

**ИЗСЛЕДВАНЕ ДИАФРАГМЕНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА  
ПРАВОЪГЪЛНИ СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ С КВАДРАТЕН  
ОТВОР**

**инж. Йонко Димитров – докторант**  
ВСУ „Черноризец Храбър“ – Варна

***Резюме:** Изследва се поведението на правоъгълни стоманобетонни подови конструкции с отвори при хоризонтални сеизмични въздействия като корави и гъвкави диафрагми. Извършва се моделиране и анализ на резултатите с цел дефиниране на критерии за оценка гъвкавостта на диафрагмите.*

***Ключови думи:** стоманобетонна плоча, отвор, сеизмично въздействие, корава диафрагма, гъвкава диафрагма*

**STUDY OF DIAPHRAGM BEHAVIOR OF RECTANGULAR  
REINFORCED CONCRETE SLABS WITH SQUARE OPENING**

**Eng. Yonko Dimitrov – PhD student**  
VFU “Chernorizets Hrabar” – Varna

***Abstract:** The behavior of rectangular reinforced concrete floor structures as rigid and flexible diaphragms with openings under horizontal seismic actions is studied. Modeling and analysis of the results is performed in order to define criteria for assessing the flexibility of the diaphragms.*

***Keywords:** reinforced concrete slab, opening, seismic action, rigid diaphragm, flexible diaphragm*

## **1. Увод**

Подовите диафрагми имат основна роля в поведението на сградите при сеизмични въздействия. Те повишават коравината на конструкцията и предават усилията чрез диафрагменото действие между елементите, поемащи напречните сеизмични сили (шайби, рамки и др.) [1][2].

Инерционните диафрагмени усилия са в резултат на ускоренията на масите на подовите плочи на различни нива на конструкцията. Тези усилия се предават към вертикалните носещи конструкции посредством коравината на плочата, работеща като диск.

## **2. Показател за диафрагмено поведение на подовите конструкции**

Основната функция на подовите конструкции е да поемат гравитационни натоварвания и да ги предадат на вертикалните елементи на конструкцията като колоните и стените. Освен това те играят главна роля в преразпределението на ветровите и сеизмични усилия между отделните вертикални елементи, поемащи хоризонтални въздействия (като рамки и шайби). При стоманобетонните конструкции обикновено това са стоманобетонните етажни плочи. Поведението на подовите конструкции от вертикални товари е много добре изучено и съществуват множество методи за тяхното оразмеряване. При проектирането на конструкциите за сеизмични въздействия, сградите се проектират и детайлират да работят като единен елемент. Това спомага да се повиши капацитета и да се поддържа целостта на сградата. Хоризонталните сили, получени от сеизмичните премествания, се пренасят до основата на сградата посредством вертикалните системи, проектирани за поемане на напречни усилия [3][4]. Тези вертикални елементи се обединяват като едно цяло традиционно посредством етажните конструкции. В този смисъл подовите плочи, които основно поемат

гравитационни натоварвания, се проектират също така като хоризонтални диафрагми за поемане и предаване на хоризонталните сили върху съответните вертикални носещи елементи [5][6].

Критериите за доказване на поведението на подовата конструкция като „корава диафрагма“, дадени в нормативните документи, могат да се сведат до следните два критерия:

- Съгласно EC8-1 [8] една диафрагма се приема за корава, ако хоризонталните ѝ премествания при изчислителната сеизмична ситуация, когато се моделира с действителната деформативност в равнината си, никъде не превишават с повече от 10% съответните абсолютни хоризонтални премествания на корава диафрагма;
- Съгласно UBC97 [9], ASCE7-16 [10] и FEMA274 [11] една диафрагма се приема за корава, когато максималната напречна деформация на диафрагмата е повече от два пъти средното етажно преместване на съответния етаж.

Като критерий за „корава диафрагма“ се приема този, даден в UBC97, ASCE7-16 и FEMA274 и се определя по формулата

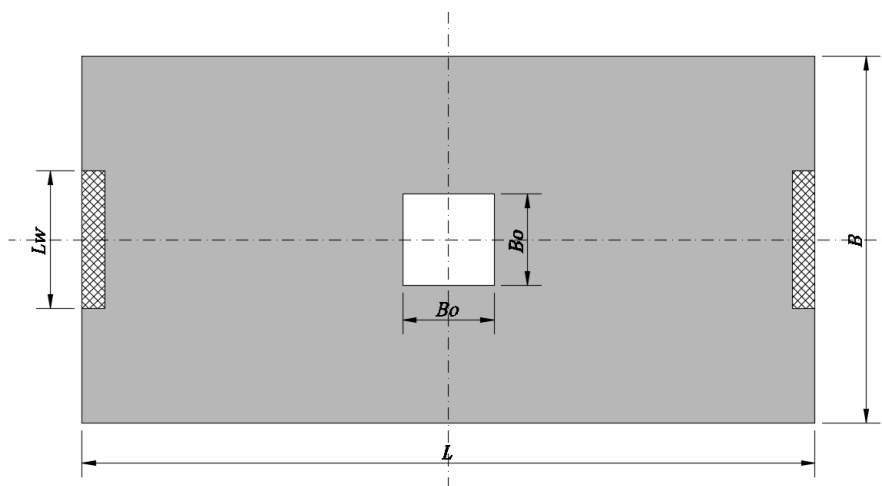
$$\beta = \frac{\Delta_{Flexible\ diaphragm}}{\Delta_{Average\ story\ drift}} < 2$$

### 3. Избор на модели за изследване

Предвид безкрайния брой възможни форми както на подовата конструкция, така и на формата и разположението на отворите в нея, настоящото изследване се ограничава до плочи с квадратна или правоъгълна форма и с квадратен отвор в средата на плочата. Поради това, че анализът на диафрагменото поведение изисква определянето на максималните деформации в план на плочата, най-подходящ се явява случая на подова

конструкция, подпряна в двата края на две вертикални носещи системи (тип „проста греда“), тъй като при еднакви други условия при по-голям брой опори деформациите са по-малки [7]. Тогава геометрията на плочата за изследване се приема, както е показана на фиг. 1, където дължината на плочата е отбелязана с  $L$ , широчината с  $B$ , а размерът на отвора – с  $B_0$ .

Вертикалните носещи системи се моделират като стенни елементи, с еквивалентна на реалните носещи системи коравина. Предвид това, че критерият за „корава диафрагма“ изисква определяне на междуетажни премествания, стенните конструкции са приети с етажна височина  $3,0\text{ m}$ , широчина  $0,25\text{ m}$  и еквивалентна дължина  $L_w$ .



**Фиг. 1.** Геометрия на подовата конструкция в план

Параметрите на геометрията в изследването се ограничават до следните стойности:

- отношение между размера на отвора и широчината на плочата

$$0 \leq \frac{B_0}{B} \leq 0,80$$

- отношение между еквивалентната дължина на стенната конструкция и широчината на плочата

$$0,25 \leq \frac{L_w}{B} \leq 0,50$$

Предвид изпълнение на изискването на EC8-1 за максимално разстояние от  $20m$  между вертикалните носещи системи, в настоящото изследване за широчина на плочата е прието  $B = 5m$  и дължина  $L = 10m$ .

Дебелината на плочата оказва пряко влияние върху коравината на диафрагмата в нейната равнина и съответно върху нейните деформации. За варианти на дебелината на плочата  $h_f$  се приемат  $10cm$ ,  $15cm$  и  $20cm$ . По-големи дебелини увеличават значително коравината на подовата конструкция и в повечето случаи хипотезата за „корава диафрагма“ е валидна дори и при големи отвори в плочата.

Класът на бетона не оказва съществено влияние върху коравината на подовата конструкция, тъй като модулът на еластичност на бетона не се изменя значително при масово използваните бетони в строителството. Поради тази причина в настоящото изследване е използван минимален клас C20/25 с модул на еластичност  $E = 3 \cdot 10^7 MPa$ .

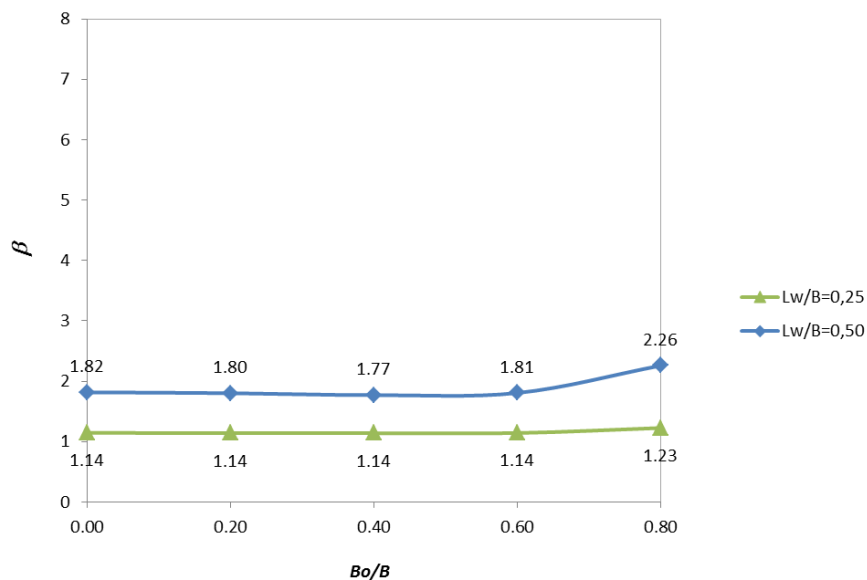
За целите на настоящото изследване хоризонталното сеизмично натоварване върху подовата конструкция се приема  $10kN/m^2$ .

#### **4. Резултати от моделирането**

За моделиране на конструкцията е използван софтуерен продукт Radimpex Tower v8.2. Подовата конструкция е моделирана като стоманобетонна плоча, подпряна на стоманобетонни стени с дебелина  $25cm$ . Резултатите от проверката на критерия за „корава диафрагма“ са представени в показаните по-долу таблици и графики.

**Табл. 1.** Резултати при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 10cm$

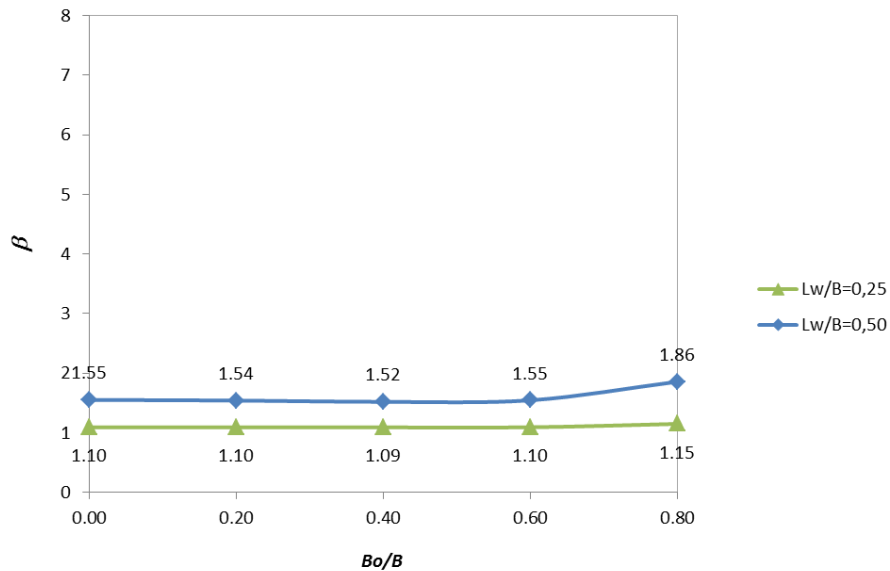
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,25$				
$B_0/B$	$\Delta_{\text{Flexible diaphragm}}$	$\Delta_{\text{Average story drift}}$	$\beta$	Корава диафрагма
0.00	2.2265	1.9451	1.1447	Да
0.20	2.1781	1.9080	1.1416	Да
0.40	2.0416	1.7916	1.1395	Да
0.60	1.8269	1.5983	1.1430	Да
0.80	1.6276	1.3272	1.2263	Да
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,50$				
0.00	0.6513	0.3586	1.8162	Да
0.20	0.6278	0.3485	1.8014	Да
0.40	0.5922	0.3345	1.7704	Да
0.60	0.5348	0.2961	1.8061	Да
0.80	0.5504	0.2435	2.2604	Не



**Фиг. 2.** Стойности на параметъра  $\beta$  при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 10cm$

**Табл. 2.** Резултати при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 15cm$

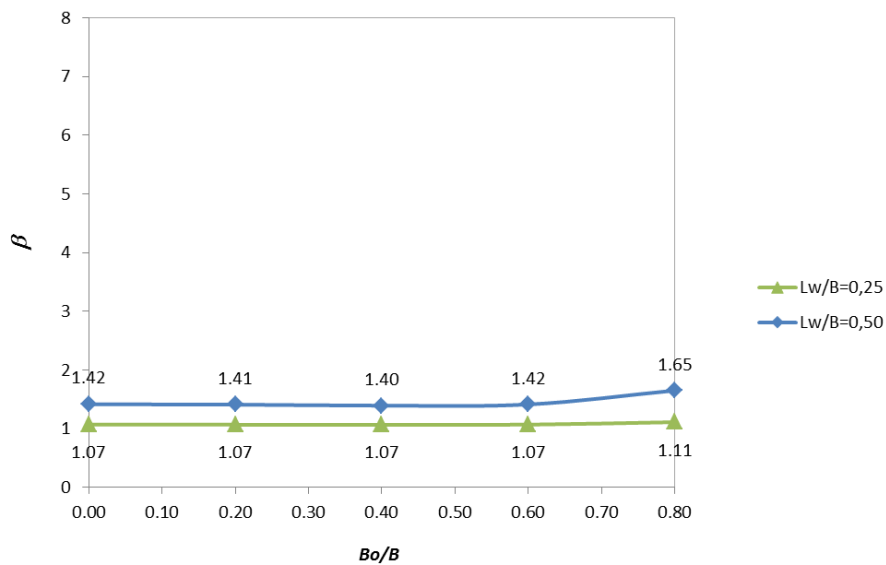
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,25$				
$B_0/B$	$\Delta_{\text{Flexible diaphragm}}$	$\Delta_{\text{Average story drift}}$	$\beta$	Корава диафрагма
0.00	2.1169	1.9292	1.0973	Да
0.20	2.0713	1.8910	1.0953	Да
0.40	1.9430	1.7763	1.0938	Да
0.60	1.7366	1.5843	1.0961	Да
0.80	1.5153	1.3150	1.1523	Да
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,50$				
0.00	0.5465	0.3517	1.5539	Да
0.20	0.5273	0.3414	1.5445	Да
0.40	0.4994	0.3280	1.5226	Да
0.60	0.4487	0.2898	1.5483	Да
0.80	0.4423	0.2378	1.8600	Да



**Фиг. 3.** Стойности на параметъра  $\beta$  при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 15cm$

**Табл. 3.** Резултати при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 20cm$

Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,25$				
$B_0/B$	$\Delta_{\text{Flexible diaphragm}}$	$\Delta_{\text{Average story drift}}$	$\beta$	Корава диафрагма
0.00	2.0607	1.9200	1.0733	Да
0.20	2.0163	1.8809	1.0720	Да
0.40	1.8925	1.7674	1.0708	Да
0.60	1.6905	1.5762	1.0725	Да
0.80	1.4582	1.3079	1.1149	Да
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,50$				
0.00	0.4934	0.3474	1.4203	Да
0.20	0.4763	0.3370	1.4134	Да
0.40	0.4524	0.3240	1.3963	Да
0.60	0.4050	0.2860	1.4161	Да
0.80	0.3877	0.2344	1.6540	Да



**Фиг. 4.** Стойности на параметъра  $\beta$  при  $L = 10m$ ;  $B = 5m$ ;  $h_f = 20cm$



Анализът на данните показва логична закономерност при по-големи дебелини подовата конструкция да има по-малки относителни премествания, респективно по-ниска стойност на показателя  $\beta$ . Огъвателната коравина на плочата в нейната равнина се увеличава пропорционално на нарастването на дебелината на плочата. При относителна еквивалентна дължина  $L_w/B = 0,25$  във всички случаи се получава, че подовата конструкция е с достатъчно дебелина, която да осигурява поведение на корава диафрагма. Минималното отношение на дебелината на плочата към подпорното разстояние между вертикалните носещи системи се получава  $h_f/L = 1/200$ . Това отношение показва, че дори с много малка дебелина на плочата може да се постигне поведение на корава диафрагма.

Единствено изключение от казаното по-горе е, когато отворът е с относителен размер  $B_o/B = 0,80$  и относителната еквивалентна дължина  $L_w/B = 0,50$ . В този случай при дебелина  $h_f < 15$  cm подовата конструкция работи като гъвкава диафрагма.

## **5. Заключение**

Проведеното изследване относно влиянието на отвори върху диафрагменото поведение на стоманобетонни плочи при сеизмични въздействия потвърждава необходимостта от провеждане на подробни анализи в тази област на базата на аналитични модели на конструкциите. Особен принос в това отношение дава възможността за използване на съвременен софтуер, с помощта на който да могат да се анализират множество вариантни решения.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Игнатиев Н., Сотиров П., Михалева Д., Павлов Ив., Практическо ръководство с решени примери по прилагането на Еврокод 8-1 – Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия (нови сгради), 2012
- [2] Васева Е., Игнатиев Н., Сотиров П., Михалева Д., Павлов Ив., Практическо ръководство с решени примери по прилагането на Еврокод 8-3 – Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия, Трета част (Оценка и усилване на сгради), КИИП, София, 2012
- [3] Михалева, Д., Павлов, Ив., Игнатиев, Н., Критерий за хоризонтална регулярност в случай на усукване, Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения и приложение на Еврокодовете”, Варна, 2010, стр. 192÷200
- [4] Павлов, Ив., Михалева, Д., Игнатиев, Н., Критерии за регулярност в план при връзване или при отвор, Пета Международна научно-приложна конференция „Архитектура, строителство – съвременност”, Варна, ISSN: 1314-3816, 2011, стр. 378-384
- [5] Михалева, Д. Сеизмичен анализ на едноотворни рамки с пълнежна зидария, ВСУ „Черноризец Храбър“, 2021, ISBN 978-954-715-719-4
- [6] Павлов, Ив., Михалева, Д., Оценка на сеизмичната сигурност на стоманобетонна рамкова конструкция, Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения”, София, ISSN: 1314-6955, 2012, стр. 554-559

- [7] Димитров, З., Павлов, И. „Пукнатиннообразуващи моменти в правоъгълни стоманобетонни сечения, подложени на огъване“ Международна научна конференция „Архитектура, строителство – съвременност”, Сборник с доклади II, Варна, 2015, стр. 347-353, ISSN: 1314-3816
- [8] EN1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. CEN, 2004
- [9] Uniform Building Code [UBC-97, 1997], International Conference of Building Officials, Structural Engineering Provisions, Whittier, California.
- [10] ASCE7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society Of Civil Engineers, 2016
- [11] Federal Emergency Management Agency (1998), National Earthquake Hazard Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-274, Washington, D.C.