

Висше строително училище „Любен Каравелов“

Строителен факултет

Катедра „Механика и математика“

Автореферат на
дисертация
**Моделиране и изследване поведението на усиленни
строителни конструкции**

Докторант:

инж. арх. Антон Гороломов

Научни ръководители:

доц. д-р инж. Анита Хандрулева

доц. д-р инж. Петър Греков

Дисертацията съдържа 141 страници, 65 фигури, 14 таблици

Съдържание

I. Анализ на проблемите на съществуващи конструкции.....	5
1. Актуалност на проблема.....	5
2. Анализ на съществуващия сграден фонд в България.....	5
3. Дефекти и повреди в съществуващи конструкции.....	5
4. Надеждност на строителните конструкции.....	6
II. Анализ на историческото развитие на нормативната уредба за проектиране на строителни конструкции и съществуващите норми в областта на възстановяването и усиляването.....	7
1. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с въздействия върху сгради и съоръжения, различни от сеизмичното.....	7
2. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с антисеизмично строителство.....	10
3. Нормативна уредба, свързана с оценка или усиляване с сгради.....	10
III. Основни теории, свързани с моделиране и носимоспособност на зидове, усилен с FRP. Проблеми.....	13
1. Увод в проблема.....	13
2. Носимоспособност на зид, усилен с вертикални и хоризонтални ивици от FRP – предпоставки в различните стандарти.....	13
3. Работна диаграма на зидарията при натиск. Обзор на теориите.....	13
4. Обзор на научни разработки и експерименти в българската и световната практика.....	14
IV. Относно допустими напрежения и деформации във FRP ивиците.....	15
1. Допустими напрежения и деформации във FRP ивиците. Теоретична постановка.....	15
2. Допустима сила във FRP ивица, съгласно нормите.....	16
3. Експериментални резултати и сравнението им с теоретичните.....	19
4. Изводи.....	22
5. Дължина на закотвяне.....	23
V. Определяне на коравината в равнината на усилен с FRP зидана стена.....	24
1. Описание на проблема.....	24
2. Определяне на приведен център на тежестта на усилен стена с определена дължина на натискната зона.....	26
3. Определяне на приведения инерционен момент на усилената стена.....	27
4. Коефициент на модификация на коравината в програмен продукт.....	29
5. Електронна таблица в Microsoft Excel.....	29

VI. Оразмеряване на усиление с FRP. Процедура. Изводи.....	30
1. Общи постановки.....	30
2. Носимоспособност на зид, усилен с FRP материали, в равнината му. Интеракционна диаграма.....	30
3. Таблица с диаграма в среда на Microsoft Excel.....	41
VII. Програма за изчертаване на интеракционна диаграма.....	42
1. Общи положения.....	42
2. Общ изглед на програмата и входни данни.....	42
3. Изходни данни.....	44
4. Алгоритъм.....	46
VIII. Относно закотвяне при фундаментите.....	47
1. Съществуващи решения.....	47
2. Предложение за анкерирание.....	48
IX. Заключение.....	51
Литература.....	56

I. Анализ на проблемите на съществуващи конструкции

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

- 1. Актуалност на проблема*
- 2. Анализ на съществуващия сграден фонд в България*
- 3. Дефекти и повреди в съществуващи конструкции*
- 4. Надеждност на строителните конструкции*

Направени са съответните изводи.

1. Актуалност на проблема

По настоящем градовете и селата са застроени с доста разнообразен сграден фонд – както с нови, така и с по-стари постройки от различни материали. Плътността на застрояване нараства, особено в централните части на големите градове. Липсата на свободни терени за нови сгради налага пригаждането на вече съществуващите към нова функция..

Проблемът за възстановяване и усиление на съществуващите конструкции е много актуален. Все по-осезаема ще става необходимостта от правилни намеси върху застаряващия сграден фонд на Европа.

2. Анализ на съществуващия сграден фонд в България

Съществуващият сграден фонд на България е от сгради и съоръжения с разнообразна конструкция: зидана, стоманобетонна (сглобяема или монолитна), стоманена, дървена (паянтова) и смесена (паянтова конструкция с тухлен пълнеж, комбинирана стомано-стоманобетонна конструкция, стомано-дървени елементи и други).

В дисертацията е описано процентното участие на всяка конструкция за брой жилища и брой сгради.

Извод: Като анализ на данните може да се направи, че в България има значителен брой зидани конструкции (с дървени или стоманобетонни подови конструкции), следвани от стоманобетонните, а другите видове конструкции са застъпени по-малко. Съсредоточаването върху проблемите на тези сгради е от съществено значение за бъдещото развитие на българските градове и села.

3. Дефекти и повреди в съществуващи конструкции

За да може правилно да бъде моделирана една усилена конструкция, правилно трябва да бъде моделирана конструкцията, която ще се усилява. Първо, това е необходимо

за анализа на съществуващата конструкция и второ това е важна стъпка в моделирането на усилената конструкция.

В дисертацията са изброени по-важните дефекти и повреди и ще направим необходимите коментари, свързани с **работата на конструкцията** и тяхното **моделиране**. Ще бъдат показани **примери**, някои от които от практиката на автора като проектант.

- 3.1. Дефекти и повреди в стоманобетонни конструкции**
- 3.2. Дефекти и повреди в зидани конструкции, както и в зидарии, които работят като част от носещата конструкция за поемане на хоризонтални въздействия на сгради със стоманобетонен скелет**
- 3.3. Дефекти и повреди в стоманени конструкции**
- 3.4. Дефекти и повреди в дървени конструкции**

Извод: Моделирането на конструкции с дефекти и повреди е сложен проблем, който невинаги има точно и практически постижимо решение. Правилното (до колкото е възможно) моделиране е много важно за правилното проектантско решение за подобни конструкции.

4. Надеждност на строителните конструкции

Разгледано е накратко понятието „надеждност“ на строителните конструкции и са представени някои примери за амортизация на конструкции.

Като извод, например за тухлени сгради с дървени подови конструкции, може да се направи, че подмяната на дървените подови конструкции с нови е оправдано, като е възможно намесата върху носещите тухлени елементи да е по-слаба, поради по-ниската им амортизация с времето.

II. Анализ на историческото развитие на нормативната уредба за проектиране на строителни конструкции и съществуващите норми в областта на възстановяването и усиляването

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

- 1. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с въздействия върху сгради и съоръжения, различни от сеизмичното*
- 2. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с антисеизмично строителство*
- 3. Нормативна уредба, свързана с оценка или усиляване с сгради*

Направени са изводи относно развитието във времето на въздействия върху конструкциите, някои изводи и препоръки в процеса на оценка на съществуващите сгради

1. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с въздействия върху сгради и съоръжения, различни от сеизмичното

Разглеждането накратко на историята на нормите на проектиране е от **полза за правилната оценка на сградите и съоръженията.**

От създаването на норми за проектиране значително се изменят постановките за проектиране, повечето натоварвания се увеличават. Първите норми в България са Правила за строеж на частни здания в градовете на българското княжество [Правила за строеж на частни здания в градовете на българското княжество] и са създадени през 1881г.. С навлизането на стоманобетона като по-масово използван материал се приема Правилник за проектиране на стоманобетонните строежи в Царство България [Правилник за проектиране на стоманобетонните строежи в Царство България].

Трябва да се има предвид, че по-старите норми работят с метод допустими напрежения с общ коефициент за сигурност, залегал обикновено в допустимото напрежение на материала. Това води до известна непредсказуемост относно тяхната консервативност спрямо в момента действащите норми.

Въздействията, свързани с теглото на конструктивни елементи, се определят на база на плътности, т.е. те не би следвало да се изменят в зависимост от нормите.

Моделирание и изследване поведението на усилен строителни конструкции

Експлоатационните и климатичните въздействия (сняг, вятър) се регламентират нормативно.

Първите нови в България имат по-скоро информативен характер – описват се дебелини на стени и прочее. В последствие нормите започват да налагат повече изчисления, налагат се конкретни физични модели на описване на явленията.

	Година	Експлоатационен товар жилища		Експлоатационен товар офиси		Експлоатационен товар коридори		Сняг	
		Стойност	Коефициент за сигурност	Стойност	Коефициент за сигурност	Стойност	Коефициент за сигурност	Стойност	Коефициент за сигурност
Правилник за натоварванията на сгради и за допустимите натоварвания на почвата при сгради	08.05.1935г.	2	1*	2	1*	както в помещенията		0,75	1*
Правилник за натоварвания на сгради и за допустимите натоварвания на почвата при сгради	11.01.1950г.	1,5	1*	1,5	1*	както в помещенията		0,75	1*
Правилник за основните методи при изчисляване на строителните конструкции и за	03.10.1959г.	1,5	1,4	2	1,4	3	1,4	0,5 или 0,7	1,4

Моделиране и изследване поведението на усилен строителни конструкции

натоварванията на сгради									
Натоварване на сгради и съоръжения - правилник за проектиране	01.07. 1964г.	1,5	1,4	3	1,4	3	1,3	0,5 или 0,7 или 1	1,4
Натоварвания и въздействия. норми за проектиране	01.09. 1979г.	1,5	1,4	3	1,3	3	1,3	0,4 до 1	1,4 до 1,6
Основни положения за проектирането на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях - Наредба №3	16.04. 2005г.	1,5	1,3	3	1,3	3	1,3	0,6 до 2,4	1,4
Система Еврокодове	2007	2	1,5	3	1,5	3	1,5	0,6 до 5	1,5

*Нормите са по метод допустими напрежения и коефициентът на сигурност не е във въздействията.

Табл. 4. Въздействия по предишни и в момента действащи норми

Извод: Като извод може да се направи, че всички сгради, проектирани по нормативна уредба след 1935 година, при положение, че са проектирани, построени и поддържани правилно, са предвиждани да притежават достатъчна и дори съизмерима на сегашната нормативна уредба надеждност за вертикални въздействия, с някои изключения за климатичните въздействия.

Практиката ще докаже намалението на носимоспособността на конструкциите с годините.

2. Историческо развитие на нормативната уредба в България, свързана с антисейсмично строителство

Описани са накратко дефинициите на сейсмичното въздействие съгласно следните правилници

2.1. Технически и хигиенически норми за земетръсните места

2.2. Правилник за проектиране и строеж на сгради и инженерни съоръжения в земетръсните райони на България 1947

2.3. Правилник за проектиране и строеж на сгради и инженерни съоръжения в земетръсните райони на НРБ, 1957

2.4. Правилник за антисейсмично строителство, 1961

2.5. Правилник за строителство в земетръсни райони, 1964

2.6. Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 1987

2.7. Наредба за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 2007

2.8 Наредба за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 2012

2.9. БДС EN 1998

Интересен извод, направен в [Игнатиев, Н., .П. Сотиров, История на българските норми за сейсмично изследване на конструкциите и преход към конструктивна система Еврокодове, презентация, <http://www.petkovstudio.com/documents/7.pdf>] и [Осигуряване на сградите за сейсмични въздействия, КИИП, Инженерен форум, бр. 6, 2012] показва, че **сградите, строени между 1964 и 1987 година трябва да се считат за сейсмично осигурени**, тъй като в повечето случаи сейсмичните сили по правилника от 1964 година са по-големи от сейсмичните сили по правилника от 1987 година. В § 1. точка 4 на допълнителните разпоредби на [Наредба № РД-02-20-2 от 27 януари 2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони] е записано, че *„Неосигурени сгради” са сградите, които са изградени преди 1987 г.*

3. Нормативна уредба, свързана с оценка или усиляване с сгради

3.1. Историческо развитие на нормативната уредба, свързана с обследване, оценка или усиляване на сгради

Оценката, възстановяването и усиляването на сгради са проблеми, които винаги са били извън или са били съвсем леко засегнати от нормативната база.

В чл. 42 от [Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони от 1987г.] се казва, че *„Неосигурени и осигурени на сейсмични въздействия сгради се допуска да бъдат преустроявани и надстроявани [...], ако се докаже, че след преустрояването и надстрояването същите са сейсмично осигурени, съгласно с изискванията на тези норми”*. Това налага при всяка реконструкция сградата или съоръжението да се осигурява на земетръс, съгласно тази наредба.

Едновременно с този документ е широко използвано [Ръководство на сдружение проектно дело 1988]. Това ръководство дава някои облекчаващи изисквания и макар да не е нормативен документ се е използвало често в миналото [Трайкова, М., Възстановяване и усиление на сгради. Проблеми, конструктивни решения, практически примери ISBN 978-954-9897-40-1].

3.2. Българска нормативна уредба

В сега действащата в България нормативна уредба проблемът за оценка, възстановяване и усиление на сгради е засегнат само в няколко члена. [Наредба РД 02-20-19] и [Наредба № РД-02-20-2 от 27 януари 2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони] дават основните положения при оценка на сгради и съоръжения и необходимостта от усиление. Основната идея е, че конструкциите се проверяват за съответствие с нормативната уредба, при която са проектирани, и ако отговарят се дава положителна оценка. При промяна не се налага удовлетворяване на изискванията на в момента действащата нормативна уредба, ако масите не се увеличават с повече от 5%. ако са налице непроектни разпробивания на отвори, които намаляват носимоспособността и дуктилността до 5% и са налични дефекти и повреди, размествания на армировки и други, които намаляват носимоспособността до 5%. Ако масите се увеличава с повече от 5 % или са налице по-сериозни намеси в конструкцията, тя трябва да се усили съгласно в момента действащата нормативна уредба. Изключение правят недвижимите културни ценности, за които са разрешени отклонения, макар да не се казва какви. Оразмеряването на конструкцията, в случай че тя трябва да отговаря на в момента действащата нормативна уредба става по националните норми или Еврокодовете в зависимост от заданието на възложителя (за обекти 3-6 категория, съгласно ЗУТ) или задължително по Еврокодовете за обекти 1-2 категория или някои обществени поръчки. При реконструкция се изисква техническо обследване, спазване на изискванията за максимално допустима височина и етажност, оценка за сеизмичната осигуреност и инвестиционен проект.

Някои автори [Георгиев, А., В. Пенчев, Сеизмична устойчивост на сградите, проектирани преди 1 март 1987г., вестник „Строител“, 2012] считат, че постановката да се дава положителна оценка на сгради, несъответстващи на в момента действащата нормативна уредба, е неправилна. В това има логика, но **по мнение на автора не е възможно усиление на сградите, съгласно сега действащите норми**, защото това би наложило глобални намеси при всеки случай, а локалните биха изгубили всякакъв смисъл. Това би натоварило излишно икономиката на страната.

По мнение на автора би следвало положителна оценка да се дава на сгради, проектирани и изпълнени съгласно нормите, действащи към момента на проектирането им, но да удовлетворяват и някакви минимални изисквания за сеизмична осигуреност, например да бъдат проектирани за занижен коефициент на

сеизмичност, спрямо към момента на оценката действащи сеизмични норми. Това е някаква среда, която няма да налага всяка една конструкция да бъде усилена, но няма и да позволява тотално неосигурени на сеизмични въздействия сгради и съоръжения да получават положителна оценка.

3.3. БДС EN 1998-3

Еврокод 8 [БДС EN 1998-3] е специално посветен на сеизмичната оценка на съществуващите сгради. За съжаление отново препоръки за несеизмична сигурност напълно липсват.

В дисертацията са разгледани следните особености и са направени някои коментари:

3.3.1. Необходима информация

3.3.2. Гранични състояния

3.3.3. Методи за анализ на конструкциите

Разгледани са методите за анализ на конструкциите и са направени бележки за практическото им приложение

3.3.3.1. Линейни методи

3.3.3.1.1. Метод на хоризонталните сили

3.3.3.1.2. Линеен спектрален анализ

3.3.3.2. Нелинейни методи

3.3.3.2.1. Метод с коефициент на поведение q

3.3.3.2.2. Статичен нелинеен pushover анализ

3.3.3.2.3. Метод с директно интегриране на акселерограми (time-history анализ)

3.3.4. Проверка на конструкциите

3.4. Американски норми

Редица норми на различни организации в САЩ разглеждат проблемите за усилване на съществуващи конструкции. Това са ATC – 40 (1996), FEMA – 273/274 (1997), FEMA-310, FEMA – 356/357 (2000), KANEPE – (2004), FEMA – 440 (2005), ASCE 41-06 (2007), FEMA 547. Това са “handbook”, т.е. ръководства, издателство на Federal emergency management agency (FEMA) или други организации.

В дисертацията са разгледано накратко някои постановки е:

3.4.1. FEMA 310

3.4.2 FEMA 356

3.4.3. FEMA 440

III. Основни теории, свързани с моделиране и носимоспособност на зидове, усилен с FRP. Проблеми.

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

- 1. Увод в проблема*
- 2. Носимоспособност на зид, усилен с вертикални и хоризонтални ивици от FRP – предпоставки в различните стандарти*
- 3. Работна диаграма на зидарията при натиск. Обзор на теориите*
- 4. Обзор на научни разработки и експерименти в българската и световната практика*

Описана е теоретичната и нормативна основа, на която лежи оразмеряването на усиление на зидове, усилен с FRP материали.

1. Увод в проблема

В дисертацията са разгледани приложението, предимствата и недостатъците на FRP материалите за усиление на строителни конструкции.

2. Носимоспособност на зид, усилен с вертикални и хоризонтални ивици от FRP – предпоставки в различните стандарти

В дисертацията са описани трите световни стандарта в тази област с оглед на практическото им приложение. Наблегнато е на допустимите напрежения и деформации във FRP ивиците. Разгледани са:

2.1. ACI440.7R-10

2.2. CNR DT 200/2004

2.3. CNR DT 2000/2004/R1

3. Работна диаграма на зидарията при натиск. Обзор на теориите

В дисертацията са разгледани основните постановки при работа на зидарията на натиск. Това е нужно с цел създаване на интеракционна M-N диаграма.

Разгледани са следните източници:

3.1. Норми за проектиране на зидани конструкции

3.2. Еврокод 6

3.3. Американски норми ACI 530

3.4. CNR DT 200/2004

3.5. Изследвания на различни учени

Извод: Приетите допустими деформации и апроксимации на работната диаграма на зидарията в CNR-DT200/2004 и ACI 440.7R-10 са подходящи и се потвърждават добре от експериментите.

4. Обзор на научни разработки и експерименти в българската и световната практика.

4.1. Експерименти в България

В България са проведени относително малко научни разработки на подобна тематика. Повечето се отнасят до усиляване на колони и няколко за стени. В дисертацията са описани накратко следните разработки:

4.1.1. Съвместен експеримент на УАСГ и ISOMAT

4.1.2. Дисертация на Борислава Николова-Каменарова

4.1.3. Дисертация на инж. Теодор Тодоров

4.1.4. Дисертация на Николай Богданов

4.1.5. Трудове на Николета Баракова.

4.2. Експерименти по света

В чужбина са проведени изследвания доста близки до предвидения за провеждане експеримент.

В дисертацията са описани накратко следните експерименти

4.2.1. Експеримент в Колумбия [Vega, C., Torres, N. (2018). External strengthening of unreinforced masonry walls with polymers reinforced with carbon fiber. Ingeniería e Investigación, 38(3),15-23. DOI: 10.15446/ing.investig.v38n3.73151 - http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092018000300015]

4.2.2. Японски експеримент [Rahman, Ataur & Ueda, Tamon. (2016). In-Plane Shear Performance of Masonry Walls after Strengthening by Two Different FRPs. Journal of Composites for Construction. 20. 04016019. 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000661.]

IV. Относно допустими напрежения и деформации във FRP ивиците

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

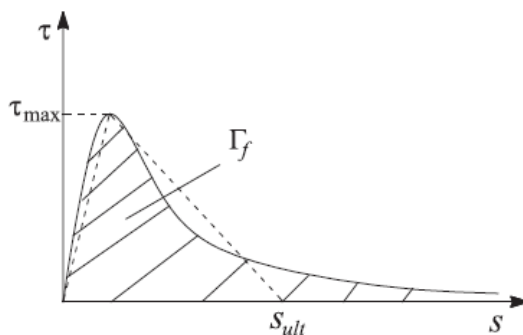
1. Допустими напрежения и деформации във FRP ивиците. Теоретична постановка
2. Допустима сила във FRP ивица, съгласно нормите
3. Експериментални резултати и сравнението им с теоретичните
4. Изводи
5. Дължина на закотвяне

Изводите са във връзка с това кой стандарт се доближава най-много до експериментални резултати по света и за тяхната консервативност.

1. Допустими напрежения и деформации във FRP ивиците. Теоретична постановка

Материалът, от който са направени усилящите ивици е с много голяма якост, и най-вероятната форма на разрушение е отлепяне, т. нар. „deboning“ на FRP ивиците.

Debonding настъпва обикновено с разрушаване от срязване на основата (тухлена стена, бетон), върху която се залепя FRP ивицата, а не в лепилния слой, защото той е по-здрав, нито по границата на лепилния слой с FRP ивицата или основата, защото адхезията е достатъчно голяма. Напреженията на срязване са разпределени по силно криволинеен закон по дължина на FRP ивицата като след определено разстояние, представляващо дължината на закотвяне, са много малки.



Фиг. 56. Диаграма на разпределение на тангенциалните напрежения при залепена ивица от FRP [Francesca Ceroni, Barbara Ferracuti, Marisa Pecce, Marco Savoia, Assessment of a bond strength model for FRP reinforcement externally bonded over masonry blocks,

Composites Part B: Engineering, Volume 61, 2014, Pages 147-161, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.028>.]

Максималната сила, която може да поеме ивицата от FRP, е:

$$F_{max} = b_f \int_0^{\infty} \tau(x) dx$$

Специфичната енергия на разрушение Γ_f (в дименсия енергия/единица площ) [Iman Mansouri, Ozgur Kisi, Prediction of debonding strength for masonry elements retrofitted with FRP composites using neuro fuzzy and neural network approaches, Composites Part B: Engineering, Volume 70, 2015, Pages 247-255, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.11.023>.] е:

$$\Gamma_f = \int_0^{\infty} \tau(s) ds$$

където s е приплъзването на FRP ивицата спрямо основата.

След преработка на тези изрази, приемайки билинейната апроксимация на диаграмата на срязващите напрежения до s_{ult} , се стига до формулите в стандарта CNR-DT 200 за определяне на допустими напрежения и деформации в FRP ивиците, дадени в глава 2.

2. Допустима сила във FRP ивица, съгласно нормите

2.1. Допустима сила във FRP ивицата, съгласно CNR-DT 200

От заместването на формули, дадени в глава 3, и отчитайки факта, че изчислителната максимална сила в усилящата ивица е $F_{cnr-dt,d} = f_{td} \cdot b_f \cdot t_f$, получаваме следната формула:

$$F_{cnr-dt,d} = \frac{1}{\gamma_{fd} \cdot \sqrt{\gamma_M}} \cdot b_f \cdot \sqrt{2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot f_{mk} \cdot \sqrt{0,1} \cdot 0,015} \quad (5)$$

Тази сила, съгласно изискванията на стандарта за максимални деформации във FRP материала, не трябва да е по-голяма от:

$$F_{cnr-dt,d,max} = \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f} \cdot E_f \cdot t_f \cdot b_f \quad (6)$$

където ε_{fk} - допустими деформации при скъсване на FRP, задават се от производителя

η_a - фактор на конвертиране (conversion factor) – взима се от таблица 3,4 на CNR DT 200/2004] и за външни ивици от FRP е за стъклени нишки 0,65, за арамидни нишки 0,75, за карбонови нишки 0,85

γ_f - частен коефициент на сигурност, взима се съгласно таблица 3,2 на CNR DT 200/2004] и е със стойност 1,1 за сертифицирани системи и апликация тип А), съгласно точка 2,5 на CNR DT 200/2004] и 1,25 за несертифицирани системи (апликация тип В)

Оттам характеристичната стойност, без отчитане на коефициентите за сигурност, се получава:

$$F_{cnr-dt,k} = b_f \cdot \sqrt{2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot f_{mk} \cdot \sqrt{0,1} \cdot 0,015} \leq \eta_a \cdot \varepsilon_{fk} \cdot E_f \cdot t_f \cdot b_f \quad (7)$$

По тази формула могат да бъдат изчислени силите, които се сравняват с експерименталните.

2.2. Допустима сила във FRP ивицата, съгласно CNR-DR 200/R1

От заместването на формули, дадени в глава 3, и отчитайки факта, че изчислителната максимална сила в усилящата ивица е $F_{cnr-dt-R1,d} = f_{dd} \cdot b_f \cdot t_f$, получаваме следната формула:

$$F_{cnr-dt-R1,d} = \frac{1}{\gamma_{fd} \cdot \sqrt{FC}} \cdot b_f \cdot \sqrt{2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot f_{mb} \cdot \sqrt{0,1} \cdot k_c \cdot \sqrt{\frac{3 - b_f/b}{3 - b_f/b}}}$$

Тази сила, съгласно изискванията на стандарта за максимални деформации във FRP материала, не трябва да е по-голяма от дадената по формула

Характеристичната стойност, без отчитане на коефициентите за сигурност, се получава:

$$F_{cnr-dt,k} = b_f \cdot \sqrt{2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot f_{mb} \cdot \sqrt{0,1} \cdot k_c \cdot \sqrt{\frac{3 - b_f/b}{3 - b_f/b}}} \leq \eta_a \cdot \varepsilon_{fk} \cdot E_f \cdot t_f \cdot b_f$$

Означенията са дадени в глава 3.

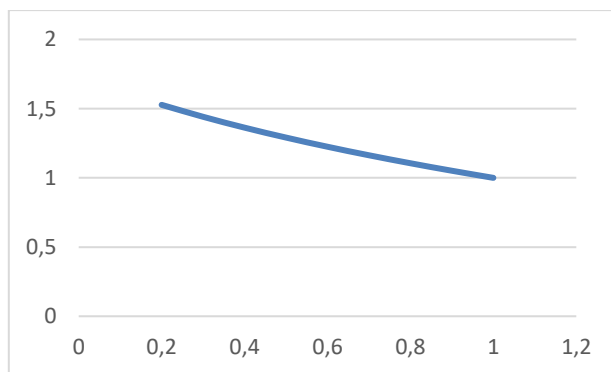
Коментар и сравнение между CNR-DT 200 и CNR-DT 200/R1

Допустимите усилия, получени по редакцията CNR-DT 200/R1 са значително по-големи от получените по първоначалния вариант на стандарта, поради няколко съществени различия:

Първо, в редакцията на стандарта се използва средната, а в първоначалния вариант характеристичната стойност (5% фрактил) на натисковата якост на зида. Имайки предвид, че якостта на зид е случайна величина с голямо разсейване от средната стойност (за разлика от тази на стоманата, например), това ще доведе до сериозни разлики.

Второ, коефициентът c_1 при определяне на специфичната енергия на разрушение е заменен с k_c . Този коефициент за тухлен зид е 0,031, което е над два пъти повече от стойността на $c_1=0,015$.

Трето, добавен е коефициент k_b . Нека изследваме стойностите на този коефициент от случая, когато широчината на FRP ивицата е равна на широчината на усиления елемент (такъв случай е почти невъзможен в практиката) до стойности около 1/5 на отношението на ефективната широчината на FRP ивицата към широчината на усиления елемент (5см ивица върху зид от тухли 25см, например).



Фиг. 47. Стойности на k_b

Вижда се, че той е по-голям от 1, като за често срещаните в практиката случаи има стойности 1,2-1,4.3.4.

2.3. Определяне на допустима сила във FRP ивиците, използвайки методиката на ACI 440.7R-10

Този стандарт използва значително по-опростена методика, която се основава на емпирични зависимости. Допустимите деформации на усилящата ивица се дават с различни формули в зависимост от това дали се изследва разтушение от огъване или от срязване. Тъй като при разрушение от огъване се достига до по-ясно и чисто напрегнато състояние, доста подобно на това, което се реализира в експериментите за определяне на

сила при разлепяне, тук ще бъде използвана именно тази методика за изчисляване на допустимата сила в усиляваща лента.

[5]

$$\varepsilon_{fe} = k_m \cdot \varepsilon_{fu} \leq C_E \cdot \varepsilon_{fu} \quad (13)$$

Където $k_m = 0,45$ за залепени по повърхността на стената FRP и други стойности за други начини на залепяне на FRP

C_E – коефициент, зависещ от вида на FRP

ε_{fu}^* - допустими деформации в FRP

Ако разрушението е от срязване има различна и по-усложнена методика за изчисление на допустимите напрежения. Разликата е в замяна на коефициента k_m с k_v , като k_v има стойности от 0,2 до 0,4 в зависимост от физико-механичния коефициент на армиране с FRP.

Допустимата характеристична сила в ивица от FRP при отчитане, че $F_{aci,k} = \varepsilon_{fe} \cdot E_f \cdot b_f \cdot t_f$, е:

$$F_{aci,k} = k_m \cdot \varepsilon_{fu}^* \cdot E_f \cdot b_f \cdot t_f \leq C_E \cdot \varepsilon_{fu}^* \cdot E_f \cdot b_f \cdot t_f$$

По тази формула могат да се изчислят сила, която да се сравни с експерименталната.

3. Експериментални резултати и сравнението им с теоретичните

В дисертацията са показани експериментални резултати от различни литературни източници по света. Направени са изчисления и са сравнени експерименталните и теоретичните резултати.

При направата на изчисленията при липса на данни е приемана деформация при скъсване 1,7%, която е характерна за повечето карбонови FRP ленти.

Резултатите от изпитванията, при които разрушението не е от debonding, а друг тип, например разрушение на тухлата, не са включени, като непоказателни за допустимата сила във FRP ивицата. В експериментите, където експериментът е двустранен, са дадени силите на срязване за едната ивица, т.е. половината от експериментално измерените.

За по-голяма яснота е давана и изчислителна и характеристична стойност на силата при разрушение по CNR-DT 200.

N	Ef, MPa	tf, mm	fm, Mpa	bf, mm	b, mm	$\epsilon_{\max}$, %	Experiment, N min-max		Забележка	Пуб- лику- вано
1	230000	0,165	17,4	40	120	1,7	10030	10960	lc=150-200mm, 3x6 експер.	[6]
2	230000	0,165	17,4	60	120	1,7	12480	13670	lc=160-220mm, 4x3 експер.	[6]
3	230000	0,165	17,4	80	120	1,7	14630	19000	lc=160-240mm, 5x3 експер.	[6]
4	240000	0,17	7,3	50	120	1,45	13000		lc=250mm, 1 експеримент	[7]
5	200000	0,097	7,3	50	120	1,45	11500		lc=250mm, 1 експеримент	[7]
6	230000	0,165	42,3	50	120	1,5	18100		lc=200mm, 1x5 експерименти	[8]
7	215000	0,117	8,8	25	130	1,7	4340		lc=150mm, 1x3 експерименти	[9]
8	132200	0,172	16,4	50	120	1,87	4540		lc=200mm, 1x2 експерименти	[10]
9	132200	0,172	18,3	50	120	1,87	5780		lc=200mm, 1x2 експерименти	[10]
10	132200	0,172	31,8	50	110	1,87	7360		lc=200mm, 1x2 експерименти	[10]
11	132200	0,172	30,2	50	130	1,87	6850		lc=200mm, 1x2 експерименти	[10]
13	233000	0,17	19,8	50	120	1,26	5870	9070	lc=160mm, 5x5 експерименти	[11]
14	240000	0,165	19,2	50	120		6810		lc=200mm, 1x3 експерименти	[1] *
15	240000	0,17	9,9	50	120		6280	8970	lc=200mm, 2x5 експерименти	[12]
16	240000	0,17	24,9	50	140		17050	18040	lc=250mm, 4x1 експерименти	[13]
17	240000	0,17	40,9	50	140		14800	20400	lc=250mm, 4x1 експерименти	[13]
18	230000	0,17	33,5	50	250	1,6	15940	20150	lc=200mm, 1x5 експерименти	[14]
*University of Sannio, вътрешен доклад										

Табл. 9. Експериментални резултати за карбонови нишки, залепени външно за тухлен

зид

Ef, MPa	tf, mm	fm, Mpa	bf,	b,	Fc _{nr} -dt, N	Fc _{nr} -dt,d, N	Fc _{nr} -dt- R1, N	Fc _{nr} -dt- 1,d, N	Faci-M, N	Experiment, N min-max	
230000	0,165	17,4	40	120	3165,93	1865,54	5412,45	3189,32	10400	10030	10960
230000	0,165	17,4	60	120	4748,89	2798,31	7756,93	4570,81	15600	12480	13670
230000	0,165	17,4	80	120	6331,86	3731,08	9901,44	5834,48	20800	14630	19000
240000	0,17	7,3	50	120	2657,80	1566,12	4440,03	2616,31	13000	13000	
200000	0,097	7,3	50	120	1832,71	1079,93	3061,66	1804,10	6329,25	11500	
230000	0,165	42,3	50	120	6170,31	3635,89	10307,90	6073,99	12808,1	18100	
215000	0,117	8,8	25	130	1145,66	675,08	2040,23	1202,22	4810,89	4340	
132200	0,172	16,4	50	120	2973,94	1752,41	4968,16	2927,52	8952,05	4540	
132200	0,172	18,3	50	120	3141,49	1851,14	5248,07	3092,45	9567,18	5780	
132200	0,172	31,8	50	110	4141,18	2440,21	6847,29	4034,81	8697,44	7360	

Моделиране и изследване поведението на усилен строителни конструкции

132200	0,172	30,2	50	130	4035,66	2378,03	6801,44	4007,79	8697,44	6850	
233000	0,17	19,8	50	120	4312,86	2541,38	7204,92	4245,54	13000	5870	9070
240000	0,165	19,2	50	120	4247,58	2502,91	7095,86	4181,28	13000	6810	
240000	0,17	9,9	50	120	3095,13	1823,82	5170,61	3046,81	13000	6280	8970
240000	0,17	24,9	50	140	4908,63	2892,44	8336,00	4912,03	13000	17050	18040
240000	0,17	40,9	50	140	6291,04	3707,03	10683,65	6295,40	13000	14800	20400
230000	0,17	33,5	50	250	5573,67	3284,32	9903,09	5835,45	13000	15940	20150

Табл. 10. Експериментални и изчислителни резултати за карбонови нишки, залепени външно за тухлен зид

N	Ef, MPa	tf, mm	fm, Mpa	bf, mm	b, mm	ϵ_{max} , %	Experiment, N min-max		Забележка	Публикувано
1	73000	0,12	7,3	50	120	2,2	5250		lc=250mm, 1 експеримент	[7]
2	65000	0,23	42,3	50	120	2,8	13340		lc=200mm, 1x5 експерименти	[8]
3	80000	0,149	8,8	25	130	1,7	4750	4910	lc=150-200mm, 2x3 експер.	[9]
4	84251	0,12	19,8	50	120		3880	5090	lc=160mm, 6x5 експерименти	[7]
5	83397	0,14	19,2	50	120	1,7	6810	4930	lc=200mm, 1x2 експерименти	[11]
6	73000	0,12	7,25	50	120	1,7	10500		lc=250mm, 1x3 експерименти	[1] *
7	80200	0,15	15,7	25	235		3170	5460	lc=150-200mm, 26x1 експер.	[15]
12	84251	0,12	19,8	50	120	1,69	4300	5765	lc=160mm, 5x5 експерименти	[11]
*University of Sannio, вътрешен доклад										

Табл. 11. Експериментални резултати за стъклени нишки, залепени външно за тухлен зид

Ef, MPa	tf, mm	fm, Mpa	bf, mm	b, mm	F _{cnr-dt} , N	F _{cnr-dt,d} , N	F _{cnr-dt-R1} , N	F _{cnr-dt-R1,d} , N	F _{aci-M} , N	Experiment, N min-max	
73000	0,12	7,3	50	120	1231,53	725,68	2057,35	1212,30	3350,7	5250	
65000	0,23	42,3	50	120	3872,77	2282,05	6469,71	3812,31	5718,38	13340	
80000	0,149	8,8	25	130	788,64	464,71	1404,45	827,58	2279,7	4750	4910
84251	0,12	19,8	50	120	2178,92	1283,94	3640,03	2144,91	3867,12	3880	5090
83397	0,14	19,2	50	120	2306,39	1359,06	3852,98	2270,39	4465,91	6810	4930
73000	0,12	7,25	50	120	1227,30	723,20	2050,29	1208,14	3350,7	10500	
80200	0,15	15,7	25	235	1058,24	623,57	1934,65	1140,00	2300,74	3170	5460
84251	0,12	19,8	50	120	2178,92	1283,94	3640,03	2144,91	3867,12	4300	5765

Табл. 12. Експериментални и изчислителни за стъклени нишки, залепени външно за тухлен зид

4. Изводи

Ако приемем експерименталните резултати за 1, то получаваме следните стойности за теоретично получените:

N	F_{cnr-dt}, N	F_{cnr-dt}- R1, N	F_{aci-M}, N
1	0,32	0,54	1,04
2	0,38	0,62	1,25
3	0,43	0,68	1,42
4	0,20	0,34	1,00
5	0,16	0,27	0,55
6	0,34	0,57	0,71
7	0,26	0,47	1,11
8	0,63	1,06	1,97
9	0,54	0,91	1,66
10	0,56	0,93	1,18
11	0,59	0,99	1,27
13	0,73	1,23	2,21
14	0,62	1,04	1,91
15	0,49	0,82	2,07
16	0,29	0,49	0,76
17	0,43	0,72	0,88
18	0,35	0,62	0,82

Табл. 13. Сравнение на теоретични и експериментални резултати за карбонови нишки, залепени външно за тухлен зид

N	F_{cnr-dt}, N	F_{cnr-dt}- R1, N	F_{aci-M}, N
1	0,23	0,39	0,64
2	0,29	0,48	0,43
3	0,17	0,30	0,48
4	0,56	0,94	1,00
5	0,34	0,57	0,66
6	0,12	0,20	0,32
7	0,33	0,61	0,73

8	0,51	0,85	0,90
---	------	------	------

Табл. 14. Сравнение на теоретични и експериментални резултати за стъклени нишки, залепени външно за тухлен зид

На база на направения сравнителен анализ на експериментални и теоретични резултати може да се направят следните изводи:

Резултатите, получени по първата редакция CNR-DT 200, са твърде консервативни и се различават чувствително от експериментите.

Резултатите, получени по втората редакция CNR-DT 200/R1, са по-близки до истината и в почти всички случаи в полза на сигурността. Тъй като често се оказват доста консервативни, би било икономически изгодно да се използва подходът на „проектиране чрез изпитване“ при по-големи обекти за намаляване на количеството вложени материали за усиляването.

Американските норми ACI440.7R-10 дават най-близки до експерименталните резултати, макар изчислителната постановка да е несравнимо по-проста и отчитаща много по-малко входни данни. Проблемът е, че често получените резултати не са в полза на сигурността.

Като заключение може да се каже, че най-подробен и с най-надеждни резултати се оказва CNR-DT 200/R1.

5. Дължина на закотвяне

В дисертацията са описани някои особености и са направени някои модели, свързани с дължината на предаване на напреженията. Разбира се, на модел тази дължина е по-малка от изчислителната, защото реалната конструкция има несъвършенства.

Като извод може да се направи, че модулът на еластичност на лепилния слой оказва влияние върху дължината на предаване на напреженията, макар това да не се отчита в никой от нормативните документи.

V. Определяне на коравината в равнината на усилена с FRP зидана стена

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

- 1. Описание на проблема*
- 2. Определяне на приведен център на тежестта на усилена стена с определена дължина на натисковата зона*
- 3. Определяне на приведения инерционен момент на усилената стена*
- 4. Коефициент на модификация на коравината в програмен продукт*
- 5. Електронна таблица в Microsoft Excel*

За да може да се моделира правилно стена, усилена в ивици от FRP трябва да се познава нейната коравина. В тази глава се извеждат формули за модифициране на коравината в програмен продукт, при положение, че стената е усилена с равномерно разпределени ивици от FRP.

1. Описание на проблема

Проблемът за коравината на зидана стена в нейната равнина, усилена с вертикални и хоризонтални ивици от FRP е една от задачите задача, които си поставихме. Тази коравина служи за по-коректно определяне на собствените периоди на трептене (макар че при зидани конструкции за добра точност трудно може да се говори), за определяне на хоризонтални премествания на сградата и прочее.

Задачата е сложна поради няколко фактора:

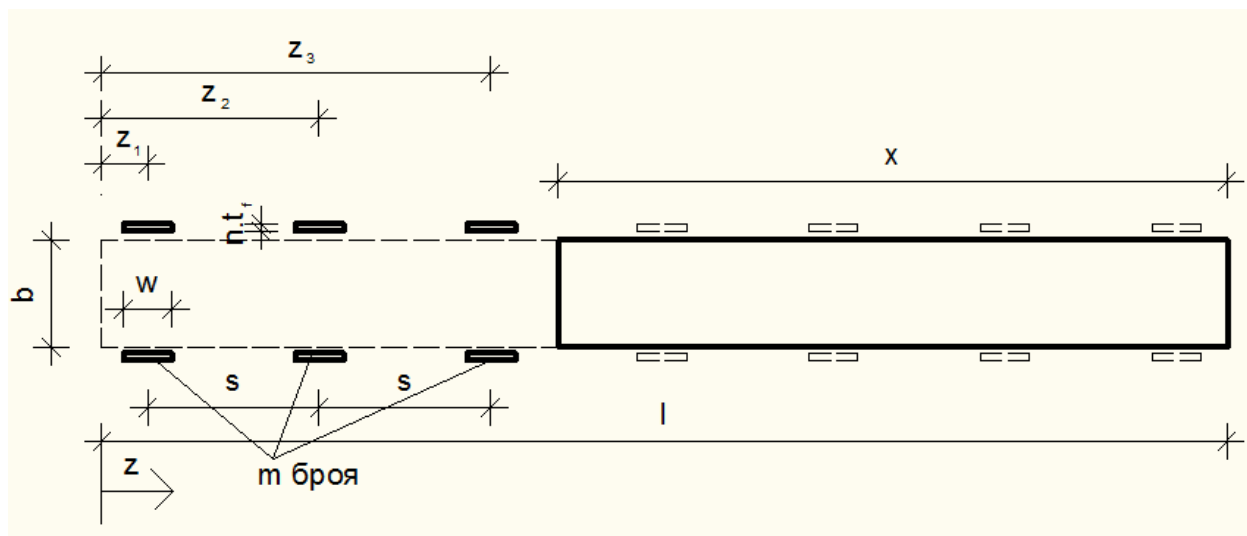
- участието на зидарията се изключва от работа в опънна зона
- участието на вертикалните FRP ивици се изключва от работа в натискова зона

Описание на подобен проблем при стоманобетонни сечения (има се предвид изключване на бетона в опънната зона, не усиляване) има в [Иванчев, И. Проектиране на стоманобетонни мостове според Еврокод 2. ISBN 954-8873-97-3]

Ако проблемът за изключване на зидарията при работа на опън е аналогичен с този при стоманобетонните елементи, то изключването на FRP ивиците на натиск е специфичен проблем. Трудността му се свежда до това, че трябва с обща формула да се обхване първо каква бройка от тези ивици ще „сработят“ при съответна височина на натисковата зона и второ техният принос да се обхване в една формула, удобна за компютъризиран анализ (по възможност да се избегнат цикли за по-лесно вкарване в среда на Microsoft Excel, например).

Ще разгледаме стена, усилена с вертикални ивици от FRP през равни разстояние, ивиците са разположени една срещу друга. Надлъжните деформации на натиск, в следствие на постоянни въздействия по време на усиляването са приети за пренебрежимо малки. Считаме, че хоризонталните ивици от FRP са оразмерени така, че да гарантират неразрушение от срязване.

Схематично проблемът е представен на фигурата:



Фиг. 50. Означения при задачата за коравина в равнината на стена

Използвани са следните означения (за краткост индексът „f“, който обичайно се слага при означенията, свързани с FRP системата, е изпуснат):

w – широчината на FRP ивиците

s – осовото разстояние между FRP ивиците

n – брой слоеве от FRP, полагани един върху друг от едната страна на стената

t_f – номинална дебелина на един слой FRP

E_f – модул на еластичност на FRP

E_b – модул на еластичност на зидарията

b – широчина на зида

l – дължина на зида

z_1 – разстояние от опънатия край на стената до оста на първата вертикална ивица от FRP

z_i – разстояние от опънатия край на стената до оста на i -тата вертикална ивица от FRP

m – брой на опънатите FRP ивици

x – височина на натисковата зона

2. Определяне на приведен център на тежестта на усилена стена с определена дължина на натисквата зона

Дебелината на двата слоя FRP, намиращи се един срещу друг, е:

$$t^* = t_f \cdot n \cdot 2$$

Приведената дебелина към материал тухлен зид е:

$$t = t_f \cdot n \cdot 2 \cdot E_f / E_b$$

Координатата на центъра на тежестта спрямо опънатия ръб на стената е:

$$z_c = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{\sum_{i=1}^m t \cdot w \cdot z_i + x \cdot b \cdot \left(l - \frac{x}{2}\right)}{\sum_{i=1}^m t \cdot w + x \cdot b}$$

Първо, нека определим броя на опънатите FRP ивици m .

$$m = \text{roundup}\left(\frac{l - x - z_1}{s}; 0\right)$$

където roundup е оператор за изкарване на резултата от деленето, закръглен нагоре, а брой знаци след десетичната запетая, указан след „;“, в случая 0 означава цяло число.

Оттам, нека съобразим, че сумите могат да се представят и без използване на цикличен алгоритъм в програма:

$$\sum_{i=1}^m t \cdot w \cdot z_i = t \cdot w \cdot \sum_{i=1}^m z_i$$

Като вземем предвид, че

$$z_2 = z_1 + 1s, z_3 = z_1 + 2s, z_4 = z_1 + 3s, \dots$$

можем да напишем общата формула, че

$$z_n = z_1 + (n-1) \cdot s$$

Тогава

$$t. w. \sum_{i=1}^m z_i = t. w. (m. z_1 + s. \sum_{i=1}^{m-1} i)$$

Като използваме Гаусова сума, а именно:

$$\sum_{i=1}^{m-1} i = 1 + 2 + 3 + \dots + (m-1) = \frac{1 + (m-1)}{2} (m-1) = \frac{m(m-1)}{2}$$

Оттам

$$t. w. \left(m. z_1 + s. \sum_{i=1}^{m-1} i \right) = t. w. \left(m. z_1 + \frac{m(m-1)}{2} \right)$$

Втората сума от израза за центъра на тежестта е:

$$\sum_{i=1}^m t. w = m. t. w$$

Следователно за центъра на тежестта се получава:

$$z_c = \frac{t. w. \left(m. z_1 + \frac{m(m-1)}{2} \right) + x. b. \left(l - \frac{x}{2} \right)}{m. t. w + x. b}$$

Това вече е лесен за употреба израз, включващ в себе си изключване на опън (за зидарията) и на натиск (за FRP-то), работещ за произволна стена.

3. Определяне на приведения инерционен момент на усилената стена

Приведеният инерционен момент спрямо ос, перпендикулярна спрямо надлъжната ос на стената и минаваща през центъра на тежестта, е:

$$I = \frac{b. x^3}{12} + b. x. \left(l - \frac{x}{2} - z_c \right)^2 + \sum_{i=1}^m t. w (z_c - z_i)^2$$

Аналогично на предишната точка, нека се опитаме да изразим сумата така, че да не се налага използване на циклични алгоритми.

$$\sum_{i=1}^m t \cdot w(z_c - z_i)^2 = t \cdot w \sum_{i=1}^m (z_c - z_i)^2$$

$$\sum_{i=1}^m (z_c - z_i)^2 = (z_c - z_1)^2 + (z_c - z_2)^2 + \dots + (z_c - z_m)^2$$

$$z_2 = z_1 + 1s, z_3 = z_1 + 2s, z_4 = z_1 + 3s, \dots, z_m = z_1 + (m-1) \cdot s$$

Оттам

$$\sum_{i=1}^m (z_c - z_i)^2 = (z_c - z_1)^2 + (z_c - z_1 - s)^2 + \dots + (z_c - z_1 - (m-1)s)^2$$

Като вземем предвид, че

$$(z_c - z_1 - ns)^2 = (z_c - z_1)^2 - 2 \cdot (z_c - z_1) \cdot ns + (ns)^2$$

То

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m (z_c - z_i)^2 &= m \cdot (z_c - z_1)^2 - 2 \cdot (z_c - z_1) \cdot (s + 2s + 3s + \dots + (m-1)s) \\ &\quad + (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (m-1)^2) \cdot s^2 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^m (z_c - z_i)^2 = m \cdot (z_c - z_1)^2 - 2 \cdot (z_c - z_1) \cdot s \cdot \sum_{i=1}^{m-1} i + s^2 \sum_{i=1}^{m-1} i^2$$

Първата сума ще развием като Гаусова сума:

$$\sum_{i=1}^{m-1} i = 1 + 2 + 3 + \dots + (m-1) = \frac{m(m-1)}{2}$$

За развитие на втората сума ще ползваме познатата формула [Милкоева, Б., Математически справочник с формули, графики, таблици и чертежи по елементарна математика, (ISBN: 9549034216)]:

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

Следователно

$$\sum_{i=1}^{m-1} i^2 = 1^2 + 2^2 + \dots + (m-1)^2 = \frac{(m-1)(m-1+1)(2(m-1)+1)}{6} = \frac{m(m-1)(2m-1)}{6}$$

Следователно

$$\sum_{i=1}^{m-1} (z_c - z_i)^2 = m(z_c - z_1)^2 - 2 \cdot (z_c - z_1) \cdot s \cdot \frac{m \cdot (m-1)}{2} + s^2 \cdot \frac{m \cdot (m-1) \cdot (2m-1)}{6}$$

За инерционния момент получаваме:

$$I = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \left(l - \frac{x}{2} - z_c \right) + t \cdot w (m(z_c - z_1)^2 - 2(z_c - z_1) \cdot s \cdot \frac{m(m-1)}{2} + s^2 \cdot \frac{m(m-1)(2m-1)}{6})$$

4. Коефициент на модификация на коравината в програмен продукт

Ако стената е моделирана като хомогенно сечение с коравинни характеристики на зидария, коравината на огъване в равнината се променя с коефициент

$$k = \frac{I}{I_b} = \frac{I \cdot 12}{b \cdot l^3}$$

5. Електронна таблица в Microsoft Excel

За целите на дисертацията е съставена електронна таблица в среда на Microsoft Excel, която може да се използва за практически цели.

VI. Оразмеряване на усиление с FRP. Процедура.

Изводи

Кратко описание на главата:

В тази глава са разгледани:

1. Общи постановки

2. Носимоспособност на зид, усилен с FRP материали, в равнината му.

Интеракционна диаграма

3. Таблица с диаграма в среда на Microsoft Excel

За оразмеряването на нецентричен натиск на зидани стени, усилен с вертикални ивици от FRP един от най-удобните начини е използването на интеракционна диаграма. Разработени са формули, по които може да се чертае такава диаграма за стена, усилен с равномерно разпределени ивици от FRP. Направена е таблица в среда на Microsoft Excel за практическо приложение.

1. Общи постановки

В стандартите [CNR DT 200/2004] и [ACI440.7R-10 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures] се задават общи насоки за оразмеряване на усиление на зидани стени с FRP материали в и извън равнината им. Целта на настоящата глава от дисертацията е да се разработи процедура за оразмеряване на зидани стени, усилен с FRP. Това намира разнообразно приложение в реалната практика, например при сеизмично усиление на зидани конструкции е важно да се определи носимоспособността в равнината на тухлената стена, действаща като шайба.

Някои основни постановки са дадени и в [Benedetti, Andrea & Steli, Elisa. (2008). Analytical models for shear–displacement curves of unreinforced and FRP reinforced masonry panels. Construction and Building Materials - CONSTR BUILD MATER. 22. 175-185. 10.1016/j.conbuildmat.2006.09.005.].

2. Носимоспособност на зид, усилен с FRP материали, в равнината му.

Интеракционна диаграма

Основните постановки за изследване на носимоспособността на зид, усилен с вертикални ивици от FRP за действие на огъващ момент и нормална сила са дадени в глава 2.

Един от начините за изследване на нецентрично натиснати и нецентрично опънати елементи, който доби популярност в последно време и добре онагледява

носимоспособността на сечението, особено при необходимост то да се провери за няколко двойки усилия момент и нормална сила, е интеракционната диаграма.

Особеностите при построяване на интеракционна диаграма на зидана стена, усилена с FRP материали, в сравнение със стоманобетонна стена, са следните

- FRP тъканта има идеално линейно-еластична зависимост напрежения-деформации, за разлика от армировката, която има площадка на провлачане
- процедурата трябва да е такава, че да изчислява допустимите деформации във FRP, защото те зависят от типа нишки и характеристиките на усиляваната стена
- процедурата трябва да е такава, че да отчита кога FRP ивицата е натисната – на всяка итерация да определя броя опънати и натиснати ивици и да изключва от работа натиснатите
- да определя сама броя ивици, т.е. да бъде възможна работа при произволна стена със зададено разстояние между ивиците
- тъй като FRP ивиците не се поставят като армировката – в нулево напрегнато състояние, то процедурата трябва да отчита напреженията в стената по време на поставянето на FRP – стената ще е натисната поне с вертикален товар. Обикновено тези напрежения могат да се приемат равномерно разпределени
- допълнителна особеност е определянето на допустимите усилия, когато никоя ивица не е „сработила“, т.е. сечението е нецентрично натиснато с резултанта в ядрото – този проблем не е свързан с проблема за усиляване с FRP, но е важен за определяне на носимоспособността на съществуващата стена и необходимостта от усиляване по друг начин

Процедура за чертане на интеракционна диаграма за стоманобетонна стена е дадена в [Милев, Й, В. Кърджиев, Проектиране на стоманобетонни конструкции по Еврокод 8, ISBN 987-954-92274-3-11], насоки за чертане на интеракционна диаграма на материал, който не допуска опън, са дадени в [Simple Method for the Design of Jet Grouted Umbrellas in Tunneling, Gian Piero Lignola, Gaetano Manfredi, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 134(12):1778-1790 · December 2008]

На база на тези насоки ще бъде показана процедура за чертане на интеракционна диаграма на зидана стена, усилена с FRP материали.

Нека първо се спрем интеракционна диаграма на зидана стена, която не е натоваряна с начални напрежения по време на залепяне на FRP ивиците, примерно стена на последен етаж от сграда с демонтиран покрив или с пренебрежимо малък товар от него. Ще работим с постановките, дадени в [CNR DT 200/2004/R1].

Нека разгледаме случая, където FRP са разположени на равно разстояние, еднакви са (което е най-честия случай в практиката), техният брой е произволен (зададени са чрез разстоянието между тях) и стената е с правоъгълно сечение в план (не се отчита съдействие на напречна стена).

Дадено:

L – дължина на зида

b – широчина на зида

f_{mb} – средна стойност на натисковата якост на зидарията

FC – частен коефициент за сигурност на зидарията, определен в зависимост от типа зидария, съгласно Еврокод 6 [БДС EN 1996]

Тип нишки, използвани за усиляване: карбонови нишки, арамидни нишки, стъклени нишки

Тип система: сертифицирана система (апликация тип A, несертифицирана система (апликация тип B)

t_f – номинална дебелина на един слой FRP

E_f – модул на еластичност на FRP

w – широчината на FRP ивиците

s – осовото разстояние между FRP ивиците

a – разстояние от опънатия край на стената до оста на първата вертикална ивица от FRP

ε_{fk} - допустими деформации при скъсване на FRP

l_b – дължина на закотвяне: поне необходимата или под необходимата със съответна големина

Търси се:

Интеракционна M N диаграма на носимоспособността на сечението

Допълнителни означения:

n – брой на опънатите FRP ивици

x – височина на натисковата зона

ε_c – деформация на натиснатия ръб

ε_t – деформация на най-опънатата FRP ивица

ε_{fd} – допустими деформации във FRP ивиците

l_e - необходима дължина на закотвяне

1. Определяне на допустимите деформации във FRP ивиците

По методиката, описана в глава 3 последователно се определят:

η_a и γ_f се определят в зависимост от типа на системата

$$\Gamma_{fd} = \frac{k_b \cdot k_c}{FC} \cdot \sqrt{f_{mb} \cdot f_{btm}}$$

f_{btm} – опънна якост на зидарията, според [CNR DT 2000/2004/R1] може да се приеме като $0,1 \cdot f_{mb}$

FC – коефициент за сигурност, тъй като става въпрос за усиляване на тухлен зид е логично да се приеме коефициента γ_M от Еврокод 6, макар да не е дадена нужната конкретика

k_b – коефициент, отчитащ геометрията

$$k_b = \sqrt{\frac{3 - b_f/b}{1 + b_f/b}}$$

където b е широчината на усиления елемент, ако той е с размер повече от 1 тухла, до края на тухлата, върху която е закрепена FRP ивицата, b_f е изяснено по-горе.

$$l_e = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{fk}}{2}}; 150mm \right\}$$

$\gamma_{Rd} = 1,25$ за тухлен зид

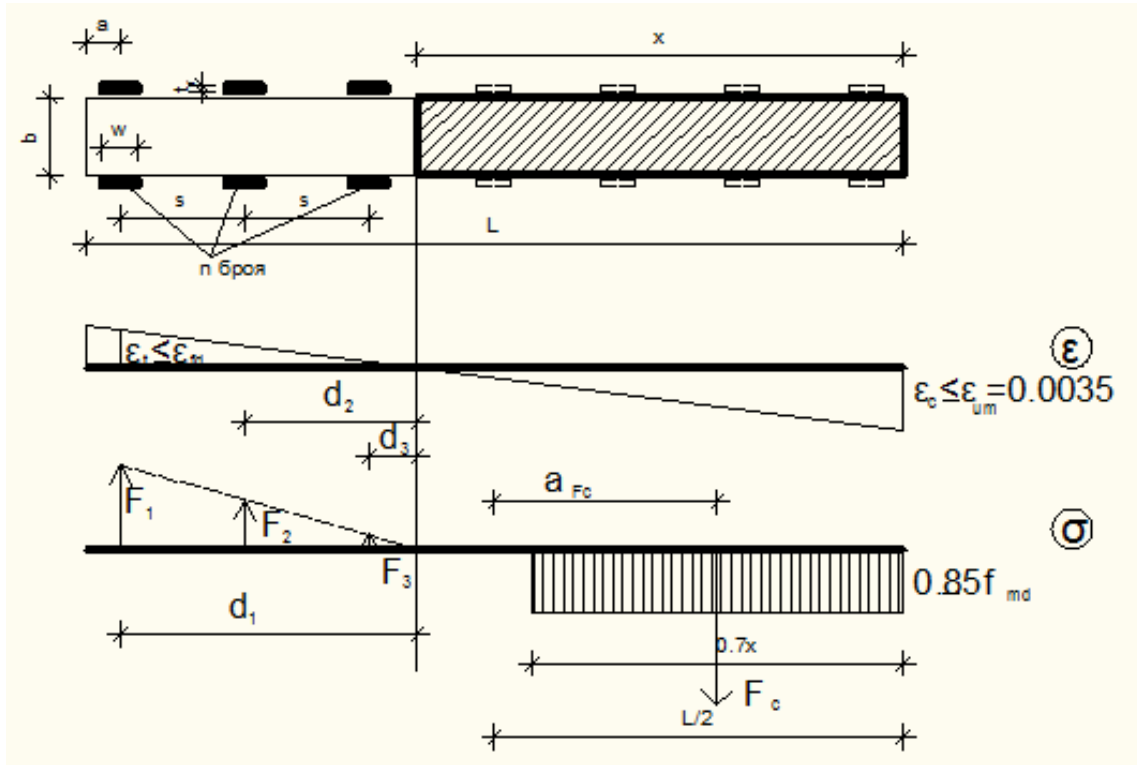
$$f_{fdd} = \text{if} \left(l_b = l_e; \frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}}; \left(\frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} \right) * \frac{l_b}{l_e} \left(2 - \frac{l_b}{l_e} \right) \right)$$

където операторът за условен алгоритъм е if (условие; действие, ако условието е изпълнено; действие, ако условието не е изпълнено)

$$\varepsilon_{fdd} = \frac{f_{fdd}}{E_f}$$

$$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}; \varepsilon_{fdd} \right\}$$

Картината на деформациите и напреженията в случай, че част от сечението е натисната, т.е. височината на натисковата зона x е между 0 и L , където L е дължината на стената, е следната:



Фиг. 51. Означения при задачата за коравина в равнината на стена

Нека първо определим деформациите при произволно x :

$$\varepsilon_c = \begin{cases} \varepsilon_{fd} * \frac{x}{L - a - x}, & \text{ако } \varepsilon_{mu} * \frac{L - a - x}{x} > \varepsilon_{fd} \\ \varepsilon_{mu}, & \text{ако } \varepsilon_{mu} * \frac{L - a - x}{x} \leq \varepsilon_{fd} \end{cases}$$

$$\varepsilon_t = \begin{cases} \varepsilon_{fd}, & \text{ако } \varepsilon_{mu} * \frac{L - a - x}{x} > \varepsilon_{fd} \\ \varepsilon_{mu} * \frac{x}{L - a - x}, & \text{ако } \varepsilon_{mu} * \frac{L - a - x}{x} \leq \varepsilon_{fd} \end{cases}$$

Броят на „работещите“ ивици от FRP е:

$$n = \text{roundup}\left(\frac{L - x - a}{s}; 0\right)$$

Резултантата на натисковите напрежения в зида е:

$$F_c = \frac{0,85 \cdot f_{mk} \cdot b \cdot 0,7 \cdot x}{\gamma_M}$$

Разстоянието от приложната точка на резултантата на силите в натисквата зона до центъра на тежестта на стената е:

$$a_{Fc} = \frac{l}{2} - 0,35x$$

Опънната сила във всяка ивица от FRP е:

$$F_i = t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_i$$

Деформацията във всяка ивица FRP :

$$\varepsilon_i = \varepsilon_t \cdot \frac{d_i}{L - x - a}$$

Резултантата на опънните сили във FRP лентите е:

$$F_t = \sum_{i=1}^n 2 \cdot t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_t \cdot \frac{d_i}{L - x - a}$$

където множителят 2 отчита това, че FRP ивици има от двете страни на стената.
Като извадим константните членове пред сумата:

$$F_t = \frac{t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_t}{L - x - a} \sum_{i=1}^n d_i$$

Сумата $\sum_{i=1}^n d_i$ можем да представим като:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n d_i &= (L - x - a) + (L - x - a - s) + (L - x - a - 2s) + \dots + (L - x - a - n \cdot s) \\ &= n \cdot (L - x - a) - s \cdot \sum_{i=1}^{n-1} i \end{aligned}$$

Като използваме Гаусова сума, а именно:

$$\sum_{i=1}^{n-1} i = 1 + 2 + 3 + \dots + (n-1) = \frac{1 + (n-1)}{2} (n-1) = \frac{n(n-1)}{2}$$

Получаваме:

$$\sum_{i=1}^n d_i = n \cdot (L - x - a) - s \cdot \frac{n(n-1)}{2}$$

Резултантата на опънните сили във FRP лентите е:

$$F_t = \frac{2 \cdot t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_t}{L - x - a} \cdot \left(n \cdot (L - x - a) - s \cdot \frac{n(n-1)}{2} \right)$$

Огъващият момент, който поема сечението, е:

$$M = F_c \cdot a_{Fc} + \sum_{i=1}^n F_i \cdot \left(d_i - \left(\frac{L}{2} - x \right) \right)$$

Сумата представлява:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_i \cdot \left(d_i - \left(\frac{L}{2} - x \right) \right) &= \sum_{i=1}^n \left(2 \cdot t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_t \cdot \frac{d_i}{L - x - a} \right) \cdot \left(d_i - \frac{L}{2} + x \right) \\ &= \frac{2 \cdot t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_t}{L - x - a} \sum_{i=1}^n d_i \cdot \left(d_i - \frac{L}{2} + x \right) \end{aligned}$$

Сумата е:

$$\sum_{i=1}^n d_i \cdot \left(d_i - \frac{L}{2} + x \right) = \sum_{i=1}^n \left(d_i^2 + \left(-\frac{L}{2} + x \right) d_i \right) = \sum_{i=1}^n d_i^2 + \left(-\frac{L}{2} + x \right) \sum_{i=1}^n d_i$$

Аналогично на глава 3 представяме първата сума:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n d_i^2 &= (L-x-a)^2 + (L-x-a-s)^2 + (L-x-a-2s)^2 + \dots + (L-x-a-n.s)^2 \\ &= (L-x-a)^2 + (L-x-a)^2 - 2(L-x-a)s + s^2 + (L-x-a)^2 \\ &\quad - 2(L-x-a).2s + (2s)^2 + \dots + (L-x-a)^2 - 2(L-x-a).ns + (n.s)^2\end{aligned}$$

Записано по-кратко:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n d_i^2 &= \sum_{i=1}^n (L-x-a)^2 - \sum_{i=1}^{n-1} 2(L-x-a).is + \sum_{i=1}^{n-1} (i.s)^2 = n.(L-x-a)^2 \\ &\quad - 2(L-x-a).s \sum_{i=1}^{n-1} i + s^2 \sum_{i=1}^{n-1} i^2\end{aligned}$$

Опростяваме:

$$\sum_{i=1}^{n-1} i = 1 + 2 + 3 + \dots + (n-1) = \frac{1 + (n-1)}{2} (n-1) = \frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} i^2 = 1^2 + 2^2 + \dots + (n-1)^2 = \frac{(n-1)(n-1+1)(2(n-1)+1)}{6} = \frac{n(n-1)(2n-1)}{6}$$

Получаваме

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = n.(L-x-a)^2 - 2(L-x-a).s.\frac{n(n-1)}{2} + s^2.\frac{n(n-1)(2n-1)}{6}$$

Накрая получаваме:

$$M = F_c.a_{Fc} + \frac{2.t_f.w.E_f.\varepsilon_t}{L-x-a} \left(\sum_{i=1}^n d_i^2 + \left(-\frac{L}{2} + x \right) \sum_{i=1}^n d_i \right)$$

$$\begin{aligned}M &= F_c.a_{Fc} + \frac{2.t_f.w.E_f.\varepsilon_t}{L-x-a} \left(n.(L-x-a)^2 - 2(L-x-a).s.\frac{n(n-1)}{2} + s^2.\frac{n(n-1)(2n-1)}{6} \right. \\ &\quad \left. + \left(-\frac{L}{2} + x \right) \left(n.(L-x-a) - s.\frac{n(n-1)}{2} \right) \right)\end{aligned}$$

Нормалната сила в сечението е:

$$N = F_t - F_c$$

Особени точки при построяване на интеракционната диаграма са следните:

$x=0$

Тогава няма натискова зона, цялото сечение е опънато. Опънната сила и огъващият момент се получават от горните формули при заместване на x с 0.

$x=-\infty$

Тук цялото сечение е опънато равномерно. Опънната сила е:

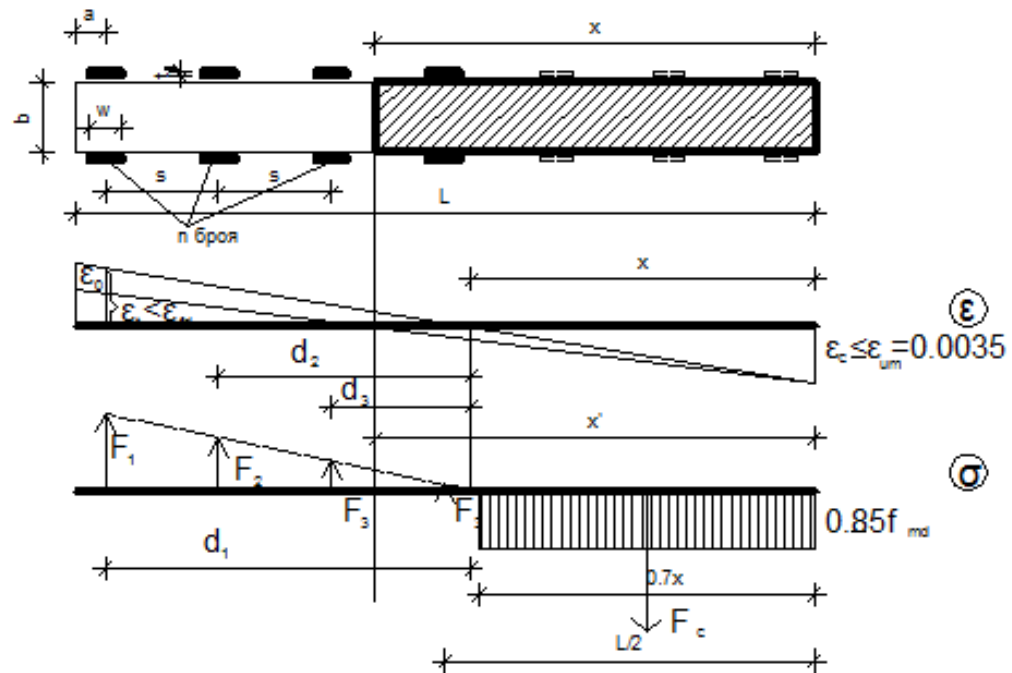
$$F_t = 2 \cdot t_f \cdot w \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd} \cdot n$$

като тук n е общия брой FRP ивици. Огъващият момент е равен на 0.

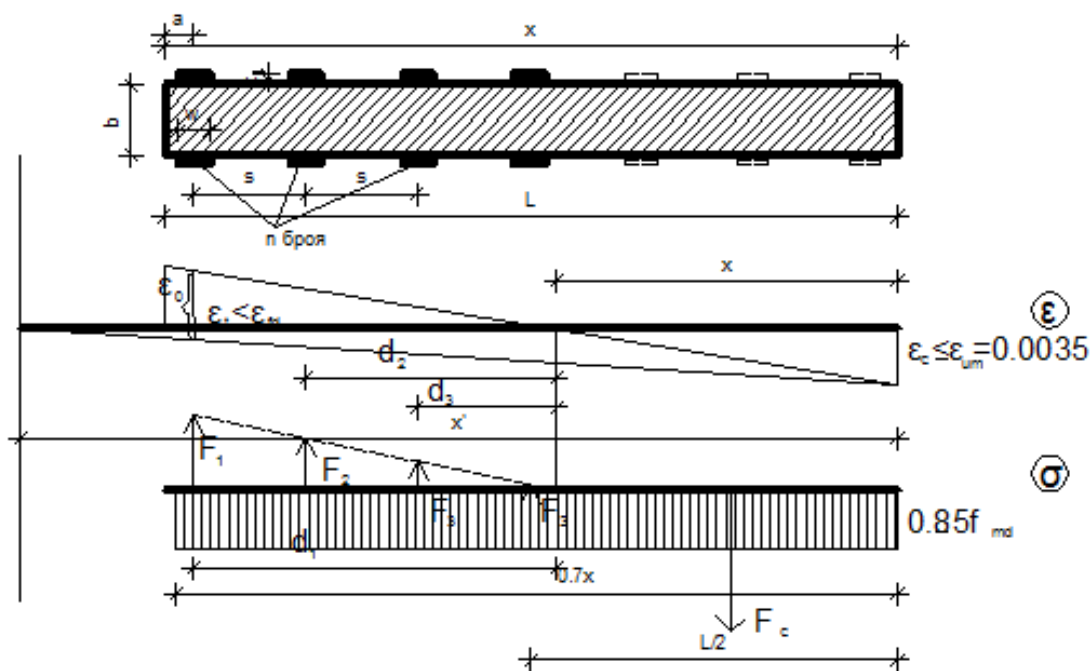
За целите на дисертацията е разработена таблица в среда на Microsoft Excel, която работи по дадените формули.

Ако е необходимо отчитане на началните деформации в зидарията при залепване на FRP, се постъпва по следния начин. Отново се използват същите зададени през определено разстояние стойности за натисковата зона x , които тук са фиктивни стойности. Реалните стойности се получават от фиктивните чрез следните разсъждения.

Допустимите деформации във FRP не зависят от началните напрежения, затова доатигането на гранично състояние в следствие опънни деформации ще бъде при същата стойност. Но картината на натисковите напрежения ще бъде различна, защото ще има зони, където ще имаме едновременно опънни напрежения във FRP и натискови напрежения в зида. Изглед на напрегнатото и деформирано състояние е даден на следващите фигури.



Фиг. 52. Напрежения и деформации в зид, усилен с FRP ивици при начални натискови напрежения в зида, по-малки от допустимите опънни напрежения във FRP



Фиг. 53. Напрежения и деформации в зид, усилен с FRP ивици при начални натискови напрежения в зида, по-големи от допустимите опънни напрежения във FRP

И при двата случая, показани на двете фигури, определянето на реалната дължина на натисковата зона спрямо фиктивната, става с подобни триъгълници.

Допълнителни означения:

σ_0 – начално напрежение в зида, прието като равномерно разпределено

ε_0 – начална деформация

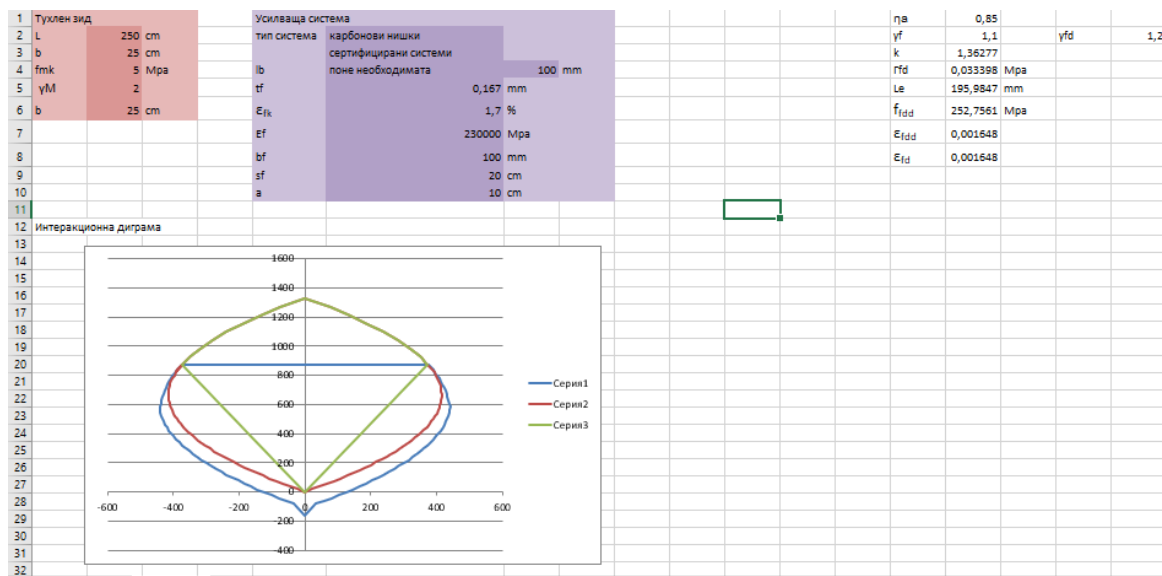
x' – реална дължина на натисковата зона

$$x' = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \varepsilon_0 + \varepsilon_t} * L$$

Процедурата за изчисляване на огъващия момент и нормалната сила е същата, само че приносът на FRP ивиците се изчислява с техните деформации (може да се каже с фиктивната натискова зона x), а на тухления зид – с реалната височина на натисковата зона x' .

3. Таблица с диаграма в среда на Microsoft Excel

За целите на дисертацията е разработена електронна таблица, чертаеща интеракционна диаграма, която може да се използва за практическа работа.



Фиг. 54. Таблица в среда на Microsoft Excel

VII. Програма за изчертаване на интеракционна диаграма

Кратко описани на главата:

В тази глава са разгледани:

- 1. Общи положения*
- 2. Общ изглед на програмата и входни данни*
- 3. Изходни данни*
- 4. Алгоритъм*

Създадена е компютърна програма на платформа Lazarus, която чертае интеракционна диаграма и определя височина на натискова зона при зададена нормална сила (огъващият момент е максималния, съответстващ на нея) за произволна стена (с уширения в краищата, съдействащи в натисковата зона) с произволни и произволно разположени ивици от FRP (самият алгоритъм работи до 6 ивици, но принципът би бил същият и за повече).

1. Общи положения

Алгоритъмът, изложен в предишната глава, е много полезен, но върши работа само при стена с правоъгълно напречно сечение (без напречни стени) и равномерно разположени усилващи ивици. Затова в тази глава ще покажем алгоритъм и приложението му в среда на програмен език Pascal, платформа Lazarus. С помощта на тази програма потребителите ще могат да чертаят интеракционна диаграма на тухлен зид, усилен с до 6 броя FRP вертикални ивици (използването на повече би било рядкост в реалната практика), разположени произволно и с различен брой на FRP лентите във всяка ивица, както и да се отчете наличието на напречни зидове в единия или двата края на стената. Приема се, че деформациите в зида, по време на залепване на FRP са малки и се negliжират от последващо преразпределение на усилията.

Широчината на ивицата от напречния зид, която работи като съдействаща широчина, се определя съгласно изискванията на Еврокод 8 или съответен друг стандарт, по който се оразмерява конструкцията. В програмната се задава именно тази съдействаща широчина от потребителя.

2. Общ изглед на програмата и входни данни

В прозореца на програмата трябва да се разположат всички входни данни и изходните – в случая графика. Необходими са бутони за изчертаване на интеракционната диаграма и за изчистване на диаграмата за направа на нова в случай, че не е нужно да се съпоставя с предишната.

Фиг. 55. Изглед на програмата с номерация на обектите за входни данни

Необходими входни данни:

L – дължина на зида, задава се в см

b – широчина на зида, задава се в см

f_b – средна стойност на натисковата якост на тухлите за зидарията, задава се в МПа

f_m – средна стойност на натисковата якост на зидарията, задава се в МПа

FC – частен коефициент за сигурност на зидарията, определен в зависимост от типа зидария, съгласно Еврокод 6 [БДС EN 1996]

b_m – размер на тухлата, съгласно схемите в [CNR-DR 200/R1], задава се в см

E_f – модул на еластичност на FRP, задава се в МПа

b_f – широчина на FRP лентата, задава се в mm

l_e – реална дължина на закотвяне, ако е по-малка от минималната, задава се в mm

ε_{fk} – допустими деформации при скъсване на FRP, задава се в %

Тип нишки, използвани за усиляване: карбонови нишки, арамидни нишки, стъклени нишки

Тип система: сертифицирана система (апликация тип A, несертифицирана система (апликация тип B)

t_f – номинална дебелина на един слой FRP, задава се в mm

d_i – разстояние от единия край на стената до оста на i -та вертикална ивица от FRP

n_i – брой FRP ленти в i -та вертикална ивица от FRP

a – размер на напречна стена, задава се в см

g – дебелина на напречна стена, задава се в см

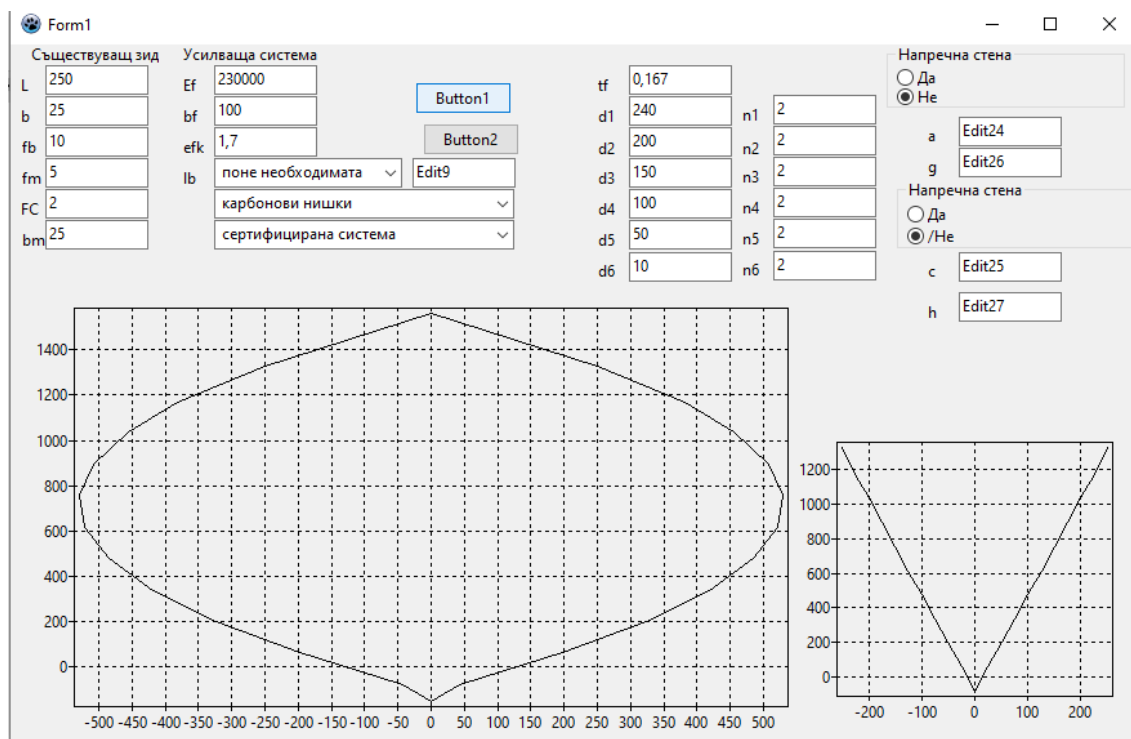
c – размер на другата напречна стена, задава се в см

h – дебелина на другата напречна стена, задава се в см

3. Изходни данни

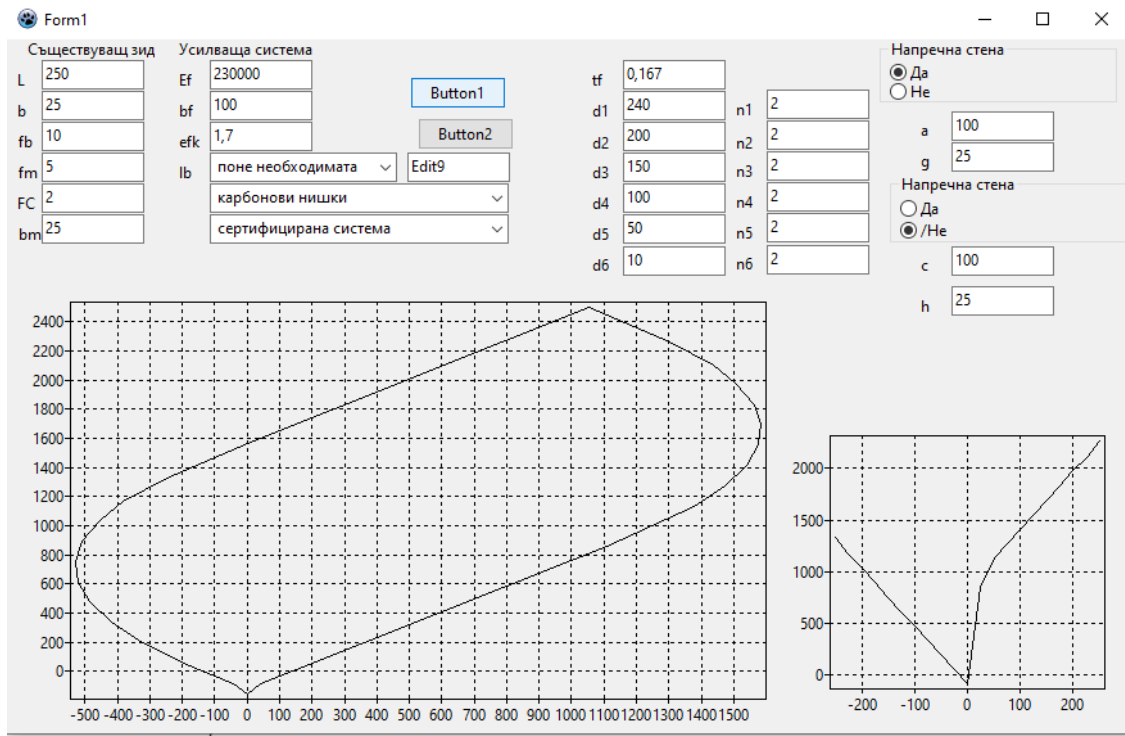
Интеракционна M N диаграма на носимоспособността на сечението

За съответното N усилие да се отчете големината на натисквата зона x

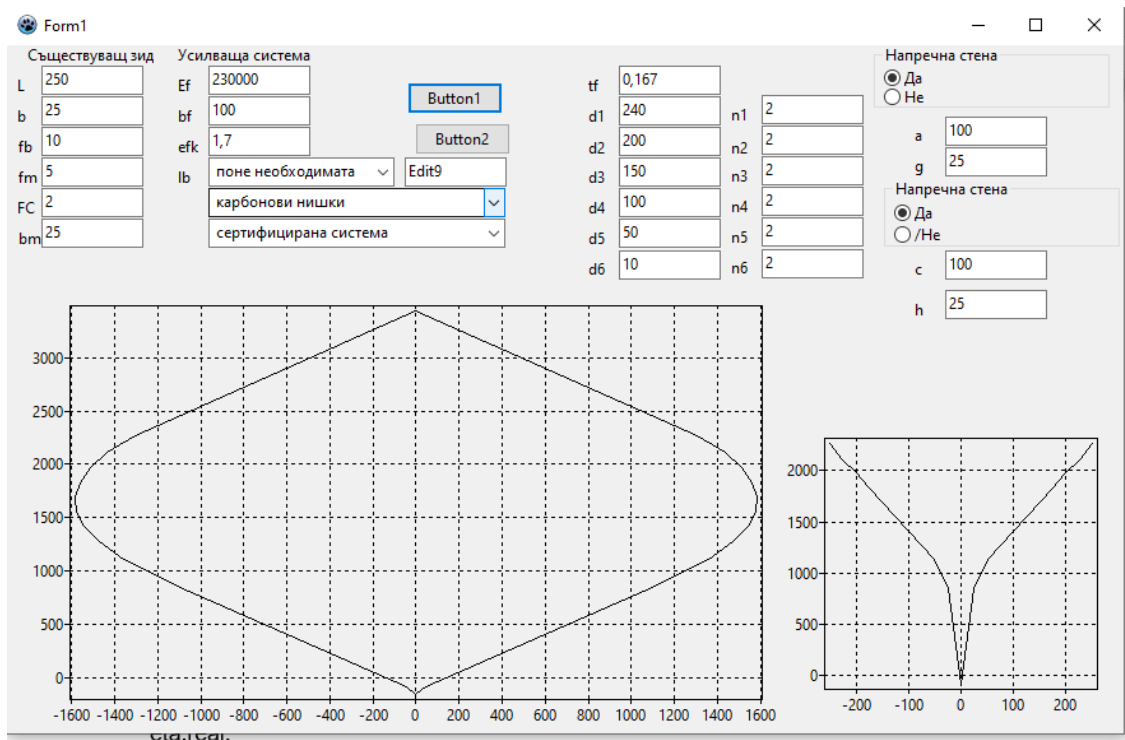


Фиг. 56. Изглед на програмата - изходни данни

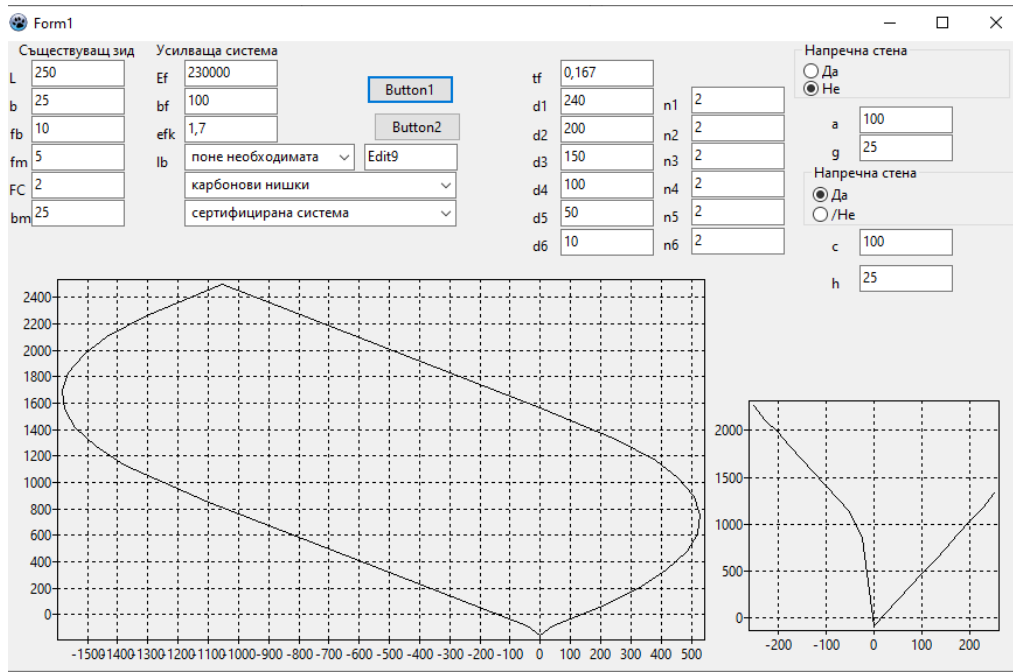
Моделиране и изследване поведението на усилени строителни конструкции



Фиг. 57. Изглед на програмата - изходни данни



Фиг. 58. Изглед на програмата - изходни данни



Фиг. 59. Изглед на програмата - изходни данни

4. Алгоритъм

В дисертацията е представен подробно алгоритъма на програмата.

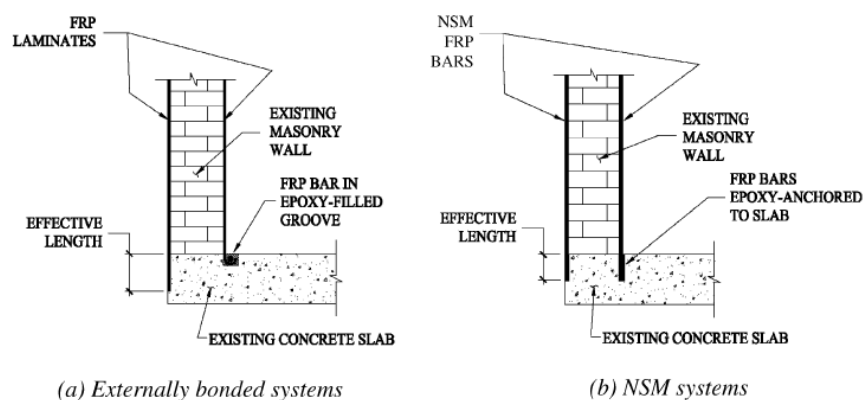
VIII. Относно закотвяне при фундаментите

Кратко описани на главата:

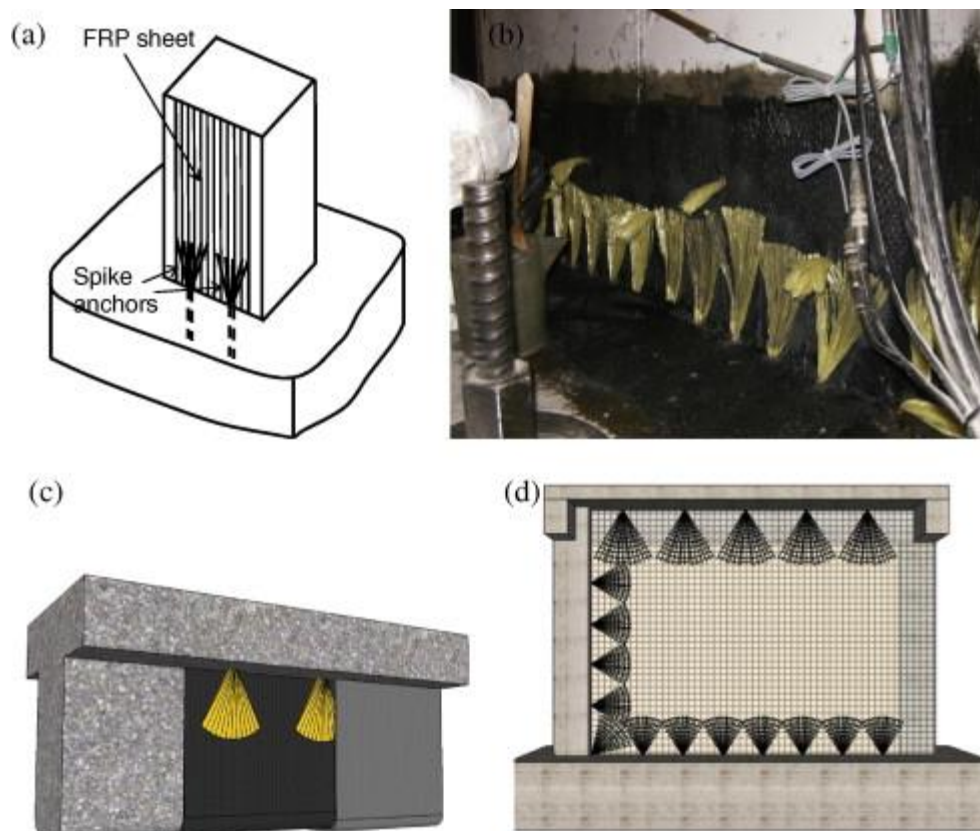
В тази глава са разгледани:

1. Съществуващи решения
2. Предложение за анкерирание

1. Съществуващи решения



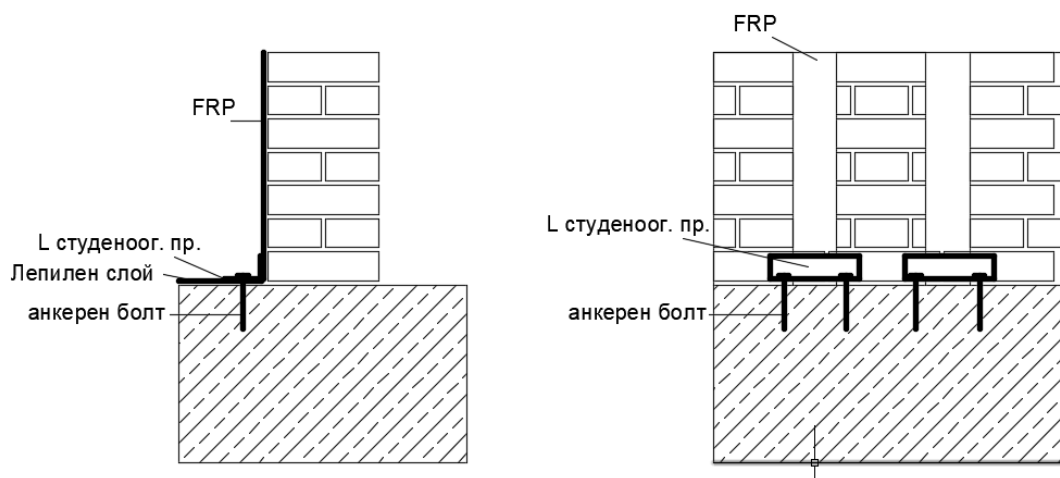
Фиг.60. Анкерирание в стоманобетонен елемент в жлев с епоксидна смола, приемр от 'ACI



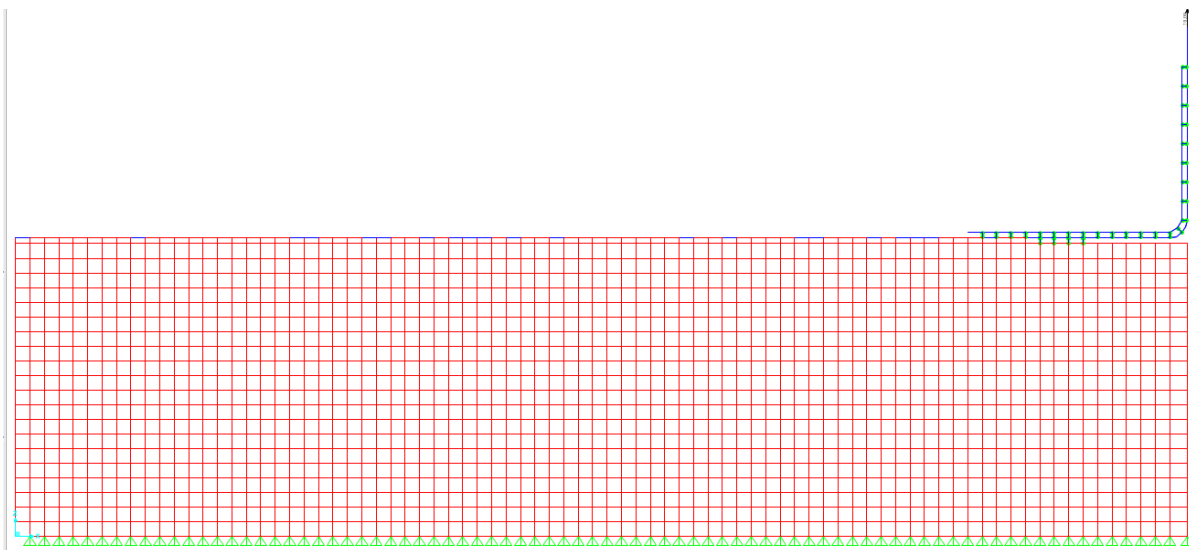
Фиг.61. Анкерирание с анкерни устройства

2, Предложение за анкерирание

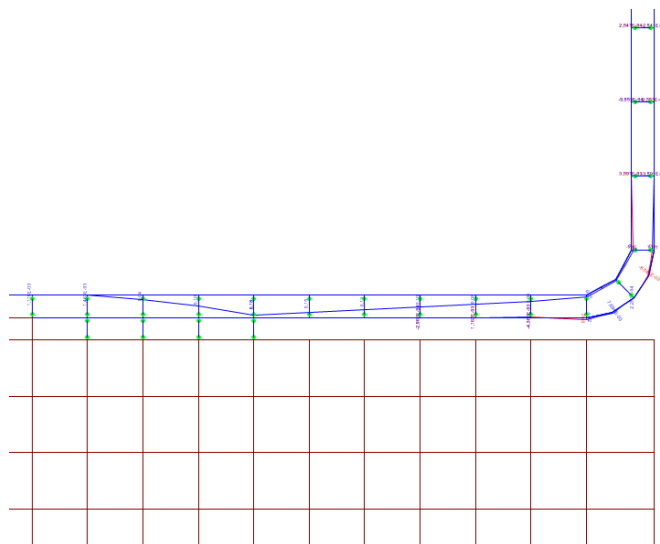
mej



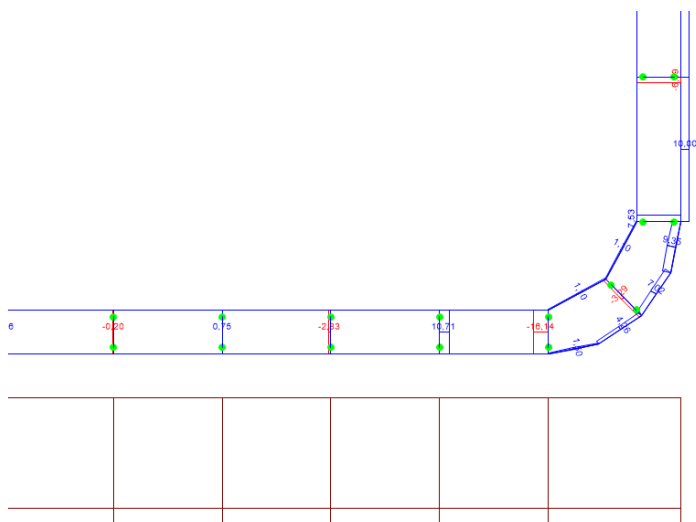
Фиг.62. Предложение за анкерирание



Фиг.63. Модел на SAP



Фиг.64. Огъващи моменти



Фиг.65. Нормални сили

Предложеният вариант за анкериране е приложим, когато фундаментът надстърча настрани от стената (ако това не е така FRP ивицата може лесно директно да се залепи за фундамента). Идеята е с помощта на студеноогънат профил, захванат по подходящ начин за ивичния фундамент, да се промени направлението на FRP ивицата и тя да е подложена на разлепяне от срязване с фундамента. Отлепянето на ивицата от опън към повърхността на фундамента се възпрепятства от металния профил. Профилът е студеноогънат, за да има заоблен край, а не ръб, който да среже FRP ивицата.

IX. Заключение

Можем да направим следните изводи:

- Моделирането на съществуващи конструкции и тяхното усиление е сложна задача. Детайлното обследване на дефекти и повреди е нужно с оглед правилния анализ и инженерни намеси.
- Нормативната уредба засега е слабо развита в областта на оценка и усиление на съществуващи конструкции и затова ролята на проектанта-конструктор в обследването и правилните намеси в сградата е по-голяма от тази при проектирането на нови сгради.
- Сградите с носеща зидана конструкция са най-широко разпространените в България. Възможно тяхно усиление е с FRP ивици.
- Най-характерната форма на разрушение на усилящата система е резлепване на ивиците от основата. Световните стандарти в тази област са малко и дават различни методики за определяне на допустимите напрежения и деформации. Най-подходящ за използване е CNR-DT200-2004/R1, като за по-големи обекти може да се окаже икономически изгодно проектиране чрез изпитване, защото резултатите от този стандарт са консервативни.
- Коравината в равнината на усилена с ивици от FRP стена е по-малка от тази на работеща без пукнатини стена и зависи от големината на натискната зона. В дисертацията е предложен алгоритъм за определяне на тази коравина.
- Оразмеряването на усилящата система е сложна задача, за която в общия случай е необходим цикличен алгоритъм за итерациите. При наличие на напречни стени е редно те да се отчитат (съгласно изискванията на нормативните документи), защото влияят сериозно на интеркционната диаграма. В дисертацията са предложени два алгоритъма, екселска таблица и компютърна програма за решаването на този въпрос.
- Важно условие за добрата работа на усилящата система е правилното анкериране във фундаментите. В дисертацията е предложено едно ново вариантно решение.

Претенции за научни и научно-приложни приноси:

1. Направен е обзор и критичен анализ на проблемите при намеса в съществуващи конструкции във връзка с:
 - Дефекти и повреди и тяхното моделиране
 - Нормативна уредба

2. Направен е обзор на теориите и нормативните за допустими деформации и напрежения в FRP ивиците, външно залепени за зидове. Сравнение са с широк набор от експерименти по света и са направени препоръки към проектантите за консервативността на всеки от нормативните документи.
3. Изведена е формула и е създадена таблица в среда на Microsoft Excel за определяне на коравина в равнината на зидана стена, усилена с еднакви и разположени през равно разстояние вертикални ивици от FRP.
4. Създаден е алгоритъм и таблица с диаграми в среда на Microsoft Excel за изчертаване на интеракционна диаграма на зидана стена, усилена с еднакви, разположени през равно разстояние ивици от FRP.
5. Създаден е алгоритъм и компютърна програма (.exe файл) за изчертаване на интеракционна M-N диаграма и за определяне на височината на натисковата зона при дадено нормално усилие (огъващият момент се приема максималният, съответстващ на него) на произволна стена с уширения, съдействащи в натисковата зона и произволни и произволно разположени ивици от FRP.
6. Предложен е нов вариантен детайл на връзка към фундаментите на вертикална ивица от FRP върху стена.

Списък с публикации по темата на дисертацията:

1. Публикации, които са части от самата дисертация
 - [1] A. Gorolomov, Approaches for estimation of the need of rehabilitation of existing buildings, according to different regulations, Сборник научных статей Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства, Гродно, 23–24 мая 2019 года, стр. 82, ISBN 978-985-582-276-0
 - [2] A. Gorolomov, Approaches for using pushover analysis for estimation of the need of rehabilitation of existing buildings, Сборник научных статей Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства, Гродно, 23–24 мая 2019 года, стр. 86, ISBN 978-985-582-276-0
 - [3] Антон Гороломов, Анита Хандрулева, Петър Греков, Определяне на коравината в равнината на зидана стена, усилена с вертикални ивици от FRP материали, Международна научна конференция ВСУ2021, Сборник с доклади ISSN: 1314-071X
 - [4] А. Гороломов, А. Хандрулева, П. Греков, Допустими напрежения и деформации в усиляващи ивици от фиброусилени композитни материали, приложени за усиляване на тухлен зид, Годишник на УАСГ ISSN 1310-814X, Том 55, приета за публикуване с положителна рецензия м. 04.02.2022

2. Публикации, свързани с темата на дисертацията (оценка, възстановяване и усиление на строителни конструкции), които не са извадка от дисертацията:
- [5] Grekov P., A. Gorolomov, D. Partov, B. Straka, R. Nikolov; „Methods for strengthening of wooden columns in preemergency state in historical structures, and choosing the one of them for reinforcement of the supporting columns in the Church “Sv. Uspenie Bogorodichno” in Kyustendil”; 11 International Conference: assessment, maintenance and rehabilitation of structures and settlements conference proceedings; editor: Prof. emeritus Dr Radomir Folić, Zlatibor, 19–21 June 2019, Searbija, pp.55-72.
 - [6] Grekov P., D. Partov, B. Straka, M. Drdácý, I. Ivanchev, A. Gorolomov, R.Nikolov, “Timber arch system developed by ph. De l,orme and its appliction in the historic and conteporary roof structures”, 11 International Conference: assessment, maintenance and rehabilitation of structures and settlements conference proceedings); Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić, Zlatibor, 19– 21 June, 2019, Searbija, pp.485-502.
 - [7] Grekov P., A. Gorolomov, B. Straka, D. Partov; Strengthening the damaged wooden columns after investigating of several interesting approaches from abroad”, Proceedings of International Scientific Conference VSU,2019, Sofia, 17-19, October, 2019, Topic: Mechanics and mathematics,
 - [8] Grekov P., A. Gorolomov, D. Partov, B. Straka, R. Nikolov; “Accident with timber colonnade of the 200 years old church and methods for the strengthening”, Proceedings of International Scientific Conference BASA,2019, Sofia, 21-23, November, 2019, Topic 4:, Restoration of historical masonry, timber and steel structures-criteria - innovative solutions and case studies; Seismic rehabilitation of historical masonry, timber and steel structures; Conservation and preservation of historical masonry, timber and steel structures; Consolidation, rebuilding and strengthening of historic structures; Culture heritage under catastrophic events: fire, flood and blast loading, pp.301-314.
 - [9] Gorolomov A., V. Georgiev, D. Partov, 110 Years History of Synagogue Construction in the Capital City Sofia in Bulgaria; Proceedings of International Scientific Conference VSU,2019, Sofia, 17-19, October, 2019, Topic: Building Structures, pp: CD.
 - [10] Grekov P., A. Gorolomov, D. Partov, N. Tuleshkov, M. Drdácý and G. Pianese, „Static analysis and retrofitting of the old timber roof structures for the storage heritage building in Kustendil, Bulgaria„Proceedings of International Scientific Conference VSU, 2020, Sofia, 15-17, October, 2020, Topic: Mechanics and mathematics, pp: CD

3. Статии, готови към момента на предаване на дисертационния труд, но все още не преминали процедурата по публикуване:
[11] Anton N. Gorolomov, Anita K. Handruleva, Petar G. Grekov, Procedure for dimensioning the bearing capacity for bending moment and axial force of a masonry wall, strengthened by FRP materials

Литература

Литературните източници са дадени по реда на първото им появяване в дисертацията.

- [1] Кисов, Д. И. Георгиев, Усилване на стоманобетонни мостове с композитни материали, ISBN 987-954-331-052-4
- [2] Даков, Д., А. Енчев, Възстановяване, усиление и реконструкция на стоманени конструкции, ISBN 954-8873-46-5
- [3] Върбанова, В., Опазване на архитектурното наследство ISBN 978-954-331-045-6
- [4] Закон за устройство на територията, ред. 2020г
- [5] Закон за културното наследство
- [6] Трайкова, М., Възстановяване и усиление на сгради. Проблеми, конструктивни решения, практически примери ISBN 978-954-9897-40-1
- [7] <http://www.isoformap.bg/>
- [8] Bundgaard, C., Subtle or significant. Tectonic transformations of everyday architecture, Structures and Architecture: Beyond their Limits под редакцията на Paulo J. da Sousa Cruz, 2016, London, ISBN 978-1-138-02651-3
- [9] Национална програма за обновяване на жилищни сгради в Република България, 2005г.
- [10] Преглед и анализ на съществуващия сграден фонд на Република България, от сайта на МРРБ, 2020
- [11] Трайкова, М., Т. Чардакова, Избрани теми по избираема дисциплина „Диагностика, възстановяване и усиление на сгради“, 2013
- [12] Паничков, Д., Обследване и изпитване на строителни конструкции и съоръжения, 2001
- [13] Даков, Д., А. Енчев, Възстановяване, усиление и реконструкция на стоманени конструкции, ISBN 954-8873-46-5
- [14] Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции, ред. 1998
- [15] БДС EN 1992-1
- [16] FEMA 356
- [17] БДС EN 1998-1
- [18] Рангелов, Н., Стиоманени конструкции от тънкостенни сруденоформувани елементи, ISBN 987-619-90034—0-4
- [19] Кузнецов, В.В., Металлические конструкции (Справочник проектировщика), издательство АСВ, 1999

- [20] Паничков, Д., Обследване и и изпитване на строителните конструкции, 1994
- [21] Правила за строеж на частни здания в градовете на българското княжество
- [22] Игнатиев, Н., П. Сотиров, История на българските норми за сеизмично изследване на конструкциите и преход към конструктивна система Еврокодове, презентация, <http://www.petkovstudio.com/documents/7.pdf>
- [23] Правилник за проектиране на стоманобетонните строежи в Царство България
- [24] Правилникъ за натоварванията на сгради и за допустимите натоварвания на почвата при сгради, 1935
- [25] Правилник за натоварвания на сгради и за допустимите натоварвания на почвата при сгради, 1950
- [26] Правилник за основните методи при изчисляване на строителните конструкции и за натоварванията на сгради, 1959
- [27] Натоварване на сгради и съоръжения - правилник за проектиране, 1964
- [28] Натоварвания и въздействия. норми за проектиране, 1979
- [29] Основни положения за проектирането на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях - Наредба №3, 2005
- [30] БДС EN 1991
- [31] Технически и хигиенически норми за земетръсните места
- [32] Правилник за проектиране и строеж на сгради и инженерни съоръжения в земетръсните райони на България 1947
- [33] Правилник за проектиране и строеж на сгради и инженерни съоръжения в земетръсните райони на НРБ, 1957
- [34] Правилник за антисеизмично строителство, 1961
- [35] Правилник за строителство в земетръсни райони, 1964
- [36] Указания за проектиране и изпълнение на промишлени и селскостопански сгради в земетръсни райони, 1977
- [37] Указания за проектиране и изпълнение на обществени и жилищни сгради в земетръсни райони
- [38] Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 1987
- [39] Методически указания за проектиране конструкцията на монолитни индивидуални жилищни сгради в земетръсни райони
- [40] Осигуряване на сградите за сеизмични въздействия, КИИП, Инженерен форум, бр. 6, 2012
- [41] Наредба № РД-02-20-2 от 27 януари 2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони
- [42] Наредба за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 2007
- [43] Ръководство на сдружение проектно дело 1988
- [44] Наредба РД 02-20-19

- [45] Георгиев, А., В. Пенчев, Сеизмична устойчивост на сградите, проектирани преди 1 март 1987г., вестник „Строител“, 2012
- [46] Васева, Е., Н. Игнатиев, П. Сотиров, Д. Михалева, И. Павлов, Практическо ръководство с решени примери по прилагането на Еврокод 8-1
- [47] Чардакова, Т., Дисертация на тема „Анализ на ефектите от локални намеси върху цялостното поведение на монолитни стоманобетонни скелетно-гредови конструкции в процес на възстановяване и усиляване
- [48] Manojlović, D., A. Radujkovic, T. Kocetov, Evaluation of the behaviour factor of unreinforced masonry buildings, Sixth International Conference Seismic Engineering and Engineering Seismology, At Kraljevo, June 2018, UDC: 624.012.44
- [49] Paulay, T., Priestley, M.J.N.: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley&Sons, Inc., New York. 1992
- [50] Yahmi, D., T. Branci, A. Bouchaïr, E. Fournely, valuation of behaviour factors of steel moment-resisting frames using standard pushover method, International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN 2017, p. 398-403
- [51] FEMA 310
- [52] FEMA 440
- [53] Михалева, Д., Дисертационен труд „Изследвания върху сеизмичното поведение на обрамчени зидарии
- [54] Sacco, Elio, CNR DT 200 R1 Guidelines for strengthening of masonry structures with FRP in Italy – онлайн курс, презентация
<https://www.concrete.org/education/freewebsessions/completelisting/coursepreviews.aspx?ID=51700851>
- [55] Георгиев, Георги, Антисеизмично усиляване на тухлени колони и диафрагми с FRP композити, Международна научна конференция DCB2010, Варна
- [56] CNR-DT 200-R1/2013 – Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures
- [57] [ACI440.7R-10 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures
- [58] CNR-DT 200/2004 – Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures
- [59] БДС EN 1996
- [60] Норми за проектиране на зидани конструкции, 1985
- [61] ACI530
- [62] Alwathaf, Ahmed & Thanoon, Waleed & J., Noorzaei. (2011). Stress-Strain Relationship for Masonry Modelling

- [63] Hemant B. Kaushik; Durgesh C. Rai; and Sudhir K. Jain, Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry, Journal of materials in civil engineering © ASCE, September 2007, p.728-739
- [64] <https://izolacii.eu/izsledovatelska-programa-na-isomat-i-uasg-sofiya-za-usilvane-na-konstruktsii-s-kompozitni-materiali-frp-sistemi/>
- [65] Николова-Каменарова, Б., Дисертация на тема „Усилване на зидани конструкции, достигнали гранични състояния, със съвременни полимерни и композитни материали“, 2007г.
- [66] Тодоров, Т., Автореферат на Дисертация на тема „Възстановяване и усиление на строителни конструкции с фибро-усилени композитни системи – организационно-технологични и конструктивни решения“
- [67] Богданов, Николай Димитров, Определяне на носимоспособността на неусилени и усилен зидани колони съгласно еврокод 6 : дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен "доктор", професионално направление: 5.7. Архитектура, строителство и геодезия, научна специалност: Строителни конструкции /Стоманобетонни конструкции
- [68] Баракова, Н., Изследване на напрегнато и деформирано състояние на тухлени зидове, списание „Строителство“ 1(2008), с. 24-28
- [69] Vega, C., Torres, N. (2018). External strengthening of unreinforced masonry walls with polymers reinforced with carbon fiber. Ingeniería e Investigación, 38(3),15-23. DOI: 10.15446/ing.investig.v38n3.73151 - http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092018000300015
- [70] Rahman, Aatur & Ueda, Tamon. (2016). In-Plane Shear Performance of Masonry Walls after Strengthening by Two Different FRPs. Journal of Composites for Construction. 20. 04016019. 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000661.
- [71] Ceroni, Francesca, Barbara Ferracuti, Marisa Pecce, Marco Savoia, Assessment of a bond strength model for FRP reinforcement externally bonded over masonry blocks, Composites Part B: Engineering, Volume 61, 2014, Pages 147-161, ISSN 1359-8368
- [72] Iman Mansouri, Ozgur Kisi, Prediction of debonding strength for masonry elements retrofitted with FRP composites using neuro fuzzy and neural network approaches, Composites Part B: Engineering, Volume 70, 2015, Pages 247-255, ISSN 1359-8368.
- [73] Briccoli Bati S, Fagone M. An analysis of CFRP-brick bonded joints. In: XVIII GIMC conference, Siracusa; 2010 September 22–24.
- [74] Capozucca R. Experimental FRP/SRP–historic masonry delamination. Compos Struct 2010;92(4):891–903

- [75] Panizza M, Garbin E, Valluzzi MR, Modena C. Bond behaviour of CFRP and GFRP laminates on brick masonry. In: D'Ayala, Fodde, editors. VI Int conf on structural analysis of historical constructions, Bath (UK), July 2–4 2008; 2008. P. 763–70
- [76] Oliveira DV, Basilio I, Lourenço PB. Experimental bond behavior of FRP sheets glued on brick masonry. J Compos Constr 2011;15(32):32–41
- [77] Mazzotti C, Ferracuti B, Bellini A. Experimental bond tests on masonry panels strengthening by FRP. In: Proc of CICE 2012, 6th international conference on FRP composites in civil engineering, 13–15 June 2012, Rome, Italy, CD ROM; 2012
- [78] Valluzzi MR, Oliveira DV, Caratelli A, Castori G, Corradi M, de Felice G, et al. RILEM TC 223-MSC: round robin test for composite to brick shear bond characterization, vol. 45, no. 12; 2012. P. 1761–91
- [79] Kwiecien A. Stiff and flexible adhesives bonding CFRP to masonry substrates investigated in pull-off test and Single-lap shear test. Arch Civ Mech Eng 2012;12:228–39
- [80] Capozucca R. Behaviour of CFRP sheets bonded to historical masonry. In: Smith ST, editor. Proc of Asia-Pacific conference on FRP in structures, APFIS 2007. International Institute for FRP in Construction; 2006
- [81] Kashyap J, Willis CR, Griffith MC, Ingham JM, Masia MJ. Debonding resistance of FRP-to-clay brick masonry joints. Eng Struct 2012;41:186–98
- [82] Oliveira DV, Basilio I, Lourenço PB. Experimental bond behavior of FRP sheets glued on brick masonry. J Compos Constr 2010;15(1):32–41
- [83] Милкоева, Б., Математически справочник с формули, графики, таблици и чертежи по елементарна математика, (ISBN: 9549034216)
- [84] Benedetti, Andrea & Steli, Elisa. (2008). Analytical models for shear–displacement curves of unreinforced and FRP reinforced masonry panels. Construction and Building Materials - CONSTR BUILD MATER. 22. 175-185. 10.1016/j.conbuildmat.2006.09.005.
- [85] Милев, Й, В. Кърджиев, Проектиране на стоманобетонни конструкции по Еврокод 8, ISBN 987-954-92274-3-11
- [86] Simple Method for the Design of Jet Grouted Umbrellas in Tunneling, Gian Piero Lignola, Gaetano Manfredi, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 134(12):1778-1790 · December 2008
- [87] Гороломов, Н. Учебни записки по информатика, 2004
- [88] <https://www.lazarus-ide.org/>