

ПРОЕКТИРАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ БУНКЕРИ

Станислав ЦВЕТКОВ¹, Сюлейман БАЙРАКТАРОВ²

DESIGN OF R.C. BUNKERS (PRISMATIC SILOS)

Stanislav TSVETKOV, Syuleiman BAIRAKTAROV

ABSTRACT

Reinforced concrete bunkers represent relatively low storage facilities silos. The report looks at bunker, which is a 4-cell (2x2) "battery" for storing flour as part of a bakery. The walls are solid, the roof is flat, the bottoms are shaped with pyramidal funnels to empty. The top structure (tank) is supported on a frames (made up of columns and beams) and are supported by a foundation plate. Of interest are the different methods of analysis and the combinations of impacts from the different loading states and stages. Basic fragments of static and seismic analyzes are shown, as well as drawings from the architectural and structural parts of the project.

Key words: *bunker (prismatic silo); Janssen theory; Eurocode 8 – 4; Tower (software)*

¹ Гл. ас. д-р инж., Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, Строителен факултет, катедра „Строителни конструкции“, e-mail: st.cvetkov@vsu.bg

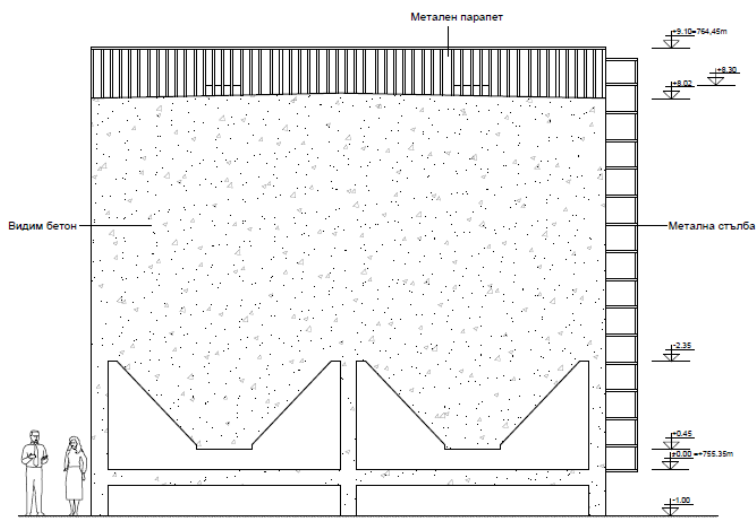
² Студент, Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, специалност „Строителство на сгради и съоръжения“, специализация „Строителни конструкции“

1. Общи сведения

Обектът на разглеждане, представлява стоманобетонно съоръжение – тип „бункер“ за съхранение на брашно (сравнително ниско по отношение на силосните съоръжения, за съхранение на насипни материали, чийто ъгъл на вътрешно триене/естествен откос пресича стените му) [1]. Като конструкция разглежданите бункери представляват самоизпразващи се хранилища, свързани в 4-камерна „батерия“ (2x2 клетки). При пълни 4-те клетки до горе, обемът на материала е 146,2 m³.

Като ситуиране, обектът се намира в непосредствена близост до хлебозавод за производство на тестени изделия. Заради непрекъснато производство като режим на работа на завода, се налага изграждането на съоръжението, осигуряващо необходимото количество брашно за изготвяне на отделните видове хранителни продукти. Местоположението на конструкцията е в град Перник (България). Относителната кота ±0,00 е равна на абсолютна кота + 755,35 m. Цялото съоръжение е с височина +8,30 m от кота ±0,00. Габаритните размери са 11,05 m/11,05 m. Стените са плътни (без отвори). Клетките за брашно именно представляват т.нар. „резервоар“ (контейнер). Над максималното ниво при напълване на бункерите, остават 50 cm свободно (светло), ревизионно пространство – до покривната плоча.

Фасадата остава видим бетон, а покривът е равен и хидроизолиран с два пласта хидроизолация като горния пласт е с минерална посипка. Съоръжението е с опорна рамкова конструкция (от пространствени ригели и колони), фундирана на обща фундаментна плоча с необходимата хидроизолация. Доставка на брашно се извършва със специализирани камиони наречени „брашновози“ (подобни на циментовозите), които пълнят бункерите от горната част. В долната част на всеки бункер е оформена пирамидална фуния (централно конструирана), от която брашното се изсипва и преминава в шнекова система, отвеждаща суровината към завода за използване. За недопускане на засвояване на продукта, се предвиждат „антидинамични“ тръби по специален технологичен проект. На фиг. 1 е показан изглед на конструкцията.



Фиг. 1. Фасада на съоръжението (поглед отпред)

2. Конструктивно решение [1], [2]

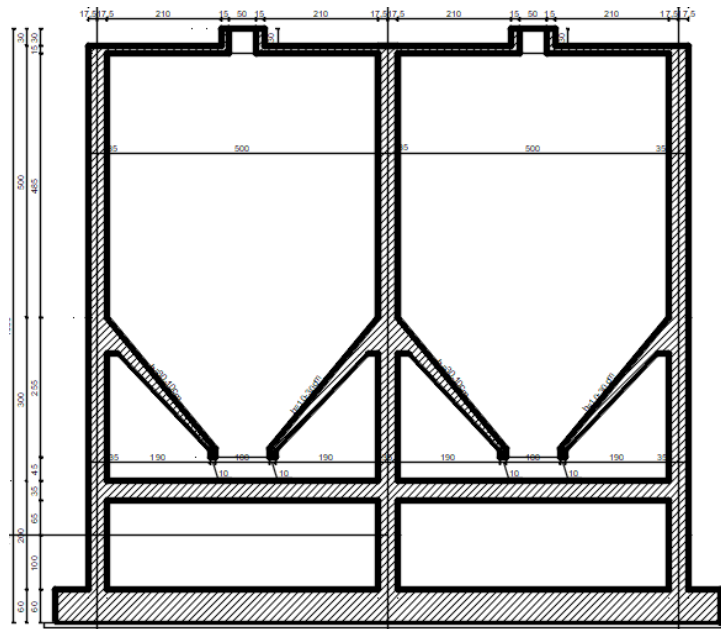
Почвата на местостроежа е пясъчлива глина с: $q_{R0}=260 \text{ kN/m}^2$, тип D (съгласно Еврокод 8), Винклерова константа: $k_w=20000 \text{ kN/m}^2/\text{m}^3$ - за основни комбинации и $k_w=60000 \text{ kN/m}^2/\text{m}^3$ - за сеизмични комбинации.

За всички конструктивни елементи (монолитен стоманобетон) е приет бетон с клас по якост на натиск C25/30 по БДС EN 206:2013+A1:2016/NA:2017, а за подложен бетон при фундирането е приет – C12/15. Армировъчната стомана е с клас B500B по БДС 9252:2007.

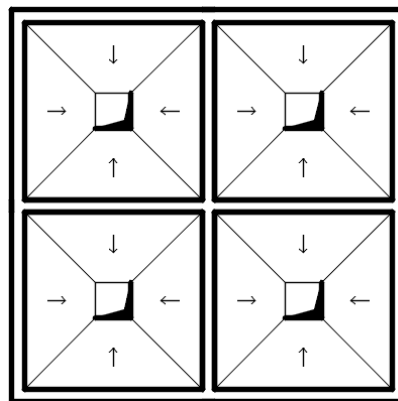
Фундаментната плоча е с размери 12,25/12,25/0,6m. Обратният насип върху нея е 100 cm. Опорната рамкова конструкция е съставена от ригели и колони, чиито размери са както следва: ригелите са с размери 35/35 cm, при светъл отвор 5 m (гредовите елементи са конструирани по средата на колоните – ниво половин височина); колоните са с размери на напречното сечение 35/35 cm, с общ размер от горен ръб фундамент до долен ръб стена - 4,35 m; стените на съоръженията са квадратни (като геометрия) с дебелина 35 cm. Предвид композирането на клетките на два реда и на две колони в план, средните стени (образуващи кръст по оси „2“ и „В“) са общи. В долната част на стените са конструирани фунии (4-ъгълни пресечени пирамиди) с варираща дебелина 30-10 cm и ъгъл на наклона 50°. В зоните на преход от колони към стени са конструирани видими опорни пръстени - със сложна ъгловидна геометрия. Покривната плоча е безгредова конструкция с дебелина 15 cm, подпряна върху стените на клетките. Предвидени са технологични отвори в средите на полетата (за зареждане – пълнене). Заради необходимостта от тежко конструктивно решение и функционалността на структурата, е необходимо проектирането на дренажна система под фундамента, недопускаща причиняването на овлажнявания и омокряния на почвата и/или фундирането, а от там и на слягания.

На фиг. 2 е показан вертикален разрез през двойка съседни клетки от конструкцията.

На фиг. 3 е показан план на клетките и разположение на фуниите.



Фиг. 2. Частичен вертикален разрез

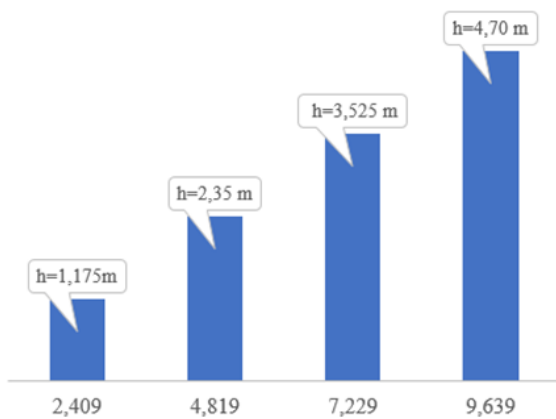


Фиг. 3. Дъна – пресечени пирамидални фунии на клетките

3. Въздействия [2], [3]

Предвид спецификата на съхранявания материал, въздействията върху съоръжението са приложени като за приблизително „средно“ ниво между въздействия за бункер и въздействия за силос. Обемното тегло на брашното е прието $\gamma=7 \text{ kN/m}^3$, а ъгълът на естествен откос $\phi=45^\circ$. При подобен тип съоръжения, при които е налице дисбаланс на нивата на материала в отделните хранилища (клетки), е абсолютно задължително изследването за вариантни решения - с цел осигуряване от възможно най-неблагоприятното натоварване и последващо комбиниране на въздействията. При всички представени по-долу групи за сравнителен анализ, е отчетен факта, че съоръженията се пълнят отгоре и се изпразват отдолу. Също така е невъзможно едновременно пълнене и изпразване на клетките, т.е. технологично е решено, че зареждането е при напълно празно съоръжение (променливият товар за спомагателни дейности е в зависимост от това състояние), а положението на височината (нивото) на материала е в зависимост от дебита на завода.

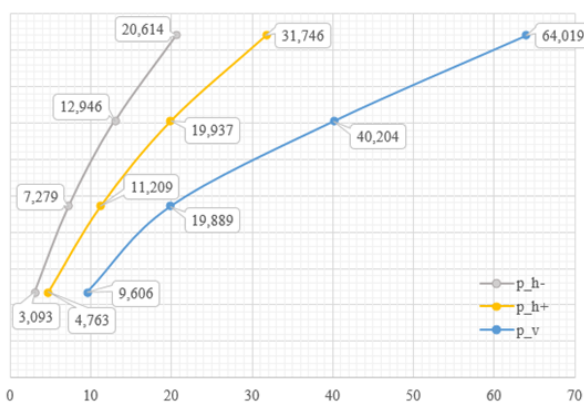
Група 1: анализ с коефициенти на натиск „при покой“ на материала.



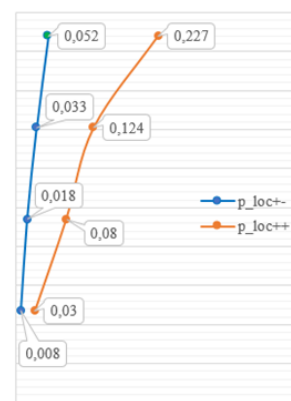
Фиг. 4. Стойности на наляганията за стените при определени височини, p , [kN/m²]

Фиг. 5. Стойности на наляганията за фуните при определени височини, p , [kN/m²]

Група 2: анализ с налягания (за пълнене и изпразване), съгласно Еврокод 8-4. В рамките на настоящия доклад са представени само графики на получените стойности за наляганията. На Фиг. 6.а) са показани диаграмите на основните въздействия, представени като налягания (от ляво на дясно: хоризонтално налягане при пълнене; хоризонтално налягане при изпразване; вертикално налягане при пълнене). На Фиг. 6.б) са показани диаграмите на допълнителните местни налягания (от ляво на дясно: налягане от изпразване; налягане, насочено навътре).



а).



б).

Фиг. 6. Налягания за стените, p , [kN/m²]

Група 3: анализ, съгласно теорията на Janssen. Получени са следните стойности на въздействията, а именно: $q_{\max}=50,872 \text{ kN/m}^2$ и $p_{\max}=8,750 \text{ kN/m}^2$, които се разпределят еднакво върху всяка стена (в случая за една стена, налаганията се делят на 4 – за общия брой стени).

Таблично (по-надолу) са показани:

- въздействия върху съоръженията;
- схемата, по която са натоварени отделните клетки от батерията.

Табл. 1. Товарни състояния на клетките

1	2	3	4	5	6
4 еднакво пълни клетки	3 еднакво пълни + 1 празна клетка	2 еднакво пълни (съседни) клетки в посока	1 пълна клетка (т.е. ъглова)	2 еднакво пълни клетки (по диагонал)	2 еднакво пълни клетки (отвътре навън) – разположени по диагонал
				с различни посоки на въздействията по общите стени на клетките	

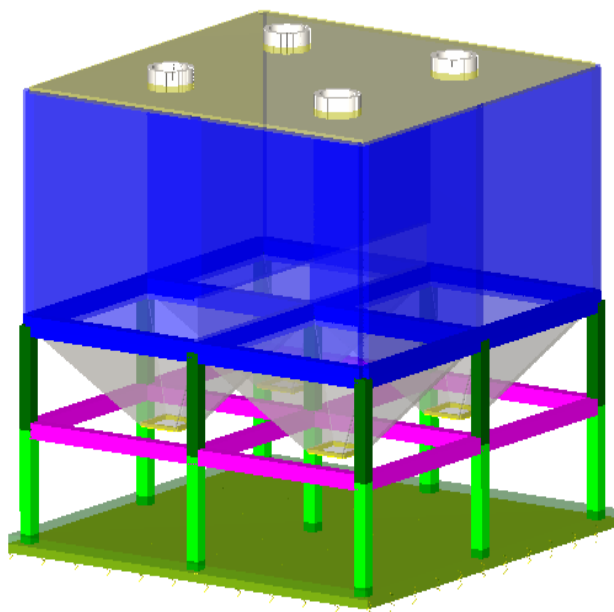
Съставени са изчислителни модели, върху които се прилагат въздействията, съгласно показаната таблица (за местоположение в „батерията“). Освен това, стените се товарят по 4 отделни нива: 1/4; 2/4; 3/4; 4/4=1 (за пълнене и изпразване). Фуниите се товарят на две нива: 1/2 и 1 (изцяло) – за пълнене и изпразване на съоръжението. За етап ПЪЛНЕНЕ на бункера, въздействията са приложени на „натиск“ и перпендикулярно (отвътре-навън към стените), а при ИЗПРАЗВАНЕ – в обратна посока. Тези въздействия са при променлива височина на съхранявания материал, чрез което се отчита варирането при потреблението. Това се отнася за стените и фуниите. Важно е да се отбележи, че напълването на съоръжението е в посока от долу на горе, а изпразването – от долу, т.е. фуниите винаги са натоварени (по приет линейен закон), докато стените може и да се окажат с минимално или без натоварване (за граничен случай). Това е в зависимост от степента (нивото) на изпразване, при която h (за стената) намалява и остава само пълна фунията. Печатообразните товари представляват „вакуум“-образни товари при изпразване, които заедно с печатите по стените при пълнене са приложени върху средите на стените (ниво $h=2,35 \text{ m}$). Както беше споменато по-горе: при процес пълнене на клетките – товар от обслужващи работници по покрива се отчита, докато при изпразване – не.

4. Анализ и комбинации за моделите

За всяка една от трите групи за анализ с приложени въздействия, са съставени по два изчислителни модела в среда на програмен продукт Tower, базиран на работа по Метода на крайните елементи. Всеки един модел е натоварен с въздействията, съгласно Групата, към която принадлежи по начин и теория за решението, както и със случаите на състояния (пълна/празна) на отделните клетки от структурата, съгласно таблица 1.

Всички процеси по анализ на многокамерното съоръжение са итерационни и имат за задача да „изолират“ най-неблагоприятният случай на приложени въздействия, но и най-логичния (практически осъществим).

На фиг. 7 е показан изчислителният модел в среда на програмен продукт. Ясно личат т.нар. „Съвкупности“, т.е. чрез цветово разграничение, се визуализират елементите с различни характеристики.



Фиг. 7. Изчислителен пространствен модел (от Tower)

Условно моделите са нар. „статико-динамичен“ и „сеизмичен“ (за 3-те групи анализи).

За статико-динамичните модели: собственото тегло на конструктивните елементи и земният натиск, участват с коефициенти за въздействия в комбинациите 1,35; обслужващия персонал и съхранявания продукт – с коефициент 1,5 (предвид динамичното/интензивно текучество на суровината). Въздействията са приложени на съответните височини, като за същите са съставени и изчислителните комбинации, на база принципите, изложени по-горе за съответните начини и предпоставки за комбиниране. Именно затова, в комбинациите, насипният материал като фактор влиза като компонент в отделните членове на формулите, в зависимост от дяловото участие, съобразено с технологичната специфика на завода – консуматор. При модела от Група 1, както беше споменато – не се комбинират пълнене и изпразване. Интерес представлява модела от Група 2, тъй като при него: местните печатообразни въздействия участват в комбинациите с коефициент за динамичност 1,6, а вертикално и хоризонтално налягане от продукт се комбинират (в зависимост от схемата на въздействия) със сумарен коефициент 1,5 (т.е. става разпределение по части с коефициенти, до сума на всички 1,5). При модела от Група 3 – вертикалното и хоризонтално въздействия от съхраняван продукт се комбинират.

За сеизмичните модели, последователно се извършват модален и сеизмичен (спектрален) анализи. За да бъде отчетена гъвкавостта на конструкцията (стените), предвид това, че съоръжението е с: призматична форма и квадратни напречни сечения на отделните клетки (и с пирамидални фунии на дъната), както и обстоятелството, че стенната конструкция е подпряна на рамкова, следва включването само на собственото тегло – със 100% (на конструктивните елементи) за създаване на модални маси. Насипният материал е с изразен променлив характер (има непостоянство при текучеството в обемите и режимите на работа, съгласно технологичната карта на завода). Съгласно сеизмичното райониране на България, обектът се намира в част с референтно ускорение $a_{gR}=0,15.g$. Изследваното съоръжение е в област извън Североизточна България, затова влиянието на Вранча (респективно Спектър Вид 3) не се отчита. Работи се само със Спектър Вид 1 (характерен за цялата територия на страната). Взети са предвид хоризонталната и вертикална компоненти на сеизмичното въздействие, защото е налице товар, концентриран във височина. Също така самият контейнер е със смесен вид конструкция: стенна за клетките, съчетана с ажурна опорна част (рамкова конструкция върху обща фундаментна плоча). Колоните (на второ ниво) са моделирани като за „критична зона“ (с намалени инерционни моменти), както и ригелите са с коригирани инерционни моменти. Приети са следните стойности на коефициента на поведение: за хоризонтална компонента – $q=1,5$ и $q=1$ – за вертикална компонента на сеизмичното въздействие [4]. При модела от Група 1

отново пълненето не е комбинирано с изпразването, а са наблюдавани стойностите на разрезните усилия за елементите от обвивните диаграми от комбинациите по отделно. При модела от Група 2: едновременно са прилагани хоризонтално, вертикално и допълнително местно налягане за определена височина (при сумарен коефициент за съчетание на трите налягания, равен на 1). При модела от Група 3 – вертикалното и хоризонтално въздействия от съхраняван продукт се комбинират.

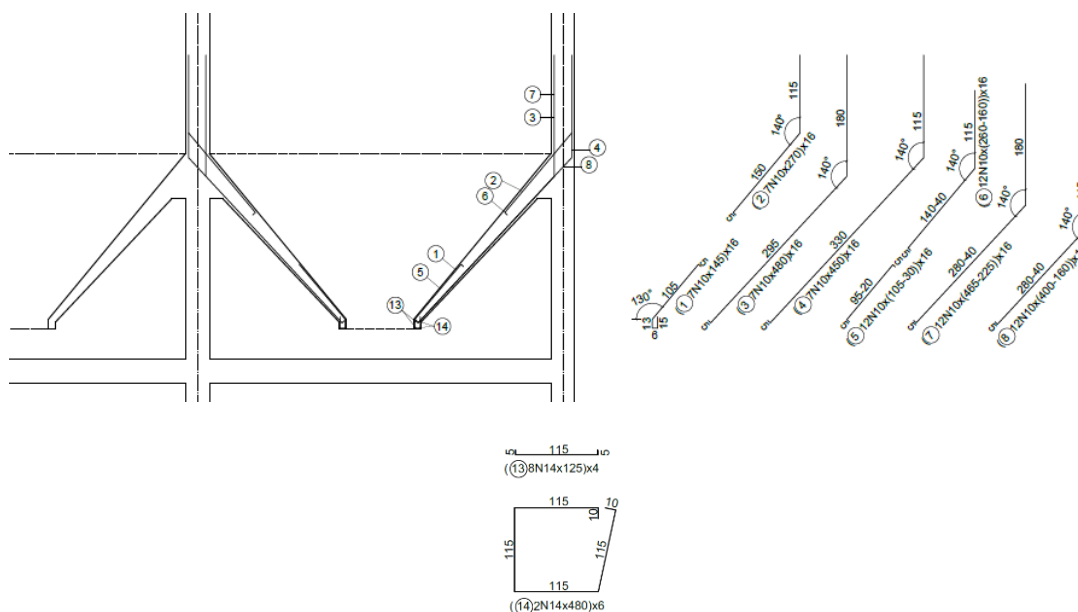
5. Резултати и изводи

Тъй като най-големи стойности на въздействията и най-голям набор от комбинации имат моделите от Група 2, означава че те са меродавни (с най-големи стойности на разрезните усилия за конструктивните елементи). В таблица 2 са показани основни диаметри армировъчни пръти, получени при анализа с максималните разрезни усилия (при сравнение на статико-динамичната и сеизмична комбинации), по конструктивни елементи.

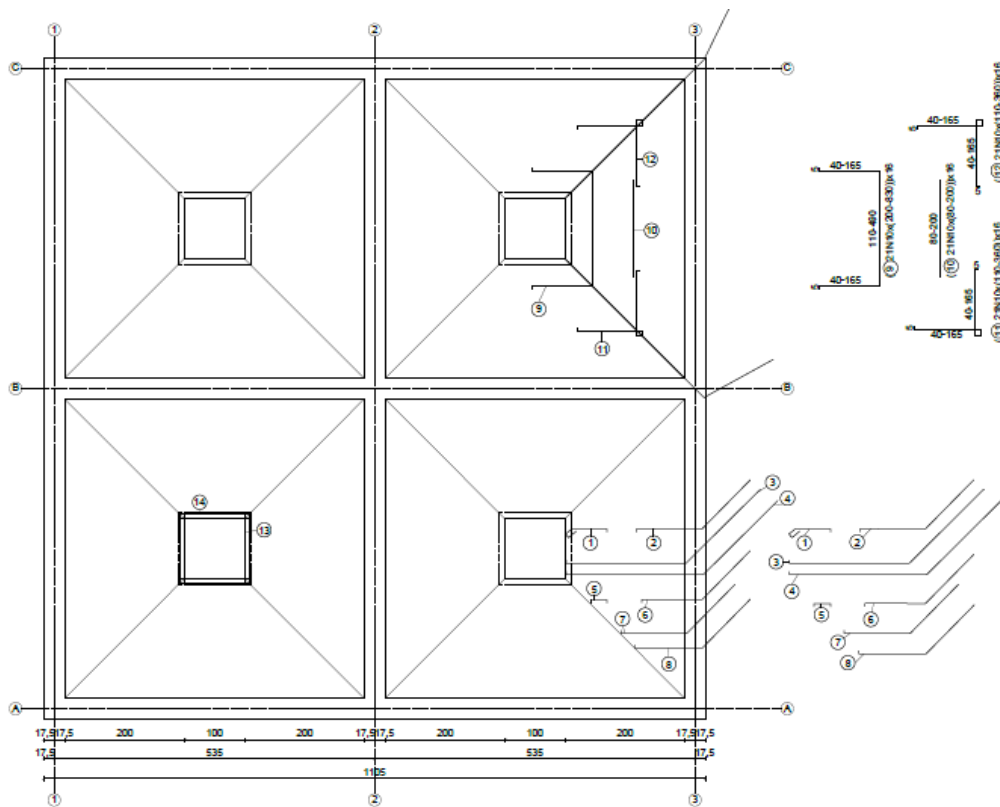
Табл. 2. Данни за получените армировки на съоръжението

елемент	носеца армировка
покривна плоча	N10/20 – долна и горна (в двете посоки) + N8/25-МА
отвор за пълнене	N12 – за обрамчване + N8/20 – за борд
горна скрита греда (бордова)	2N14 – за долна и горна + N8/20 – стремена
стени	N10/20 – двойна мрежа, в двете посоки
долни опорни греди	N12+ N8/20 – стремена
колони	8N14 + N10/10 - стремена
ригели от опорни рамки	2N25 – за долна и горна + N10/20 (10) – стремена
фуния	N10 – стени + N14 (обрамчване) – дъно
фундаментна плоча	N18/10 (20) – за долна и горна (в двете посоки)
Конструирането на елементите (относно: снаждане и закотвяне на армировките) е „класическо“, съгласно Еурокодовете!	

На фиг. 8 са показани позициите на армировъчните пръти, конструирани за пирамидалните фунии (стени и бордове на дъна). Фрагмент от детайлите на отговорните възли на армировките на опорните греди със сложна геометрия, са илюстрирани на фиг. 9.

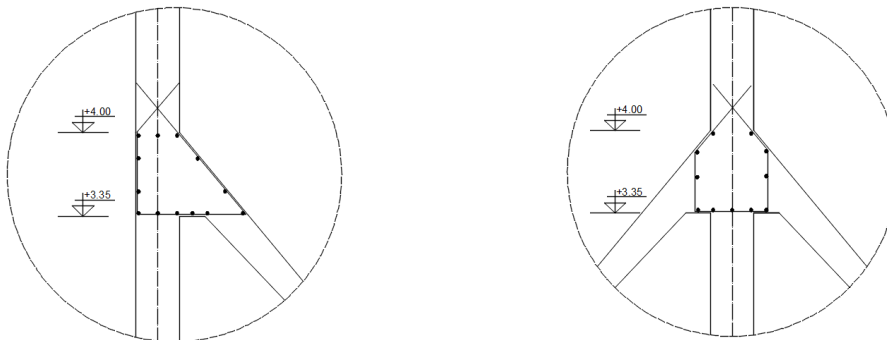


Фиг. 8. а). вертикален разрез



б). хоризонтална проекция

Фиг. 8. Армировъчен план на изпразнителна фуния с пирамидална форма



Фиг. 9. Принципно армиране на опорните (долни) греди

При така получените армировки, се оказва, че съоръжението не е „преоразмерено“ (с прекомерно високи усилия) и от друга страна притежава носеща способност и коравина.

ПРЕПРАТКИ

- [1], [2] Георгиев Г., Ст. Цветков, Ръководство за проектиране на специални стоманобетонни конструкции по Еврокод, част Първа, глава Първа и част Втора, ВСУ, С., 2014 и 2016
- [3] Цветков Ст., Св. Татева, Проектиране на стоманобетонни силози съгласно Еврокодовете, VII Международна научна конференция „Архитектура, строителство, съвременност“, Варна, 2015, стр.304-стр.313
- [4] Georgiev, G., Stanislav Tsvetkov, Analysis R.C. silos for horizontal and vertical components of the seismic, ESI, Pernik (Bulgaria), 2015, pp. 157-162.