

ДИАФРАГМЕННО ПОВЕДЕНИЕ НА КВАДРАТНИ СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ С КРЪГЪЛ ОТВОР

Доц. д-р инж. Иван Павлов
ВСУ „Черноризец Храбър“ – Варна

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

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

DIAPHRAGM BEHAVIOR OF SQUARE REINFORCED CONCRETE SLABS WITH CIRCULAR OPENING

Assoc. prof. PhD Eng. Ivan Pavlov
VFU “Chernorizets Hrabar” – Varna

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

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

1. Увод

Подовите диафрагми играят съществена роля в поведението на сградите при сеизмични въздействия. Те предават усилията върху вертикалните елементи, поемащи сеизмичните сили (шайби, рамки и др.). Механизма за предаване на усилията зависи от това дали плочата разботи като ковара или гъвкава диафрагма. В нормите за проектиране се препоръчва да се работи с корави диафрагми предвид получаването на опростен теоретичен модел за получаване на усилията във вертикалните елементи.

2. Критерии за диафрагмено действие 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. 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 [1][2][3].

При анализа на многоетажните сгради, натоварени на странични въздействия основното приемане е, че в подовите конструкции не се развиват деформации в тяхната равнина (т.нар. „диафрагмено действие“). За повечето сгради наличието на подови диафрагми допринася до най-икономично и рационално поемане на напречните сеизмични сили. Затова е важно те да бъдат проектирани с достатъчна коравина в план, както и ефективно свързване с вертикалните носещи конструкции.

Изследването за гъвкавост на диафрагмите е важно за правилна оценка на тяхното влияние върху цялостното поведение на сградите при сеизмични въздействия. Някои нормативни документи (EC8-1 [5], EBCS8 [6], ЕАК-2000 [7]) дефинират определени качествени критерии по отношение на формата на диафрагмата, докато други (UBC-97 [8], ASCE7-05 [9], FEMA-274 [10], IS1893:2016 [11]) дефинират количествени критерии, определящи диафрагмата като корава или гъвкава. Степента на гъвкавост представлява отношението между преместванията на гъвката диафрагма към преместванията на корава диафрагма. При това приемане могат да се извършват изследвания за степента на гъвкавост при различни отношения на размерите на плочите и етажността на сградата.

Повечето стандарти за проектиране възприемат редица количествени критерии за оценка поведението на строителните конструкции при сеизмични въздействия, базирани на геометрията на елементите, но само когато подовите плочи се приемат за „корави диафрагми“. Отворите в плочите се отчитат единствено при определяне на центровете на масите. Размерите, формата и разположението на отворите в плочите оказват влияние върху деформативността в план на плочите и върху преразпределението на сеизмичните усилия върху вертикалните носещи конструкции [4].

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 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, ASCE7-16 и FEMA274 една диафрагма се приема за корава, когато максималната напречна деформация на диафрагмата е повече от два пъти средното етажно преместване на съответния етаж.

При първия критерий е необходимо да се правят два отделни модела на конструкцията със и без приемането на подовата конструкция за „корава диафрагма“ и след това да се сравняват резултатите за всички точки от конструкцията. Това е изключително трудоемко и много сложно за практическо приложение.

Вторият критерий е значително по-опростен спрямо първия, тъй като се отчитат хоризонталните премествания на плочата при вертикалните носещи системи и средните между тях точки от подовата конструкция. Освен това ротационните форми на трептене в този случай не влияят върху средните междуетажни премествания на съответните точки. Тогава поведението на плочите може да се анализира самостоятелно в две взаимноперпендикулярни направления и да се отчита разположението на вертикалните носещи системи само в разглежданото направление.

За да се изследва само влиянието на отворите върху диафрагменото поведение на подовите конструкции, следва да се изолира максимално

влиянието на други параметри на геометрията, като брой, разположение и размери на вертикалните носещи системи. Поради тази причина в настоящото изследване се приемат следните хипотези:

- Изследването се прави само в една хоризонтална посока без отчитане на наличието на вертикални носещи системи в другото перпендикулярно на натоварването направление, резултатите за което могат да се определят аналогично;
- Вертикалните носещи конструкции в разглежданите модели се приемат с еднакви коравини. Това елиминира ротацията на плочата, която по принцип не оказва влияние върху крайния резултат;
- Изследват се само еластичните премествания на плочата в нейната равнина. По този начин преместванията се получават пропорционални на сеизмичните сили и резултатите не зависят от интензивността на сеизмичните въздействия;
- Като критерий за „корава диафрагма“ се приема този, даден в UBC97, ASCE7-16 и FEMA274 [4] и се определя по формулата

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

3. Избор на модели за изследване

Предвид необходимостта от определяне на ефекта от наличие на отвори в подовите конструкции, най-подходящо за използване е комбиниране между гредови модели и модели с крайни елементи, т.е. подовите конструкции да се моделират като равнинни елементи с крайни елементи (хоризонтални гредостени). Във всяко направление плочата може се разглежда като подпряна на две или повече вертикални носещи системи,

поемащи сеизмичните усилия. По този начин могат да се получат опростени пространствени модели.

Настоящото изследване се разглежда и анализира на диафрагменото поведение в частен случай на квадратни плочи с кръгъл 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. 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 диаметърът на отвора – с D .

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 .

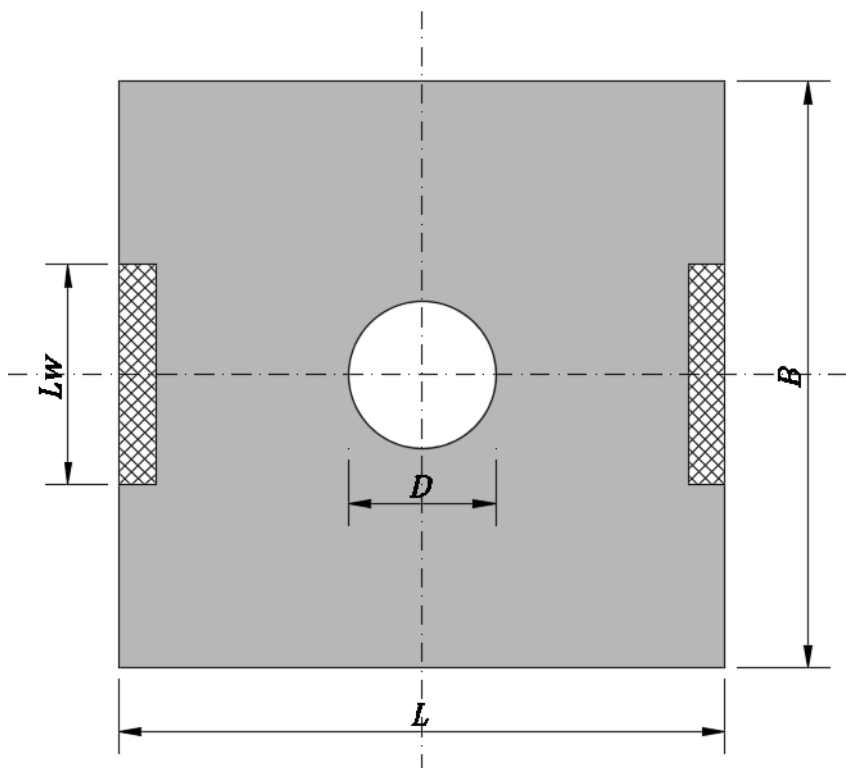
Параметрите на геометрията в изследването се ограничават до следните стойности:

- отношение между диаметъра на отвора и широчината на плочата

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

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

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



Фиг. 1. Геометрия на подовата конструкция в план

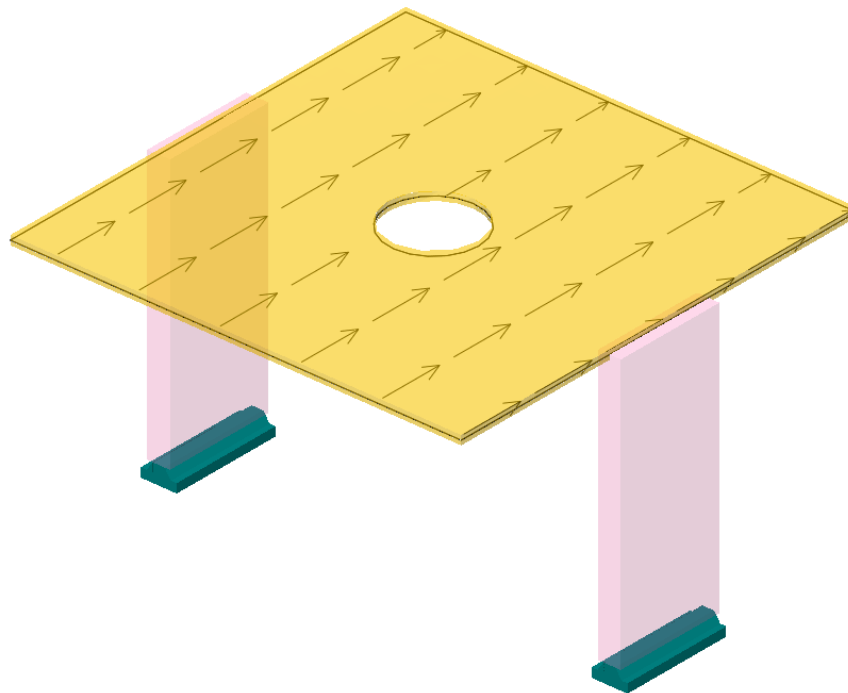
В настоящото изследване размерите на плочата са приети $B = 10m$ и $L = 10m$. Дебелината на плочата h_f е приема минималната възможна дебелина от $10cm$. По-големи дебелини увеличават значително коравината на подовата конструкция и в повечето случаи хипотезата за „корава диафрагма“ е валидна дори и при 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 $E = 3 \cdot 10^7 kPa$.

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. Примерен модел е показан на фиг. 2. Подовата конструкция е моделирана като стоманобетонна плоча, подпряна на стоманобетонни стени с дебелина 25cm.

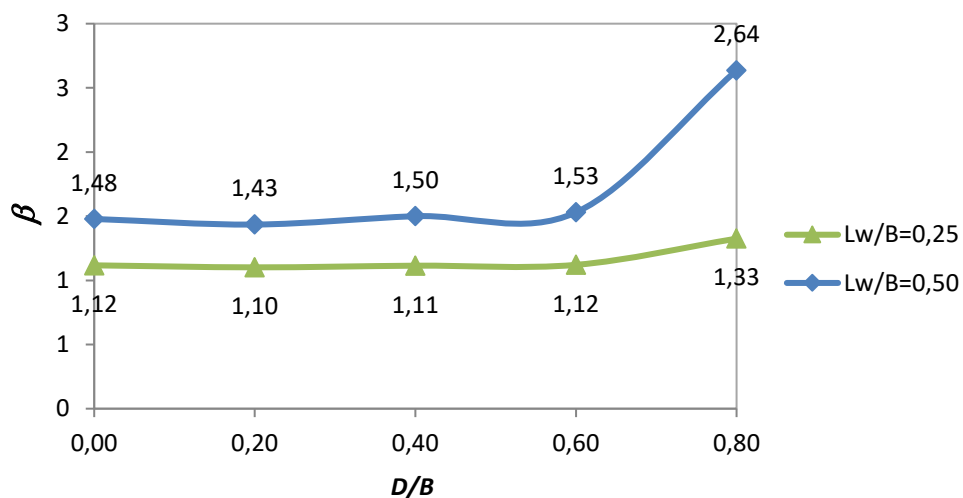


Фиг. 2. Примерен модел на подовата конструкция

Резултатите от проверката на критерия за „корава диафрагма“ са представени в показаните по-долу таблица и графика.

Табл. 1. Стойности на параметъра β

Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,25$				
D/B	$\Delta_{\text{Flexible diaphragm}}$ [mm]	$\Delta_{\text{Average story drift}}$ [mm]	β	Корава диафрагма
0.00	0.86	0.77	1.117	Да
0.20	0.87	0.79	1.101	Да
0.40	0.78	0.70	1.114	Да
0.60	0.65	0.58	1.121	Да
0.80	0.53	0.40	1.325	Да
Еквивалентна дължина $L_w/B = 0,50$				
0.00	0.34	0.23	1.4783	Да
0.20	0.33	0.23	1.4348	Да
0.40	0.30	0.20	1.5000	Да
0.60	0.26	0.17	1.5294	Да
0.80	0.29	0.11	2.6364	Не



Фиг. 3. Стойности на параметъра β в зависимост от диаметъра на отвора

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 $h_f/L = 1/100$. 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 $D/B = 0,80$. В този случай при дебелина $h_f = 10$ cm подовата конструкция работи като гъвкава диафрагма.

5. Заключение

Проведеното изследване относно влиянието на кръгъл отвор върху диафрагменото поведение на квадратни стоманобетонни плочи с размери 10m x 10m 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] Димитров, Й., Михалева, Д., Модели за изследване на диафрагменото поведение на стоманобетонни плочи, Сборник доклади от Международна научни конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, Научно-технически съюз по строителство в България, София, ISSN: 2603-4255 (CD/DVD), 2020, стр. 161-170

- [2] Димитров, Й., Изследване диафрагменото поведение на квадратни стоманобетонни плочи с квадратен отвор, e-Journal VFU, vol.16, ВСУ „Черноризец Храбър“, ISSN 1313-7514, 2021
- [3] Димитров, Й., Изследване диафрагменото поведение на правоъгълни стоманобетонни плочи с квадратен отвор, e-Journal VFU, vol.16, ВСУ „Черноризец Храбър“, ISSN 1313-7514, 2021
- [4] Димитров, Й., Критерии за оценка на диафрагменото поведение на стоманобетонни плочи със и без отвори, e-Journal VFU, vol.16, ВСУ „Черноризец Храбър“, ISSN 1313-7514, 2021
- [5] EN1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. CEN, 2004
- [6] Ethiopian Building Code - 8, 1995 [EBCS 8, 1995]
- [7] Greek Code for Seismic Resistant Structures [EAK2000]
- [8] Uniform Building Code [UBC-97, 1997], International Conference of Building Officials, Structural Engineering Provisions, Whittier, California.
- [9] ASCE7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society Of Civil Engineers, 2016
- [10] Federal Emergency Management Agency (1998), National Earthquake Hazard Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-274, Washington, D.C.
- [11] Indian Standard [IS 1893 (Part 1): 2016]. “Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures (Part I)”