



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580315](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580315)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 17.07.2025 г.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИГИТАЛНИ МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО ОТ ПРЯСНО ПОЛОЖЕНА БЕТОННА СМЕС

Е. Богданова¹

Ключови думи: кофраж, хоризонтален натиск, бетонови работи, дигитални методи

РЕЗЮМЕ

Дигитализацията в строителния сектор и развитието на технологиите дава възможност за внедряването на цифровизирани средства за определяне на натоварването от прясно положена бетонна смес в реално време и в реална среда на изпълнение. В статията е направен първи за България анализ за използването на дигитални методи за определяне на натоварването от прясно положена бетонна смес в практическа среда. Посочени са специфични особености при работа, както и основни изводи и заключения.

1. Въведение

Дигитализацията на проектирането и строителството, включително в експлоатацията, е актуална тема. Това може да бъде отчетено с множеството разработки в областта през последните години, а на местно ниво с официалното откриване на Европейски цифров иновационен хъб в сектор „Строителство“ и множеството програми за подпомагане на процеса на дигитализация в строителния сектор.

Използването на цифровите елементи има за цел улесняване, мониторинг и оптимизация на процесите във всичките техни етапи. По отношение на определянето на хоризонталния натиск от прясно положена бетонна смес и използването на дигитални методи може да бъде отбелязано, че има създадени цифровизирани продукти, които се

¹ Евгения Богданова, гл. ас. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bogdanova_fce@uacg.bg

предлагат, включително във вариант на мобилни приложения, но те не са адаптирани за българската среда.

Една от основните причини е, че съгласно БДС EN 12812:2008 изчисляването на хоризонталния натиск се извършва по един от следните документи: Технологичен наръчник: Кофраж, CIB-CIF-CEB 27-98-83 (Франция), DIN 18218 (Германия), Доклад CIRIA 108 Натиск от бетон върху кофраж. 1985 г. (Англия), но не и по национално приложение към стандарта, тъй като същото не е разработено.

При сравнение на различни стандарти [3] може да бъде направено обобщение, че основните фактори, които имат отношение за определяне на хоризонталния натиск от прясно положена бетонна смес са обемното тегло, температурата и скоростта на бетониране.

Обемното тегло е фактор, заложен в проектната документация и в приобектови условия не може да бъде променен.

По отношение на температурата има възможност за въздействия, но те изискват допълнителни средства и оскъпяват крайния продукт.

Основният параметър, върху който може пряко да бъде повлияно, е скоростта на бетониране. Тя се контролира по време на изпълнението и може да има директно въздействие върху хоризонталния натиск.

Високата скорост на бетониране позволява съкращаване на сроковете за изпълнение, които се явяват приоритет за всички участници в строителния процес.

Произведени са датчици с директно цифрово отчитане на натиска от прясно положена бетонна смес (pressure system, pressure sensor). В България не съществува практически опит и яснота за технологията на изпълнение в случай на използването им, също така липсва адаптация с българската нормативна уредба. Това води до невъзможност за оптимизация на строителните операции с помощта на цифрови продукти.

По тази причина се налагат практически измервания на място за установяване на реалните стойности и търсене на мерки за постигане на оптимизация на кофражните и бетоновите работи. От страна на производителите нараства интересът относно развитие на нови продукти с добри практически резултати, като при това се налагат измервания на място за проверка на показателите им. Така например все по-широко при изпълнение на бетонни работи намират приложение леките кофражни системи за вертикални елементи. Това се дължи на тенденциите на съвременната практика за конкуренция на фирмите производители и предоставяне на разнообразие от строителни изделия, които увеличават възможностите за облекчаване на работата на обекта, използване на по-малък брой работници, намаляване на крановото време. Леките кофражни системи позволяват облекчение на работната ръка, но в същото време ограничават скоростта за изпълнение на бетонови работи.

Производителите са посочили в каталозите си данни за максималния хоризонтален натиск върху кофражната форма, но на обектите често не се използва пълният му капацитет, поради практически навици и традиции в изпълнението, заложен от времето на неразвитата кофражна техника. Често препятствие се явява това, че при проектирането невинаги би могло да се отчетат всички реални фактори. Тази слабост е вследствие на липса на данни за влиянието на температурата и други фактори. Това придава изключително значение на практическата проверка и анализ на влиянието на температурата при използване на дигитални методи за определяне на хоризонталния натиск от прясно положена бетонна смес чрез измерване на място.

2. Особенности на изследвания обект и общи изисквания за изпълнение на бетонни работи

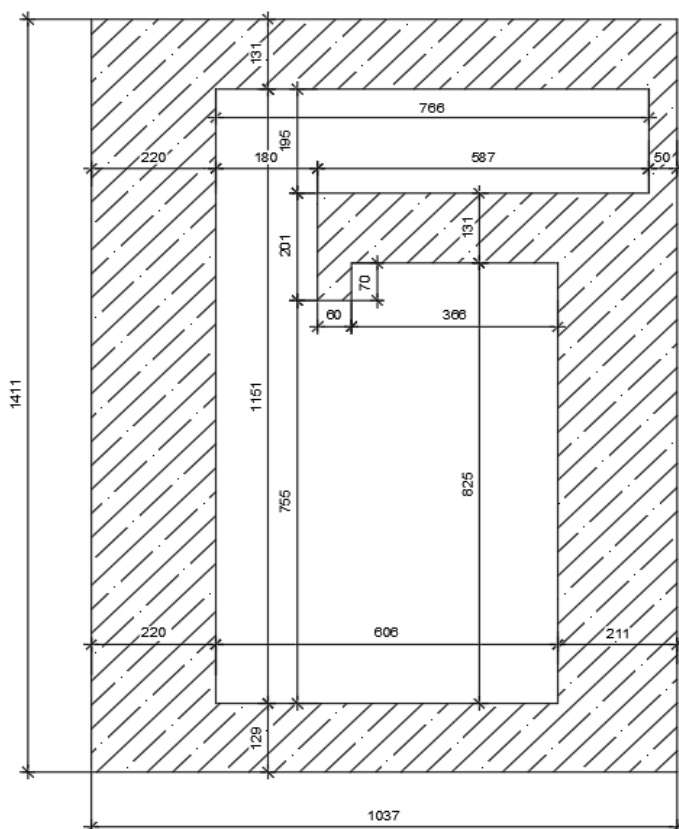
За изпълнение на проучващия експеримент беше включен обект, който има специфична форма и предназначение. Характерна особеност на изпълнявания бетонов елемент е, че е необходимо същият да бъде изпълнен с голяма отговорност, високо качество и без наличие на микро пукнатини, получени в следствие на разслояване или съсъхване.

За целта е проектирана специална бетонна смес.

2.1. Обща информация

Експериментът се проведе в гр. Стара Загора. Обектът представлява стоманобетонна композиция, част от обществена сграда – лечебно заведение за болнична помощ.

Стоманобетонният елемент е с правоъгълна в план форма съгласно фиг. 1 с външни размери 14,11/10,37 m. Височината до технологична е фуга 3,90 m. Елементът е с дебелина по късата страна 1,29/1,31 m, а по дългата 2,20/2,11 m. Общото количество бетон е приблизително 308 m³.



Фиг. 1. Форма и геометрични размери

2.2. Основни принципи по отношение на изпълнените бетонни работи

При изграждането на монолитните стоманобетонни дебели стени е необходимо спазването на основните принципи и специфичните условия на труд, за осигуряване на изисквания спрямо експлоатационните функции и изпълнението на стоманобетонен елемент с високо качество.

2.2.1. Доставка на бетонната смес

Обектът е с достъпен терен и в урбанизирани условия, поради което е целесъобразно доставката на бетонната смес да се изпълнява с автобетоновози и автобетоносмесители.

2.2.2. Вертикален и хоризонтален транспорт на бетонната смес

Вертикалният и хоризонталният транспорт на бетонната смес се осъществява посредством кран с кубел или с автобетонпомпа. Основният критерий за подбор е часовият приток. Предвид голямото количество на бетонната смес е необходимо осигуряването на по-висок часов приток. За целта се използват две автобетонпомпи.

2.2.3. Технология на подаване и полагане на бетонната смес

При стандартна височина на елемента препоръчителното подаване и полагане на бетонната смес е от горната част на кофража. Този метод осигурява контролирано и равномерно разпределение на бетонната смес.

Полагането на бетонната смес директно в проектното ѝ положение или възможно най-близо до него спомага за минимизиране на възможността за неточности по време на процеса на полагане, като гарантира целостта на конструкцията.

Когато се изпълняват вертикални елементи с големи размери, полагането на пластове на бетонната смес е удачно да се изпълнява на цели хоризонтални пластове или на стъпаловидни хоризонтални пластове. Всеки един пласт е с дебелина от 30 cm до 50 cm. Този метод допринася за монолитното изпълняване на конструкцията.

2.2.4. Оптимални времеви интервали между полагането на слоевете

От изключително значение по отношение на технологията на изпълнение е времевият интервал между последователно положените бетонни слоеве. При нормални условия този интервал не трябва да надвишава времето за свързване, като се вземе предвид времето за доставка и полагане. При специални бетонни смеси и наличие на добавки за ускоряване или забавяне на свързването е необходимо да се отчетат промените. При високи температури на околната среда времето за свързване е намалено.

2.2.5. Полагане на бетонна смес при големи височини

При по-високи стени с цел предотвратяване на разслояването на бетонната смес могат да бъдат използвани вертикални тръбопроводи и улеи, разполагани на приблизително разстояние от 2,40 m един от друг.

2.2.6. Уплътняване на бетонната смес

За уплътняване на бетонната смес при вертикални елементи е удачно да се използват иглени вибратори. Дължината на иглата l трябва да бъде съобразена с дебелината на пласта h , а именно $h = (0,6 - 0,9)l$.

Времето за уплътняване в една позиция трябва да е съобразено с техническите характеристики на използваните вибратори. Прекомерното вибриране може да доведе до сегрегация. Необходимо е иглата на вибратора да навлиза в предишния слой с около 10 – 15 cm.

2.2.7. Прекъсване на бетонирането и образуване на фуги

Освен ако няма специални предписания, задължително е да бъдат взети мерки за гарантиране на постоянно подаване и полагане на бетонната смес и недопускане на фуги.

2.2.8. Специфични условия и изисквания

В зависимост от конкретиката на елемента е необходимо да бъдат използвани специални бетонни смеси, като бъде подобрена пластичността на сместа, отворено време за работа и други.

2.2.9. Предотвратяване на удари в кофражната форма

По време на полагане на бетонната смес е необходимо кофражната форма да бъде предпазвана от удари.

2.2.10. Предотвратяване на образуването на кухини при гъсто армирани елементи

При гъсто армирани елементи и тесни участъци с цел избягване на образуването на кухини при полагане на бетонната смес е необходимо изливането да започне с потънк слой от 5 до 10 cm, т. нар. основен слой, за да се предотврати натрупването на свободни фракции добавъчни материали на дъното, което може да доведе до образуване на кухини.

Обобщаване на най-добрите практики:

За да се избегнат проблеми, произтичащи от неправилни практики за бетониране, е необходимо придържането към основните изисквания и конкретните предписания за изпълнение на бетонови работи.

3. Методика на проучването и използвана апаратура

3.1. Методика за изпълнение на проучването

За изпълнението на проучването е приложен емпиричен метод на работа [4].

Методът включва:

- устно проучване (Inquiry) под формата на беседа;
- наблюдения (Observations);
- анализ на документи;
- активно въздействие върху обекта;
- прилаганата стратегия е Тип „отворена кутия“ (“open box” technique), при която предварително е ясна функционалната зависимост между изследваните фактори и обекта;

- според целта си експериментът е проучващ (search experiment), като съгласно условията за провеждане той ще е полеви (field experiment), тъй като се провежда в естествена среда и условия.

3.1.1. Устно проучване

Устното проучване обхваща предварителна информираност за специфичните особености на обекта, принципите на работа и възможностите за извършване на експеримента. Необходимо е осигуряването на организационна, техническа и кадрова обезпеченост.

3.1.2. Запознаване с наличната проектна документация

За нуждите на работа беше предоставена част от проектната документация, касаеща само областта на проучването, обхващаща геометрични особености, план на кофража, данни за бетонната смес. Към момента на реализация на проучването не е установено наличие на проектна разработка и предписания за технологията на изпълнение на стоманобетонната конструкция.

3.1.3. Наблюдения

Преди организиране на експеримента беше извършено пряко наблюдение на работата и предварителна съгласуваност на отделните етапи при провеждане на същинската част.

3.1.4. Провеждане на полеви експеримент

При провеждането на полевите експерименти винаги съществува риск по отношение на изпълнението им, макар да са изяснени всички принципи на работа и да е създадена строга организационна схема. Важно е да се отбележи, че малко изследователи предприемат работа в динамична (полева) среда. Не бива да се пропуска фактът, че резултатите от този тип изследвания дават пряк мониторинг за реалното изпълнение, но също така имат и голямо „замърсяване“, поради факта, че в естествена среда няма възможност за контролиране на непредвидените външни фактори. Предвид факта, че изследването на използването на дигиталните методи изисква именно естествена среда, съвсем резонно е типът на експеримента да не е лабораторен.

3.2. Използвана апаратура

За провеждане на експеримента беше използвана апаратура, предлагана на българския пазар от фирма производител на кофражна техника, която дава възможност в реални условия и време да бъде определено натоварването от пряко положена бетонна смес и температура на бетона от полагането му до края на отчета.

3.2.1. Елементи на апаратурата

Апаратурата включва (фиг. 2):

- датчик за налягане (Pressure Sensor);
- датчик за отчитане на температурата (Temperature Sensor);
- предавател (Connector node);
- централизирано устройство (Hub).



Фиг. 2. Измервателна апаратура

3.2.2. Организация и принципи на работа

Датчикът за налягане се монтира на кофражната обшивка с помощта на винтове, като предварително се прави отвор в нея с диаметър 4,5 cm. Датчикът за температура в зависимост от обхвата на изследването се монтира по периферията или в центъра на бъдещия стоманобетонен елемент, като най-практично е изолираният край да се закрепва стабилно за армировъчния скелет, без да го допира.

Свободният край на температурния датчик се закрепва на предавателя, който дава възможност едновременно да бъдат включени датчици от четири точки. На предавателя има буквени означения А, В, С и D, които имат пряк отчет в централизираното устройство. Всеки предавател има свой уникален номер и при стартирането му се синхронизира автоматично с централизираното устройство чрез безжична връзка (Wi-Fi).

Датчикът за налягане се свързва с предавателя чрез специализирана букса.

Датчиците за налягане са предварително конфигурирани по два броя – А и В, за нуждите на изследването.

Централизираното устройство има дисплей, на който се визуализират данните от отчета в реално време. Това устройство предава информацията в облачното пространство. Данните могат да бъдат достъпни през телефон или персонален компютър след предварително създаване на потребителски профил.

В потребителския профил се посочва информация за обекта, обвързват се номерата на предавателите и буквените означения на датчиците, за да има пълна, точна и ясна проследимост на отчетите от изследването.

4. Провеждане на проучващия полеви експеримент

4.1. Кофраж на елемента

По проект е предвидено стоманобетонният елемент да се изпълни със системен стоманен рамков кофраж. Свързващите средства са изпълнени посредством скоби и шпилки. В някои участъци са предвидени дървени вложки, като в тези зони кофражът е укрепен допълнително посредством стоманени профили. Натоварването от пресния бетон се предава към основата с помощта на системни опорни стойки.

На фиг. 3 и фиг. 4 са представени типов вертикален разрез и план на кофража, които са разработени и предоставени за нуждите на изследването от техническия екип на доставчика на измервателната апаратура. Провеждането на експеримента не обхваща анализ, свързан с изискванията за оразмеряване, конфигуриране и изпълнение на кофражни работи. Приема се, че по отношение на този тип дейности са спазени нормативните изисквания и проектът е съгласуван.

4.2. Разположение на сензорите

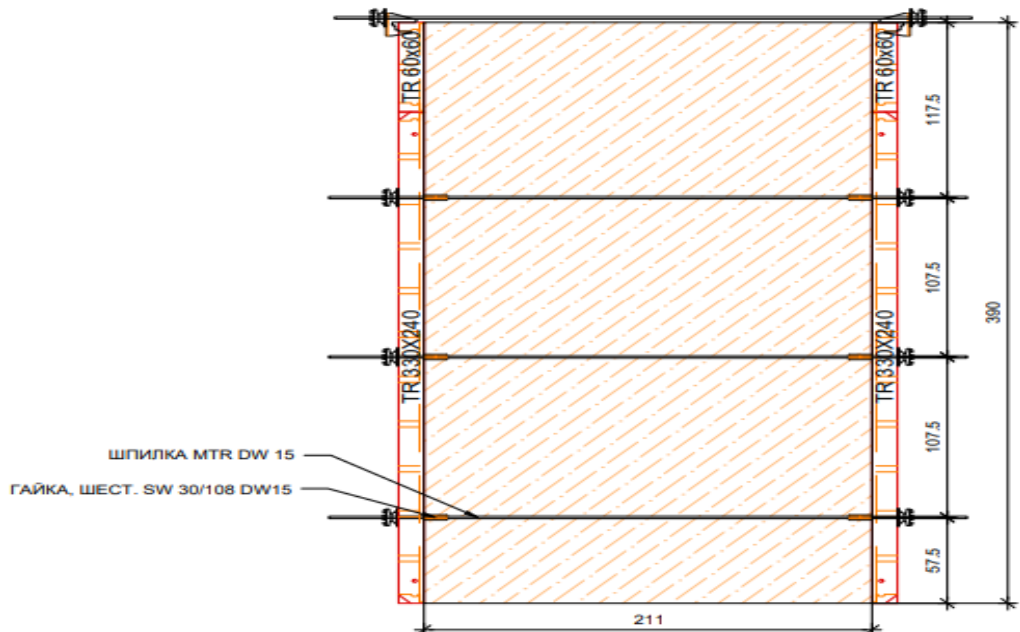
Разполагането на сензорите е съобразено и проследява температурата по периферията и тази в ядрото на елемента (фиг. 4).

Монтирани са общо 12 сензора за температура и 4 за отчитане на натоварването от прясно положена бетонна смес.

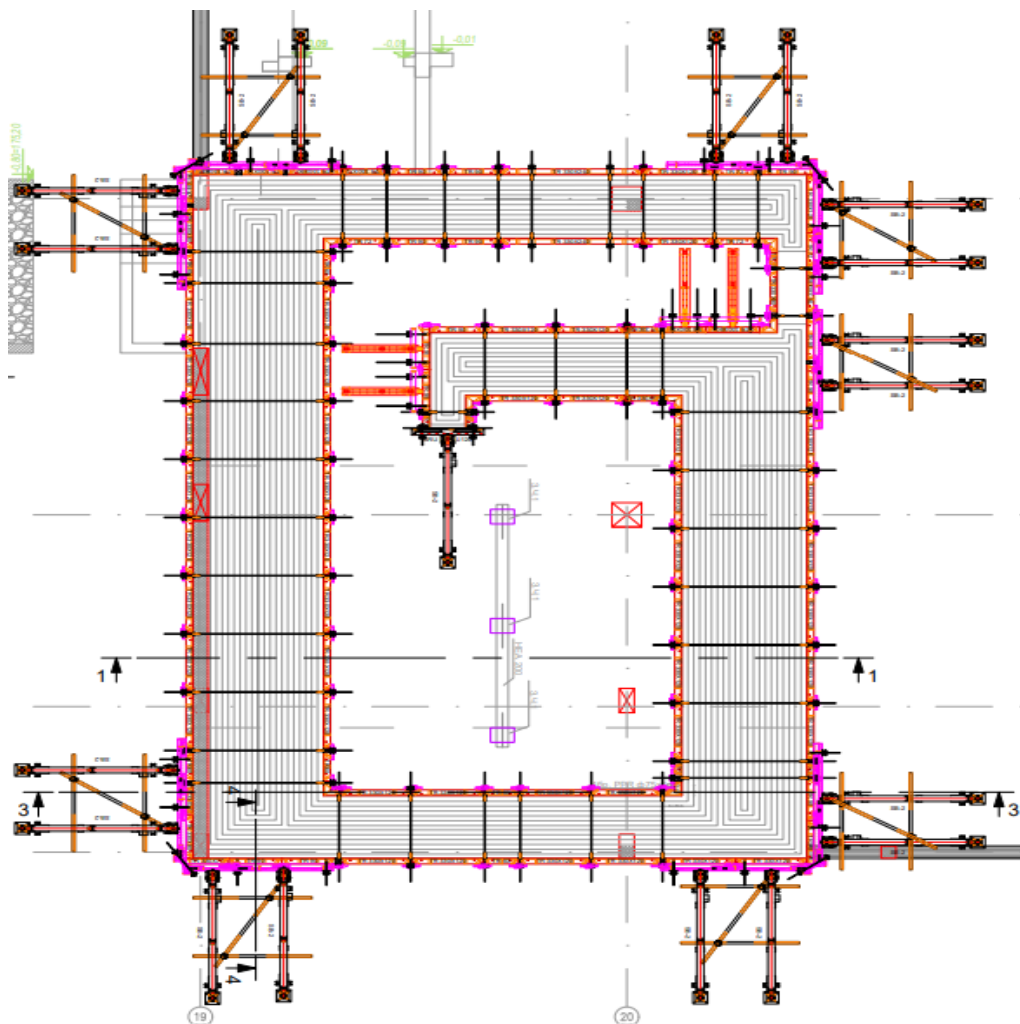
Монтажът на сензорите е съобразен с изследване на температурата по периферията и в ядрото в три сечения при дебелина на стената 211 cm и три сечения с дебелина на стената 130 cm.

Датчиците за налягане са монтирани в една ос на височини, както следва:

- 1 – А – Н = 0,17 m;
- 1 – В – Н = 1,07 m;
- 2 – В – Н = 1,89 m;
- 2 – А – Н = 3,14 m.



Фиг. 3. Типов разрез $H = 390$



Фиг. 4. План на кофража

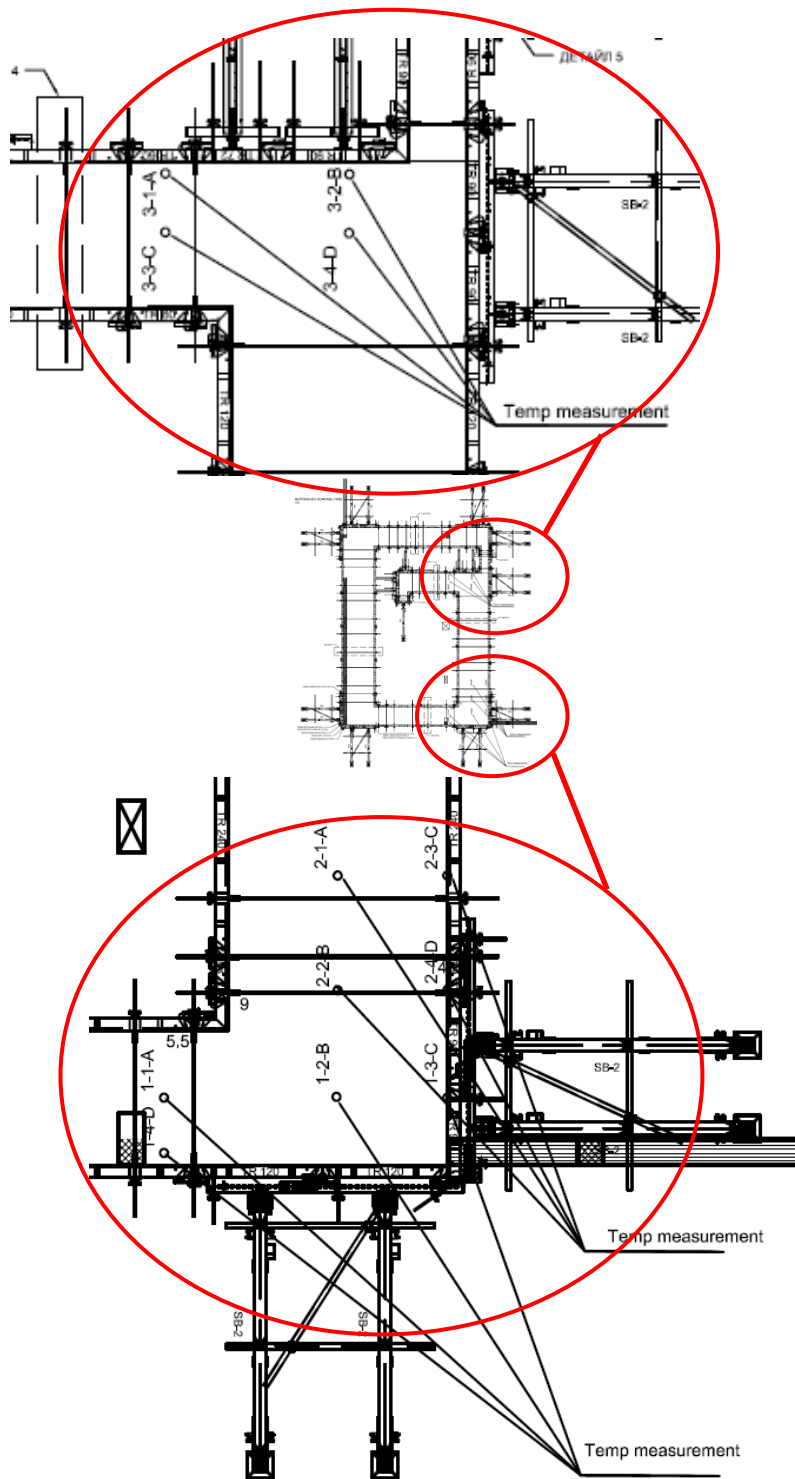
4.3. Етапи на изпълнение на проучвателния полеви експеримент

Експериментът се проведе в четири етапа, които дават възможност за проследяване и организиране на работата.

4.3.1. Първи етап – залагане на сензори и настройване на системата

След като аналитично беше определено местоположението на сензорите, същите бяха монтирани, съгласно фиг. 5. За да се проследи коректно отчетът, в предварително създадения потребителски профил бяха въведени данните за местоположението на всеки един датчик.

По време на монтажа на датчиците армировъчните работи бяха изпълнени изцяло. Монтирането на кофража беше извършено, с изключение на зоните на монтаж на сензорите.



Фиг. 5. Разположение на сензорите за температура

4.3.2. Втори етап – същинско изпълнение и отчитане

Вторият етап включва същинското измерване и отчитане.

При провеждането на експеримента бяха измерени и отчетени:

- температура на околната среда във функция на времето;
- количество на доставената и положена бетонна смес във функция на времето;
- температура на положената бетонна смес в 6 сечения във функция на времето;
- консистенция на доставената бетонна смес;
- натоварване върху кофражната форма от прясно положена бетонна смес във функция от времето;
- време за уплътняване.

За нуждите на изследването извън обекта беше направено

- лабораторно изпитване на пробни тела на якост.

4.3.3. Трети етап – приключване на отчитането

Отчитането на температурата в елемента започва при полагането на бетонната смес и приключва при достигане на определени стойности в зависимост от изследването – максимални, постоянни, минимални и др.

Отчитането на налягането от прясно положена бетонна смес започва след полагането и приключва с началото на свързване.

4.3.4. Четвърти етап – демобилизация

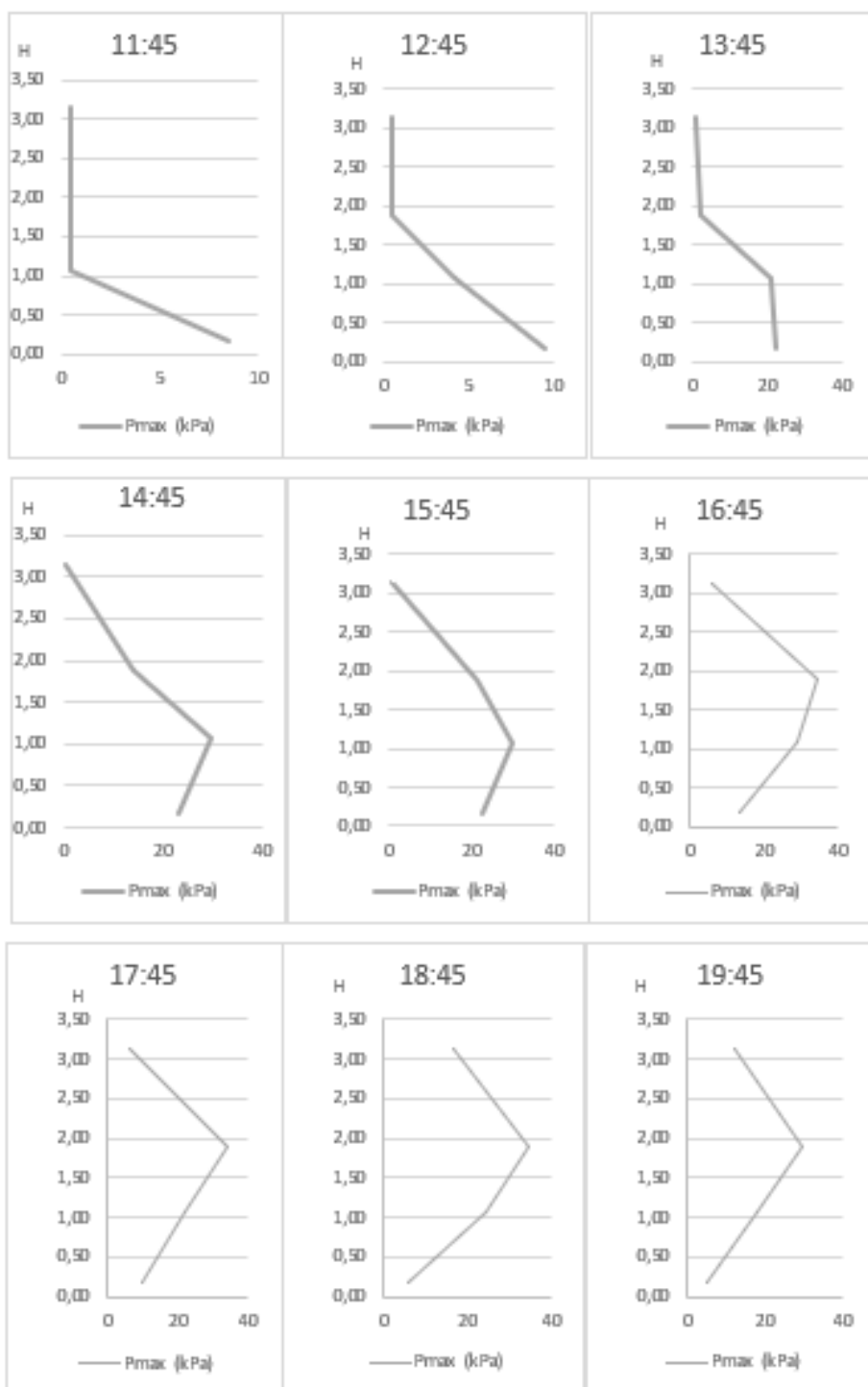
Демобилизацията включва демонтаж и почистване на сензорите за налягане и освобождаване на предавателите.

Датчиците за температура не са инвентарни и не могат да бъдат използвани в последващо изследване.

5. Резултати, анализ и заключение

5.1. Резултати

В настоящата статия се акцентира върху натоварванията на кофража в реални условия, получени чрез използването на дигитални методи. Резултатите, свързани със зависимостта натоварване от прясно положена бетонна смес във функция от времето са онагледени на фиг. 6.

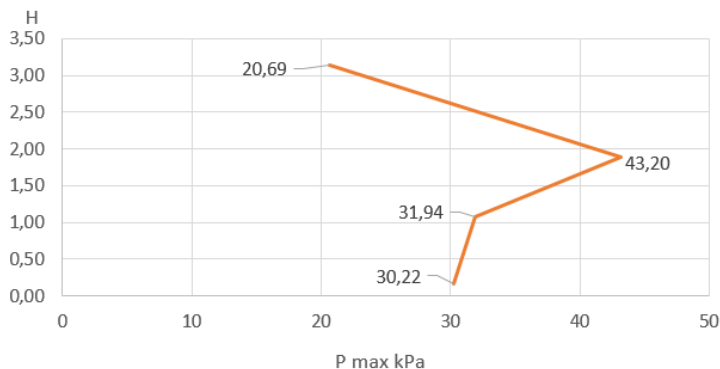


Фиг. 6. Графики на натоварването от прясно положена бетонна смес във функция от времето

5.2. Анализ

На фиг. 6 са представени резултати за промяна на натоварването на кофража в различните часови диапазони. От тях е видно, че видът на диаграмата на натоварването е съгласно теоретичните приемания.

В първите часове е триъгълникова, тъй като началото на свързване е в начален етап, след което преминава в полигонална (трапецовидна).



Фиг. 7. Най-голяма стойност на P_{\max} за конкретна височина

Отчетената максимална стойност на натоварването на кофража (фиг. 7) е 43,20 kPa. Съгласно техническата информация от фирмата производител за използваната кофражна система, максималното натоварване при стандартно укрепване на кофражните платна е 80 kN/m², което се явява около 200 % по-високо от експлоатационното натоварване.

Съгласно отчета от извършения експеримент времето за извършване на бетонови работи е 8 часа, което определя средния часов приток на бетонна смес, равен на $Q = 38,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Предвид факта, че бетоновите работи се изпълняват с бетон помпи и голямата разлика в реалното натоварване и максимално допустимото за кофражната форма, средният часов приток би могъл да бъде по-голям.

5.3. Характерни особености при използване на дигитални методи

По време на работа бяха отчетени следните особености, характерни за дигиталните методи:

- Осигуряване на интернет връзка на обекта.

Дигиталните продукти са проектирани да работят с постоянно наличие на интернет. За да могат да функционират, е необходимо в зоната на работа да има ресурсна обезпеченост – локална или глобална мрежа. Предвид доброто мобилно покритие в България, тази особеност не представлява пречка за работата, но е необходимо да се вземе под внимание.

- Електрозахранване.

Дигиталните продукти са предвидени да работят без постоянно електрозахранване поради наличие на устройство за съхранение на енергия – батерия. В зависимост от

изследването тя може да издържа до десетки дни. При направата на експеримента се наблюдава, че датчиците за налягане използват по-голямо количество електроенергия, в сравнение с датчиците за температура.

- Връзка с централизираното устройство.

По време на провеждане на изследването данните се изпращаха автоматично и бяха видими в реално време. При необходимост може да се спазят действията съгласно протокол за рестартиране на връзката.

- Окабеляване.

Използваните дигитални продукти работят без изискване за създаване на мрежа за пренасяне на данни. Единствено е необходимо да се предвиди трасето на връзката на температурните датчици с предавателя и преминаването му през кофражната обшивка.

5.4. Изводи

Използването на дигитални методи в практиката в България води до увеличаване на производителността и намаляване на средствата за единица продукция, свързани с наем на кофражна техника, наем на механизация, разходи за наем на работна ръка. Отчитането в реално време на натоварването на кофражната форма дава възможност за здравословни и безопасни условия на труд при изпълнение на кофражни работи.

Трябва да се има предвид, че по-големият часов приток на бетонна смес има определяща роля за времето на изпълнение на бетонови работи, но конкретните характеристики на елемента и работните условия биха могли да доведат до ограничителни условия.

Може да се обобщи, че на този етап не са отчетени технически или ресурсни обезпечености, които да не могат да бъдат осигурени поради районни особености.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН288/2023 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

Авторката изразява благодарност на „Пери България“ ЕООД за безвъзмездното осигуряване на апаратурата за провеждане на изследването.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kirov, N. Kofrazhi i skeleta. SEK 2006.*
2. *Petkov, Y. Tehnologia na stroitelnite protsesi. Tehnika, 1989.*
3. *Bogdanova, E., Pavlov, I. Sravnitelnen analiz v modelite za izchislenie nahorizontalnia natisak ot presen beton. Sbornik s dokladi na Mezhdunarodnayubileyna nauchno-prilozhna konferentsia UASG 2012, Sofia, tom 2, 2012, ISBN: 978-954-724-049-0.*
4. *Akterian, S. Research Methods and Methodology. Lectures, University of Food Technologies, Plovdiv (Bulgaria).*

5. Hrishev, L. Vazdeystvia varhu kofrazhite v saotvetstvie s BDS EN 12812. Sborniks dokladi na Mezhdunarodna yubileyna nauchno-prilozhna konferentsia UASG 2012, Sofia, tom 2, 2012, ISBN: 978-954-724-049-0.

6. BDS EN 12812:2008, Podporno skele. Eksploatatsionni iziskvania i osnovno proektirane, Balgarski institut za standartizatsia (BIS), Sofia, Bulgaria, 2018.

7. DIN 18218:2010-01, Pressure of fresh concrete on vertical formwork, Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), Berlin. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany, 2010, CIRIA Report 108, Concrete Pressure On Formwork, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London, UK, 1985, ISBN: 0-86017-250-3.

8. Proske, T. et al. Form pressure generated by fresh concrete: A review about practice informwork design. Materials and Structures, // Journal, Volume 47, 1099 – 1113, 2014, <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0274-y>.

9. BDS EN 206:2013+A2:2021, Beton. Spetsifikatsia, svoystva, proizvodstvo isaotvetstvie, Balgarski institut za standartizatsia (BIS), Sofia, Bulgaria, 2021. BDS EN 12350-5:2019, Izpitvane na betonna smes. Chast 5: Opredeleyane narazstilaneto chrez straskvane, Balgarski institut za standartizatsia (BIS), Sofia, 2020.

10. BDS EN 12350-2:2019, Izpitvane na betonna smes. Chast 2: Izpitvane na slyagane, Balgarski institut za standartizatsia (BIS), Sofia, Bulgaria, 2020.

USE OF DIGITAL METHODS FOR DETERMINING THE LOAD OF FRESHLY PLACED CONCRETE MIXTURE

E. Bogdanova¹

Keywords: formwork, lateral pressure, concrete mixture, digital methods

ABSTRACT

Digitization in the construction sector and the development of technologies enables the implementation of digitized means of determining the load of freshly placed concrete mix in real time and in a real performance environment. The paper presents the first analysis for Bulgaria of the use of digital methods for determining the load of freshly laid concrete mix in a practical environment. Conclusions about the applicability of the methods in Bulgaria are drawn.

¹ Evgenia Bogdanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bogdanova_fce@uacg.bg