



ВИСШЕ СТРОИТЕЛНО УЧИЛИЩЕ „ЛЮБЕН КАРАВЕЛОВ“

СТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

София, ул. „Суходолска“ 175

Катедра „Технология и мениджмънт на строителството“

СТАНИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВ БАКЪРДЖИЕВ

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНО-КОНСТРУКТИВНИ ПРОБЛЕМИ И
РЕШЕНИЯ ПРИ РАННО ДЕКОФРИРАНЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен
„ДОКТОР“**

Област: 5 Технически науки

Направление: 5.7 Архитектура, строителство и геодезия

Научна специалност: Технология и механизация на строителното производство

Научен ръководител: доц. д-р инж. Офелия Кирилова Лазова-Велинова

София, 2020г.

Дисертационният труд съдържа 217 страници, 238 фигури и 26 таблици, структуриран е в четири глави и съдържа 17 приложения. Използваната литература включва 62 заглавия, от които 40 са на кирилица и 22 на латиница. Дисертационният труд е структуриран в четири глави.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 15.01.2021г. във ВСУ „Любен Каравелов, гр. София, ул. „Суходолска“ №175 на открито заседание на научно жури, утвърдено със заповед № 617/01.12.2020г. на Ректора на ВСУ „Любен Каравелов“ гр. София, в състав:

Председател: доц. д-р Венцислав Кирилов Стоянов - рецензия

Членове: проф. д-р инж. Христо Владимиров Бояджиев - рецензия

доц. д-р инж. Офелия Кирилова Лазова-Велинова - становище

доц. д-р инж. Любка Заркова Петрова - становище

доц. д-р инж. Чавдар Христов Дончев - становище

Дисертационният труд е разработен в рамките на докторантура към катедра „Технология и мениджмънт на строителството“, Строителен факултет при Висше строително училище „Любен Каравелов“ - София.

Материалите по защитата са на разположение в сайта на Висше строително училище „Любен Каравелов“ (www.vsu.bg) и в деканата на Строителния факултет, София, ул. „Суходолска“ №175.

СЪДЪРЖАНИЕ

1	Въведение	2
2	Глава I. Изследване приложението на метода ранно декофриране в строителното производство. Цел и задачи на дисертационната работа.	3
3	Глава II. Теоретична обосновка на метода за ранно декофриране. Методики за изпълнение на изследванията в дисертационния труд	15
4	Глава III. Експериментално изследване. Анализ на резултатите	23
5	Глава IV. Изследване на технико-икономически показатели на системите за ранно декофриране и препоръки при прилагане на метода	58
6	Изводи и приноси	64
7	Насоки за бъдещи изследвания	66
8	Публикации по темата на дисертационния труд	66

ВЪВЕДЕНИЕ

Все по-многообразната архитектура в съвременното строителство дава все по-голяма предпоставка за навлизане на монолитното строителство при изграждането на стоманобетонни конструкции. Различните по размери, дебелини и проекция стоманобетонни плочи дават предпоставка за това, че производството на стоманобетонни гладки и гредови плочи с едроразмерни типови кофражи отстъпва пред производството на плочи с олекотени кофражни системи, които са с по-голяма гъвкавост при работа – било то рамкови или гредови. Все повече фирми производители на такива кофражни системи разработват и произвеждат висококачествени олекотени дървени гредови и алуминиеви или метални рамкови системи за бърз монтаж. Това от своя страна позволява на тези системи да бъдат подходящи за прилагане на метода за Ранно декофриране (РД). Методът за ранно декофриране представлява технология, при която чрез оставащо подпиране или преподпиране под плочите посредством телескопични подпори се успява да се запази плочата подпирна след като са декофрирани голяма част от кофражните компоненти, от кофража. Това най-често се случва чрез специализирани падащи глави поставени над телескопичните подпори, които позволяват да се премахнат кофражните платна, панели или греди, без да компрометираме подпирането на плочата. По този начин основното поле се разделя на по-малки такива, което от своя страна дава предпоставка за по-малки главни и тангенциални напрежения в плочата. Така якостните характеристики на бетона в ранна възраст, ще бъдат достатъчни за противодействие на напреженията в плочата и същевременно това дава възможност да се използва голяма част от кофражните компоненти в следващ такт.

Съвременните кофражни системи работещи на принципа на ранното декофриране все повече навлизат в строителното производство в Европа и България. Основните кофражни системи подходящи за ранно декофриране, които се използват по света са рамковите кофражни системи с падащи глави. Тази част от прилагането на кофражи подходящи за РД е и обект на изследване в дисертационния труд.

ГЛАВА ПЪРВА - ИЗСЛЕДВАНЕ ПРИЛОЖЕНИЕТО НА МЕТОДА РАННО ДЕКОФРИРАНЕ В СТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА.

1.1. Същност на технологията за ранно декофриране на стоманобетонни хоризонтални елементи

Ранното декофриране (РД) в строителството е технология (метод), при който съществува възможност за по-ранно освобождаване на голяма част от кофражните елементи, преди достигане на проектната якост на бетона. Смисълът, в използването на технологията за РД се изразява в търсенето на начин за скъсяване сроковете на изпълнение на СМР при производството на хоризонтални стоманобетонни елементи и икономически-организационно рационализиране на работата с кофражни системи (скъсяване срока на обръщаемост на кофражните елементи). Съществуват няколко основни технологии за ранно декофриране. Декофрирането на хоризонтални стоманобетонни конструкции в ранна възраст е в тясна зависимост с технологичните операции и процеси. Познаването на тяхната последователност и продължителност, дава възможност да се проследи работата на хоризонталните стоманобетонни носещи елементи през периода на набиране на якост (преди експлоатационното им състояние), както и натоварването с постоянни, временни и особени товари върху стоманобетонната конструкция, и върху временните опори на кофражната конструкция. Основната технология за ранно декофриране се базира на смяна на статическата схема на хоризонталния кофриран стоманобетонен елемент, чрез временни подпори. Целта е, временната статическа схема да е по-благоприятна за декофриране в по-ранна възраст, с по-ниски якостни характеристики на бетона, докато бетона достигне проектната си якост.

1.2. Общи сведения за ранното декофриране на хоризонтални стоманобетонни елементи в Европа и света:

1.2.1. Общи положения при РД в страните в Европа и света.

Водещи страни в производството на кофражи и кофражни елементи в света са Германия и Австрия.

1.2.2. Примери в използването на кофражни системи в Европа за ранно декофриране

Най-често използваните кофражни системи за ранно декофриране в Европа са системите с падащи глави. Благодарение на тях, в рамките от третия до петия ден се декофрира частично стоманобетонна плоча до 80% (в зависимост от съпровождащите фактори).

1.2.3. Мероприятия съпътстващи кофражните системи при ранното декофриране

Важни моменти, на които се обръща особено голямо внимание при използването на кофражни системи, за да се избегнат нерегламентирани деформации и пукнатини по хоризонталните стоманобетонни елементи са:

- осигуряване на необходимите якости на бетона, за да започне частично или цялостно декофриране;
- правилното изпълнение на технологичния проект или карта;
- предварителни проверки за главни и срязващи напрежения, сравняване на новополучилите се резултати след смяната на статическата схема при използване на метода за РД. От това следва проверка за достатъчност на армировката и сечението на стоманобетонния елемент, проверка за пукнатинообразуване и проверка за нерегламентирани деформации в плочата от всички видове напрежения.

1.2.4. Изследвания свързани с проблемите относно кофрирането и декофрирането на гладки и гредови плочи в Европа

Технико-икономически РД се смята за добро решение при изграждане на сгради и съоръжения. Тази технология от своя страна има и своите особености. В световен мащаб

съществуват множество изследвания в тази област. В някои от тези изследвания се разглежда въпросът относно предаването на товарите на стоманобетонни плочи посредством телескопичните подпори към други под тях, подпярни също с телескопични подпори и недостигнали все още пълните си якостни характеристики. Както и към тези плочи, които са изцяло декофрирани и достигнали пълните си якостни характеристики. Някои от авторите, са изследвали този проблем числено и експериментално. Други автори, обобщават в няколко доклада изследванията, правени през втората половина на XX век и тези през XXI век. В други изследвания са разгледани условията, на които трябва да отговаря дадена стоманобетонна плоча, за да може да бъде произведена чрез използване метода за ранно декофриране. В някои доклади също така е разгледан и глобално проблемът с натоварването в ранна възраст на стоманобетонни плочи от подвижни и статични товари, възникващи при производството на сгради и съоръжения. Съществуват няколко основни особености, на които трябва да се обръща особено внимание при прилагане на метода за ранно декофриране, над които е залегнато в целите и задачите на настоящата разработка

1.2.5. Известни сгради в Европа и света изградени с помощта на метода за РД

Пример за сгради изградени бързо и надеждно с помощта на технология за РД са: Residential complex in Milano, Italy by P.F.B.”Unionbau”, Office building “Jahreszeitenverlag” in Germany by Ed. Zublin; MainTor Porta in Frankfurt, Germany; Residential and office building at the Nordbahnhof in Vienna, Austria; De Rotterdam building in Rotterdam, Netherlands; Warsaw Spire in Warsaw, Poland; Sasol Administration Building, in Johannesburg, South Africa; “villanova” residential complex in Vienna- Schwechat, Austria; ADAC headquarters in Munich Germany.

1.3. Приложение на ранното декофриране в Република България

1.3.1. Общи положения при опита с ранно декофриране в България

Съгласно действащите у нас нормативни документи, междуетажните конструкции се декофрират след достигане на якостта на бетона, зададена в проекта. Все още в България решенията за по-ранно освобождаване на част от кофража, се вземат по преценка на проектантите или ръководителите по строителните обекти в България. Малко са случаите, когато конструктивно-технологично се установяват възможностите и начините за декофриране на междуетажните конструкции в по-ранни срокове.

1.3.2. Изследвания, свързани с проблемите относно ранното декофриране на хоризонтални стоманобетонни елементи в България

Изследванията свързани с проблемите и особеностите на ранното декофриране в края на XX век в България, са свързани най-вече с едроразмерните кофражни системи, касетираните подови конструкции, кофражните маси със стоманени опорни греди, видовете преподпирания и стари модификации на кофражни системи с падащи глави. В самият край край на XX век и началото на XXI век, поради развитието на архитектурата и засиляване разновидността на видовете стоманобетонни плочи, започва навлизането на леките кофражни системи за кофриране на гредови или безгредови плочи. Това от своя страна поражда актуалност на проблема и започват да се правят изследвания в тази област. Засягат се и проблемите, до които може да доведе неправилното прилагане на метод за ранно декофриране на плочи.

В изследванията и дисертационните трудове правени досега в България и свързани с производството на стоманобетонни елементи и тяхното напрегнато и деформирано състояние в ранна възраст е залегнато най-вече в областта на кофражни системи, които вече не намират толкова широко приложение. Дисертационният труд на проф. Тодор Бараков от 1986г. – „Изследване на напрегнатото и деформирано състояние на стоманобетонни елементи в ранна възраст от сгради изпълнявани с едроразмерен кофраж“, подробно описва ситуацията свързана с проблемите относно начините и мероприятията свързани с по-ранното декофриране на плочи изпълнявани с едроразмерен кофраж (ЕК). Скъпият кофраж и нуждата от по-голяма кратност на

употреба е бил основа на проблема за търсене на начини за по-бързо освобождаване на кофражните форми и използването им в следващ такт.

1.3.3. Анализ на опита с ранно декофриране в България

Опит с прилагането на метода за ранно декофриране в България има основно с прилагането на метода за изграждане на касетиранни подови конструкции посредством специализирани кофражи с падащи глави, ранно декофриране посредством използването на стоманени опорни греди при ЕК и преподпирането на хоризонтални стоманобетонни елементи, било то кофражни маси или гредови кофражни системи.

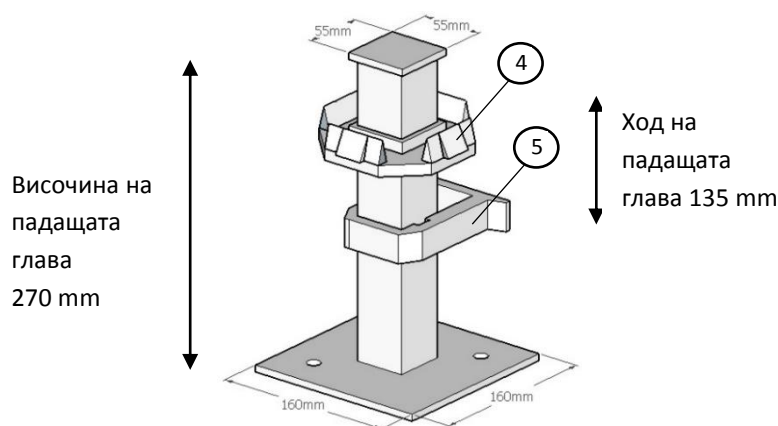
1.3.4. Познати методи за ранно декофриране в България

Все още при инвестиционното проектиране и изпълнение на строителни обекти в България, сроковете за изпълнение на СМР, свързани с производството на стоманобетонните плочи и хоризонтални елементи, се съобразяват с достигането на необходимите якостни параметри на елемента преди започване на декофриране. При по-къс критичен път в календарните планове се разчита на осигуряването на повече комплекти кофраж и използването на химически добавки в бетона за по-бързо достигане на проектна якост. Не са чести случаите, когато се използват системи за ранно декофриране. Познати методи за РД са:

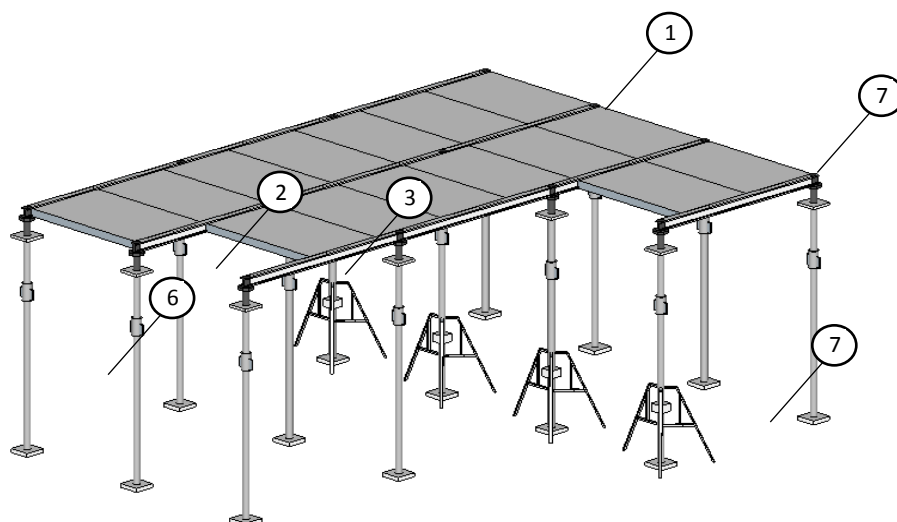
- използване на рамкови кофражни системи с падащи глави;
- системен специализиран кофраж за кофриране и ранно декофриране на касетиранни плочи;
- системи кофражи за ранно декофриране с използване на стоманени опорни греди;
- РД чрез преподпиране на хоризонталния стоманобетонен елемент.

1.3.4.1. Изграждане на стоманобетонни гредови и безгредови плочи с кофражни системи с падащи глави

Прилагането на тези кофражи е новост в строителната ни практика, те позволяват ускоряване на декофрирането и увеличават кратността на употреба на скъпите кофражни платна и греди, т.е. съкращават сроковете за кофражни работи. Можем да декофрираме на 2-3 ден след бетониране, като остават само подпорите и прилежащите им падащи глави, а гредите и платната се освобождават.



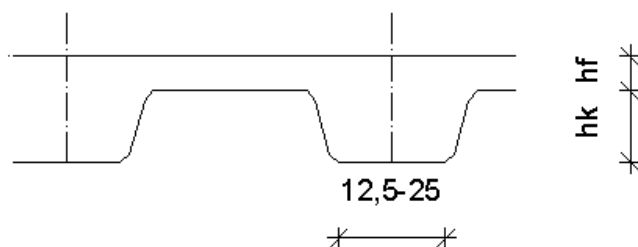
Фиг. 1.1. Падаща глава произведена и използвана в България



Фиг. 1.2. Изглед на кофрирана етажна конструкция с Лек кофраж с падащи глави:
1 – равнинно кофражно платно (1500 mm; 1200 mm); 2 – ъглово платно; 3 – стоманена греда с 2Т-сечение; 4 – падаща глава; 5 – задържащ шифт; 6 – телескопична подпора; 7 – тринога; 8 – опорна скоба

1.3.4.2. Изграждане на касетиранни подови конструкции посредством специализирани кофражи с падащи глави

Това конструктивно решение дава възможност за създаване на големи помещения и свободни архитектурни планировъчни решения. Касетираната подова конструкция е с гъсто разположени ребра по две оси. У нас е приет модул на касетите 80/80 cm или 6x0,80 – 15x0,80 cm. Вертикалната конструкция е изградена от колони със сечение $\geq 30 / 30$ cm. В зоната на колоните се образуват капители (плътна плоча с височина равна на височината на плътното сечение). У нас е приет и модул на касетите 90 / 90 cm и 120 / 120 cm, но няма разработено съответно кофражно скеле. За кофражно скеле се ползват кофражни маси. Върху тях се подреждат легените със съответните размери.



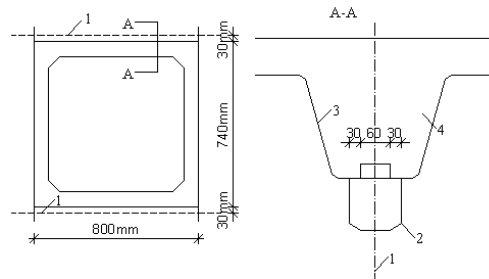
Фиг. 1.3. Сечение на касетирана плоча

Табл. 1.1. Размери на различните видове сечение на касетиранни плочи

h_f , cm	h_k , cm	V_k , dm ³	h_{red} , cm ³
4	20	80,9	7,5
5	25	98,0	9,7
6	30	112,6	12,4
8	40	133,8	19,1

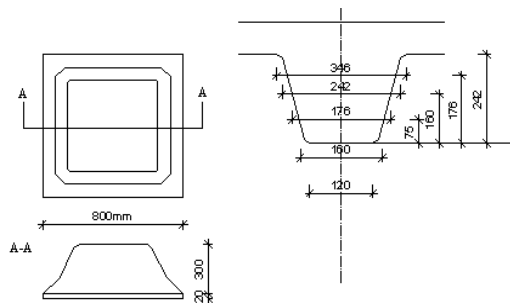
Забележка: Ползвани означение в табл.1.1: h_k – височина на касетата; h_f – височина на плочата; V_k – обем на измествения (свободен) бетон в dm³; h_{red} – еквивалентната дебелина на гладката плоча

Приведената дебелина на конструкцията (h_b) е $h_b = h_f + h_{red}$, cm, където h_{red} е еквивалентната дебелина на гладката плоча. Касетите се кофрират с пластмасови кофражни легени, които стъпват на кофражни греди.



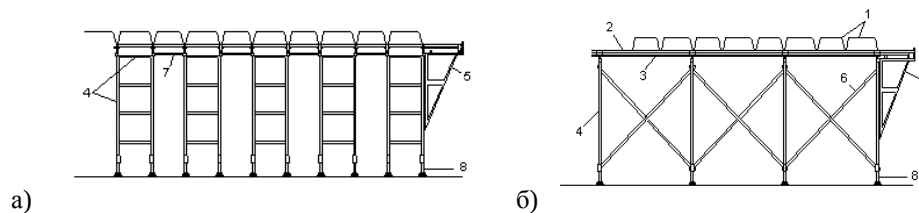
Фиг. 1.4. Разрези:

1 – ос на кофражната греда; 2 - кофражна греда; 3 – леген; 4 – бетонно сечение на плочата
Сечението на кофражните греди е от студено огъната ламарина (фиг. 1.4).



Фиг. 1.5. Изглед и разрез на кофражната вана с размери

Подпирането на кофража става с надлъжни греди (стоманени), а те стъпват върху скеле с вертикални стойки с шапки, които имат втора част падаща надолу. Падащата опора се състои от долна и горна част, като горните части остават и ребрата остават подпрени само на тях.



Фиг. 1.6. Касетиран кофраж:

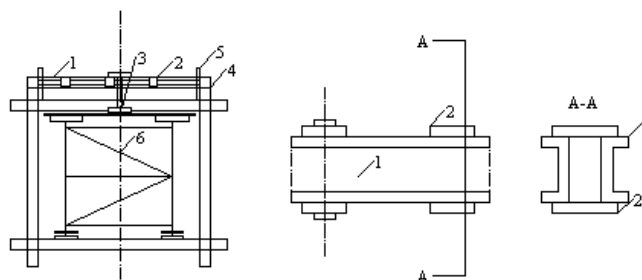
а) кофражно скеле при касетиран кофраж; б) касетиран кофраж;

1 – кофражна форма (леген) 74 / 80 cm; 2 – равнинно кофражно платно за кофриране на капители или плътни ивици; 3 – кофражна греда; 4 – вертикални тръбни стойки, обединени с хоризонтални напречници; 5 – конзоли за обслужващи площадки; 6 – монтажни диагонали за надлъжно укрепване на стойките; 7 – напречници за фиксиране на двойните вертикални стойки; 8 – винтово устройство за прецизно хоризонтиране на кофража

1.3.4.3. Ранно декофриране посредством използване на стоманени опорни греди

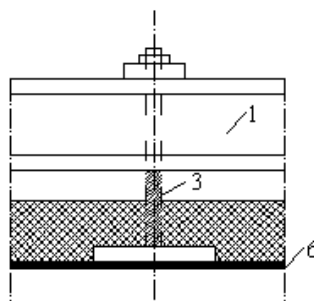
Друга система за ранно декофриране е тази със стоманени опорни греди (фиг. 1.7). При декофриране на стоманобетонни плочи, изпълнени с безподпорни ЕК „чекмеджета” и кофражни маси, се използват инвентарни приспособления – метални греди, разположени на

горната повърхност на плоча, към която тя се окачва, докато се подпре с телескопични стойки. Гредите могат да се изпълнят от 2 профила, свързани по горния и долния пояс с планки през известно разстояние. Дължината на гредата е равна на най-големия отвор на полетата на декофрираната плоча. В краищата на гредата има подвижни опори, към които са заварени болтове за връзка с гредата. В зависимост от отвора на полето се нагласяят опорите и те стъпват върху напречните стени. Плочата се окачва към инвентарните греди чрез болтове с плочи, поставени върху кофража. В горния си край болтовете се закрепват с планки и гайки към пояса на гредата. За да се използват многократно болтовете се поставят в пластмасови тръби, а плочите се намазват с кофражно масло. След демонтиране на гредите и отстраняване на кофража, болтовете се изваждат с лек удар. Гредите се монтират и демонтират с кран за няколко минути. Разстоянието между тях се определят по изчисляване.



Фиг. 1.7. Кофражна система с използване на стоманени греди:

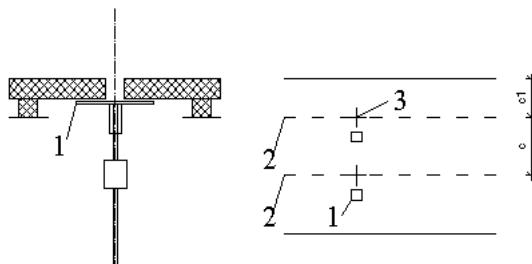
1 – греда; 2 – планка; 3 – болт с плоча; 4 – подвижни опори; 5 – заварени болтове към подвижната опора; 6 – кофражна маса



2

Фиг. 1.8. Разрез през болта:

1 – греда; 2 – кофражна маса; 3 – болт с плоча



Фиг. 1.9. Плоча подпрана с подпори в разрез и план:

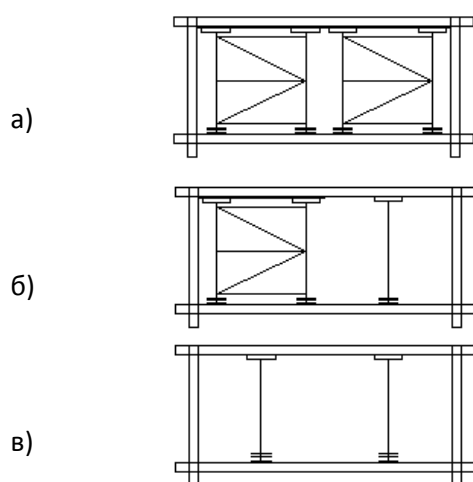
1 – подпора, поставена след гредата; 2 – ос на гредата; 3 – отвор от болт;
с - разстояние между гредите; с₁ – разстояние до свободен край плоча

1.3.4.4. Ранно декофриране чрез преподпиране на плочите

Друг често използван начин за по-ранно декофриране е чрез преподпиране на плочите. Методът се използва при рамкови кофражни системи и при кофриране с кофражни маси. Приложим е и при гредови кофражни системи.

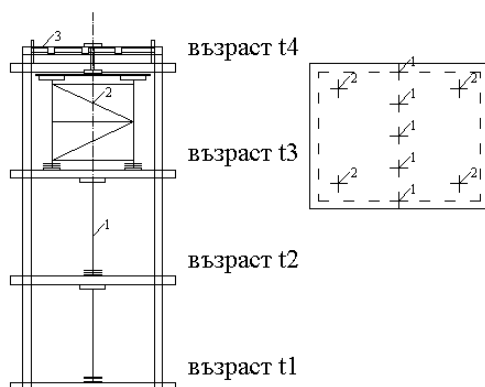
- Преподпиране при използване на кофражни маси

При сгради с големи подпорни разстояния, които се кофрират с два реда кофражни маси, при декофрирането на единия ред маси се преподпира с високоякостни телескопични подпори. По същият начин се действа и с втората редица кофражни маси. Във вертикално направление, центъра на рамката на кофражната маса трябва да съвпада с центъра на редицата телескопични подпори за преподпиране. Също така отделните телескопични подпори преподпират плочите по етажите трябва да бъдат точно една над друга. Във всеки етап на изпълнение се определя якостта на стоманобетонните плочи.



Фиг. 1.10. Етапи при преподпиране на полета, кофрирани с две или повече кофражни маси:

а) кофрирано поле от плоча с две кофражни маси; б) подпряно поле от плоча с кофражна маса и телескопична подпора; в) подпряно поле от плоча с две телескопични подпори;
1 - телескопична подпора; 2 – кофражна маса

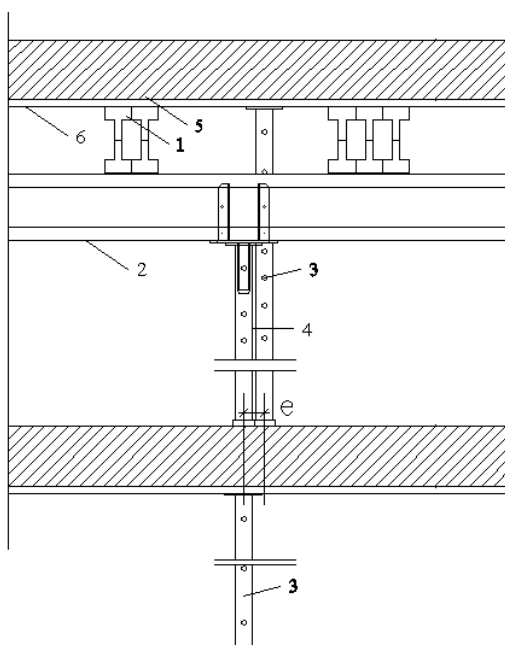


Фиг. 1.11. Преподпиране на полета кофрирани с една кофражна маса и подреждане на подпорите по етажи при преподпиране на плочата:

1 - подпора; 2 – кофражна маса; 3 – греда

- **Преподпиране при гредови кофражни системи**

При ранно декофриране декофриране на стоманобетонните плочи чрез преподпиране трябва да се спазват доста сложна и нетолкова безопасна схема на работа. В случая, вместо водещи телескопични подпори с падащи глави, ще използваме две обикновени метални подпори в непосредствена близост една до друга, като едната ще опира в дъното на кофража (под платното), а другата с обикновена метална „вилница“ ще придържа надлъжната дървена греда. Телескопичната подпора, която ще се използва за самото преподпиране трябва да е високоякостна. Трябва да се обърне особено внимание при премахването на кофража от преподпиращата телескопична подпора, за да не се компрометира при декофрирането останалите кофражни елементи. При този тип декофриране чрез преподпиране, трябва да се спазва сложна и трудна за изпълнение технологична карта, за да може телескопичните подпори по етажите да са с малък ексцентритет помежду си във вертикално направление. Методът крие рискове от неправилно изпълняване на технологичната карта и не е достатъчно безопасен за работа (фиг. 1.12).



Фиг. 1.12. Детайл за преподпиране на поле, кофрирано с гредова кофражна система:

1 – второстепенна дървена гред; 2 – основна дървена греда; 3 – телескопична подпора за преподпиране; 4 – телескопична подпора, която се премахва с основната греда, 5 – стоманобетонна плоча; 6 – дървено или шпертплатено кофражно платно

- **Преподпиране при рамкови кофражни системи**

Използването на метода за ранно декофриране чрез преподпиране при рамкови кофражни системи наподобява този, както при използването на кофражни маси. В случая се декофрират четири рамки. След тази операция получаваме малка декофрирана площ от тази на цялата плоча, за която са нужни по-малки стойности, при съответния еластичния модул на бетона, за да се покрият образувалите се огъващи моменти и срязващи усилия. Преподпираме тази площ с няколко или една високоякостни телескопични подпори и продължаваме по същия начин и със следващите четири рамкови платна. Тук отново е нужна технологична карта за подреждането на преподпиращите телескопични подпори. Технологичното им подреждане отново зависи от предварително направените проверки за плочата с новата ѝ статическа схема

след декофрирането и съответното преподпиране. Телескопичните подпори, нужни за преподпирането, отново трябва да са подредени една над друга по етажите с минимален осов ексцентрецитет помежду им. Методът е по-безопасен от този при гредовите системи, заради малкото кофражни елементи, за които трябва да следим при самото декофриране.

1.3.3.5. Съвременни кофражни системи и средства, които работят на принципа за Ранно декофриране

Кофражните системи, които се използват по света най-често работят на принципа на разделяне на основното поле на кофрираната плоча на по-малки такива. Няколко популярни и наложени се в света системи са Пери Скайдек (Peri Skydeck), Докадек 30 (DOKAdek30), Дока Екстра (DOKA Xtra) и Алумекано (Alumekano).

- Рамкови кофражни системи за ранно декофриране на плочи

Рамковите кофражни системи се характеризират с това, че са лесни и бързи за работа. Притежават малко съставни елементи. Леки и удобни за експлоатация. Като кофражни системи са скъпи като продукти, но имат дългосрочна възвращаемост. Изискват малко на брой работници за осъществяване на кофриране и декофриране.

➤ Пери Скайдек (Peri Skydeck)

Системата ПЕРИ Скайдек (Skydeck) е рамкова кофражна система с включена падаща глава. Възможно е ранно декофриране след втория ден в зависимост от редица фактори.

➤ Докадек 30 (DOKAdek 30)

Кофражната система е рамкова с бързо оформяне на кофражните форми, чрез залагане както на основните елементи на системата, така и на запълващата зона. Работи се отдолу под плоча за кофриране.

- Гредови кофражни системи подходящи за прилагане на метода за ранно декофриране

➤ ДОКА Екстра (DOKA Xtra):

ДОКА Екстра (DOKA Xtra) е гредова кофражна система използваща падаща глава позволяваща ранно декофриране на плочи и хоризонтални елементи. Системата Doka Xtra е съставена от елементи на обикновена гредова система, но с високоякостни телескопични подпори и допълнителни падащи глави позволяващи ранното декофриране.

➤ Алумекано (Alumekano)

Кофражна система с падащи глави за бързо кофриране на безгредови стоманобетонни плочи. Кофражната система Алумекано (Alumekano) е съставена от три основни елемента – основна греда, поддържаща греда и падаща глава.

1.3.4. Важни моменти и контрол на процесите при използването на кофражните системи при ранно декофриране

Важни моменти, на които се обръща особено внимание при използването на кофражни системи подходящи за ранно декофриране са:

- спазване на всички технологични процеси в технологичния проект или карта при използване на кофражната система;
- спазване на всички предписания на конструктора и технолога, за да започне частично или цялостно декофриране;.

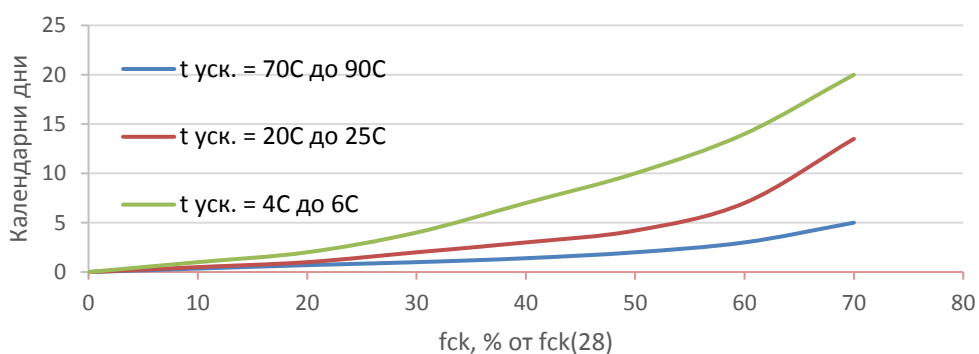
1.4. Фактори оказващи влияние върху срока на декофриране

У нас стоманобетонните междуетажни конструкции се декофрират след достигане на нужната якост зададена по проект. Освен следене на якостните показатели на стоманобетонните конструкции в ранна възраст, трябва да се съобразим с някои основни фактори, които влияят при ранното декофриране и темповете на прилагането му.

1.4.1. Температура на бетона

Набиране стойностите на якостните характеристики на бетона е най-продължителният процес при производството стоманобетонните елементи. То е основен фактор, който определя

технико-икономическия ефект на производството. Ако бетонът се втвърдява при обикновено отлежаване ($25\text{ }^{\circ}\text{C} > t > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, без допълнителни технологични мероприятия за ускоряване) до получаването на декофражна якост ще са необходими средно 14 дни. Чрез топлинно интензифициране (ускоряване) на процеса по определен технологичен режим необходимите якост (до 70% от $f_{ck}(28)$) могат да се получат до 9 ден. Този метод за по-бързо набиране на якост е подходящ при производството на стоманобетонните елементи в затворена производствена среда (цехове, заводи и др.). Тези особености при достигане на якостите на бетони ни насочват към това, че при стоманобетонните елементи достигащи своите якостни характеристики при полеви условия, трябва да се има предвид, че достигането на якостите на бетона през месец януари, няма да е както през месец юни, когато денонощните температури на въздуха са в пъти по-високи.



Фиг. 1.31. Сравнителна графика на достигане на якостите на бетона при различна температура на бетона

1.4.2. Влияние на околната среда – влажност, температура на въздуха, атмосферни условия

Често се налага дообработване на положения пресен бетон при екстремални условия, породени от заобикалящата го околна среда. Това е от изключителна важност при използване на технологията за РД. повърхностния модул на строителните материали.

1.4.3. Цимент и рецептура на бетоновата смес

1.4.3.1. Избор на бетон и неговите съставни компоненти

Основният компонент, който играе роля за свързването на бетона е класът на цимента и неговите свойства. Циментът е хидравлично свързващо вещество. Това означава, че циментът след свързвае си с вода образува циментов камък, както на въздух, така и под вода. Чрез хидратация циментът се втвърдява и става относително обемопостоянен. За всеки клас по нормирана якост са дефинирани два класа по начална якост: Един клас с обичайна начална якост, който се обозначава с N и един с повишена начална якост с R.

1.4.3.2. Химически добавки към рецептата на бетоновата смес

Добавянето на ускоряващи химически добавки в бетоновата смес, допълнително скъсява времето за достигане на необходимата якост на бетона. Наличието на такъв тип добавки значително спомага по-бързото достигане на необходимата якост на бетона необходима за цялостно декофриране. Добавката може да се използва и като допълнителен компонент при прилагане метода на ранно декофриране.

1.4.4. Технологични дейности и мероприятия за намаляване на срока за ранно декофриране

Декофрирането на вертикалните кофражи става след 1, 2 или 3 дни, в зависимост от моментната якост на стоманобетонния елемент. Якостта, която елемента трябва да има в момента на декофриране да е min 5 МПа.

Ранно декофриране на хоризонталните стоманобетонни елементи (плочи и греди) се прилага след използването на редица технологични дейности.

- Намаляване на подпорните разстояния на конструкцията, чрез прилагане на кофражи с падащи глави;
- Използване на кофражните системи, позволяващи преподпиране на хоризонталните стоманобетонни елементи;
- Използване на кофражни системи със стоманени опорни греди.

1.5. Особенности от конструктивно и технологично естество при използване метода за Ранно декофриране

1.5.1. Технологични особености при използване метода за ранно декофриране

Като всяка технология в строителството, методът за ранно декофриране има своите особености при прилагането му.

1.5.1.1. Правилното използване на кофражните системи

1.5.1.2. Особености при работа с кофражни системи позволяващи РД чрез използването на касетиран етажни конструкции

1.5.1.3. Особености при работа с кофражни системи използващи стоманени опорни греди

1.5.1.4. Особености при работа с кофражни системи работещи на принципа с преподпиране на плочата

1.5.1.5. Особености при работа с кофражни системи с падащи глави, разделящи основното поле на по-малки такива

1.5.2. Изготвяне и спазване на технологичен проект за РД

Основната технологична особеност при използване метода за РД е изготвянето и изпълнението на технологичен проект за РД. В дисертацията са разгледани някои от основните особености при изготвянето на технологичен проект за кофражните системи подходящи за прилагане на метода за ранно декофриране.

1.5.2.1. Особености при изготвяне на технологична карта при кофражни системи за касетиран подови конструкции

1.5.2.2. Особености при изготвяне на технологична карта при рамкови кофражни системи с падащи глави

1.5.2.3. Особености при изготвяне на технологична карта при кофражни системи за РД използващи стоманени опорни греди

1.5.2.4. Особености при изготвяне на технологична карта при работа с гредови кофражни системи с падащи глави за ранно декофриране

- Особености при изготвяне на технологична карта при работа с кофражни системи работещи с метода на преподпиране на плочата
- Особености при изготвянето на технологична карта за провеждане на РД след използването на химически добавки спомагащи бързото набиране на якост на бетона

1.5.3. Конструктивни особености при използването на метода за ранно декофриране

При използването на кофражни системи за РД в строителното производство се взимат предвид няколко основни конструктивни особености. В дисертацията са споменати някои основни конструктивни особености при различни кофражни системи за РД.

1.5.3.1. Конструктивни особености при използване на кофражни системи за касетиран подови конструкции

1.5.3.2. Конструктивни особености при използване на кофражни системи за РД със стоманена опорна греда

- 1.5.3.3. Конструктивни особености при кофражни системи използващи принцип на преподпиране на стоманобетонен хоризонтален елемент
- 1.5.3.4. Конструктивни особености при използване на химически добавки за скъсяване срока за набиране на якостни характеристики на бетона за цялостно декофриране
- 1.5.3.5. Конструктивни особености при използване на гредови кофражни системи за РД с падащи глави
- 1.5.3.6. Конструктивни особености при използване на рамкови кофражни системи за РД с падащи глави

1.6. Актуалност на проблема свързан с ранното декофриране

Съвременните кофражни системи работещи на принципа на ранното декофриране все повече навлизат в строителното производство в Европа и България. Основните кофражни системи, подходящи за РД, които се използват по света са рамковите кофражни системи с падащи глави. Тази част от производството на кофражи за РД е и обект на изследване в дисертационния труд. Основните предимства, които предлагат фирмите производители на такъв тип кофражни системи са: бързи срокове за изпълнение на хоризонтални стоманобетонни елементи, ниска ресурсна нужда от кофражни компоненти, малко на брой работници при работа с рамковите системите и нисък дисконтов показател при използването на кофражните системи. Това от своя страна предизвиква интереса към изучаването и изследването на този начин за производство на стоманобетонни плочи, тъй като както всяка една технология в строителство и тази има своите особености.

1.7. Цел и задачи

1.7.1. Цел

Целта на дисертационния труд е да изследва прилагането на съвременната технология за ранно декофриране, нейните особености, предимства и недостатъци. Да се даде яснота относно прилагането на РД в строителното производство в България при използването на съвременни кофражни системи подходящи за прилагане на метода за ранно декофриране. Да се обогатят изследванията до момента и да се дадат допълнителни препоръки и предложения за прилагане на метода в строителното производство.

1.7.2. Задачи

Задачите, които стоят пред дисертационния труд са:

- Описание на технологичните процеси и последователността им при метода за РД.
- Изготвяне на методики за направа на:
 - числен модел за изследване поведението на триетажна стоманобетонна конструкция изградена с помощта на съвременна рамкова кофражна система подходяща за ранно декофриране;
 - експериментален образец за изследване и обследване поведението на безгредова стоманобетонна конструкция, изградена с помощта на съвременна рамкова кофражна система с падащи глави, подходяща за Ранно декофриране;
- Изследване поведението на триетажна стоманобетонна конструкция в числен модел при изграждане на конструкцията с помощта на рамкова кофражна система с падащи глави подходяща за РД. Проверки.
- Обследване и изследване на конструктивните и технологични особености на ранното декофриране върху експериментални образци на плочи, изготвени по предварителна методология.
- Изследване на якостните характеристики на използваните в опитните стоманобетонни образци бетони, както и техните особености. Сравняване на теоретични и експериментални резултати (от разрушителен и неразрушителен метод).
- Проследяване на първичните процеси на съсъхване върху опитната конструкция.

- Техничко-икономическо сравнение на системен кофраж за ранно декофриране с обикновена гредова кофражна система за изграждане на стоманобетонни плочи.

ГЛАВА ВТОРА – ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА НА МЕТОДА ЗА РАННО ДЕКОФРИРАНЕ. МЕТОДИКИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

2.1. Теоретично представяне на принципа на работа на метода за Ранно декофриране при изграждането на хоризонтални конструкции чрез ранно декофриране на стоманобетонни хоризонтални елементи

Най-често използваната технология за ранно декофриране на хоризонтални стоманобетонни елементи се характеризира с принципа за разделянето на подпорното разстояние на плочата на повече по-малки подпорни разстояния. В следствие на това се получават статически условни непрекъснати ивици по двете оси „x“ и „y“, на които моментите в положителните и отрицателните зони, както и срязващите усилия са с по-малка стойност, поради по-късите подпорни разстояния, образувани от оставащите телескопични подпори на кофражните системи за ранно декофриране. За да се проследи кратка теоретична постановка, която би ни показала начина на действие на принципа на ранното декофриране са приети примерни изходни данни:

2.1.1. Изходни данни

2.1.1.1. Стоманобетонна безгредова плоча (основно поле):

Стоманобетонна гладка плоча е оразмерена с дебелина на сечението и площ на армировката достатъчни за поемане на натоварвания от собствено тегло, постоянни товари и временни товари за експлоатационно състояние.

2.1.1.2. Кофражен план на основно поле (фиг. 2.1.)



Фиг. 2.1. Разпределение на оставащите телескопични подпори в план с падащи глави

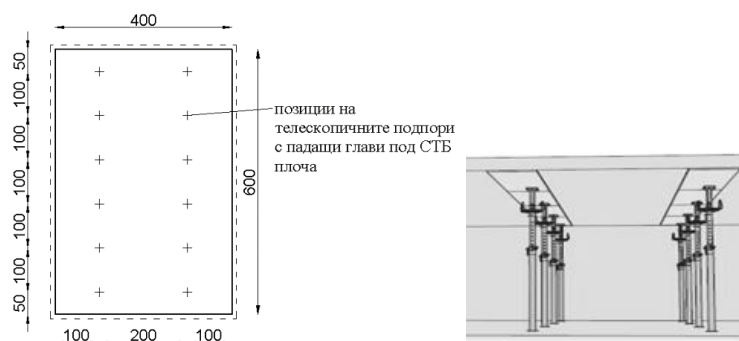
2.2.2. Използвани материали, кофражни системи и начини на изчисление

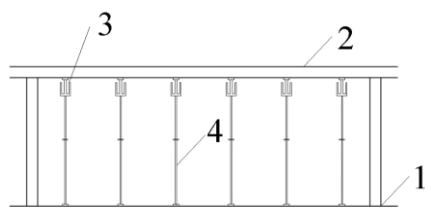
- Бетон C16/20 с якостно-деформационни характеристики за периода на набиране на якост
- Налична армировка, за експлоатационно състояние е изчислена с програмен продукт базиран на Метода на крайните елементи (МКЕ);
- Кофражна система и варианти на кофриране - приемаме за основния типов алгоритъм да използваме гредова кофражна система с падащи глава подходяща за прилагане на РД Дока Екстра (Doka Xtra):

2.2.2.1. Варианти за кофриране с кофражна система Дока Екстра (Doka Xtra):

- един комплект кофражни платна с греди и два комплекта телескопични подпори с падащи глави. Дава се възможност за оформяне на един подпирател комплект (статичен сет) и една кофрирана плоча;

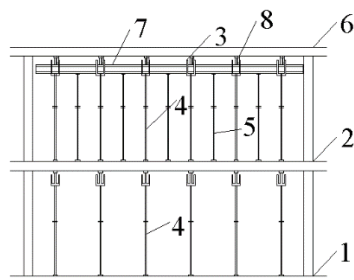
- Изборът на вариант за кофриране зависи от броя на статичните комплекти по етажи, който целим, бързината на изпълнение и резултатите от предварителните конструктиви проверки. Разстоянията между телескопичните подпори с падащи глави към тях се определя таблично и се правят проверки след това, или може да се определи от проектанта чрез предварителни изчисления.





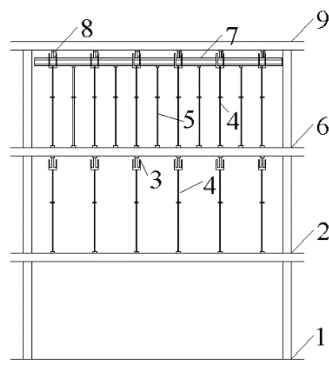
Фиг. 2.4а. Първи етап на натоварване на първа междуетажна плоча: 1 - подова стоманобетонна настилка; 2 - първа междуетажна плоча на възраст (t)1; 3 - падаща глава; 4 - оставаща телескопична подпора с прилежаща към нея падаща глава.

- Оформен подпирателен комплект на първа плоча и натоварване от горна стоманобетонна плоча с предаване на усилията чрез всички телескопични подпори от горната плоча върху плочата подпряна с подпирателен комплект. Проверява се дали при новата статическа схема имаме достатъчно сечение на елемента и сечение на арматурата в зоните над вертикалните стоманобетонни елементи, над телескопичните подпори с падащи глави, полетата между телескопичните подпори и зоните, където се образуват срязващи усилия около вертикалните стоманобетонни елементи. Следи се за нерегламентирани провисвания в полето/полетата и пукнатинообразуване в зоните на положителни огъващи моменти, отрицателни моменти и зоните подложени на срязващи усилия (Фигура 2.4б).



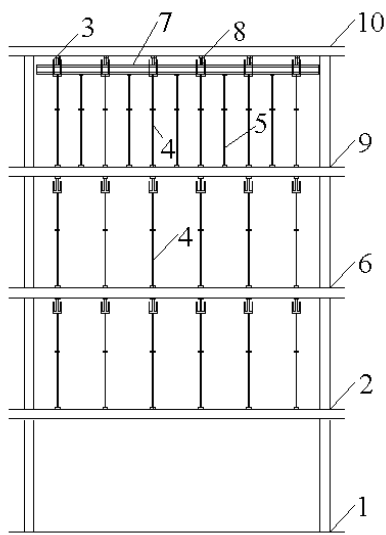
Фиг. 2.4б. Втори етап на натоварване на първа междуетажна плоча: 1 - подова стоманобетонна настилка; 2 - първа междуетажна плоча на възраст (t)1; 3 - падаща глава; 4 - оставаща телескопична подпора с прилежаща към нея падаща глава; 5 - поддържаща телескопична подпора от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 6 - втора междуетажна плоча на възраст (t)2.

- Оформен подпирателен комплект на първа плоча и натоварване от горна стоманобетонна плоча със също вече оформен статичен комплект и предаване на усилията чрез всички оставащи телескопични подпори с падащи глави от горната плоча върху плочата подпряна с подпирателен комплект. Проверява се дали при новата статическа схема имаме достатъчно сечение на елемента и сечение на арматурата в зоните над вертикалните стоманобетонни елементи, над телескопичните подпори с падащи глави, полетата между телескопичните подпори и зоните, където се образуват срязващи усилия около вертикалните стоманобетонни елементи. Следи се за нерегламентирани провисвания в полето/полетата и пукнатинообразуване в зоните на положителни огъващи моменти, отрицателни моменти и зоните подложени на срязващи усилия (Фигура 2.4в).



Фиг. 2.4в. Трети етап на натоварване на първа междуетажна плоча: 1 - подова стоманобетонна настилка; 2 - първа междуетажна плоча на възраст (t)1; 3 - падаща глава; 4 - оставаща телескопична подпора с прилежаща към нея падаща глава; 5 - поддържаща телескопична подпора от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 6 - втора междуетажна плоча на възраст (t)2; 7 - надлъжна дървена (с двойно Т- сечение) греда от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 8 - напречна дървена (с двойно Т-сечение) греда от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 9 - трета междуетажна плоча на възраст (t)3.

- Освободен подпирател комплект на първа плоча и натоварване от горна стоманобетонна плоча със също вече оформен подпирател комплект. Усилията се предават чрез всички оставащи телескопични подпори с падащи глави от горната плоча върху плочата с вече статичен комплект. Проверява се дали при новата статическа схема имаме достатъчно сечение на елемента и сечение на арматурата в зоните над вертикалните стоманобетонни елементи, над телескопичните подпори с падащи глави, полетата между телескопичните подпори и зоните, където се образуват срязващи усилия около вертикалните стоманобетонни елементи. Следи се за нерегламентирани провисвания в полето/полетата и пукнатинообразуване в зоните на положителни огъващи моменти, отрицателни моменти и зоните подложени на срязващи усилия (Фигура. 2.4г).



Фиг. 2.4г. Четвърти етап на натоварване на първа междуетажна плоча: 1 - подова стоманобетонна настилка; 2 - първа междуетажна плоча на възраст (t)1; 3 - падаща глава; 4 - оставаща телескопична подпора с прилежаща към нея падаща глава; 5 - поддържаща телескопична подпора от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 6 - втора междуетажна плоча на възраст (t)2; 7 - надлъжна дървена (с двойно Т- сечение) греда от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 8 - напречна дървена (с двойно Т-сечение) греда от цялостния кофражен комплект на кофражната система; 9 - трета междуетажна плоча на възраст (t)3; 10 - четвърта междуетажна плоча на възраст (t)4.

2.2.5. Алгоритъм на изчисление

2.2.5.1. Теоретично изчисляване на подпирателен комплект на кофражната система и оформяне на числен модел за една плоча

2.2.5.2. Теоретична постановка на изчисленията

Разглеждат се няколко основни проверки за поемане на огъващите моменти в положителните и отрицателните зони и продънване над подпорите.

- Изчисляват се максималните стойности на изчислителните моменти M_{Ed} [KN.m/m] в положителните и отрицателните зони на огъване. Сравняват се с носимоспособността на плочата в горна и долна зона за определения етап от декофрирането M_{Rd} [KN.m/m].
- Проверява се дали площта на армировката нужна за съответния технологичен етап от ранното декофриране е достатъчна, за да бъде покрита от площта вложена в плочата.
- Проверка за ограничаване на деформациите и пукнатинообразуване - за всеки един от технологичните етапи се изчислява максималното еластично и пластичното провисване, и пукнатинообразуването в плочите и се сравнява с съответното такова, получено при нормативни стойности на товарите от експлоатационно състояние
- Проверка на продънване на плочата над стоманобетонни колони и телескопични подпори в различните етапи на кофриране и декофриране

2.2.6. Резултати:

- Ако $M_{Ed, max}$ за всеки един етап $< M_{Rd}$, проверката е удовлетворена;
- Ако A_s за всеки един етап $< A_s$ вложено, проверката е удовлетворена;
- Ако A_s за всеки един етап $> A_s$ вложено, проверката не е удовлетворена;
- Ако $\beta.V_{Ed}$ за всеки един етап $\leq V_{Rd,c} = v_{Rd,c}.d.u_1$, проверката е удовлетворена;
- Ако $\beta.V_{Ed} > V_{Rd,c} = v_{Rd,c}.d.u_1$ проверката не е удовлетворена.
- Проверява се и дали провисванията и пукнатинообразуването не надвишават тези от нормативни стойности за експлоатационно натоварване както и граничните стойности.

В случай, че проверките за огъващи и срязващи усилия, деформации и пукнатинообразуване в плочите във всеки един от етапите на декофриране са удовлетворени, изследването спира до тук. Ако за така приетите срокове на изграждане, не могат да бъдат изпълнени необходимите проверки за етапите на изпълнение на конструкцията, то възможностите за решение са следните:

- използване на по-висок клас бетон с по-висок еластичен модул и якостни характеристики;
- оразмеряване на конструкцията за етапите на кофриране и декофриране, т.е. увеличаване дебелината на плочата и/или количеството на армировката в нея;
- промяна в сроковете за изпълнение на вертикалните и/или хоризонталните стоманобетонни (СТБ) носещи елементи.

Първите две решения имат недостатъци от технико-икономическа гледна точка, следователно най-често се преминава към третото решение. Ако приемем, че получените резултати за конкретния случай ни удовлетворяват, следователно приемаме първоначалните срокове за декофриране, за които са направени проверките.

2.2. Методика за направа на теоретична постановка с числен модел на триетажна стоманобетонна конструкция чрез използване на система за ранно декофриране

2.2.1. Въведение

В настоящата разработка е описана методиката, по която следва да извършим проследяване поведението на стоманобетонна конструкция с помощта на числен модел на триетажна конструкция изградена посредством метода за Ранно декофриране с рамкова кофражна система с падащи глави.

2.2.2. Цел и задачи на изследването

- **Цел** - Целта на числената експериментална постановка е с помощта на числен модел, да се проследи поведението при изграждането стоманобетонна конструкция на триетажна сграда, на която плочите са произведени със рамкова система подходяща за прилагане на метода за Ранно декофриране.
- **Задачи:**
 - отчитане на еластичните вертикални премествания в плочите в различните етапи от изграждане на конструкцията;
 - направа проверки за достатъчност на сечението и армировката в основните полета и над опорите, проверка на продънващите сили при колоните в плочите и анализиране на еластичните деформации и пукнатинообразуването в плочите при всеки един от технологичните етапи на изграждане на конструкцията. Направа на проверки при прилагане на метода за РД;
 - проследяване изменението на стойностите на якост на бетона, както и модула на еластичност на бетона, през определен интервал във важни моменти от декофрирането в продължение на 28 дни. Резултатите са получени теоретично.

2.2.3. Методика за провеждане на изследването

За да се осъществи числена експериментална постановка, с която може да проследим поведението на стоманобетонната междуетажна конструкция, след прилагане на технология за ранно декофриране е нужно да се моделира, триетажна стоманобетонна конструкция с две гладки стоманобетонни междуетажни, една гладка стоманобетонна покривна плоча и една армирана стоманобетонна настилка. Численият модел трябва да бъде проектиран по нормите заложи в Еврокод за експлоатационно състояние. За целта на изследването е описана ясна методика, която да посочва етапите на изследването:

2.2.3.1. Изходни данни

- Габарити на опитната конструкция
- Използван проектен клас бетон:
 - за фундаменти C20/25;
 - за вертикални елементи C20/25;
 - за безгредови плочи C20/25;
- Използван клас армировка:
 - стомана S 500.
- Котражна система за плочите:
 - Рамкова котражна система с падащи глави за плоча Дока Дек 30 (*doka Dec 30*).

2.2.3.2. Числен модел

Численият модел на конструкцията е направен със софтуер базиран на МКЕ.

2.2.3.3. Натоварване

Експлоатационното натоварване, за което е изчислена конструкцията е за постоянни товари от собствено тегло плоча, настилки и оборудване 2 KN/m², временни товари като равномерно разпределен товар 4KN/m² и окачена фасада като линеен товар 0,45 KN/m².

2.2.3.4. Методически стъпки в числения модел

- Въвеждане на габаритите на конструкцията в числения линеен модел;
- Оразмеряване на плочите от конструкцията в числения модел за експлоатационно състояние с приетите натоварвания;
- Моделиране на 7 от 8-те етапа от изграждането на конструкцията. Първи етап е само указателен (приложение 6 и 7);
- Анализиране на моментовите диаграми в основните полета и над опорите за експлоатационно натоварване;

- Анализиране на еластичните и очакваните пластични провисвания при нормативно натоварване от постоянни и временни товари;
- Анализиране на моментните диаграми в основните полета и над опорите при новополучените статически схеми на плочите в различните етапи на кофриране, декофриране и натоварване от временни товари по време на строителството на гладките плочи;
- Анализиране на еластичните провисвания в плочите в различните етапи на кофриране, декофриране и натоварване от временни товари по време на строителството на гладките плочи;
- Проверки чрез сравняване на резултатите от получените огъващи моменти, срязващи усилия, нужно сечение на армировката в горна и долна зона и еластични провисвания, и пукнатинообразуването с тези за експлоатационно натоварване и граничните стойности на всяка една от величините;
- Анализиране поведението на вертикалните премествания в предварително указани точки от плочата за всеки един от етапите на изграждане на конструкцията;
- Изводи.

2.3. Методика за направа на експериментална постановка на стоманобетонна конструкция за проследяване на поведението на конструкцията при изграждането ѝ със система за ранно декофриране

2.3.1. Въведение

В настоящата точка е описана методиката, по която да се извърши експериментално изследване на две безгредови плочи, които са част от опростена двуетажна стоманобетонна конструкция. Плочите за изпълнение с рамкова кофражна система с падащи глави подходяща за Ранно декофриране. За по-ясни резултати от изследването и по-чясно отчитане на особеностите при прилагане на метода за ранно декофриране, плочите са с тънки стоманобетонни сечения и оразмерени с близък до минималния, коефициент на армиране.

2.3.2. Цел и задачи на експеримента

- **Цел** - Целта на експеримента е да се проследи поведението в реални условия на гладки стоманобетонни плочи от двуетажната стоманобетонна конструкция, произведени с кофражна система подходяща за ранно декофриране.
- **Задачи**
 - Измерване на провисванията на плочата в основното поле за всеки един от етапите на изграждане на конструкцията.
 - Проследяване достигането на якостите на бетона както и нарастване на стойностите на модула на еластичност на бетона, през определен интервал от време, в технологични етапи от изграждането на конструкцията, в полеви и лабораторни условия, с безразрушителен метод чрез използване склерометър, както и чрез разрушителен метод в лабораторни условия. Сравняване на резултатите;
 - Измерване, промяната на температурата на бетона и температурата, и влажността на въздуха от началото, до 28-я ден след полагането му;
 - Обследване на първичните процеси на съсъхване на бетона;
 - Сравняване на аналитични и експериментални резултати на якостните характеристики, провисванията и пукнатинообразуването в плочите;
 - Изводи.

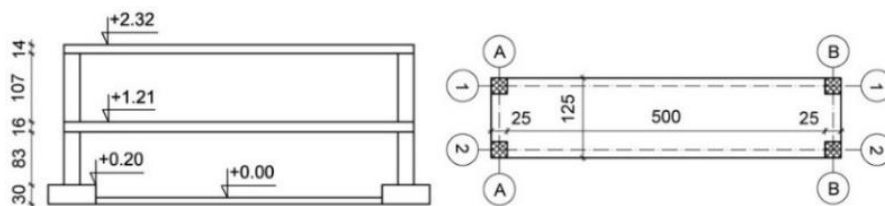
2.3.3. Условия за провеждане на експеримента

2.3.4. Материали, механизация и кофражни системи за провеждане на експеримента

2.3.5. Методически етапи за провеждане на експеримента:

2.3.5.1. Общи положения и изходни данни:

За да се осъществи експеримент, с който можем да проследим поведението на стоманобетонната междуетажна конструкция, след прилагане на технология за ранно декофриране е нужно числено да се моделира, проектира и изпълни двуетажна безгредова стоманобетонна конструкция с една стоманобетонна междуетажна, една стоманобетонна покривна плоча и една стоманобетонна подова настилка. Разгледана експериментална двуетажна стоманобетонна конструкция с две безгредови плочи. Размерите на плочите са с ширина 125 cm и дължина 550 cm. Височината на конструкцията е 2,32 cm. Фундаментите на конструкцията са с размери 160x60 cm и височина 30 cm. (фигура 2.1.). Използваният бетон за цялата конструкция е клас C20/25. Телескопичните подпори използвани между двете плочи в кофражната система са пригодени за малки междуетажни височини. За по-ясни резултати от измерванията и по-лесно набелязване на проблемните точки в конструкцията, дебелините на стоманобетонните плочи на конструкцията са съответно 16 и 14 cm. Армировката вложена в тях е близка до минималният коефициент на армиране. Допълнителни атоварванията в плочите биват от натоварване от кофражна система за втора плоча и симулирани товари по време на строителството използвани в някои от етапите на изграждането на конструкцията. Допълнителните симулирани товари са от кофражни платна с тегло 200 kg, които стъпват точково върху втора плоча и симулиран товар от палети с тегло 1422kg, които стъпват линейно върху втора плоча. Вертикалните премествания в плочите са измерени с помощта на индикаторни часовници прикрепени към независима от конструкцията метална рамка между плоча на к.+1,21 и плоча на к. +2,32. За целта на експеримента е описана методика, която да посочва етапите за ефективното му провеждане:



Фиг. 2.1. Схема на габаритите на опитната конструкция

2.3.5.2. Описание и мероприятия свързани с измервателната техника:

- Поставяне на метална рамка между двете плочи, стъпила на независими от опитната конструкция фундаменти.
- Върху металната рамка са прикрепени стойки със закачени за тях индикаторни механични часовници, с които се измерват вертикалните премествания в двете плочи;
- Безразрушителното проследяване на набирането на якостните характеристики на бетона се извършва със склерометър;
- Проследяването достигане стойностите на якостните характеристики на бетона посредством пробни тела отлежавали в реална и контролирана среда, се извършва в акредитирана лаборатория на Научноизследователски строителен институт „НИСИ“, гр. София.
- Измерване на промяната на температурата на бетона от полагането му до набиране на проектна якост се извършва с електронни термометри с изнесен датчик поставен в бетоновите смеси на плочите непосредствено след полагането на сместа в кофражната форма;
- Следене на първичните процеси на съсъхване на бетона се извършва чрез наблюдения в първите дни след полагането на бетона;
- Влажността на въздуха се следи с електронен влагомер;

2.3.5.3. Изпълнение на опитната конструкция, етапност и мероприятията свързани с изпълнението на задачите в експерименталната постановка.

За начало на експерименталната постановка се фиксира ден 0 и след това поред на дните в методиката са описани подробно всички стъпки за изпълнението на опитната постановка.

2.3.5. Резултати от експеримента и обработване на данните от конструктивните и технологичните показатели след изпълнението на конструкцията с прилагане на кофражни системи за ранно декофриране

Резултати от експеримента се описват след провеждането на изследването. Посочват се получените аналитични резултати, които се сравняват с експерименталните данни.

2.4. Методика за изследване на технико-икономическите показатели на метода за ранно декофриране

2.4.1. Въведение

В настоящата точка е описана методика, по която да се извърши изследване на технико-икономическата ефективност на метода за ранно декофриране.

2.4.2. Цел и задачи на постановката

- **Целта** на изследването е да се сравни прилагането на две различни по вид кофражни системи върху една и съща комбинация от типови плочи - Dokaflex 1-2-4 (Докафлекс 1-2-4) и Dokadek 30 (Докадек 30), и да се направят необходимите технико-икономически изводи относно ефикасността на системата, позволяваща прилагане на метода за ранно декофриране;
- **Задачата** в изследването е да се направи сравнение на двете кофражни системи при различни часови ставки.

2.4.3. Изходни данни

Четириетажна стоманобетонна сграда с безгредови плочи с площ на типова плоча 1200m². Брой работници на строителната площадка – 10 работника. 8-часов работен ден.

Вариант 1 на кофражна система – Докафлекс (Dokaflex 1-2-4)

Вариант 2 на кофражна система – Дока Дек 30 (Dokadec 30)

2.4.4. Етапи на изпълнение на задачата при двете кофражни системи

- Определяне на Норма време и Трудоемкост
- Сравнителен анализ на вариантите решения за изпълнение на хоризонталните стоманобетонни елементи
- Анализ на разходите за наем на различните кофражни системи
- Изготвяне на сравнение за общите разходи за изпълнението на сградата в две различни часови ставки – 8 и 18 лв./h

2.4.5. Анализ на резултатите от изследването

- Анализиране на определените срокове за изпълнение на сградата с двете кофражни системи;
- Анализиране на разходите при използването на двете кофражни системи, при двете часови ставки.

2.4.6. Изводи от технико-икономическото изследване

От направените анализи на изследването следва да бъдат описани технико-икономически изводи.

ГЛАВА ТРЕТА – ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

3.1. Изследване на числен модел на триетажна стоманобетонна конструкция

3.1.1. Общи положения

В настоящото изследване се извърши проследяване поведението на стоманобетонна конструкция с помощта на числен модел на триетажна сграда изградена посредством метода за Ранно декофриране с рамкова кофражна система с падащи глави. Плочите на сградата са оразмерени за постоянни и временни товари съгласно Еврокод 2. За целта на изследването симулирано в числен модел са проследени етапите на изграждане на конструкцията и нейните плочи чрез прилагане на метода за Ранно декофриране. За тази цел са проследени еластичните вертикални премествания, както и пукнатинообразуването в плочите в различните етапи от изграждане на конструкцията. Ще се извършат проверки за продънване над колони и телескопични подпори, достатъчност на армировката в основните полета и над опорите, както и в зоните с наличие на срязващи усилия в плочите при всеки един от етапите на изграждане на конструкцията.

3.1.2. Целта на изследването е описана в методиката на експерименталната постановка.

3.1.3. Задачите в изследването са описани в методиката на експерименталната постановка.

3.1.4. Експериментално изследване

3.1.4.1. Изходни данни

Кофражен план на типова триетажна стоманобетонна конструкция, изчислена и оразмерена за постоянни и временни товари съгласно нормите за проектиране по Eurocode 2. Стоманобетонните плочи на конструкцията са предвидени за производство с рамкова кофражна система с падащи глави подходяща за прилагане метода за РД. Работи се с един комплект рамкови платна и два комплекта телескопични подпори с падащи глави (статични комплекти); Първоначални срокове за кофриране и декофриране на стоманобетонните плочи от конструкцията:

- Частично декофриране на плоча на кота +2,70 – 3-ти ден;
- Кофриране на плоча на кота +5,40 – 6-ти ден;
- Бетониране на плоча на кота +5,40 – 7-ми ден;
- Частично декофриране на плоча на кота +5,40 – 9-ти ден;
- Цялостно декофриране на плоча на кота +2,70 – 10-ти ден;
- Кофриране на плоча на кота +8,10 – 13-ти ден;
- Бетониране на плоча на кота +8,10 – 14-ти ден;
- Частично декофриране на плоча на кота +8,10 – 17-ти ден;
- Цялостно декофриране на плоча на кота +5,40 – 21-и ден;
- Цялостно декофриране на плоча на кота +8,10 – 28-и ден.

3.1.4.2. Натоварване, оразмеряване и проверки на конструкцията в числения модел

- Натоварване от собствено тегло, постоянни и временни товари:

Експлоатационното натоварване, за което е изчислена конструкцията е за постоянни товари от собствено тегло плоча, настилки и оборудване, временен товар и окачена фасада. Временните товари са въведени като равномерно разпределен товар 4 kN/m^2 , окачената фасада като линейен товар $0,45\text{ kN/m}^2$. Коефициентите за сигурност са приети съгласно нормите за проектиране по Eurocode 2.

- Натоварване от товари, възникнали по време на изпълнение на етапите от производството на гладките плочи в конструкцията за всяка от плочите.

Постоянни товари:

- Собствено тегло пряко положен бетон на по-горна плоча $\gamma_f = 26\text{ kN/m}^3$;
- Собствено тегло кофражен комплект $g_k = 0,45\text{ kN/m}^2$;

Временни товари:

- Натоварване от работници и леко оборудване $q_k = 0,75\text{ kN/m}^2$.

За всеки един от етапите в конструкцията са направени анализи и проверки на резултатите:

- Анализиране на моментовите диаграми от изчислителни стойности в основните полета и над опорите при новополучените статически схеми на плочите в различните етапи на кофриране, декофриране и натоварване от временни товари по време на строителството на гладките плочи;
- Анализиране на еластичните провисвания в плочите в различните технологични етапи на кофриране, декофриране и натоварване от характеристични стойности на постоянни и временни товари по време на производството на гладките плочи;
- Анализиране и сравняване на резултатите от получените изчислителни огъващи моменти с носимоспособността на плочите в съответния етап. Проверка за максималната

продънващата сила за всеки един етап от производството на гладките плочи в конструкцията. Сравняване на еластичните вертикални премествания и пукнатинообразуването от характеристичните стойности на товарите в различните етапи и тези получени от нормативните стойности на товарите за експлоатационно състояние. Сравняване на резултатите с допустимите им нормативни стойности.

- Анализирани и сравняване на резултатите от наличната армировка в плочите и необходимото сечение за съответния етап от изграждане на конструкцията.

3.1.4.3. Числен модел на конструкцията

Численият модел на всеки един от етапите при изграждане на конструкцията е направен със софтуер базиран на МКЕ. За моделирането на плочи и шайби са използвани плочови двумерни крайни елементи, а за стоманобетонните колони и металните телескопични подпори са моделирани с гредови крайни елементи. Телескопичните подпори са моделирани със съставно сечение с размери като телескопична подпора Doka Eurex 30 top 350 – две тръбни сечения едното с дължина 198 cm, и сечение с диаметър 70 mm и дебелина 3 mm, а горното с диаметър 60 mm и дебелина 3 mm. Механизмът за регулиране височината на подпората и падащата глава не са отчетени и моделирани. Възел колона-плоча и телескопична подпора-плоча са моделирани със ставни връзки. Натоварването от прясно положената бетонна смес се предава върху долната плоча като текущата плоча е моделирана, но при предаването ѝ към долната плоча посредством телескопичните подпори са изолирани колоните и шайбите под кофража на прясно излятата плоча, за да не изтичат усилия от теглото на бетонната смес по вертикалните стоманобетонни елементи. Натоварването от кофражната система и временните товари от строителството върху плочите са моделирани равномерно разпределени товари върху новоизлятата плоча. За всеки един от дните на декофриране са въведени теоретични стойности на еластичния модул за съответния клас бетон.

3.1.4.4. Якостни характеристики на използвания за целта бетон

Якостните характеристика на използвания бетон в изследването на различните етапи от изграждането на конструкцията са изчислени теоретично съгласно Eurocode 2. Приетият клас на бетон за етажните нива е C20/25. Теоретичните стойности на якостно-деформационните характеристики на бетона, след изчисления са обобщени в Таблица 3.1.

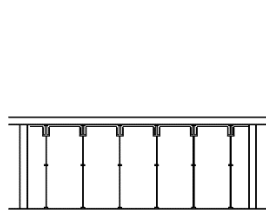
Таблица 3.1. Таблица с теоритичните стойности на E , f_{ck} и $f_{ck,cube}$ за бетон клас C20/25

Възраст на бетона (дни)	$f_{ck}(t)$ (MPa)	$f_{ck,cube}(t)$ (MPa)	$f_{cd}(t)$ за хор. елементи (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)
4	12,13	17,13	10,11	21,56
5	13,30	18,30	11,08	27,67
6	14,25	19,25	11,88	28,00
7	14,92	19,92	12,43	28,24
8	15,53	20,53	12,94	28,47
9	16,03	21,03	13,36	28,65
10	16,46	21,46	13,72	28,81
14	17,77	22,77	14,81	29,26
17	18,45	23,45	15,38	29,49
21	19,15	24,15	15,96	29,72
28	20,00	25,00	16,67	30,00

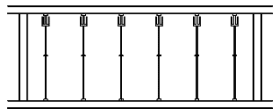
3.1.4.5. Ситуации на натоварването на сградата в различните етапи от изпълнението на конструкцията и резултати от огъващи моменти, еластични провисвания и пукнатинообразуване

Обособени са 8 технологични етапа, в които се разглежда поведението на сградата при производството на плочите ѝ с коражна система подходяща за прилагане на метода за ранно декофриране (фигура 3.3). Първи етап само указателен за започване на процеса на изграждане на плочите от изследването. Етап 2 - 8 показват етапа на кофриране, декофриране и натоварване на конструкцията за всеки един от тях. При Етап 3 и Етап 5 натоварването от кофражна система и прясно положена бетонна смес от плочи съответно на кота +5,40 m и 8,10 m, са моделирани, както следва. За максимално доближаване до реалната обстановка под плоча на кота 5,40 m и плоча на кота 8,10 m в числения модел са премахнати хоризонталните стоманобетонни елементи, за да може целият товар от симулирано прясно положената бетонна смес да изтече по телескопичните подпори върху плочите, на които са стъпили подпорите.

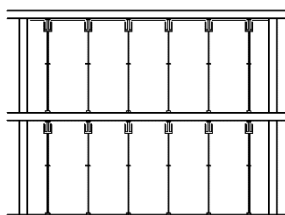
Товарът от кофражната система е моделиран като равномерно разпределен товар върху плочите, на които в кофражните форми полагаме бетонната смес.



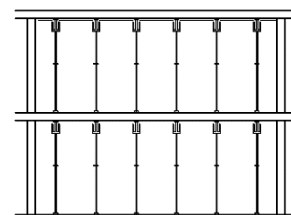
Етап 1. Ден 0. Кофрирана плоча на кота +2,70 m. Етапът е само ориентировъчен за процеса.



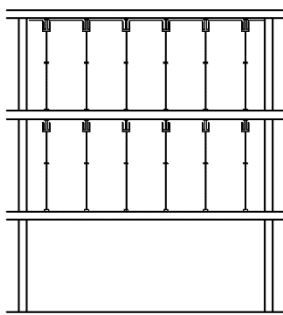
Етап 2. Ден 3. Частично декофриране на плоча на кота +2,70 m. В този етап върху плочата влияят постоянни товари от собственото ѝ тегло и временни товари от работници и оборудване



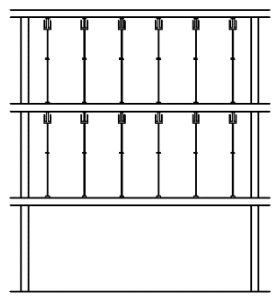
Етап 3. Ден 7. Частично декофрирана плоча на кота +2,70 m натоварена от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху нея влияят и товарите от собствено тегло на бетоновата смес на плоча на кота +5,40 m, както и временни товари от работници и леко оборудване, и кофражната система използвана от плоча на кота +5,40 m



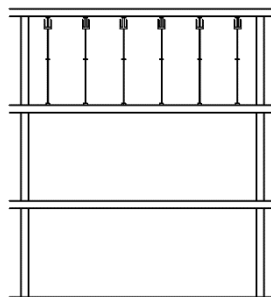
Етап 4. Ден 11. Частично декофрирани плочи на кота +2,70 m и +5,40 m натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m влияят и товарите от плоча на кота +5,40 m, но част от товарите се поемат от вертикалните стоманобетонни елементи под плоча на кота +5,40 m.



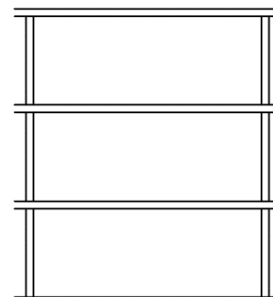
Етап 5. Ден 14. Напълно декофрирана плоча на кота +2,70 m и частично декофрирана плоча на кота +5,40 m, натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m и кота +5,40 m влияят товари от работници и леко оборудване, както и собственото тегло на бетоновата смес, и кофража на плоча на кота +8,10 m предавани чрез телескопичните подпори.



Етап 6. Ден 17. Напълно декофрирана плоча на кота +2,70 m и частично декофрирани плочи на кота +5,40 m и +8,10 m натоварени от собствено тегло, и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване, както и собственото тегло на плоча на кота +5,40 m и +8,10 m, предавани чрез телескопичните подпори, като част от тези товари изтичат в стоманобетонните елементи под плочите.

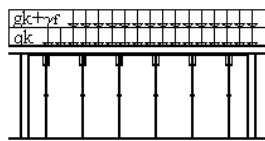


Етап 7. Ден 21. Напълно декофрирани плочи на кота +2,70 m и +5,40 m частично декофрирана плоча на кота +8,10 m натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плочи на кота +2,70 m и +5,40 m влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване, както и собственото тегло на плоча на кота +8,10 m предавани чрез телескопичните подпори, като част от тези товари изтичат в стоманобетонните елементи под плочите.

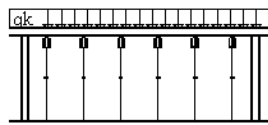


Етап 8. Ден 28. Напълно декофрирани плочи на кота +2,70 m, +5,40 m и +8,10 m. Върху плочите влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване.

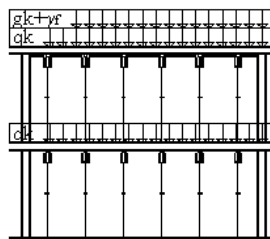
Фигура 3.3. Технологични етапи на оставащо подпирание при изграждане на конструкцията



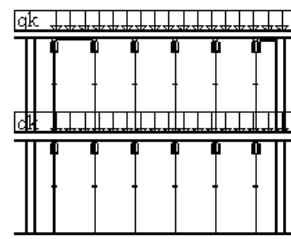
Етап 1. Ден 0. Кофрирана плоча на кота +2,70 m и положена бетонна смес в нея. Етапът е само ориентируващ за процеса.



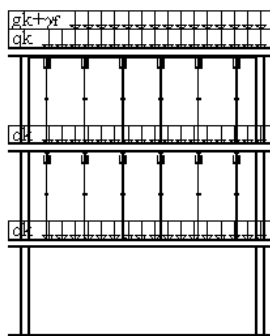
Етап 2. Ден 3. Частично декофриране на плоча на к. +2,70 m. В този етап върху плочата влияят постоянни товари от собственото ѝ тегло и временни товари от работници и оборудване.



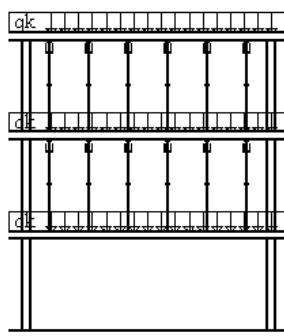
Етап 3. Ден 7. Частично декофрирана плоча на кота +2,70 m натоварена от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху нея влияят и товарите от собствено тегло на бетоновата смес на плоча на кота +5,40 m, както и временни товари от работници и леко оборудване, и кофражната система използвана от плоча на кота +5,40 m.



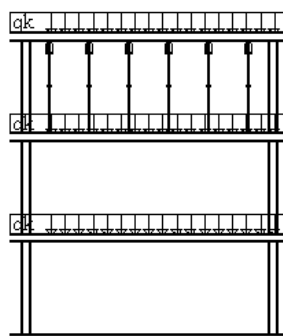
Етап 4. Ден 11. Частично декофрирани плочи на кота +2,70 m и +5,40 m натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m влияят и товарите от плоча на к. +5,40 m, но част от товарите се поемат от вертикалните стоманобетонни елементи под плоча на к. +5,40 m.



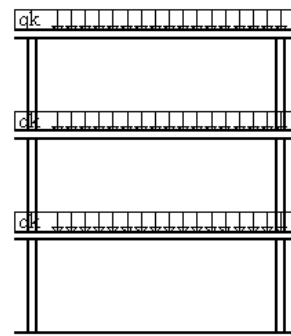
Етап 5. Ден 14. Напълно декофрирана плоча на кота +2,70 m и частично декофрирана плоча на кота +5,40 m, натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m и кота +5,40 m влияят товари от работници и леко оборудване, както и собственото тегло на бетоновата смес, и кофража на плоча на кота +8,10 m предавани чрез телескопичните подпори.



Етап 6. Ден 17. Напълно декофрирана плоча на кота +2,70 m и частично декофрирани плочи на кота +5,40 m и +8,10 m натоварени от собствено тегло, и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плоча на кота +2,70 m влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване, както и собственото тегло на плоча на кота +5,40 m и +8,10 m предавани чрез телескопичните подпори, като част от тези товари изтичат в стоманобетонни елементите под плочите.



Етап 7. Ден 21. Напълно декофрирани плочи на кота +2,70 m и +5,40 m частично декофрирана плоча на кота +8,10 m натоварени от собствено тегло и временни товари от работници и леко оборудване. Върху плочи на кота +2,70 m и +5,40 m влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване, както и собственото тегло на плоча на кота +8,10 m предавани чрез телескопичните подпори, като част от тези товари изтичат в стоманобетонни елементите под плочите.



Етап 8. Ден 28. Напълно декофрирани плочи на кота +2,70 m, +5,40 m и +8,10 m. Върху плочите влияят товарите от собствено тегло и работници и леко оборудване.

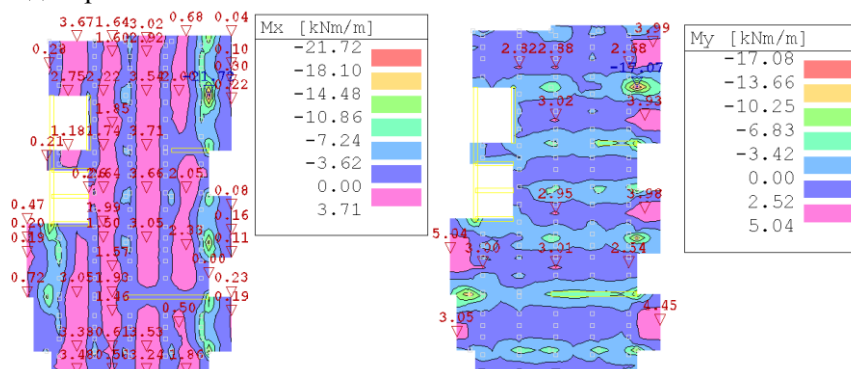
Фигура 3.4. Етапи на натоварване от изграждане на конструкцията

3.1.4.6. Огъващи моменти, необходима армировка в горна и долна зона, пукнатинообразуване и еластични провисвания на плочите във всеки един от етапите на изпълнение на сградата

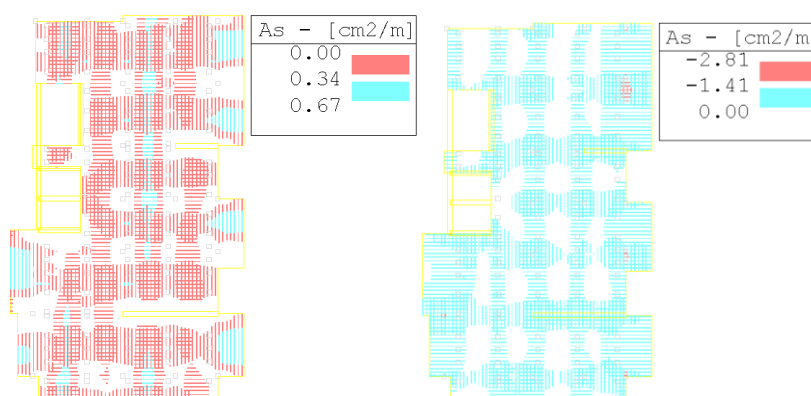
Диаграмите са направени за всеки един от етапите на изпълнение на сградата . Видовете диаграми за всеки един от технологичните етапи при изграждане на плочите са за огъващи моменти, еластични провисвания, необходима армировка в горна и долна зона и пукнатинообразуване на плочите. Етап 1 не подлежи на изследване. В етап 1 се указва началото на настоящото изследването. В този етап е положена бетонната смес за плоча на кота +2,70 m. В този етап натоварванията са само върху кофражната система при полагането на бетонната смес.

Типови диаграми за всеки един от технологичните етапи:

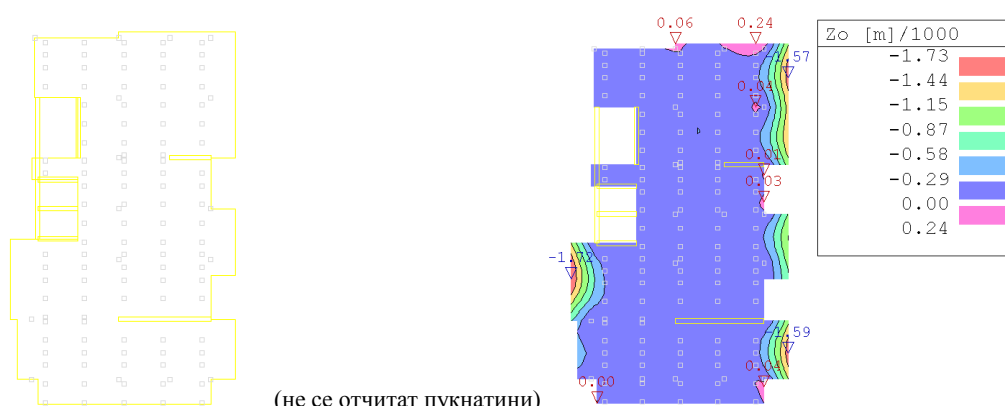
За пример се дават диаграмите от технологичен етап 2.



Фигура 3.6. и 3.7. Огъващи моменти по x и y – горна и долна зона



Фигура 3.8. и 3.9. Нужно сечение на армировката в плочата в долна и горна зона



Фигура 3.10. и 3.11. Пукнатинообразуване в дадена плоча и резултати от еластични провисвания

3.1.5. Резултати и проверки

За всеки един от етапите на изграждане на конструкцията са направени следните проверки:

- Сравняване стойностите на максималните огъващите моменти (M_{Ed}) получени във всеки един от етапите на изграждане на конструкцията, с носимоспособността на плочата (M_{Rd}) и максималните изчислителните моменти на плочите, получени при натоварванията от експлоатационни товари и собствено тегло плоча. Проверката служи за приемане на текущото бетоново сечение за всеки един от етапите на изграждане на конструкцията.

Таблица 3.2. Сравнителна таблица за огъващите моменти в етапите на изграждане на конструкцията и тези от експлоатационно състояние

Етап	Кота (m)	M_{Ed-} (KN.m/m)	M_{Ed+} (KN.m/m)	M_{Ed-} (KN.m/m)	M_{Ed+} (KN.m/m)	M_{Rd} (KN.m/m)	Резултат	Резултат	Проверка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+2,70	-	-			-	-	-	-
2	+2,70	-21,72	5,04	-61,23	20,92	-76,46	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
3	+2,70	-32,24	8,87	-61,23	20,92	-76,49	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
4	+2,70	-35,53	6,94	-61,23	20,92	-79,74	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+5,40	-30,88	6,56	-61,56	20,64	-79,49	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
5	+2,70	-43,36	18,97	-61,23	20,92	-80,42	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+5,40	-42,94	20,33	-61,56	20,64	-79,74	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
6	+2,70	-32,56	16,79	-61,23	20,92	-80,73	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+5,40	-34,86	14,43	-61,56	20,64	-80,42	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+8,10	-26,80	9,34	-61,29	22,95	-79,74	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
7	+2,70	-34,34	12,57	-61,23	20,92	-81,03	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+5,40	-33,06	13,71	-61,56	20,64	-80,73	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+8,10	-31,93	12,58	-61,29	22,95	-80,42	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
8	+2,70	-42,70	11,58	-61,23	20,92	-81,37	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+5,40	-42,71	11,84	-61,56	20,64	-80,73	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+8,10	-41,21	13,04	-61,29	22,95	-80,42	$M_{Ed\ 3,4} < M_{Ed\ 5,6}$	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена

Забележка: Със знак „+“ са отбелязани положителните, а със знак „-“, отрицателните огъващи моменти.

- Сравняване стойностите на нужното сечение на армировката в горна и долна зона във всеки един от етапите със сечението прието за оразмеряване в експлоатационно състояние.

Таблица 3.3. Сравнителна таблица за нужното сечение на армировката и вложеното за експлоатационно състояние

Етап	Кота (m)	$A_{s\ \text{нужно}}$ - (cm ²)	$A_{s\ \text{нужно}}$ + (cm ²)	$A_{s\ \text{вложено}}$ - (cm ²)	$A_{s\ \text{вложено}}$ + (cm ²)	Резултат	Проверка
1	+2,70	-	-	-	-	-	-
2	+2,70	-2,81	0,67	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
3	+2,70	-4,24	1,16	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
4	+2,70	-3,20	0,91	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+5,40	-3,27	0,86	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
5	+2,70	-5,73	2,50	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+5,40	-5,85	2,70	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
6	+2,70	-4,62	1,90	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+5,40	-4,62	1,90	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+8,10	-3,57	1,23	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
7	+2,70	-4,26	1,67	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+5,40	-4,30	1,80	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+8,10	-4,21	1,65	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
8	+2,70	-4,38	1,57	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+5,40	-4,45	1,54	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена
	+8,10	-4,82	1,72	10,05	3,35	$A_{s\ \text{нужно}} < A_{s\ \text{вложено}}$	удовлетворена

Забележка: Със знак „+“ е отбелязано сечението на армировката в горна зона на плочата, а със знак „-“, сечението на армировката в долна зона на плочата.

- Проверка за сравняване на срязващите сили получени в колоните и телескопичните подпори за всеки един от технологичните етапи на изграждане на конструкцията с носимоспособността на плочата.

Таблица 3.4. Сравнителна таблица за сравняване на срязващите сили получени в колоните за всеки един от етапите на изграждане на конструкцията с носимоспособността на плочата.

Етап	Кота	Резултат	Проверка
1	+2,70	-	-
2	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
3	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
4	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+5,40	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
5	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+5,40	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
6	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+5,40	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+8,10	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
7	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+5,40	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+8,10	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
8	+2,70	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+5,40	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена
	+8,10	$V_{ed,max} < V_{Rd,max}$	удовлетворена

- Сравняване на максималните стойности на получените пукнатини в плочите за всеки един от технологичните етапи на изграждане на конструкцията в плочите, с получени при нормативни стойности на натоварванията за експлоатационни състояние.

Таблица 3.5. Сравнителна таблица за пукнатинообразуването в етапите на изграждане на конструкцията и тези от нормативни стойности на товарите от експлоатационно състояние

Етап	Кота (m)	Ширина на пукнатина в Етап (mm)	Ширина на пукнатини за норм. натоварване т пост. и врем. товари (mm)	Резултат	Проверка
1	+2,70	-	-	-	-
2	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
3	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
4	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+5,40	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
5	+2,70	0,07	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+5,40	0,07	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
6	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+5,40	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+8,10	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
7	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+5,40	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+8,10	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
8	+2,70	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+5,40	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена
	+8,10	0,00	0,07	$Ak_{\text{етап}} < Ak_{\text{експл.}}$	удовлетворена

- Сравняване стойностите на еластичните провисвания получени във всеки един от етапите на изграждане на конструкцията в ключови възли в плочите с еластичните провисвания в плочите получени при натоварванията от нормативните натоарванията за експлоатационно натоварване с експлоатационни товари и собствено тегло плоча. Анализ на поведението на

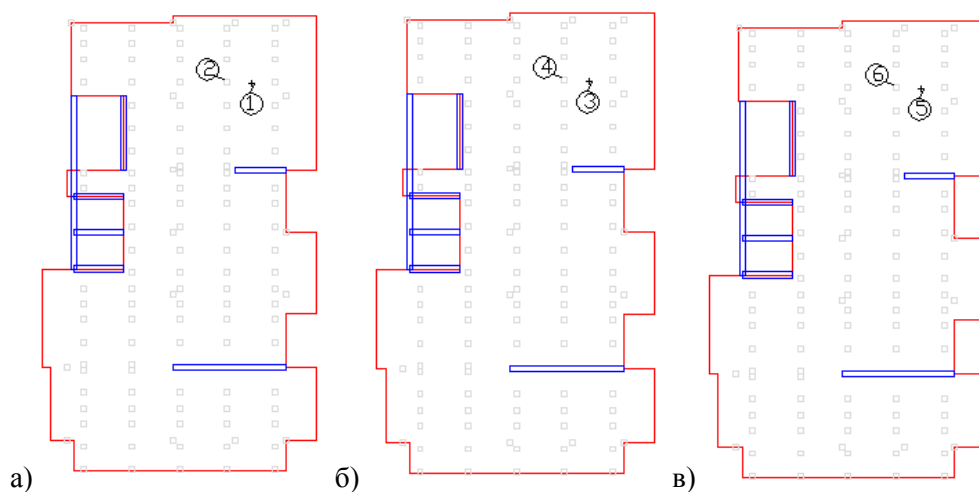
плочите в средата на полетата и над телескопичните подпори чрез сравняване на провисванията получени по предварително набелязани възли.

- Сравнителна таблица за еластичните вертикални премествания в етапите на изграждане на конструкцията и тези от нормативни стойности на товарите от експлоатационно състояние

Таблица 3.6. Сравнителна таблица за еластичните вертикални премествания в етапите на изграждане на конструкцията и тези от нормативни стойности на товарите от експлоатационно състояние

Етап	Кота	Максимална провисване в основно поле	Еластично вертикално преместване за нормативни стойности	Проверка
1	+2,70	-	-	-
2	+2,70	-0,08	-2,19	удовлетворена
3	+2,70	-0,58	-2,19	удовлетворена
4	+2,70	-0,67	-2,19	удовлетворена
	+5,40	-0,67	-2,30	удовлетворена
5	+2,70	-2,02	-2,19	удовлетворена
	+5,40	-2,20	-2,30	удовлетворена
6	+2,70	-1,65	-2,19	удовлетворена
	+5,40	-1,67	-2,30	удовлетворена
	+8,10	-1,74	-2,88	удовлетворена
7	+2,70	-1,51	-2,19	удовлетворена
	+5,40	-1,69	-2,30	удовлетворена
	+8,10	-1,69	-2,88	удовлетворена
8	+2,70	-1,31	-2,19	удовлетворена
	+5,40	-1,36	-2,30	удовлетворена
	+8,10	-1,60	-2,88	удовлетворена

- Анализ на поведението на плочите в средата на полетата и над телескопичните подпори чрез сравняване на провисванията получени по предварително набелязани възли
- Схеми на предварително определени за изследване възли в трите плочи на конструкцията



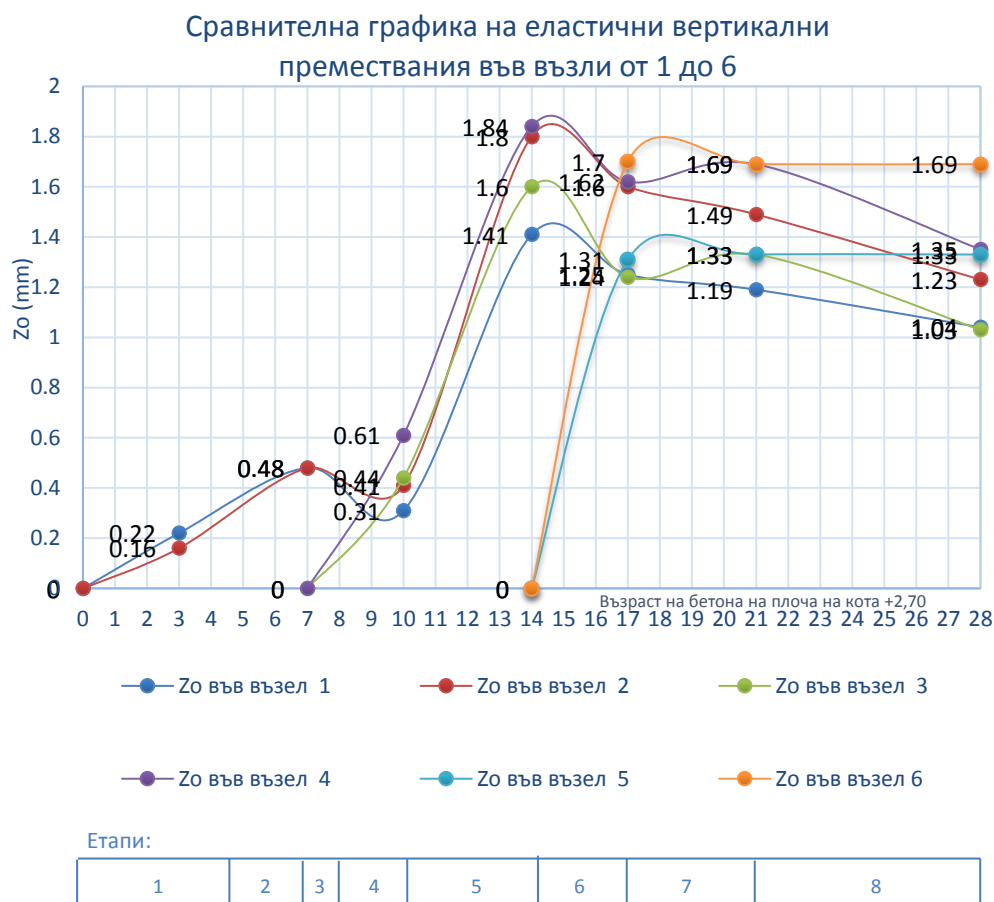
Фигура 3.96. а) Номерирани възли в плоча на кота +2,70; б) Номерирани възли в плоча на кота +5,40; в) Номерирани възли в плоча на кота +8,10

Таблица 3.7. Стойности на еластичните вертикални премествания във възли 1-6 в етапите на изграждане на конструкцията и сравняване тези от характеристикните стойности на товарите от експлоатационно състояние

Етап	Възел	Zo за съответния етап (mm)
2	1	-0,22
	2	-0,16
3	1	-0,48
	2	-0,48
4	1	-0,31
	2	-0,41
	3	-0,44
	4	-0,61
5	1	-1,41
	2	-1,80
	3	-1,60
	4	-1,84
6	1	-1,25
	2	-1,60
	3	-1,24
	4	-1,62
	5	-1,31
	6	-1,70
7	1	-1,19
	2	-1,49
	3	-1,33
	4	-1,69
	5	-1,33
	6	-1,69
8	1	-1,04
	2	-1,23
	3	-1,03
	4	-1,35
	5	-1,33
	6	-1,69

- Етапи на изпълнение на конструкцията:
- Етап 1 - Частично декофриране на плоча на кота +2,70 m – 3-ти ден;
- Етап 2 - Бетониране на плоча на кота +5,40 mm– 7-ми ден;
- Етап 3 - Частично декофриране на плоча на кота +5,40 m – 9 ден;
- Етап 4 - Цялостно декофриране на плоча на кота +2,70 m – 10 ден;
- Етап 5 - Бетониране на плоча на кота +8,10 m – 14 ден;
- Етап 6 - Частично декофриране на плоча на кота +8,10 m – 17 ден;
- Етап 7 - Цялостно декофриране на плоча на кота +5,40 m – 21 ден;
- Етап 8 - Цялостно декофриране на плоча на кота +8,10 m – 28 ден.

- Сравнителни диаграми на еластичните провисвания във възли по етапи за определяне поведението на плочите в средата на полетата и над телескопичните подпори чрез сравняване на провисванията получени по места:



Фигура 3.97. Сравнителни диаграми по възли чрез сравняване на вертикалните премествания по места

- Зависимости в сравненията на вертикалните премествания в съответните възли в графиките:
 - Зависимости между вертикалните премествания в зоните на телескопичните подпори и средата на полето от числения модел на плоча на кота +2,70 m:
 - От етап 1 до етап 4 от Фигура 3.97 се наблюдава как възел 1 има по-големи стойности от Възел 2. Това означава, че при втори етап от изпълнението на конструкцията (Частичното декофриране на първа плоча), зоната на плочата над телескопичната подпора (която е поставена върху фундамента), има по-ниски стойности на вертикалните премествания от зоната на плочата между телексопичните подпори;
 - От началото на етап 5 Възел 2 започва да има по-големи стойности от Възел 1. Това в случая се дължи на факта, че телескопичната подпора под възел 2 е премахната.
 - Зависимости между вертикалните премествания в зоните на телескопичните подпори и средата на полето от числения модел на плоча на кота +5,40 m
 - Още от началото на Етап 3 се вижда как Възел 4 има по-големи стойности от Възел 3. В тази ситуация се случва точно обратното от това, което се случва при плоча на кота +2,70 m, при същата ситуация, въпреки, че телескопичната подпора под възел 4 не е премахната. Това се дължи на факта, че числения модел показва, че телескопичната подпора под Възел 4 поддава заедно с деформациите на плоча на к. +2,70 m, както и самата тя приема еластични деформации.

- Зависимости между вертикалните премествания в зоните на телескопичните подпори и средата на полето от числения модел на плоча на кота +8,10 m.
- Още от началото на Етап 6 се вижда как Възел 6 има по-големи стойности от Възел 5. Както и при плоча на кота 5,40 m, така и в тази ситуация се случва точно обратното на това, което се случва при плоча на кота +2,70 m при същата ситуация, въпреки, че телескопичната подпора под възел 6 не е премахната. Това отново се дължи на факта, че численият модел ни показва, че телескопичната подпора под Възел 6 поддава заедно с деформациите на плочи на к. +2,70 m и кота +5,40 m, както и самата тя прием еластични деформации.
- Зависимости между вертикалните премествания след декофриране на всички плочи на 28-ия ден:
- До Етап 6 всички произведени плочи са подпрени с оставащи телескопични подпори. Ясно се вижда успоредността на кривите в отделните възли, което означава, че двете оставащо подпрени плочи работят заедно;
- В Етап 7 при декофрирането на плоча на кота +5,40 m, ясно се вижда как графиките на Възли 1 и 2 се понижават и от там плочата се разтоварва и започва да работи самостоятелно. Това отново показва взаимната работа на плочите, когато между тях има телескопични подпори;
- В Етап 8 ясно се вижда как всички плочи започват да работят самостоятелно.

3.1.6. Изводи от числената експериментална постановка

- При сравнително ниски стойности на временните товари, за които е оразмерена конструкцията проверките случая, който разглеждаме са удовлетворени.
- Плочите в числения модел работят взаимно като предаването на товарите от една плоча към друга под нея, става посредством телескопичните подпори във всеки един от етапите. От тук следва, че всяка една плоча, която ще се изпълнява с метода за Ранно декофриране трябва да бъде проверена дали сечението и вложената армировка в плочата са достатъчни за поемането на огъващите моменти и разрезните усилия получени от собственото си тегло и от собствено тегло на втора или повече плочи над нея, както и временните товари, които е вероятно да възникнат по време на строителството.
- При извършване на проверки на плочите за нерегламентирани вертикални премествания, трябва да се вземе предвид фактът, че всяка една подпряна с телескопични подпори плоча, приема преместванията на плочата под нея.
- Еластичният модул на бетона достига бързо своите стойности, което е от изключителна важност при прилагане метода за РД.
- Като най-критичен за плочите, се явява „Етап 5“, при който в подпряната и напълно декофрирана под нея плоча достигаме максимални натоварвания близки до тези от проектните стойности на натоварванията с изчислителни стойности за експлоатационно състояние. При ситуации като тази в „Етап 5“ е задължително да се извършват проверки.
- При декофрирана плоча в модела, над която има подпрени плочи, голяма част от запаса, при оразмеряване на плочите за експлоатационни товари, се изчерпва. Този проблем е налице и при плочи и плочогреди, които се декофрират при над 70 % от стойностите на якостните характеристики на бетона. Изцяло декофрираните плочи са подложени на допълнително натоварване, посредством телескопичните подпори стъпили на тях.

3.2. Експериментално изследване на двуетажен опитен образец за изследване поведението на гладки стоманобетонни плочи произведени с помощта на метода за ранно декофриране

3.2.1. Общи положения

В постановката е разгледана експериментална двуетажна стоманобетонна конструкция с две гладки плочи. Размерите на плочите са с ширина 125 cm и дължина 550cm. Височината на конструкцията е 2,32 cm. Фундаментите на конструкцията са с размери 160/60 cm и височина 30 cm (приложение 8-12). Използваният бетон за цялата конструкция е клас C20/25. Телескопичните подпори използвани между двете плочи в кофражната система са пригодени за

малки междуетажни височини (около 1 m). За по-ясни резултати от измерванията и набелязване на проблемните области и спомагателните процеси при ранното декофриране, дебелините на стоманобетонните плочи на конструкцията са съответно 16 и 14 cm, а армировката вложена в тях е близка до минималният коефициент на армиране. Натоварванията в експерименталната постановка върху плочите биват от собствено тегло, натоварване от кофражна система за втора плоча и симулирани товари по време на строителството използвани в някои от етапите на изграждането на конструкцията. Допълнителните симулирани товари са от кофражни платна с общо тегло 200 kg, които стъпват точково върху втора плоча (фигура 3.100) и симулиран товар от 2 палета с тегло 1422 kg, които натоварват линейно втора плоча. Реалните вертикалните премествания в плочите са измерени с помощта на индикаторни часовници прикрепени към независима от конструкцията метална рамка между плоча на к.+1,21 m и плоча на к. +2,32 m.

3.2.2. Целта на експерименталното изследване е посочена в методиката на изследването

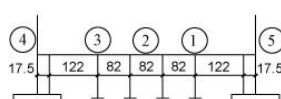
3.3. Задачите на експерименталното изследване са посочени в методиката на изследването.

3.3.1. Изпълнение на експерименталната постановка

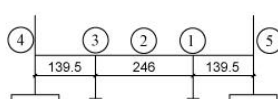
Натоварването върху плочите и моментовите диаграми от видовете натоварвания в различните етапи от изграждането на конструкцията са представени във Фигура 3.100. Якостните характеристики на използваните бетони са представени на фигура 3.101 – 3.109. Сравнението на резултатите от различните вертикални премествания в плочите е представено във фигура 3.190 – 3.195.

3.3.1.1. Технологични подетапи и етапи на изпълнение на конструкцията и натоварване

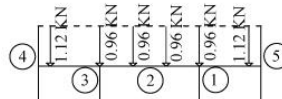
В изследването са проследени вертикалните премествания и пукнатинообразуването в плочите в определени предварително в методиката възли. Изследването е извършено в 15 подетапа (фигура 3.100). Във всеки Подетап е показано нивото на кофриране и декофриране, съответното допълнително натоварване и възрастта на бетона на първа плоча. Обособени са 9 отделни етапа от изпълнението на конструкцията (таблица 3.9).



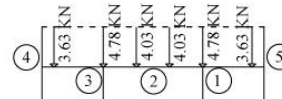
Подетап 1. Частично декофриране на ниво $1t_1=4$ дни



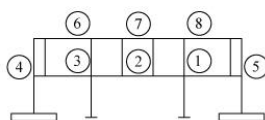
Подетап 2. Разреждане на телескопичните подпори на ниво $1t_1=4$ дни



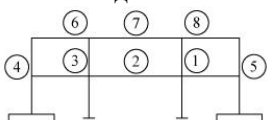
Подетап 3. Кофриране на ниво $2t_1=7$ дни



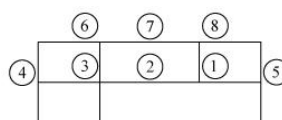
Подетап 4. Полагане на бетонната смес на ниво $2t_1=7$ дни



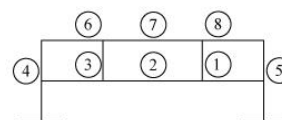
Подетап 5. Частично декофриране на ниво $2t_1=11$ дни



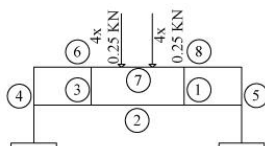
Подетап 6. Разреждане на телескопичните подпори на ниво $2t_1=11$ дни



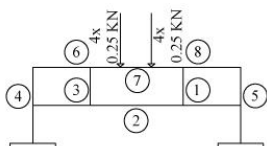
Подетап 7. Разреждане на телескопичните подпори на ниво $1t_1=11$ дни



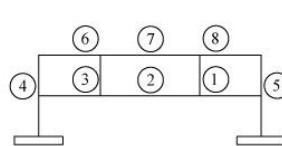
Подетап 8. Цялостно декофриране на ниво $1t_1=11$ дни



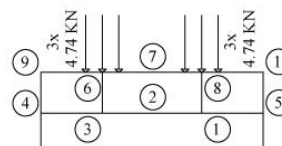
Подетап 9. Натоварване на ниво 2 с временни товари от кофражни платна $t_1=11$ дни



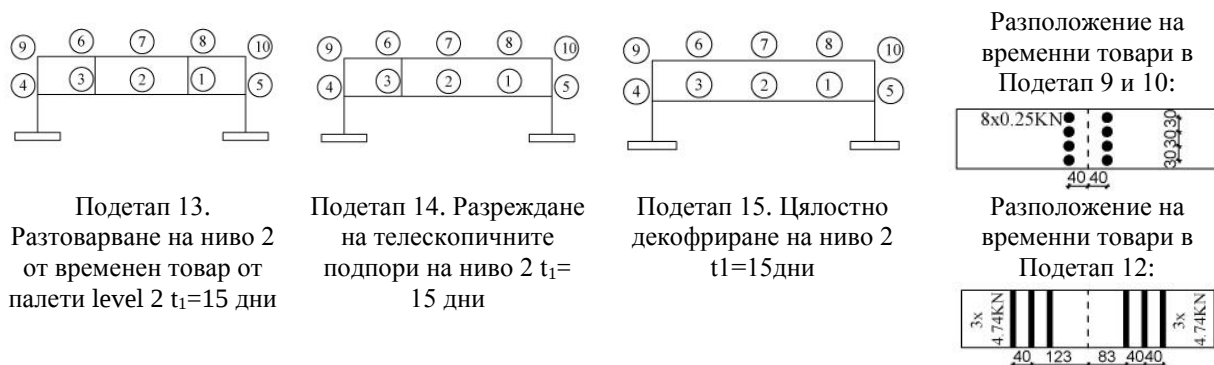
Подетап 10. Претояване на товара от ниво 2 $t_1=14$ дни



Подетап 11. Разтоварване на временният товар от ниво 2 $t_1=14$ дни



Подетап 12. Натоварване на ниво 2 с временен товар от палети 2 $t_1=14$ дни



Фигура 3.100. Технологичен процес на изграждане на гладките плочи в конструкцията

Таблица 3.9. Етапи на изграждане на плочите в опитната конструкция

Етап	Под- етап	Период (дни)	Времетраене (дни)	Мероприятия по изграждане и натоварване на плочите
1	1-2	4 ^{ти}	1	Частично декофриране на ниво 1
2	3	4 ^{ти} – 7 ^и	3	Кофриране на ниво 2
3	4	7 ^и	1	Полагане на бетонната смес на ниво 2
4	4-5	7 ^и – 11 ^{ти}	4	Престой
5	5-8	11 ^{ти}	0,5	Частично декофриране на ниво 2 и цялостно декофриране на ниво 1
6	9-10	11 ^{ти} – 14 ^{ти}	3,5	Натоварване на ниво 2 с временни товари от кофражно платна с общо тегло 200 kg
7	11	14 ^{ти}	0,5	Разтоварване на ниво 2 от временни товари с общо тегло 200 kg
8	12	14 ^{ти}	0,5	Натоварване на ниво 2 с временни товари от палети с тегло на палет – 1422 kg
9	13-15	15 ^{ти}	1	Разтоварване на ниво 2 от временни товари от палети с тегло на палет – 1422 kg

3.3.1.2. Числен модел на конструкцията

Численият модел на всеки един от подетапите при изграждане на конструкцията е направен със софтуер базиран на МКЕ. За моделирането на плочи са използвани плочови двумерни крайни елементи, а за стоманобетонните колони и металните телескопични подпори са моделирани с гредови крайни елементи. Телескопичните подпори са моделирани със съставно сечение с размери като използваните в експеримента – две тръбни сечения с дължина по 50cm, долното сечение с диаметър 60 mm и дебелина 2 mm, горното с диаметър 50 mm и дебелина 1,7 mm. Механизмът за регулиране височината на подпората не е отчетен и не е моделиран. Възел колона-плоча и телескопична подпора-плоча са моделирани със ставни връзки. Натоварването от кофражната система и временните товари от строителството върху плочите са моделирани като точкови и линейни натоварвания. За всеки един от дните на декофриране са въведени реалните стойности на еластичния модул получени от лабораторни изпитвания на пробни тела отлежали в реални атмосферни условия на строителната площадка, на която е проведена експерименталната постановка.

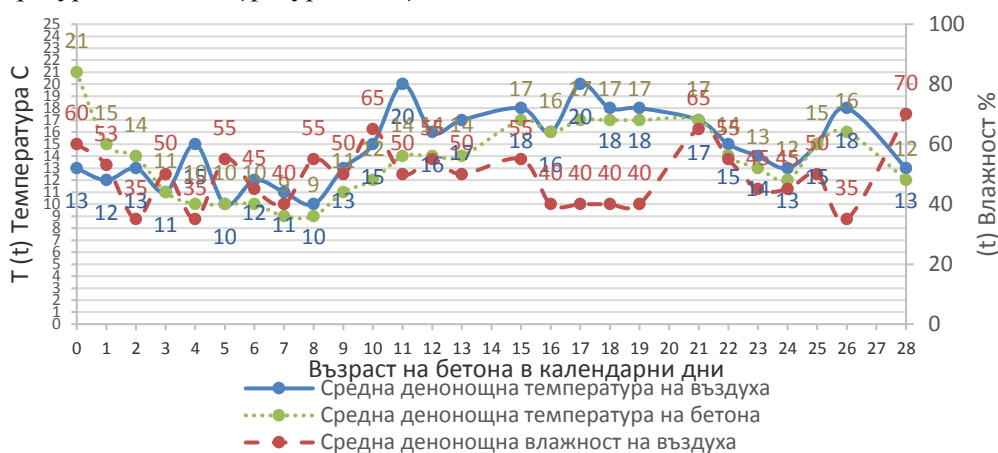
3.3.1.3. Якостни характеристики и атмосферни условия, при които са достигали своите якости използваните в плочите на конструкцията бетони

За целите на изследването са проследени атмосферните условия, при които бетоните използвани за производството на гладките плочи са набирали своите якости. Измервани в продължение на 28 дни за двете плочи са средната денонощна температура на въздуха, средната денонощна влажност на въздуха чрез електронни термометри и електронен влагомер. Проследена е и средната денонощна температура на бетона за всички 28 дни след полагането на бетоновата смес в двете плочи. Якостните характеристики за ключови дни от изграждането на конструкцията (описани в методиката за изпълнение на опитната постановка) са измерени посредством разрушителен и неразрушителен метод. С помощта на разрушителен метод в лаборатория (НИСИ) са изпитани пробни тела с размери 150/150/150 mm за определяне набирането на кубова якост на натиск на бетона в ключови дни в продължение на 28 дни за

двете плочи. Част от пробните тела са отлежавали в контролирана среда, а друга част от тях в реални атмосферни условия. Също така по същият начин във важни дни от изграждането на конструкцията са изпитани пробни тела с размери 100/400/400 mm, отлежавали в реални атмосферни условия за определяне призменият модул на натиск на бетона, секантния еластичен модул на натиск на бетона и якостта на опън при огъване на бетона.

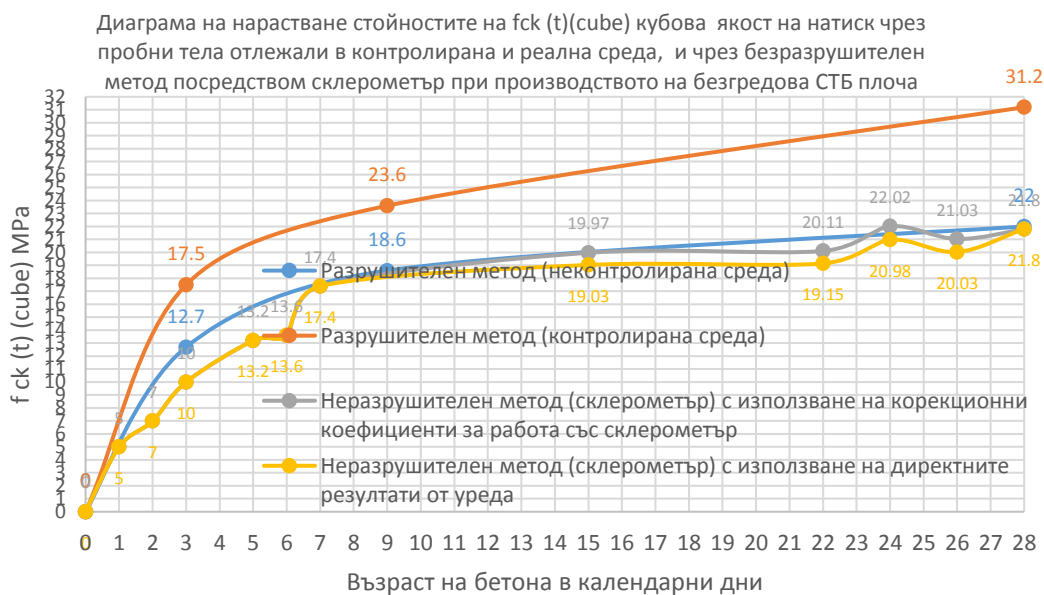
- Якостни характеристики и атмосферни условия, при които бетонът е достигал своите якостни характеристики за плоча на кота +1,21m. Бетонът е произведен в цех за производство на бетонни смеси в гр. Пловдив. Проектният му клас е C20/25 и заготвяне на сместта с цимент R52,5. Консистенция S3. Клас по въздействие на околната среда XC1. Максималният размер на добавъчния материал е $D_{max} = 22 \text{ mm}$. Бетонът е положен 60 минути след заготвянето на сместта на 15.04.2019 г.

➤ Измерени средни стойности на температура на въздуха, влажност на въздуха и температура на бетона (фигура 3.101).



Фигура 3.101. Диаграма с измерени средни стойности на температура а въздуха, влажност на въздуха и температура на бетона

- Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)$ кубова якост на натиск чрез пробни тела отлежали в контролирана и реална среда, и чрез безразрушителен метод посредством склерометър при производството на безгредова стоманобетонни плоча (фигура 3.102).



Фигура 3.102. Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)$ (cube) кубова якост на натиск чрез пробни тела отлежали в контролирана и реална среда и чрез безразрушителен метод посредством склерометър

- Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)(\text{prism})$ призмена якост на натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда при производството на безгредова стоманобетонна плоча (фигура 3.103).

Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)(\text{prism})$ призмена якост на натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда при производството на безгредова СТБ плоча



Фигура 3.103. Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)(\text{prism})$ призмена якост на натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда

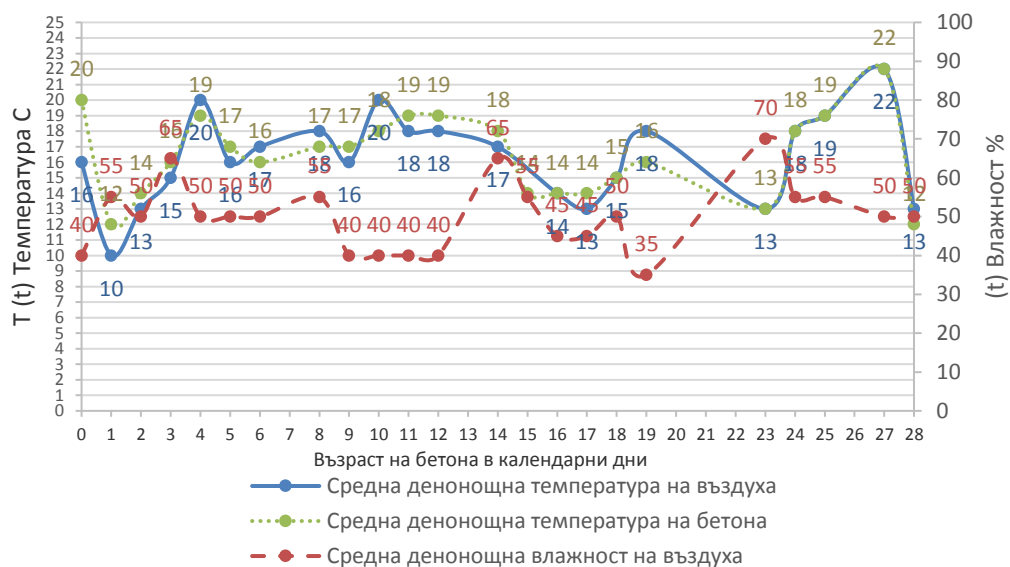
- Диаграма на нарастване стойностите на $E_o(t)$ секантния модул на еластичност при натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда при производството на безгредова стоманобетонна плоча (фигура 3.104).



Фигура 3.104. Диаграма на нарастване стойностите на $E_o(t)$ секантния модул на еластичност при натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда

- Якостни характеристики на бетон за производството на безгредова стоманобетонна плоча на кота +2,32 m:
Бетонът е произведен в цех за производство на бетонни смеси в гр. Пловдив. Проектният му клас е C20/25 и заготвяне на сместта с цимент R52,5. Клас по консистенция S3. Клас по въздействие на околната среда XC1. Максималният размер на добавъчния материал е $D_{\max} = 22 \text{ mm}$. Бетонът е положен 50 минути след заготвянето на сместта на 22.04.2019 г.

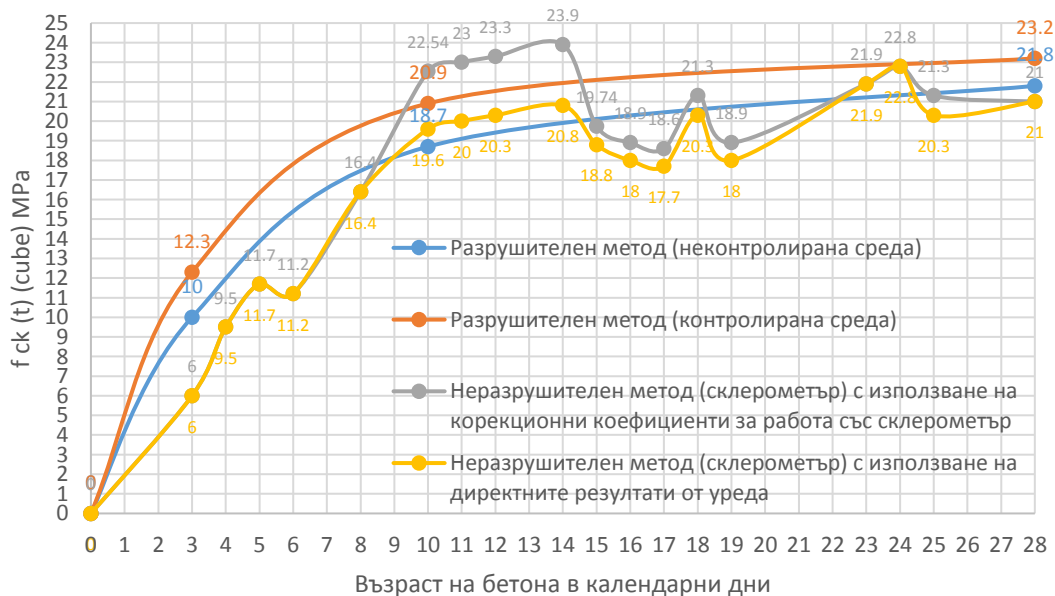
- Измерени средни стойности на температурата на въздуха, влажността на въздуха и температурата на бетона (фигура 3.105)



Фигура 3.105. Диаграма с измерени средни стойности на температурата на въздуха, влажността на въздуха и температурата на бетона

- Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)$ (cube) кубова якост на натиск чрез пробни тела отлежали в контролирана и реална среда, и чрез безразрушителен метод посредством склерометър при производството на безгредова стоманобетонна плоча (фигура 3.106).

Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)$ (cube) кубова якост на натиск чрез пробни тела отлежали в контролирана и реална среда, и чрез безразрушителен метод посредством склерометър при производството на безгредова СТБ плоча



Фигура 3.106. Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)$ кубова якост на натиск чрез пробни тела отлежали в контролирана и реална среда, и чрез безразрушителен метод посредством склерометър.

- Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)(\text{prism})$ призмена якост на натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда при производството на безгредова стоманобетонна плоча (фигура 3.107).



Фигура 3.107. Диаграма на нарастване стойностите на $f_{ck}(t)(\text{prism})$ призмена якост на натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда

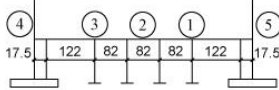
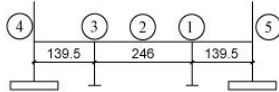
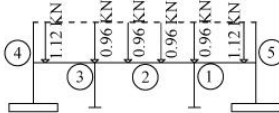
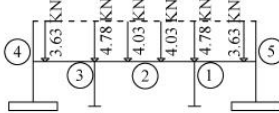
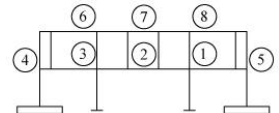
- Диаграма на нарастване стойностите на $E_o(t)$ секантния модул на еластичност при натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда при производството на безгредова стоманобетонна плоча (фигура 3.109).



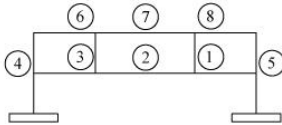
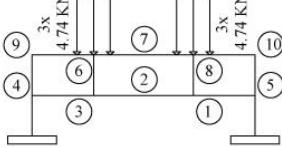
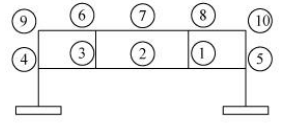
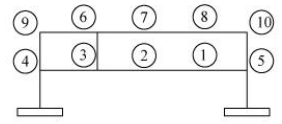
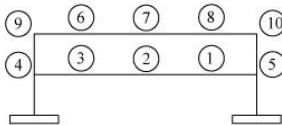
Фигура 3.109. Диаграма на нарастване стойностите на $E_o(t)$ секантния модул на еластичност при натиск чрез пробни тела отлежали в реална среда

3.2.4.5. Натоварване и подетапи на изпълнение на опитната конструкция

Таблица 3.10. Ситуации на натоварване и стъпки на изпълнение на опитната конструкция

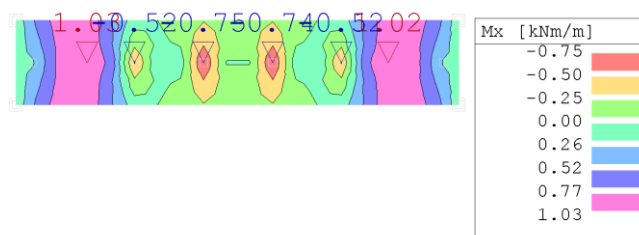
№	Дата	t пл. к. +1,21	T пл. к. +2,32	Подпиране, натоварване и позиции на възли	Визуализация на ситуацията
1	19.04. 2019г.	4	-		
2	19.04. 2019г.	4	-		
3	22.04. 2019г.	7	-		
4	22.04. 2019г.	7	0		
5	26.04. 2019г.	11	4		

6	26.04. 2019r.	11	4		
7	24.04. 2019r.	11	4		
8	26.04. 2019r.	11	4		
9	26.04. 2019r.	11	4		
10	30.04. 2019r.	15	8		

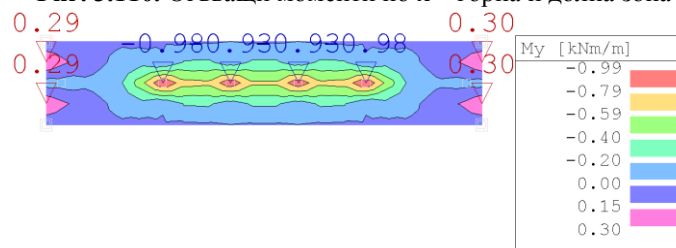
11	30.04. 2019г.	15	8		
12	30.04. 2019г.	15	8		
13	01.05. 2019г.	16	9		
14	01.05. 2019г.	16,3	9		
15	01.05. 2019г.	16	9		

3.2.4.6. Огъващи моменти, пукнатинообразуване и необходимо сечение на армировката в долна и горна зона на плочите в стъпките на изпълнение на експерименталната постановка.

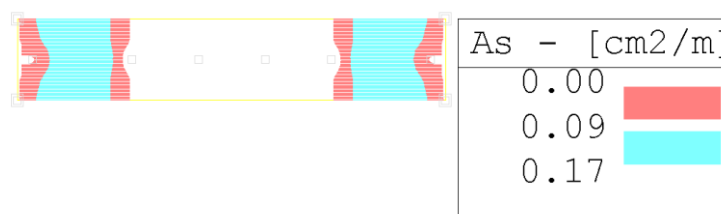
За всеки един от технологичните подетапи са направени диаграми с огъващи моменти, пукнатинообразуване и еластични провисвания на плочите от числения модел на опитната конструкция. За пример се дават диаграмите на Подетап 1 (ден 4 от изливането на първа плоча). Резултатите са обобщени в таблици.



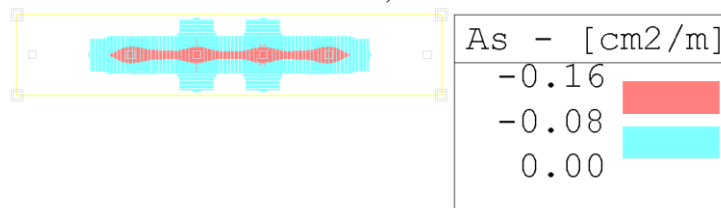
Фиг. 3.110. Огъващи моменти по x – горна и долна зона



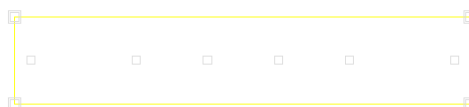
Фиг. 3.111. Огъващи моменти по y – горна и долна зона



Фиг. 3.112. Нужно сечение на армировката в плочата в долна зона в Подетап 1 на плоча на кота +1,21 m



Фиг. 3.113. Нужно сечение на армировката в плочата в горна зона в Подетап 2 на плоча на кота +1,21 m



Фиг. 3.114. Пукнатинообразуване в плоча на кота + 1,21 m в Подетап 1

3.2.4.7. Анализ на резултатите от моментните диаграми, нужните сечения на армировката и пукнатинообразуването за всяка една от стъпките и етапите на изграждане на конструкцията, както и сравняването им с тези определени за експлоатационно състояние

За всеки един от етапите на изграждане на експерименталната конструкция са направени следните сравнения и проверки:

- Сравняване максималните стойности от числен модел на огъващите моменти във възли получени във всяка една от стъпките на изграждане на конструкцията, с моментите от плочите получени при натоварванията от предварителните изчисления за плочата, в случая за изчислителни стойности от собствено тегло плоча. Проверка за това в коя от стъпките, нуждата от запас в сечението на плочата (било то оразмеряване за временен товар или коефициент за сигурност) би ни потрѣбвал за поемѣне на усилията от изграждането на конструкцията чрез метод за РД (табл.3.11).

Таблица 3.11. Сравнителна таблица за огъващите моменти в етапите на изграждане на конструкцията с минималната носимоспособност на огъване на плочата

Подетап	Кота	Възел	$M_{Ed,max}$ (KN.m/m)	M_{Rd} (KN.m/m)	Резултат	Проверка
1	2	3	4	5	6	7
1	+1,21	2	0,79	16.88	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-0,98	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		4,5	0,00	16.88	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
2	+1,21	2	2,10	16.88	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-2,55	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		4,5	0,00	16.88	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
3	+1,21	2	2,87	16.95	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-3,09	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		4,5	0,00	16.95	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
4	+1,21	2	5,28	16.95	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-4,86	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		4,5	0,00	16.95	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
5	+1,21	2	3,59	17.00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-3,17	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		4,5	0,00	17.00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	1,21	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		6,8	-0,22	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		9,10	0,00	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
6	+1,21	2	2,60	17.00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1,3	-2,04	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
			0,00	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	2,16	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		6,8	-1,90	-3,30	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
			0,00	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
7	+1,21	2	5,32	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		1	9,91	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		3	-8,33	-4,10	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		4,5	0,00	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	3,50	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		6	-4,49	-3,30	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		8	4,51	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		9,10	0,00	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
8	+1,21	2	22,97	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		1,3	18,98	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		4,5	-0,85	-17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	12,22	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		6,8	8,48	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		9,10	-0,46	-14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
9	+1,21	2	24,76	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		1,3	20,82	17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		4,5	-0,91	-17,00	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	13,77	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		6,8	8,74	14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
		9,10	-0,48	-14,21	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
12	+1,21	2	37,88	17,03	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		1,3	34,35	17,03	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		4,5	-1,38	-17,03	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена
	+2,32	7	24,33	14,40	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		6,8	17,05	14,40	$M_{Ed} < M_{Rd}$	неудовлетворена
		9,10	-0,90	-14,40	$M_{Ed} < M_{Rd}$	удовлетворена

Забележка: Със знак „-“ са означени отрицателните, а със знак „+“ положителните огъващи моменти.

- Сравняване стойностите от числен модел на необходимото сечение на армировката във възли в горна и долна зона във всеки един от етапите и стъпките със сечението прието в предварителното оразмеряване на плочата за експлоатационно състояние, в случая за нормативни стойности от собствено тегло плоча. Проверка за това в коя от стъпките, нуждата от запас в сечението на плочата (било то оразмеряване за временен товар или коефициент за сигурност) би ни потрѣбвал за поемѣне на усиления от изграждането на конструкцията чрез метод за РД (табл.3.12).

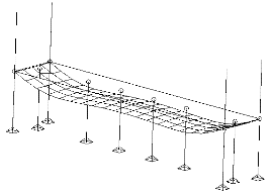
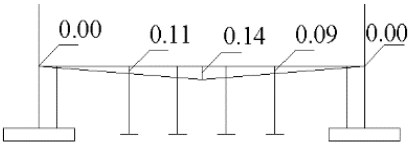
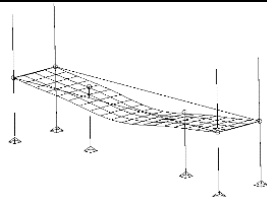
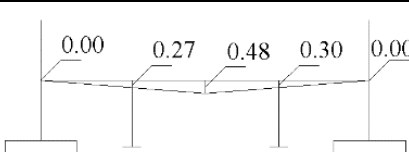
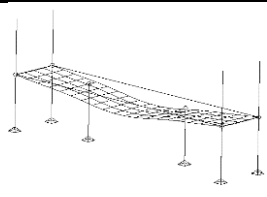
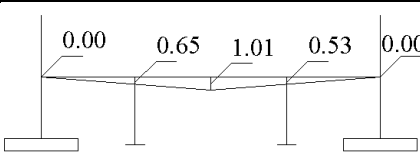
Таблица 3.12. Сравнителна таблица за необходимото сечение на армировката и вложеното за експлоатационно състояние

Подетап	Кота	Възел	$A_{s \text{ етап}}$ (cm ² /m)	$A_{s \text{ проект}}$ (cm ² /m)	Резултат	Проверка
1	+1,21	2	0,12	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,16	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	0,05	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
2	+1,21	2	0,35	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,42	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
3	+1,21	2	0,48	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,50	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
4	+1,21	2	0,89	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,80	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
5	+1,21	2	0,60	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,52	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	0,24	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		6,8	-0,23	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
6	+1,21	2	0,344	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-0,33	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	0,42	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		6,8	-0,36	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
7	+1,21	2	1,69	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		1,3	-1,40	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	0,89	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		6,8	-0,87	-0,00	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
8	+1,21	2	4,15	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		1,3	2,08	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	2,50	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		6,8	-1,25	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
9	+1,21	2	4,52	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		1,3	2,26	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	2,84	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		6,8	1,42	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
12	+1,21	2	7,48	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		1,3	3,74	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		4,5	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена
	+2,32	7	5,42	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		6,8	2,71	2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	неудовлетворена
		9,10	-0,00	-2,51	$A_{s \text{ етап}} < A_{s \text{ проект}}$	удовлетворена

Забележка: Със знак „-“ е означена долна зона, а със знак „+“ горна зона на необходимото сечение на армировката

3.2.4.8. Резултати от получени еластични и реални вертикални премествания отчетени от индикаторните часовници

Таблица 3.14. Резултати от получени еластични провисвания и реални вертикални премествания отчетени от индикаторните часовници

№ на По дет ап	Деформирана схема от числен модел	В ъ з л и	Ел аст ич ни пре мес тва ни я (mm)	Експер имента ално измере но вертикално премес тване (mm)	Пу кн ати ни (mm)	Визуализация на реалната деформирана схема (mm)
1		1	0.08	0,09		
		2	0.06	0,14		
		3	0.08	0,11		
		4	0.00	0,00		
		5	0.00	0,00		
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
2		1	0.15	0,30		
		2	0.31	0,48		
		3	0.15	0,27		
		4	0.00	0,00		
		5	0.00	0,00		
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
3		1	-0.19	0,53		
		2	-0.38	1,01		
		3	-0.19	0,65		
		4	0.00	0,00		
		5	0.00	0,00		
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

4		1	0,32	0,99		
		2	0,67	1,66		
		3	0,32	1,06		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6		0,69		
		7		1,06		
		8		0,65		
		9				
		10				
5		1	0,27	1,09		
		2	0,52	1,94		
		3	0,27	1,29		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	0,37	Z7H +0,79		
		7	0,54	Z8H +1,34		
		8	0,37	Z9H +0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			
6		1	0,27	1,25		
		2	0,46	2,06		
		3	0,27	1,38		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	0,41	0,28 + 0,79		
		7	0,71	0,48 + 1,34		
		8	0,41	0,29 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			
7		1	1,63	1,83		
		2	1,47	2,44		
		3	0,47	1,45		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	0,67	0,56 + 0,79		
		7	1,70	1,13 + 1,34		
		8	1,67	0,96 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			

8		1	6,07	2,51		
		2	8,14	3,81		
		3	6,10	2,75		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	6,14	1,43 + 0,79		
		7	8,27	2,26 + 1,34		
		8	6,11	1,46 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			
9		1	6,52	3,01		
		2	8,75	4,46		
		3	6,56	3,17		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	6,62	1,92 + 0,79		
		7	8,97	2,95 + 1,34		
		8	6,58	2,07 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			
10		1	5,75	4,17		
		2	7,72	6,22		
		3	5,78	4,54		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	5,83	3,17 + 0,79		
		7	7,89	4,50 + 1,34		
		8	5,81	3,40 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			
11		1	5,35	4,09		
		2	7,80	6,14		
		3	5,37	4,31		
		4	0,00	0,00		
		5	0,00	0,00		
		6	5,41	2,92 + 0,79		
		7	7,27	4,22 + 1,34		
		8	5,39	3,10 + 0,88		
		9	0,00			
		10	0,00			

12		2	9,24	8,93	0,05	
		3	12,36	12,42	0,10	
		4	9,30	9,08	0,05	
		5	0,00	0,00	0,95	
		6	0,00	0,00	0,80	
		7	9,48	8,28 + 0,79	0,05	
		8	12,72	10,98 + 1,34	0,05	
		9	9,41	8,09 + 0,88	0,05	
		10	0,00		0,40	
		11	0,00		0,25	
13		1	5,41	7,78	0,05	
		2	7,27	10,87	0,10	
		3	5,44	7,91	0,05	
		4	0,00	0,00	0,95	
		5	0,00	0,00	0,80	
		6	5,46	6,41 + 0,79	0,05	
		7	7,35	8,38 + 1,34	0,05	
		8	5,43	6,34 + 0,88	0,05	
		9	0,00		0,40	
		10	0,00		0,25	
14		1	5,26	6,74	0,05	
		2	7,17	9,85	0,10	
		3	5,44	7,06	0,05	
		4	0,00	0,00	0,95	
		5	0,00	0,00	0,80	
		6	5,48	6,49 + 0,79	0,05	
		7	7,53	8,54 + 1,34	0,05	
		8	5,80	6,50 + 0,88	0,05	
		9	0,00		0,40	
		10	0,00		0,25	
15		1	4,66	6,64	0,05	
		2	6,27	9,67	0,10	
		3	4,68	6,88	0,05	
		4	0,00	0,00	0,95	
		5	0,00	0,00	0,80	
		6	6,68	6,69 + 0,79	0,05	
		7	8,95	8,77 + 1,34	0,05	
		8	6,64	6,65 + 0,88	0,05	
		9	0,00		0,40	
		10	0,00		0,25	

Резултатите от еластичните вертикални премествания са дадено в табл. 3.15.

Таблица 3.15. Еластични вертикални премествания във всеки възел

Ден, (t) ^{1ва} плоча	Подетап	Провисвания (mm)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4 ^{ти} (1) ден	1	0,08	0,06	0,08	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
4 ^{ти} (2) ден	2	0,15	0,31	0,15	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
7 ^и (1) ден	3	0,19	0,38	0,19	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
7 ^и (2) ден	4	0,32	0,67	0,32	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
11 ^{ти} (1) ден	5	0,27	0,52	0,27	0,00	0,00	0,37	0,54	0,37	0,00	0,00
11 ^{ти} (2) ден	6	0,27	0,46	0,27	0,00	0,00	0,41	0,71	0,41	0,00	0,00
11 ^{ти} (3) ден	7	1,63	1,47	0,47	0,00	0,00	0,67	1,70	1,67	0,00	0,00
11 ^{ти} (4) ден	8	6,07	8,14	6,10	0,00	0,00	6,14	8,27	6,11	0,00	0,00
11 ^{ти} (5) ден	9	6,52	8,75	6,56	0,00	0,00	6,62	8,97	6,58	0,00	0,00
14 ^{ти} (1) ден	10	5,92	7,96	5,97	0,00	0,00	5,98	8,11	6,00	0,00	0,00
14 ^{ти} (2) ден	11	5,51	7,40	5,54	0,00	0,00	5,57	7,48	5,54	0,00	0,00
14 ^{ти} (3) ден	12	9,53	12,74	9,58	0,00	0,00	9,75	13,09	9,70	0,00	0,00
15 ^{ти} (1) ден	13	5,41	7,27	5,44	0,00	0,00	5,46	7,35	5,43	0,00	0,00
15 ^{ти} (2) ден	14	5,26	7,17	5,44	0,00	0,00	5,48	7,53	5,80	0,00	0,00
15 ^{ти} (3) ден	15	4,66	6,27	4,68	0,00	0,00	6,68	8,95	6,64	0,00	0,00

Резултатите от отчетите на индикаторните часовници вертикални премествания са дадени в табл. 3.16.

Таблица 3.16. Експериментални вертикални премествания във всеки възел

Ден, (t) ^{1ва} плоча	Подетап	Провисвания (mm)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4 ^{ти} (1) ден	1	0,09	0,14	0,11	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
4 ^{ти} (2) ден	2	0,30	0,48	0,27	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
7 ^и (1) ден	3	0,53	1,01	0,65	0,00	0,00	0,36	0,55	0,20	0,00	0,00
7 ^и (2) ден	4	0,99	1,66	1,06	0,00	0,00	0,69	1,06	0,65	0,00	0,00
11 ^{ти} (1) ден	5	1,09	1,94	1,29	0,00	0,00	0,79	1,36	0,88	0,00	0,00
11 ^{ти} (2) ден	6	1,25	2,06	1,38	0,00	0,00	1,07	1,82	1,17	0,00	0,00
11 ^{ти} (3) ден	7	1,83	2,44	1,45	0,00	0,00	1,35	2,47	1,84	0,00	0,00
11 ^{ти} (4) ден	8	2,51	3,81	2,75	0,00	0,00	2,22	3,60	2,34	0,00	0,00
11 ^{ти} (5) ден	9	3,01	4,46	3,17	0,00	0,00	2,71	4,29	2,95	0,00	0,00
14 ^{ти} (1) ден	10	4,17	6,22	4,54	0,00	0,00	3,96	5,84	4,28	0,00	0,00
14 ^{ти} (2) ден	11	4,09	6,14	4,31	0,00	0,00	3,71	5,56	3,98	0,00	0,00
14 ^{ти} (3) ден	12	8,93	12,42	9,08	0,00	0,00	9,07	12,32	8,97	0,00	0,00
15 ^{ти} (1) ден	13	6,81	9,90	7,07	0,00	0,00	6,37	8,70	6,27	0,00	0,00
15 ^{ти} (2) ден	14	6,74	9,85	7,06	0,00	0,00	6,45	8,86	6,43	0,00	0,00
15 ^{ти} (3) ден	15	6,64	9,67	6,88	0,00	0,00	6,65	9,12	6,58	0,00	0,00

3.2.4.9. Пукнатинообразуване в плочите – експериментални резултати (табл.3.17)

Таблица 3.17. Експериментални резултати от пукнатинообразуване (mm).

Период	Възел									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Преди Подетап 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
След Подетап 12	0,00	0,10*	0,00	0,95	0,80	0,00	0,05*	0,00	0,40	0,25

Забележка: *Пукнатините се отнасят за долната плоскост на стоманобетонните плочи, а тези без знак *, за горна зона на плочата.

3.2.4.10. Обследване на съсъхването на бетона в плочите – след полагане на бетоновата смес и в двете кофражно форми на плочите са полагани грижи в първите дни след отливането им. След извършените мероприятия не са констатирани пукнатини от съсъхване.

3.2.5. Анализ на резултатите

3.2.5.1. Анализ на резултатите, които получаваме след измерването на температурата на въздуха, температурата на бетона и влажността на въздуха

Интензивна начална екзотермия в бетона.

Първото, което трябва да се отбележи е първоначалната интензивна екзотермия, която се проявява през първите 2 дни от полагането на бетоновата смес.

➤ Разликата между въздуха и бетона при полагането на бетон в плоча на кота +1,21m по дни е съответно:

- първи ден $21 > 13^{\circ}\text{C}$ в полза на бетона;
- втори ден $8 > 5,5^{\circ}\text{C}$ в полза на бетона.

След третия ден температурите се изравняват до разлика от 2°C (Фигура 3.101).

Разликата между въздуха и бетона в при полагането на бетон в плоча на кота +2,32 m по дни е съответно:

- първи ден $20 > 16^{\circ}\text{C}$ в полза на бетона;
- втори ден $13 > 10^{\circ}\text{C}$ в полза на бетона.

След третия ден температурите се изравняват до разлика от 2°C . По-големи разлики се наблюдават при по-слънчеви дни, когато въздухът и термометрите са били нагрети допълнително от слънцето (Фигура 3.105).

3.2.5.2. Анализ на резултатите на получените якостни характеристики на бетона използван за изграждането на конструкцията:

- Разлика в стойностите на кубовите якости на натиска на бетоните в пробните тела, набирали якост в контролирана среда и тези в реални полеви условия:

Наблюдава се разлика при направените изпитвания на бетоните на двете плочи в резултатите от изпитванията на кубова якост при пробните тела, отлежавали в контролирана и тези в неконтролирана среда. При бетона на първа плоча, положен в първа опитна конструкция разликата на 28-ия ден е 9,2 МПа (Фигура 3.102.), а при втората плоча разликата е 2,2 МПа (Фигура 3.106.).

- Различни резултати в разликите при изпитванията чрез разрушителен и безразрушителен метод при двете плочи.

При използването на разрушителен и неразрушителен метод при двете плочи не се наблюдава една и съща разлика в стойностите от единия и другия метод.

➤ При първата плоча разликите по дни са съответно:

- 3-и ден $12,7 > 10$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод;
- 9-и ден $18,6 > 18$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод;
- 28-и ден $22 > 21,8$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод.

Наблюдават се разлики от 1 до 3 МПа. (Фигура 3.102.)

➤ При втората плоча разликите по дни са съответно:

- 3-и ден $10 > 6$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод;
- 9-и ден $18,6 > 18$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод;
- 28-и ден $21,8 > 21$ МПа в полза на изпитванията посредством разрушителен метод

Наблюдават се разлики от 2 до 4 МПа до 3 ден, а след 6 – 7 ден се наблюдават разлики от 1 до 0,2 МПа (Фигура 3.106.)

- Бързо достигане на стойностите на еластичния модул:

Еластичният модул процентно по-бързо достига стойностите си в сравнение с кубовата якост на натиск.

➤ При първата плоча съответно по дни в проценти (Фигури 3.101. до 3.109):

- $f_{ck, (cube)}(3) = 11,2\text{МПа}$ (44%), $f_{ck}(3) = 8,2\text{МПа}$ (36%) и $E_{cm}(3) = 15,6\text{ GPa}$ (68%)
- $f_{ck, (cube)}(10) = 21,1\text{МПа}$ (82%), $f_{ck}(10) = 17,8\text{МПа}$ (79%) и $E_{cm}(10) = 21,6\text{GPa}$ (95%)
- $f_{ck, (cube)}(28) = 25,7\text{МПа}$ (100%), $f_{ck}(28) = 22,4\text{МПа}$ (100%) и $E_{cm}(28) = 22,8\text{GPa}$ (100%)

➤ При втората опитна конструкция съответно по дни процентно (Фиг. 6,7,8):

- $f_{ck, (cube)}(3) = 10,00\text{МПа}$ (48%), $f_{ck}(3) = 8,43\text{МПа}$ (49%) и $E_{cm} = 11,96\text{ GPa}$ (56%)
- $f_{ck, (cube)}(9) = 18,70\text{МПа}$ (86%), $f_{ck}(10) = 13,16\text{МПа}$ (77%) и $E_{cm} = 17,6\text{ GPa}$ (82%)
- $f_{ck, (cube)}(28) = 21,80\text{МПа}$ (100%), $f_{ck}(28) = 17,04\text{МПа}$ (100%) и $E_{cm} = 21,4\text{GPa}$ (100%)

- По-ниски стойности от очакваните за еластичен модул за съответния клас бетон

При двете плочи очакваме резултати от порядъка $f_{ck,cube} = 25 \text{ MPa}$, $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ и $E_c = 30,0 \text{ GPa}$ за клас C20/25. Какво обаче се получава при използването на бетони приготвени с готови бетонови смеси в цех за производство на бетонови смеси:

- При първата опитна плоча съответно (Фигури 3.101. до 3.109):
 - $f_{ck, (cube)}(28) = 22,00 \text{ MPa}$, $f_{ck}(28) = 17,6 \text{ MPa}$ и $E_{cm}(28) = 21,6 \text{ GPa}$
- При втората опитна плоча съответно (Фигури 3.100. до 3.109):
 - $f_{ck, (cube)}(28) = 21,80 \text{ MPa}$, $f_{ck}(28) = 17,04 \text{ MPa}$ и $E_{cm}(28) = 21,4 \text{ GPa}$

Стойностите сочат, че при готовите бетонни смеси в рамките на настоящото изследване, еластичния модул достига стойности по-малки от табличните за съответния клас бетон.

3.2.5.3. Анализ на резултатите от моментните диаграми, нужното сечение на армировката и пукнатинообразуването от числен модел:

- Особенности при сравняване на моментните диаграми за всяка една от стъпките с тези от експлоатационно състояние на плочата, в случая за собствено тегло плоча:
 - От Подетап 1 до Подетап 7 в Таблица 3.11 се наблюдава удовлетворяване на проверката в основното поле за огъващите моменти. Това показва, че дори и с допълнителни натоварвания от втора плоча и без оразмеряване за изчислителни стойности за постоянни и временни товари на плоча на к.+1,21 m, подпирането от системата за ранно декофриране осигурява плочата на кота 1,21 m от появата на по-големи положителни огъващи моменти в основното поле. В същото време, се появяват малки отрицателни огъващи моменти над оставащите телескопични подпори, които се поемат от бетона (тъй като в зоната над оставащите телескопични подпори няма армировка в горна зона) под плоча на кота +1,21 m. В Етап 7 при разреждане на телескопичните подпори се появява отрицателен момент (над все още непремахнатата телескопична подпора) със стойност малко над минималната носимоспособност на огъване на плочата.
 - От Подетап 8 до Подетап 12 в Таблица 3.11., се наблюдава неудовлетворение на проверките за огъващи положителни моменти в основното поле на плоча на кота 1,21 m. Това се случва в момента, в който оставащите телескопични подпори под първа плоча са премахнати. Тъй като плочата е оразмерена с коефициент на армиране близък до минималния за сечението, тя вече не може да поема възникналите изчислителни огъващи моменти от товарите възникващи по време на изграждането на конструкцията.
- Особенности при сравняване на нужните сечения на армировката в горна (-) и долна (+) зона за всяка една от стъпките със сеченията от експлоатационно състояние на плочата, в случая за собствено тегло плоча:
 - От Подетап 1 до Подетап 7 в Таблица 3.12 се наблюдава удовлетворяване на проверката в основното поле за нужно сечение на армировката. Това показва, че дори и с допълнителни натоварвания от втора плоча и без оразмеряване за изчислителни стойности за постоянни и временни товари на плоча на к.+1,21 m, подпирането от системата за ранно декофриране осигурява плочата на кота 1,21 m от появата на по-големи положителни огъващи моменти в основното поле. От там и нуждата от по-голямо сечение на армировката. В същото време, се появява нужда от малки като стойност сечения на армировка над оставащите телескопични подпори под плоча на кота +1,21. До Етап 7 бетонът без армировка в горна зона поема появилите се отрицателни огъващи моменти, но в Етап 7, при разреждане на телескопичните подпори, над останалата телескопична подпора появява отрицателен момент (над все още непремахнатата телескопична подпора) със стойност малко над носимоспособност на плочата при огъване.
 - От Подетап 8 до Подетап 12 в Таблица 3.11., се наблюдава неудовлетворение на проверките за нужно сечение на армировката в основното поле на плоча на кота 1,21m. Това се случва в момента, в който оставащите телескопични подпори под

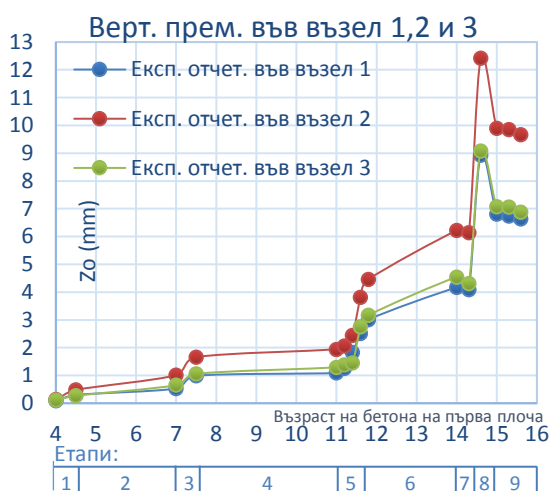
първа плоча са премахнати. Тъй като плочата е оразмерена с коефициент на армиране близък до минималния за сечението на плочата, то сечението на армировката в основното поле е недостатъчно.

- Особености при сравняване на ширината на пукнатините в горна (-) и долна (+) зона за всяка една от стъпките със сеченията от експлоатационно състояние на плочата, в случая за собствено тегло плоча:

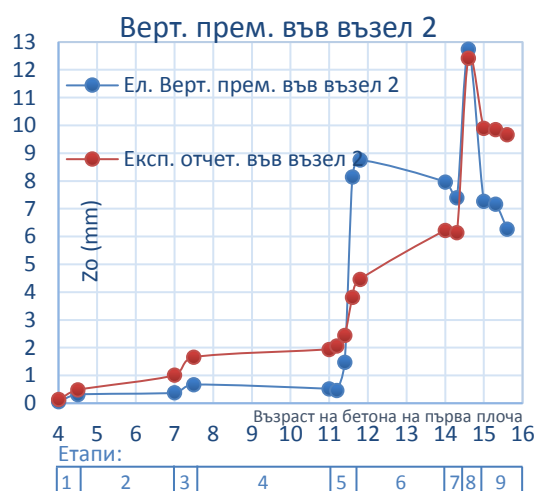
- От Подетап 1 до Подетап 7 в Таблица 3.13 се наблюдава удовлетворяване на проверката в основното поле за пукнатинообразуване. Това показва, че дори и с допълнителни натоварвания от втора плоча и без допълнителни резерви в плочата, подпирането от системата за ранно декофриране осигурява плоча на кота 1,21 m от появата на нерегламентирани пукнатини.
- От Подетап 8 до Подетап 12 в Таблица 3.13, се наблюдава неудовлетворение на проверките за пукнатинообразуване в основното поле на плоча на кота +1,21 m. Това се случва в момента, в който оставащите телескопични подпори под първа плоча са премахнати. Тъй като плочата е оразмерена с коефициент на армиране близък до минималния за дебелината на плочата, сечението на плочата и армировката в основното поле е недостатъчно за предотвратяване на появата на пукнатини.

3.2.5.4. Анализ на резултатите от вертикалните премествания

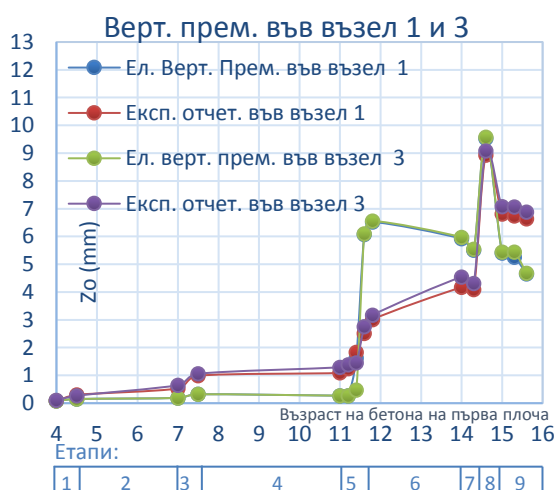
Сравнителни графики на еластичните и експерименталните вертикални премествания в различни комбинации на възли (фиг. 3.190 – 3.195). Местоположение възли(приложение 15).



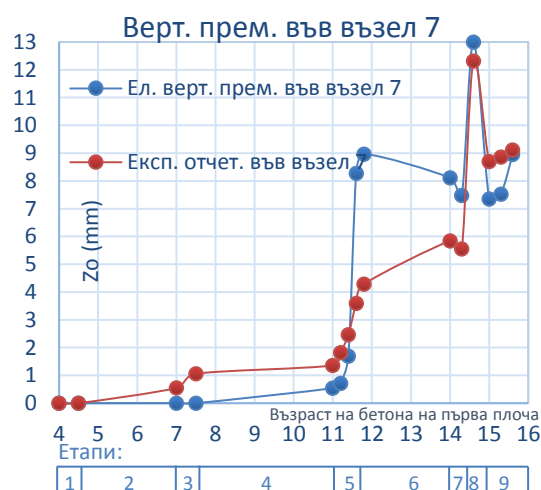
Фигура 3.190. Верт. прем. във възел 1, 2 и 3



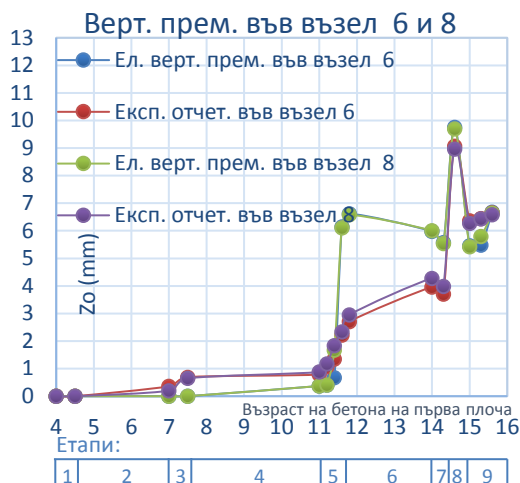
Фигура 3.191. Верт. прем. във възел 2



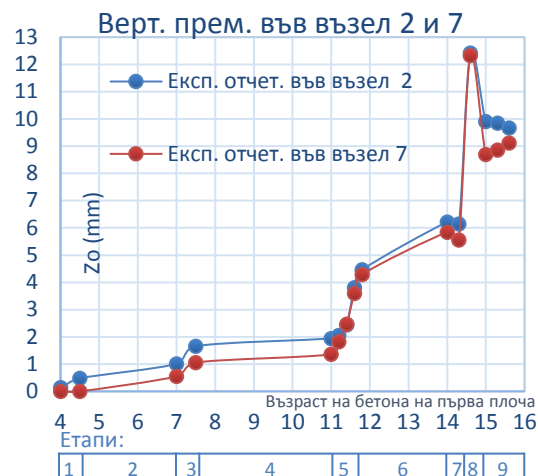
Фигура 3.192. Верт. прем. във възел 1 и 3



Фигура 3.193. Верт. прем. във възел 7



Фигура 3.194. Верт. прем. във възел 6 и 8.



Фигура 3.195. Верт. прем. във възел 2 и 7

Зависимости в сравненията на вертикалните премествания в съответните възли в графиките:

- Зависимости между вертикалните премествания в зоните на телескопичните подпори и средата на полето от експерименталните замервания на първа и втора плоча:
 - В етап 2 и етап 4 (Фигура 3.190) се наблюдава постепенно увеличаване на преместванията на възел 2 спрямо тези във възел 1 и 3. Това означава, че нецентрично разпределените телескопични подпори на втора плоча спрямо първа плоча, оказват влияние във вертикалните премествания на първа плоча между двете подпиращи телескопични подпори.
 - В етап 4 и етап 6 (Фигура 3.190) се отчитат продължаващи вертикални премествания на плочата въпреки липсата на промяна на товарите в етапите. Това е по-ясно изразено в етап 6, заради по-голямото натоварване и пълното декофриране на първа плоча.
- Зависимости между еластичните и експерименталните вертикални премествания в първа и втора плоча”
 - От етап 1 до етап 5 (Фигура 3.191), еластичните провисвания имат по-високи стойности. Това се дължи на неотчитането в модела на механизма за регулиране на височината на телескопичните подпори. Това е причина за по-голямата им коравината в модела.
 - В етап 6 (Фигура 3.191), където първа плоча е напълно декофрирана, еластичните провисвания имат двойно по-големи стойности. Това се дължи на моделирането на възли 5 и 6 като чисти ставни възли без огъващ момент във възела. В реалната конструкция тези възли не са чиста става. В моделирането е приет най-неблагоприятният случай за максимална стойност на положителния момент в средата на основното поле.
 - В етап 2 (Фигура 3.193; 3.195) се наблюдава вертикално преместване във възел 6, 7 и 8 на кофражната система за изграждането на втора плоча, без все още да има положен бетон в кофражната форма. Това се дължи на вертикалните премествания от първа плоча върху която стъпва кофража за втора плоча. Деформациите в първа плоча се получават в резултат от товара на кофражната система за следващото ниво.
 - В етап 4 (Фигура 3.195) графиката на възел 7 на втора плоча е успоредна на графиката на възел 2 от втора плоча, тъй като втора плоча все още е напълно кофрирана и приема с малко по-малки стойности, кривата на деформация на първа плоча.
 - От етап 6 до етап 7 (Фигура 3.194) еластичните деформации във възел 8 са по-високи, поради това, че отново възли 5, 6, 9 и 10 са моделирани като стави. В реалната конструкция тези възли не са чиста става.

- Всички тези наблюдения се затвърждават и от Фигура 3.192. и Фигура 3.194., където сравненията на еластичните и експериментално измерените стойности на вертикалните премествания имат същия характер.
- Зависимости между експерименталните вертикални премествания на двете плочи във възел 2 и възел 7:
 - От етап 1 до етап 8 (Фигура 3.195) ясно личи сравнително успоредното движение на двете криви на графиката независимо от етапа на декофриране и натоварване на плочите. Това се дължи на съвместната работа на двете плочи посредством телескопичните подпори между тях.
 - В средата на етап 9, при пълното декофриране на двете плочи се наблюдава нарушаване на успоредността на двете криви, защото след пълното декофриране на втора плоча не се предават повече товари от телескопичните подпори към първа плоча. Всяка плоча започва да работи самостоятелно.

3.2.5.5. Анализ на очакваното пукнатинообразуване в числения модел на експерименталната конструкция и реалното пукнатинообразуване

- В етап 6 на Фигура 3.191 и подетапи 8 и 9 (фигура 3.164 и 3.174), след изчисление в програмния продукт би следвало да получим пукнатини в средата на полето на първа плоча от порядъка на 0,26 mm. Въпреки това в реалната конструкция пукнатини не се появяват. Това отново би могло да се дължи на известни неточности в изчислителния модел във възли 4 и 5, понеже в реални условия възелът е с по-голяма коравина от този представен в модела. По този начин огъващия момент в средата на полето е по-малък от очаквания при въведената статическа схема в модела.
- В етап 8 на фигура 3.191 и 3.194, и подетап 12 (фигура 3.184 и фигура 3.189), след изчисление в програмния продукт би следвало да получим пукнатини в средата на полето на първа и втора плоча съответно от порядъка на 0,60 mm и 0,30 mm (Таблица 3.13). Въпреки това в реалната конструкция получаваме пукнатини съответно 0,10 mm и 0,05 mm. Различното в случая е, че получаваме сериозни пукнатини във възел 4 и възел 5, съответно 0,95 mm и 0,80 mm. Във възли 9 и 10 получаваме пукнатини съответно 0,45 mm и 0,25 mm. При приетата статическа схема не би трябвало да имаме огъващ момент и пукнатини в тази зона (Таблица 3.11. и Фигура 3.174; 3.179; 3.184; 3.189). Това отново ясно показва появата на отрицателен огъващ момент във възлите на връзката на колона с гладка плоча.

3.2.6. Изводи от натурна експериментална постановка

- Анализът на резултатите показва, че класа цимент използван в рецептата на бетона предизвиква силна екзотермия в бетона. Това е добър показател при използването на метода за ранно декофриране, тъй като с използваният R клас цимент, бетонът нормално достига своите якостни и деформационни характеристики, дори при по-ниски температури на околната среда
- Важно значение оказва разликата в стойностите на якостните характеристики при пробните тела отлежавали в контролирана среда и тези в реална работна среда. При измерване на якостните характеристики чрез разрушителен метод, преди прилагане на технологичен етап от ранното декофриране, този факт трябва да бъде взет предвид. При използването на безразрушителен метод за отчитане на якостните характеристики на бетона преди прилагане на технологичен етап от ранното декофриране е добре уредът да бъде калибриран спрямо стойностите от разрушителния метод, тъй като в случая отчитаме разлики, в стойностите на измерванията при двата метода.
- Плочите на експерименталната конструкция работят заедно като предаването на товарите от втора плоча към първа плоча става посредством телескопичните подпори във всеки един от етапите. От тук следва, че всяка една плоча, която ще се изпълнява с метода за Ранно декофриране трябва да бъде проверена дали е осигурена за поемане на огъващите моменти и срязващите усилия, получени от собственото си тегло и от собствено тегло на втора или повече плочи над нея, както и временните товари, които възникват по време на строителството.

- При извършване на проверки на плочите за нерегламентирани вертикални премествания, трябва да се вземе предвид фактът, че всяка една подпряна с телескопични подпори плоча, приема до голяма степен деформациите на плочата под нея.
- При всеки етап от изпълнението на дадена сграда следва да се очакват пластични деформации в плочите.
- Деформациите в телескопичните подпори влияят пряко и на деформациите в плочата. Колкото по-детайлно са моделирани телескопичните подпори, толкова по-точни резултати ще бъдат получени при проверките в плочите посредством използване резултати от числен модел. Неотчитането на устройството за регулиране височината на телескопичната подпора в модела би направило гредовия модел на подпората по-корав елемент в модела, отколкото всъщност е. Също така е желателно да се избягва нецентрично поддреждане на телескопичните подпори, подпиращи плочите по етажите на сградата.
- При извършване на проверки на гладки плочи преди прилагане метода за Ранно декофриране, при моделиране на възел колона-плоча като ставна връзка, трябва да се има предвид, че получените огъващи моменти са в полза на сигурността от гледна точка на положителните моменти, но не и в полза на сигурността относно отрицателните моменти на крайните и средни опори на плочата. Освен проверка за пукнатинообразуване и нерегламентирани провисвания в основното поле, важен момент е и проверката в отрицателните зони над колоните (особено крайните, където обикновено отрицателният момент се приема за нулев). По преценка на конструктора възелът може да се моделира като по-корав и да се обърне внимание на стойностите на отрицателния момент в него в различните етапи на проверките за декофриране и натоварване на плочата. Това е препоръчително, тъй като при евентуално натоварване от по-горна плоча (посредством телескопичните подпори), поставяне на тежки временни товари върху някоя от плочите и недостатъчна армировка в горната зона на плочата при възела, получена от изчисленията при приетата първоначално ставна връзка на възела, сечението на плочата в горната зона на плочата и в близост до колоната, може да бъде компрометирано от нежелани пукнатини.
- Препоръчително е преди прилагане на метода за ранно декофриране, да се направят проучвания относно това какъв е модула на еластичност на бетона, който ще се използва за изграждане на монолитната конструкция.

3.3. Изводи от двете експериментални задачи

- Важно условие за достигане на якостните характеристики на бетона, през всеки период от годината, е точната рецепта на бетона съобразена с метеорологичните сезони.
- При използването на безразрушителен метод за отчитане на якостните характеристики на бетона, преди прилагане на технологичен етап от ранното декофриране, се препоръчва уредът да бъде калибриран спрямо стойностите получени от разрушителен метод.
- По време на изграждане на многоетажни стоманобетонни конструкции, плочите между които има телескопични подпори работят съвместно; като товарите от една плоча към друга се предават посредством телескопични подпори във всеки технологичен етап. Следвателно всяка една плоча, изпълнявана с метода за Ранно декофриране, трябва да бъде проверена по носимоспособност и за продънване при натоварване от собствено тегло, от собствено тегло на втора или повече плочи над нея и временни товари.
- Всяка подпряна с телескопични подпори плоча, приема деформациите на плочата под нея.
- При всеки етап от изпълнението на дадена сграда следва да се очакват пластични деформации в плочите
- При декофрирана плоча, над която има подпрени плочи, голяма част от запаса, при оразмеряване на плочите за експлоатационни товари се изчерпва. Този проблем е налице и при плочи и плочогреди, които се декофрират при над 70 % от стойностите на

якостните характеристики на бетона. Изцяло декофрираните плочи са подложени на допълнително натоварване, посредством телескопичните подпори стъпили на тях.

- При технологичните етапите на декофриране, телескопичните подпори получават деформации вследствие на натоварване от етажните стоманобетонни плочи. Деформациите в подпорите влияят пряко и на деформациите в плочата. Колкото по-прецизно са моделирани телескопичните подпори, толкова по-точни са резултатите при проверките за вертикални премествания на плочите, при числен модел.
- При извършване на проверки на гладки плочи преди прилагане метода за Ранно декофриране, при моделиране на възел колона-плоча като ставна връзка, трябва да се има предвид, че получените огъващи моменти са в полза на сигурността от гледна точка на положителните моменти, но не и в полза на сигурността относно отрицателните моменти на крайните и средни опори на плочата. Освен проверка за пукнатинообразуване и нерегламентирани провисвания в основното поле, важен момент е и проверката в отрицателните зони над колоните (особено крайните, където обикновено отрицателния момент се приема за нулев). По преценка на конструктора възелът може да се моделира като по-корав и да се обърне внимание на стойностите на отрицателния момент в него в различните етапи на проверките за декофриране и натоварване на плочата. Това е препоръчително, тъй като при евентуално натоварване от по-горна плоча (посредством телескопичните подпори), поставяне на тежки временни товари върху някоя от плочите и недостатъчна армировка в горната зона на плочата при възела, получена от изчисленията при приетата първоначално ставна връзка на възела, сечението на плочата в горната зона на плочата и в близост до колоната, може да бъде компрометирано от нежелани пукнатини.
- Модулът на еластичност на бетона достига бързо максимални стойности, но те не винаги са очакваните теоретични стойности.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА – ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СИСТЕМИТЕ ЗА РАННО ДЕКОФРИРАНЕ И ПРЕПОРЪКИ ПРИ ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА

4.1. Изследване на технико-икономическите показатели на системите за ранно декофриране и зависимостите между тях

4.1.1. Общи положения

Като всяка една строителна технология, ранното декофриране има своята мисия и цел в строителното производство. Основните технико-икономически показатели, поради които производството на хоризонтални стоманобетонни елементи метода за РД придобива смисъл, са:

- Норма време;
- Норма изработка;
- Трудоемкост (производителност).

4.1.2. Планиране в строителното производство

Посредством планирането в строителството се установява взаимната връзка, последователността и сроковете за изпълнение на отделните строително монтажни работи (СМР) при изграждането на всеки обект, етап или подобект.

4.1.3. Цел и задачи на изследването – целта и задачите на изследването е описана в методиката на изследването

4.1.4. Изходни данни

Четириетажна стоманобетонна сграда с безгредови плочи с квадратура на типова плоча 1200m².

Брой работници на строителната площадка – 10 работника.

8-часов работен ден.

Вариант 1 на кофражна система – Докафлекс (Dokaflex 1-2-4)

Вариант 2 на кофражна система – Дока Дек 30 (Dokadec 30) с падащи глави

4.1.5. Определяне на трудоемкостта

4.1.5. Определяне на Норма време и Трудоемкост

В настоящата разработка е направено сравнение и са анализирани стойностите на разходите за труд, дадени в таблиците [I.5, I.7 и I.8]. Трудоемкостта е определена въз основа на представените в табл. 4.1. нормовремена.

Табл. 4.1. Разходни норми за труд съгласно [I.5, I.7 и I.8]

N	СМР	Н вр., ч.ч.		
		Според СЕК		Приети стойности за обект
		Шифър	Ст-ст	
1	Кофраж – верт. елементи	02.003	0,418	0,250
2	Кофраж - плоча	02.010	0,525	0,500
3	Армировка - верт.елементи	03.003	0,015	0,018
4	Армировка - плоча	03.005	0,013	0,076
5	Бетониране – верт. елементи	04.163	0,400	0,210
6	Бетониране - плоча	04.162	0,360	0,118

Табл. 4.2. Определяне на продължителността на работите за 1 типова плоча със система Dokaflex 1-2-4 (Варианто решение 1)

N	СМР	Ед.м	К-во	Нвр., ч.ч.	Тр.	Работници, бр.	Дни раб.	Часове раб.
1.	Типов етаж - продължителността на работите е за изпълнение на 1 типова плоча							
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Първи такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,63	5,03
1.2	Армировъчни работи – вертикални елементи – Първи такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,19	9,51
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Първи такт	m ³	37,56	0,21	0,99	5	0,20	1,58
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Втори такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,63	5,03
1.2	Армировъчни работи – вертикални елементи – Втори такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,19	9,51
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Втори такт	m ³	37,58	0,21	0,99	5	0,20	1,58
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Трети такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,65	5,17
1.2	Армировъчни работи – вертикални елементи – Трети такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,09	8,69
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Трети такт	m ³	37,58	0,21	0,99	5	0,18	1,44
1.4	Кофраж на типова плоча	m ²	1200	0,5	75,00	10	7,50	60,00
1.5	Армировъчни работи на типова плоча	kg	33 500	0,0076	31,87	10	3,19	25,50
1.6	Бетонери работи на типова плоча	m ³	228	0,118	3,63	5	0,67	5,38

Табл. 4.3. Определяне на продължителността на работите за 1 типова плоча със система Doka dek 30 (Варианто решение 2)

N	СМР	Ед.м	К-во	Нвр., ч.ч.	Тр.	Работ ници, бр.	Дни раб.	Часове раб.
1.	Типов етаж - продължителността на работите е за изпълнение на 1 типова плоча							
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Първи такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,63	5,03
1.2	Армировъчни работи – верти- кални елементи – Първи такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,19	9,51
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Първи такт	m ³	37,56	0,21	0,99	5	0,20	1,58
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Втори такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,63	5,03
1.2	Армировъчни работи – верти- кални елементи – Втори такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,19	9,51
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Втори такт	m ³	37,58	0,21	0,99	5	0,20	1,58
1.1	Кофражни работи – вертикални елементи – Трети такт	m ²	201,4	0,25	6,28	10	0,65	5,17
1.2	Армировъчни работи – верти- кални елементи – Трети такт	kg	5286	0,018	11,89	10	1,09	8,69
1.3	Бетонери работи – вертикални елементи – Трети такт	m ³	37,58	0,21	0,99	5	0,18	1,44
1.4	Кофраж на типова плоча	m ²	1200	0,2	60,00	10	6,00	48,00
1.5	Армировъчни работи на типова плоча	kg	33 500	0,0076	31,87	10	3,19	25,50
1.6	Бетонери работи на типова плоча	m ³	228	0,118	3,63	5	0,67	5,38

Общо време за изпълнение на 1 типова плоча (работни дни) при различните кофражни системи: Dokafleks 1-2-4: 16 работни дни; Dokadek 30: 13 работни дни;

4.1.6. Сравнителен анализ на вариантите решения за изпълнение на хоризонталните стоманобетонни елементи

4.1.6.1. Цени на кофражните системи - цените за наем на кофражните системи са предоставени от фирмата производителите Doka.

4.1.6.2. Сравнение на кофражните системи - направена е съпоставка между двете кофражни системи. Съпоставката е извършена на база време за изпълнение и разходи необходими за изпълнението на кофражните работи на стоманобетонните плочи с двете кофражни системи - продължителността на изпълнението на стоманобетонната конструкция за двете кофражни системи е в съответствие с разработените календарни графици. Същата е както следва:

- при използване на кофражна система Dokaflex 1-2-4 – 16 работни дни на етажно ниво (общо 5,1 месеца);
- при използване на кофражна система Dokadek 30 – 13 работни дни на етажно ниво (общо 4,1 месеца). От направеното сравнение е видно, че най-кратка е продължителността на изпълнение на стоманобетонната конструкция с използването на система Dokadek 30. Това основно се дължи на по-ниската стойност на Нвр при работа с тази кофражна система.

4.1.6.3. Разходи за наем на различните кофражни системи - наемните цени за отделните системи Докафлекс 1-2-4 и Дока Дек 30 са съответно 5,00лв./m² и 18лв./m² (табл. 4.4).

Табл. 4.4. Разходи за месечен наем на кофражните комплекти от различните системи

№	Кофражна система	Цена за 1 m ² кофражна система, лв/ m ²	Използвано количество кофраж за 1 месец, m ²	Обща наемна цена на кофр. комплекти за 1 месец, лв/месец	Обща наемна цена на кофр. комплекти за целия срок на изпълнение, лв
1	Dokaflex 1-2-4	5,00	2400,00	12 000,00	61 320,00
2	Dokadek 30 (с допълнителен гредови кофраж)	18,00	1200,00	21 600,00	89 856,00



Фигура 4.1. Разходи за месечен наем на кофражните комплекти от различните системи

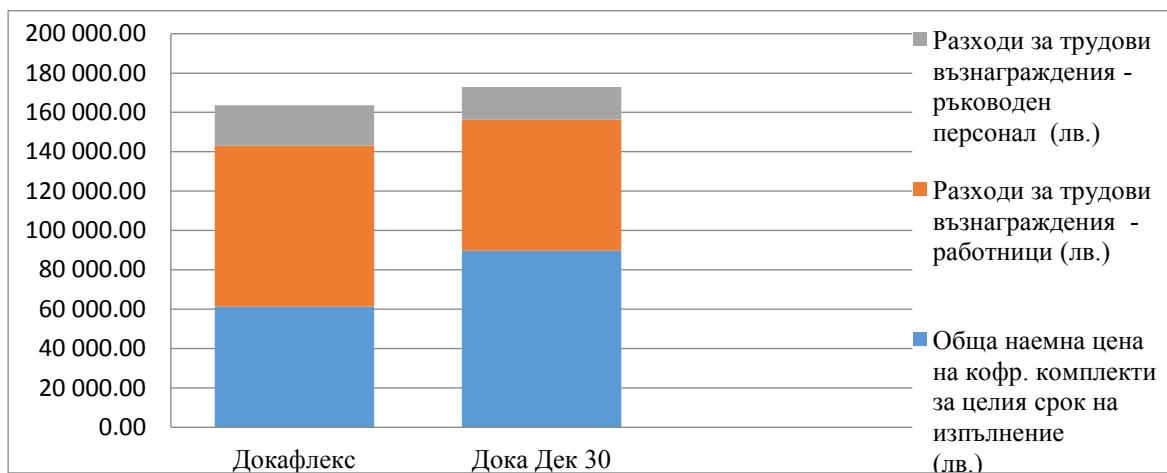
4.1.6.4. Общи разходи за изпълнението - в настоящата разработка съпоставката на общите разходи за изпълнение на типовите плочи на сградата се базира на:

- Общото време за изпълнение в месеци;
- Разходи за кофражните системи – наемни цени за кофражните комплекти;
- Разходи за трудови възнаграждения.

Разходите за трудови възнаграждения за определени при часова ставка (часово възнаграждение) в размер на 8,00 лв/час и 18 лв/час. По данни на [1.6] средната часова ставка в строителството е от порядъка на 5,6 лв/час, но проучване направено в строителни фирми на територията на гр. Пловдив показва, че часовата ставка 8,00 лв/час може да се приеме като меродавна. Разходите за трудови възнаграждения включват всички разходи на работодателя, в т.ч. разходи за заплата, данъци, различните видове осигуровки и др.

Табл. 4.5. Разходи за изпълнение на стоманобетонните плочи за целия срок на изпълнение при часова ставка (часово възнаграждение) 8 лв/час

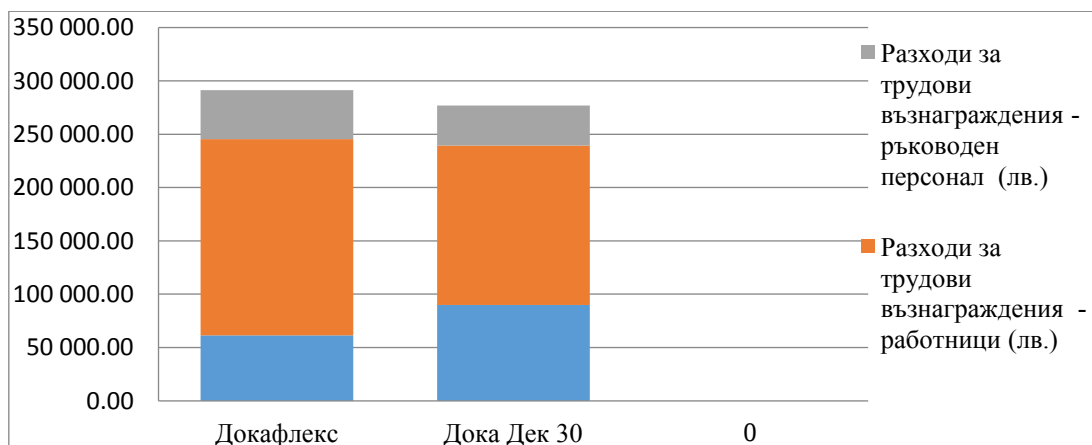
№	Кофражна система	Общо време за изпълнение, месеци	Разходи за кофражните работи за стоманобетонни плочи		Разходи за трудови възнаграждения, лв		Всичко разходи за целия срок на изпълнение, лв
			Обща наемна цена на кофр. комплекти за 1 месец, лв/месец	Обща наемна цена на кофр. комплекти за целия срок на изпълнение, лв	Работници	Ръководен персонал	
1	Dokaflex 1-2-4	5,11	12 000,00	61 320,00	81 834,67	20 458,67	163 612,67
2	Doka Dek 30 (с допълнителен гредови кофраж)	4,16	21 600,00	89 856,00	66 490,67	16 622,67	172 969,34



Фиг. 4.2. Разпределение на разходите за изпълнение на стоманобетонните плочи за целия срок на изпълнение при часова ставка (часово възнаграждение) 8 лв/ч

Табл. 4.6. Разходи за изпълнение на стоманобетонните плочи за целия срок на изпълнение при часова ставка (часово възнаграждение) 18 лв/ч

№	Кофражна система	Общо време за изпълнение, месеци	Разходи за кофражните работи за стоманобетонни плочи		Разходи за трудови възнаграждения, лв		Всичко разходи за целия срок на изпълнение, лв
			Обща наемна цена на кофр. комплекти за 1 месец, лв/месец	Обща наемна цена на кофр. комплекти за целия срок на изпълнение, лв	Работници	Ръководен персонал	
1	Dokaflex 1-2-4	5,11	12 000,00	61 320,00	184 054,35	46 013,59	291 387,94
2	Doka Dek 30 (с допълнителни гредови кофраж)	4,16	21 600,00	89 856,00	149 544,16	37 386,04	276 789,20



Фиг. 4.2. Разпределение на разходите за изпълнение на стоманобетонните плочи за целия срок на изпълнение при часова ставка (часово възнаграждение) 18 лв/ч

4.1.7. Анализ на резултатите от изследването

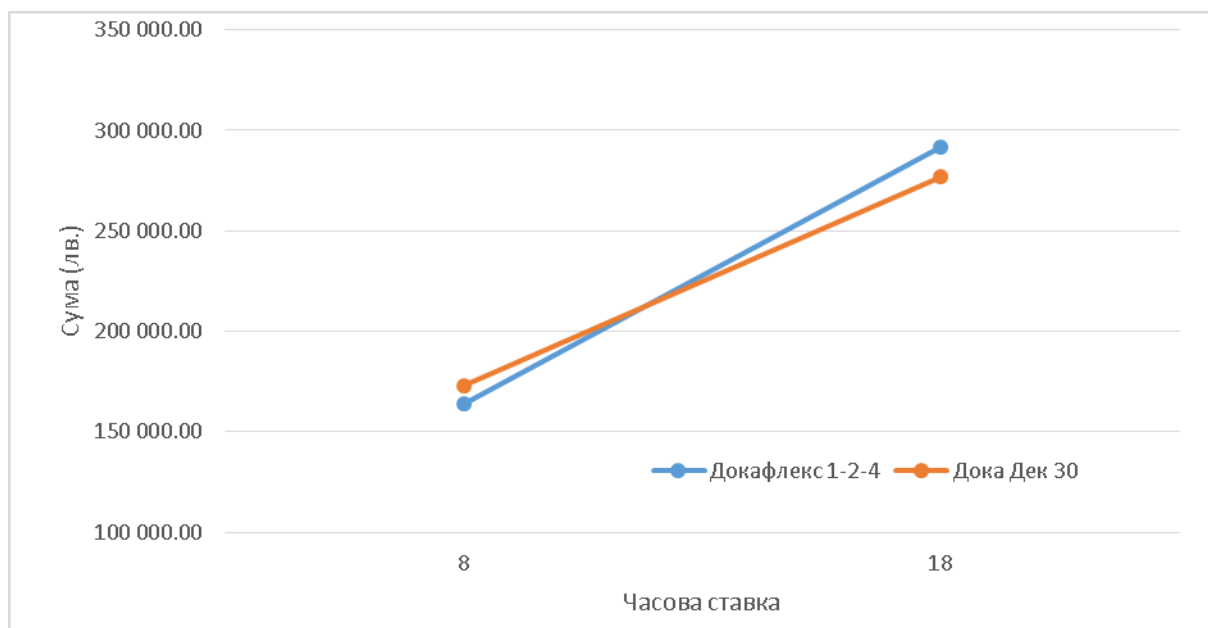
Анализирайки определените срокове за изпълнение може да се каже, че по-малка е продължителността на изпълнение на стоманобетонната конструкция с използването на система Дока Дек 30 с падащи глави. По-голяма е продължителността на изпълнение на стоманобетонната конструкция с използването на система Докафлекс.

По отношение на разходите може да се каже, че общите разходи зависят до голяма степен от размера на възнаграждението на работниците и служителите, и размера на допълнителните разходи. Най-висока е цената за наемане на кофражните комплекти, необходими за изпълнението на сградата.

Въпреки по-високата наемна цена за системата Докафлекс, с отчитане и на част от допълнителните разходи, разликата в разходите за цялостното изпълнение на стоманобетонните плочи се увеличава. Това основно се дължи на по-голямата трудоемкост и съответно по-високи разходи за възнаграждение на работници и инженерно-технически персонал.

От представените на фиг. 4.3 резултати е видно, че при часова ставка 8 лв/ч, най-ниски са разходите за изпълнение на стоманобетонните плочи със системата Дока Флекс 1-2-4, но при увеличаване на часовата ставка резултатите се променят в полза на Дока Дек 30.

Тази разлика в общите разходи за изпълнение на стоманобетонните плочи за целия срок на изпълнение, дава основание допълнително да се изследва влиянието на часовата ставка (часовото възнаграждение) върху общите разходи за изпълнение (Фигура 4.3).



Фигура 4.3. Сравнение на разходите при двете кофражни системи при различни часови ставки

4.1.8. Изводи от изследването

От направеното изследване, отнасящо се до конкретната количества и при така приетите предпоставки, могат да се изведат следните основни изводи:

- Продължителността на изпълнение на стоманобетонната конструкция е по-малка с използването на система Докадек 30 с падащи глави;
- При часова ставка 8 лв/ч, по-ниски са разходите за изпълнение на стоманобетонни плочи със системата Дока Флекс 1-2-4;
- При по-високи часови ставки над 14 лв/ч предимство има Дока Дек 30;
- От цялостното изследване може да се обобщи, че използването на системи за ранно декофриране води до намаляване на срока за изпълнение, като с увеличаването на размера на часовата ставка, системите за ранно декофриране са по-ефективни както по отношение на сроковете за изпълнение, така и по отношение на разходите.

4.2. Конструктивно-технологични препоръки при гладки безгредови плочи за работа с рамкови и гредови системи подходящи за прилагане метода на ранно декофриране

В настоящата точка са дадени основни препоръки при работа със системи подходящи за прилагане на метода за ранно декофриране.

- Поради различните от теоретичните за съответния клас и рецептура бетон (таблица 3.1 и фигура 3.2) и в много случаи незадоволителни резултати на стойностите на еластичния модул на бетона в България, (фигура 3.104 и фигура 3.109), се препоръчва преди започване на изчисляване на проверките за всеки един от етапите на ранно декофриране - независимо с какъв тип кофражна система, да се направи проучване какви са реалните стойности на еластичния модул на бетона, който ще се използва в ключови за технологичните етапи дни.
- След направа на числените модели за проверките за всеки един от предварително набелязаните етапи при изпълнението на дадена конструкция, трябва да се обърне внимание на критичните етапи, в които дадена плоча или плочи са натоварени повече или почти колкото при изчислителните стойности на натоварванията от експлоатационно състояние (в случая на разработката в Глава 3, т.1 – Етап 5 от Приложение 7).
- В особени като „Етап 5“ технологични етапи следва да обърнем внимание на стойностите на отрицателните моменти в зоните над стоманобетонните колони, тъй като при безгредовите гладки плочи най-често тези възли (плоча-колона) се приемат като чиста ставна връзка и стойностите, които показва числения модел са с по-ниска стойност от колкото в реалността. Това важи с голяма сила за крайните колони в плочите.
- Препоръчително е при прилагане на метода за ранно декофриране при избор на кофражна система, да се използват телескопични подпори с носимоспособност минимум 30KN, тъй като от изводите в Глава 3 следва, че в телескопичните подпори възникват еластични деформации, които са по-големи от деформациите, които получаваме в числения модел, поради неотчитането на падащата глава и устройството за регулиране на височината на подпората.
- Не се препоръчва прилагането на метода за ранно декофриране без направата на числени проверки за плочите за критичните технологични етапи с въведени стойности на еластичния модул близки до реалните за използвания клас и вид бетон.

ИЗВОДИ И ПРИНОСИ

1. Изводи

- Важно условие за достигане на якостните характеристики на бетона, през всеки период от годината, е точната рецепта на бетона съобразена с метеорологичните сезони.
- При използването на безразрушителен метод за отчитане на якостните характеристики на бетона, преди прилагане на технологичен етап от ранното декофриране, се препоръчва уредът да бъде калибриран спрямо стойностите получени от разрушителен метод.
- По време на изграждане на многоетажни стоманобетонни конструкции, плочите между които има телескопични подпори работят съвместно, като товарите от една плоча към друга се предават посредством телескопични подпори във всеки технологичен етап. Следвателно всяка плоча, изпълнявана с метода за Ранно декофриране, трябва да бъде проверена по носимоспособност и за продънване при натоварване от собствено тегло, теглото на втората или повече плочи над нея, и временни товари.
- Всяка подпряна с телескопични подпори плоча, приема вертикалните премествания на плочата под нея.

- При всеки етап от изпълнението на дадена сграда следва да се очакват пластични деформации в плочите.
- При декофрирана плоча, над която има подпрени плочи, голяма част от запаса, при оразмеряване на плочите за експлоатационни товари се изчерпва. Този проблем е налице и при плочи и плочогреди, които се декофрират при над 70% от стойностите на якостните характеристики на бетона. Изцяло декофрираните плочи са подложени на допълнително натоварване, посредством телескопичните подпори стъпили на тях.
- При технологичните етапи на декофриране, телескопичните подпори получават деформации вследствие на натоварване от междуетажните стоманобетонни плочи. Деформациите в подпорите влияят пряко и на преместванията в плочите. Колкото по-прецизно са моделирани телескопичните подпори, толкова по-точни са резултатите при проверките за вертикални премествания на плочите, при числен модел.
- При проверки на гладки плочи преди прилагане метода за Ранно декофриране, при моделиране на възел колона-плоча като става, стойностите на положителните огъващи моменти са в полза на сигурността, но не са в полза на сигурността отрицателните моменти над крайни и средни опори на плочата.
- Модулът на еластичност на бетона достига относително бързо максимални стойности, но те не винаги са очакваните теоретични стойности.
- Използването на кофражни системи за ранно декофриране води до намаляване срока за строителство. С увеличаване размера на часовата ставка, системите за ранно декофриране са относително по-ефективни, както по отношение на срока за строителство, така и по отношение на разходите.

2. Научно-приложни приноси

- При използване на безразрушителен метод за определяне стойностите на якостни характеристики на бетона, преди започване на технологичен етап от метода за Ранно декофриране, резултатите е възможно да се различават от стойностите получени с разрушителен метод.
- Колкото по-точно са моделирани телескопичните подпори в числения модел, толкова по-адекватни ще са стойностите на вертикалните премествания в плочите. Неотчитането на устройството за регулиране на височината на подпората, прави елемента на подпората в числения модел с по-голяма коравина отколкото е в действителност.
- Вертикалните премествания на всяка една стоманобетонна плоча подпряна с телескопични подпори се повлияват от деформациите на телескопичните подпори под нея.
- Методът за ранно декофриране налага предварително проучване на реалните стойности на модула на еластичност в различните етапи на отлежаване на бетона. У нас при втвърдяване на бетонната смес, съществува вероятност да не се достигат теоретичните стойности на модула на еластичност на бетона за съответния клас.
- При проверките за прилагане на метода за Ранно декофриране се констатира, че е възможно максималните огъващи моменти да се доближават до стойностите на моментите при изчисляване на плочите за експлоатационни товари.
- При проверки на плочите за вертикални премествания, трябва да се има предвид това, че всяка една подпряна с телескопични подпори плоча, приема до голяма степен преместванията на плочите под нея.
- За безгредови плочи, при моделиране на възел крайна колона-плоча като става, теоретично отрицателният момент във възела е със стойност нула. В действителност възелът не е идеална става и в него има отрицателен момент. При несъобразяване с този факт, в горна зона на плочата при възела е възможна поява на пукнатини.

НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

- Изследване деформациите в оставащите подпирани телескопични подпори и тяхното влияние върху деформационното състояние на плочите.
- Числено разглеждане на различни комбинации при натоварване на плоча от статични сетове на подпирани или преподпирани плочи над нея.
- Експериментално сравняване и анализ на резултатите реалните вертикалните премествания в стоманобетонни плочи изпълнени с кофражни системи подходящи за прилагането на метода за Ранно декофриране, с резултати от пластичните деформации получени от числен модел на съответната постановка.
- Разработване на задълбочен технико-икономически анализ на метода за ранно декофриране при прилагането му за производство на различни по вид и размери типови гладки и гредови плочи.
- Изследване на конструктивните и технологични проблеми и решения при прилагане на метода за ранно декофриране при предварително напрегнати стоманобетонни плочи.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Бакърджиев, С., О. Лазова, Предимства при използването на кофражни системи за ранно декофриране при изграждането на стоманобетонни междуетажни конструкции, XVI-та Международна конференция ВСУ'2016, 9-10 юни 2016., Сборник Доклади, Том 2, стр. 277-282, София, България
2. Бакърджиев, С., О. Лазова, Изследване начините за ранно декофриране чрез използване на обикновени кофражни системи, XVI-та Международна конференция ВСУ'2016, 9-10 юни 2016., Сборник Доклади, Том 2, стр. 283-288, София, България
3. Бакърджиев, С., О. Лазова, Методика за изследване на конструкция при ранно декофриране, XVII Международна научна конференция ВСУ'2017, Сборник Доклади, Том 2, стр. 193-198, София, България
4. Бакърджиев, С., О. Лазова, Изследване на якостните характеристики на бетони в периода на набиране на якост, XIX Международна научна конференция по строителство и архитектура ВСУ'2019, София, България

БЛАГОДАРНОСТИ

Бих искал да отправя огромни благодарности към строителна фирма „Техстрой“ ЕООД, „ДОКА“ България, доц. д-р. инж. Офелия Лазова-Велинова, проф. д.т.н. инж. Константин Казаков, доц. д-р инж. Веселин Славчев, доц. д-р. инж. Венцислав Стоянов, доц. д-р инж. Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж. Анита Хандрулева, доц. д-р инж. Венцеслав А. Стоянов, инж. Ирина Михайлова, инж. Радослав Стафунски, инж. Албена Йорданова и арх. Диана Димитрова за помощта, която ми оказаха при създаването на дисертационния труд.