahad Nonlinear seismic analysis of masonry infilled RC frame structures, January 2019, Gradjevinski materijali i konstrukcije 62(1):17-25, DOI: 10.5937/GRMK1901017M License CC BY-SA 4.0
- [11] Emin Mahmud. Emad Abdulahad Shaking Table Tests Determining Frequency and Stiffness Before and After Strengthening of a Confined Masonry Wall Without an Opening, 4th International Conference on Protection of Historical Constructions (PROHITECH), held in Athens, Greece, on October 25-27, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-90788-4_13
- [12] Нешев Хр. Обследване и оценка на техническото състояние на сглобяема стоманобетонна конструкция от строително конструктивната системата СКС-УС-73, XXIV Юбилейна международна научна конференция по строителство и архитектура ВСУ`2024г., том 2, стр. 187-205, София, ISSN 1314-071X
- [13] Лъчезар Хрисчев¹, Иван Ростовски², Иван-Александър Цонев³, Виктор Николов⁴, УСТАНОВЯВАНЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕВАТА АНАЛОГИЯНА БЕТОНА ЧРЕЗ ЛАБОРАТОРНИ ИЗПИТВАНИЯ – ПИЛОТНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА БЪЛГАРИЯ, XI Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2020 г., Варна.
- [14] Цвета Роглекова¹, Лъчезар Хрисчев², ПЛАН ЗА КОНТРОЛ НА ИЗПЪЛНЕНИЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ КОНСТРУКЦИИ, В СЪОТВЕТСТВИЕ С БДС EN 13670, I Младежка научна конференция с международно участие „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 4-5 ноември 2021 г., София.
- [15] БДС EN 13791:2022 NA, Оценяване на якост на натиск на бетон на място, в конструкции и готови бетонни компоненти