



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590110](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590110)

Получена: 19.10.2025 г.

Приета: 18.12.2025 г.

СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ ЗА ПРИЛАГАНЕ НА СТРУКТУРНО ИНТЕГРИРАНИ ХИДРОИЗОЛАЦИОННИ СИСТЕМИ

Б. Петров¹

Ключови думи: структурно интегрирана хидроизолационна система, водоплътен бетон, пукнатинообразуване, конструктивен мониторинг, последващи мерки

РЕЗЮМЕ

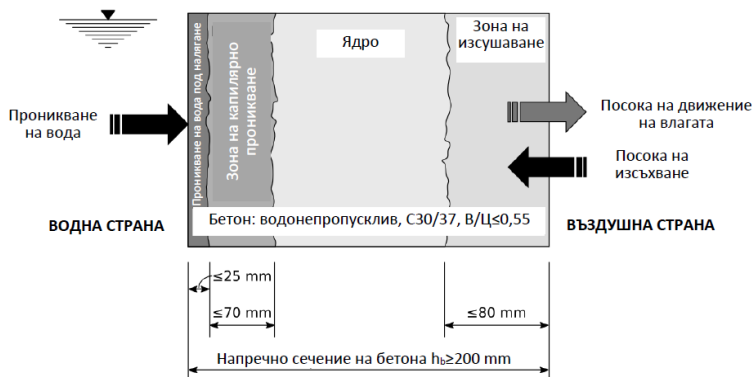
Статията обобщава основни изисквания и възможности за изпълнение на структурно интегрирани хидроизолационни системи (СИХС). Въз основа на критичен анализ на опитни резултати са обобщени съществените изисквания за класифициране, определяне на състава на бетона, избор на уплътняващи добавки, обработка на фуги и пукнатини и др. Представена е методика за проектиране на този тип хидроизолационни системи при изпълнение на сгради и съоръжения у нас. Представени са изисквания за провеждане на мониторинг на изпълнени СИХС и определяне на необходимостта от последващи действия.

1. Въведение

Структурно интегрирана хидроизолационна система (СИХС) е термин, използван в строителството за дефиниране на водоплътни и водоустойчиви стоманобетонни конструкции, без използване на допълнителни хидроизолационни слоеве. Тази система притежава решаващо предимство пред други методи на хидроизолиране, като се използва за защита срещу действието на филтрационни, почвени и напорни води при изграждане на фундаментни плочи и стени на сутеренни етажи, покривни плочи на подземни съоръжения, хидротехнически обекти, резервоари за вода, плувни басейни и др. СИХС са алтернатива на изолираните с хидроизолационни материали ограждащи стоманобетонни елементи на строителната конструкция.

¹ Богомил Петров, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: BWP_FCE@uacg.bg

В ограждащите елементи зоните на капилярно проникване и изсушаване не трябва да се припокриват. В резултат на обобщаване на дългогодишен опит и критичен анализ на получените резултати е установено според [1], че при ограждащите елементи от бетон с минимален клас по якост на натиск С30/37 и максимална стойност на водоцементовото отношение 0,55 дълбочината на проникване на вода под налягане не надвишава 25 mm, а по капилярен път водата достига дълбочина максимум 70 mm. Това показва, че при ограждащи елементи с дебелина над 200 mm, в ядровата зона практически не съществуват условия за проникване на вода под налягане или по капилярен път (фиг. 1).



Фиг. 1

Бетонът съдържа и определено количество производствена влага, която може да реализира дифузия на водни пари от зоните с по-високо към зоните с по-ниско парциално налягане, в количество до $0,5$ ($\text{g}/\text{m}^2\text{d}$). При посочените бетони изсушаването (изпаряването) на тази влага през първата година достига 10 $\text{g}/\text{m}^2\text{d}$, което съществено надвишава количеството влага, получено от дифузията на водни пари.

На трето място, частите от сгради, които са изпълнени под нивото на терена или под нивото на почвените води, са с по-ниска температура. Когато температурата на вътрешната повърхност на стената е по-ниска от температурата на оросяване на използваемото помещение, съществува опасност от образуване на повърхностен конденз [2].

В резултат на направения анализ може да се направи извод, че в конструкцията, изпълнена от бетон с посочените показатели, не се осъществява капилярен транспорт на вода, а дифузията на водни пари е пренебрежимо малка. От решаващо значение за експлоатационните характеристики на помещенията са производствената влага на бетона и кондензът по неговата повърхност. Това определя необходимостта при високи експлоатационни изисквания към сутеренните помещения прилагането на СИХС да се комбинира с топлоизолиране на бетоновата повърхност и за обезпечаване на непрекъсната и ефективна вентилация.

Проникването на водата в помещенията основно се осъществява през работни и дилатационни фуги, ново появили се пукнатини в бетона, както и през некачествено изпълнени проводни през ограждащата конструкция.

Основните предимства на СИХС са:

- дълготрайност повече от 80 години;
- безпроблемно локализиране и отстраняване на дефектите отвътре;
- качествено топлоизолиране на вътрешната повърхност при необходимост;
- възможност за модифициране и оптимизиране на ограждащата конструкция чрез полагане на изолационни мембрани върху кофража.

Като основни недостатъци могат да се посочат:

- по-висока цена на изолационната система;
- високи изисквания към качеството на бетона и технологията на полагане;
- технологично сложно ограничаване на пукнатинообразуването;
- сериозни изисквания към детайлите на проектното решение;
- ремонтите във времето са част от системата и могат да причинят последващи разходи.

В допълнение към общите изисквания за производство на бетона [3] в редица европейски страни се поставят допълнителни изисквания за проектиране и изпълнение на СИХС [4, 5].

2. Проектни изисквания

Проектирането на СИХС за подземни части на сградите и съоръженията започва с определяне на почвените характеристики, разположението на водоплътните и пропускливите почвени слоеве, нивото на почвените води, степента на агресивност и величината на хидростатичното налягане. Степента на агресивност на водата определя класа по експлоатационно въздействие на бетона ХА1, ХА2 или ХА3. Според величината на хидростатичното налягане и разпределението на почвените слоеве конструкциите могат да се намират под въздействие на:

- постоянно и/или периодично хидростатично налягане (Клас I);
- безнапорни почвени или филтриращи атмосферни води (Клас II).

При СИХС за Клас I необходимият клас по водонепропускливост на бетона се определя в зависимост от градиента на водния напор. При минимална препоръчителна дебелина на оградящия елемент 250 mm изисквания към състава на бетона са дадени в таблица 1.

Таблица 1. Проектни изисквания към състава на бетона в зависимост от градиента на водния напор и температурата на водата

Градиент воден напор	Воден стълб, m	$t_{\text{вода}}$ °C	Клас по водоплътност	Минимален клас якост на натиск	ρ_{min} kg/m ³	W/ρ_{max}
≤ 5	1,25	≤ 10	C _w 0,2	C25/30	260	0,65
		10 – 30	C _w 0,4	C30/37	280	0,60
		≥ 30	C _w 0,6	C30/37	280	0,55
5 – 10	1,25 – 2,50	≤ 10	C _w 0,4	C25/30	260	0,55
		10 – 30	C _w 0,6	C30/37	280	0,50
		≥ 30	C _w 0,8	C35/45	320	0,45
10 – 20	2,50 – 5,00	≤ 10	C _w 0,6	C30/37	280	0,50
		10 – 30	C _w 0,8	C35/45	320	0,45
		≥ 30	C _w 1,0	C40/50	340	0,40
20 – 30	5,00 – 7,50	≤ 10	C _w 0,8	C35/45	320	0,45
		10 – 30	C _w 1,0	C40/50	340	0,40
		≥ 30	C _w 1,0	C50/60	360	0,35
≥ 30	≥ 7,50	≤ 10 10 – 30 ≥ 30	≥ C _w 1,0	над C50/60	над 360	≤ 0,35

Според [3] при елементи, подложени на действието на вода под налягане, трябва да се използва бетон с минимален клас по якост на натиск C25/30, водоциментово отношение, не по-голямо от 0,6, и количество на цимента, не по-малко от 280 kg/m³.

Много важен етап от проектирането на СИХС е дефинирането на т.нар. Експлоатационен клас на помещенията. Този клас се постановява от възложителя и се съгласува с проектанта на хидроизолационната система. При избора трябва да се отчетат аспектите на икономическа целесъобразност и техническа осъществимост. Основните изисквания предварително се договарят, като се избягват пожелателни и неизяснени понятия. След критичен анализ на посоченото в [4, 7, 8] могат да се обобщят следните препоръки за избор на класове на помещенията по експлоатация:

- Клас А – *напълно сухи помещения* с много високи експлоатационни изисквания. Не се допускат влажни петна по вътрешната повърхност на бетона. Дифузията на водни пари и опасността от конденз се отстраняват чрез подходящо вентилиране на помещенията и топлоизолация. Напр. жилищни помещения, офиси, складове за съхранение на особено чувствителни към влага стоки, архиви, библиотеки и др.
- Клас Б – *предимно сухи помещения*. Не се допуска наличието на влажни петна и проникването на вода в течно състояние. Дифузията на водни пари и опасността от конденз се ограничават чрез подходящо вентилиране на помещенията и топлоизолация. Допускат се локални зони с незначителен конденз по бетоновата повърхност. Напр. транспортни съоръжения с високи изисквания, салони, складове от общ характер, мазета, помещения за обслужване на сгради със специални изисквания и др.
- Клас В – *леко влажни помещения*. Допуска се наличието на локализирани влажни петна в зоната на дилатационни фуги и пукнатини, но не се допуска проникване на вода в течно състояние. Допуска се конденз. Напр. гаражи, котелни, колектори, обслужващи помещения, транспортни съоръжения.
- Клас Г – *влажни помещения*. Допускат се влажни петна по повърхността на бетона и отделни петна с капеща вода върху бетоновите повърхности. Допуска се конденз. Напр. гаражи и паркинги (с допълнителни мерки, напр. отводнителни канали), помещения с второстепенно предназначение и др.
- Клас Д – *мокри помещения*. Разрешено е наличието на влажни зони, конденз и зони с филтриране на незначителни количества вода. Напр. обслужващи помещения в хидротехнически съоръжения.

Към настоящия момент няма нормативен документ, установяващ изискванията за изпълнение на СИХС. Начални насоки за изпълнение са посочени в [4]. В зависимост от осъществявания от водата хидростатичен натиск и възприетия клас по експлоатация на помещенията можем да определим ключови правила за обезпечаване на водоплътността на конструкцията чрез комплекс от дейности, включващ:

- Прилагане на бетони с висока водонепропускливост, редуцирано съсъхване и незначителни температурни деформации.
- Редуциране на опънните напрежения в бетона с цел предотвратяване на появата и ограничаване на ширината на пукнатините. Това се постига основно чрез оразмеряване на стоманобетонната конструкция за гранично експлоатационно състояние. Игнорира се само при изрично изискване, за обработка на появилите се пукнатини с подходящи уплътнителни състави.
- Разпределение на пукнатините – осъществява се чрез подходящо армиране и реализиране на дилатационни фуги, водещи до ограничаване ширината на пукнатините в бетона до 0,2 mm.

- Планиране на строителния процес: определяне на участъците за бетониране, предвиждане на строителни фуги, избор на т.нар. „фиктивни фуги“ и необходими мерки за тяхното надеждно и дълготрайно уплътняване.
- Реализиране на целеви фуги в конструкцията, ограничаващи пукнатинообразуването.
- Обезпечаване на водонепропускливостта на всички проводи през конструкцията – тръби, кабели и кабелни канали, кофражни шпилки и др.
- Реализиране на набор от проектни мерки за изпълнение на бетоновите работи: минималното разстояние между армировката, максимален диаметър на зърното, време за бетониране, вибриране, температура, срокове за декофриране, грижи в ранна възраст.
- Планиране на мерки за ограничаване на дифузията на водни пари и образуване на конденз: топлоизолация и вентилиране на помещенията.
- Прилагане на съвременни мерки за конструктивен мониторинг.
- Планиране на потенциално последващи мерки за херметизиране на конструкцията въз основа на конструктивен мониторинг.

Всяко едно от тези условия е абсолютно задължително и неговото подценяване води до компрометиране на СИХС. Препоръките за различните класове по експлоатация на помещенията са дадени в таблица 2.

Таблица 2. Изисквания за класовете по експлоатация на помещенията

Градиент воден напор, m	Изискване	Експлоатационен клас на помещенията				
		А	Б	В	Г	Д
0,0 – 1,5	дебелина бетон, mm	≥ 350	≥ 250	≥ 250	≥ 250	≥ 250
	допустима ширина на пукнатините, mm	≤ 0,15	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,25
	клас на бетона	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30	C25/30
1,5 – 3,0	дебелина бетон, mm	≥ 450	≥ 350	≥ 250	≥ 250	≥ 250
	допустима ширина на пукнатините, mm	≤ 0,15	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,25
	клас на бетона	C30/37	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30
3,0 – 5,0	дебелина бетон, mm	≥ 450	≥ 350	≥ 350	≥ 300	≥ 300
	допустима ширина на пукнатините, mm	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,25
	клас на бетона	C35/45	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30
5,0 – 10,0	дебелина бетон, mm	≥ 550	≥ 450	≥ 350	≥ 300	≥ 300
	допустима ширина на пукнатините, mm	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,20	≤ 0,20
	клас на бетона	C35/45	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37
10,0 – 20,0	дебелина бетон, mm	не се препоръчва	≥ 500	≥ 400	≥ 350	≥ 350
	допустима ширина на пукнатините, mm		≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,20	≤ 0,20
	клас на бетона		C35/45	C35/45	C30/37	C30/37
20,0 – 30,0	дебелина бетон, mm	не се препоръчва	≥ 600	≥ 500	≥ 400	≥ 400
	допустима ширина на пукнатините, mm		≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,15
	клас на бетона		C45/55	C45/55	C35/45	C30/37
Над 30,00	дебелина бетон, mm	не се препоръчва	не се препоръчва	≥ 600	≥ 550	≥ 400
	допустима ширина на пукнатините, mm			≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
	клас на бетона			C50/60	C45/55	C45/55

3. Технологични изисквания за изпълнение на СИХС

3.1. Бетони с повишена водонепропускливост

3.1.1. Общи изисквания към състава на бетона

Съставът на бетона и изискванията към него се определят в зависимост от класа на експлоатационно въздействие, класа по якост на натиск на бетона, класа по водонепропускливост и др. Съставът на бетона се установява в работния проект за изпълнение на СИХС. Бетонът трябва да има затворена структура и ниска водопопиваемост.

Класът по водонепропускливост на бетона се определя в зависимост от дебелината на елемента и хидростатичното налягане. Размерите на отделните елементи се подбират така, че да се минимизира опасността от поява на съсъхвателни или температурни пукнатини. При подовите плочи препоръчителните размери между фугите са 20/20 m, а при стените се препоръчва съотношението 1/3 между височина и дължина на елемента между фугите. Минималната армировка винаги трябва да се поставя от двете страни на напречното сечение на бетона. В [4] се препоръчва дебелината на ограждащите стоманобетонни елементи да бъде минимум 250 mm.

Консистенцията на бетонната смес трябва да бъде минимум клас F3. Максималният размер на зърната е 16 mm, а минималният 8 mm. Могат да се използват цименти с понижена екзотермия или цименти с подходящи минерални добавки. Трябва да се вземат специални мерки за уплътняване на бетонната смес и допълнително укрепване на кофража. Температурата на бетонната смес трябва да бъде възможно по-ниска. Трябва да се обезпечи необходимото бетоново покритие чрез водонепропускливи дистанционери на кофража. При полагане височината на свободно падане на бетоновата смес трябва да бъде максимум 1 m. При бетон с максимална едрина на зърната 8 mm височината на падане да не надвишава ширината на стена. Уплътняването трябва да се извършва на слоеве с дебелина 30 – 50 cm. В зоната на работните фуги съществуващият бетон трябва да се награвява и старателно да се почисти. Препоръчва се използване на дървен кофраж и подългото му задържане, до изравняване на температурата на бетона с тази на околната среда. След декофриране да се гарантира, че температурната разлика между ядрото на елемента и повърхността не надвишава 15 °C. Когато дифузионно еквивалентната дебелина на стената S_d е над 1500 m, се смята, че елементът не пропуска водни пари под налягане.

3.1.2. Уплътняващи химически добавки

Разработени са редица химически добавки, предназначени за редуциране на водонепропускливостта на бетона (Permeability-Reducing Admixture PRA) чрез контрол на движението на водата и влагата, които според [9] могат да се разделят на две групи:

- За бетони Клас I, изложени на хидростатично налягане – PRA for Hydrostatic conditions (PRAH).
- За бетони Клас II неизложени на хидростатично налягане – PRA for Non-hydrostatic conditions (PRAN). Трябва да се отбележи, че PRAN не трябва да се използва в присъствието на хидростатично налягане, ако се очаква проникването на вода да повреди конструкцията или да компрометираща вътрешните пространства.

В допълнение, с намаляване на водонепропускливостта на бетона тези химически добавки могат да реализират и други полезни свойства, като намаляване на съсъхването

на бетона, понижаване на проникването на хлорни йони, повишаване мразоустойчивостта на бетона и подобряване на автогенното самовъзстановяване. Според механизма на действие, добавките се разделят на три групи: хидрофобни добавки, фино смлени добавки и кристализационни добавки.

Модифицираният с хидрофобни добавки бетон трябва да запази водоплътността си при воден стълб 4 – 14 m, но след отчитане на факта, че хидрофобизацията не обхваща равномерно бетоновата повърхност и формираните полимери не възстановяват пукнатините в бетона, тази стойност съществено се редуцира. Тези добавки се класифицират като тип PRAN и се прилагат за бетони, които не са изложени на хидростатично налягане.

Фино смлените добавки, които включват минерални добавки на база бентонит, микро силициев прах, глина, въгледородни смоли и каменовъглен катран или химически активни пълнители (вар, силикати и колоиден силициев диоксид), могат да редуцират водопрopusкливостта на бетона чрез увеличаване на плътността, но при липса на хидростатично налягане. Необходимо е да се отбележи, че порите и пукнатините в бетона обикновено не се блокират напълно. Тези продукти обикновено се използват за случаите без хидростатично налягане или в комбинация с хидрофобизиращи добавки за синергичен ефект.

Кристализационните добавки могат да доведат до значително намаляване на водопрopusкливостта, особено когато се добавят към бетонна смес в комбинация с подходящи за целта минерални добавки. За разлика от хидрофобните добавки, кристализационните добавки са хидрофилни, а активните компоненти в тях реагират с водата и циментовите минерали, за да образуват калциеви хидросиликати (CSH) и/или новообразувания, блокиращи пори, микропукнатини и капиляри. Получените кристални образувания остават неразделно свързани с хидратираната циментова паста. Полученият бетон има значително по-висока устойчивост на проникване на вода под налягане. Тези кристални новообразувания се развиват в цялата дълбочина на бетона и стават постоянна част от неговата структура. Поради тази причина те са подходящи за бетон, изложен на хидростатично налягане, и могат да бъдат категоризирани като PRANs. При поява на нови пукнатини в бетона кристализационните добавки продължават да се активират в присъствието на влага и запечатват появилите се дефекти. Твърди се, че веднъж напълно втвърдени, кристалните системи могат да издържат на хидростатично налягане до 120 m воден стълб.

За да устои на хидростатичното налягане, PRANs използва механизъм за блокиране на порите от кристални новообразувания, полимерно сливане на капки или мехурчета при съприкосновението им вътре в подвижната среда (течност, газ) или на повърхността на телата, както и чрез друг пълнител. Способността за противодействие на хидростатично налягане ще зависи от това до каква степен са блокирани порите и доколко са стабилни отлаганията в тях при натиск и воден напор.

3.1.3. Грижи за бетона в ранна възраст

Важни за гарантиране целостта на СИХС са грижите в ранна възраст, като:

- подобряване на плътността на бетона в ръбовата зона;
- минимизиране на съсъхването на бетона в ранна възраст;
- недопускане на преждевременно изсъхване на бетона;
- недопускане на екстремни температурни колебания;
- предпазване от въздействие на агресивни среди;
- предпазване от механични въздействия върху пресния бетон;
- недопускане на вредни за конструкцията вибрации в ранна възраст.

3.2. Ограничаване на опънните напрежения в бетона и ширината на пукнатините

При СИХС разположението на фугите и тяхното уплътняване трябва да бъде част от работното проектиране. Ограничаването на напреженията се реализира чрез влагане на допълнително количество армировка в посока, перпендикулярна на посоката на формиране на съсъхвателните пукнатини. Разположението и изборът на подходящо уплътнение за фугите зависи от очакваните деформации, експлоатационните условия и специфичните за обекта конструктивни напрежения. В зависимост от хидростатичното налягане и експлоатационния клас на помещенията могат да се предвидят следните три вариантни решения:

- Цялостно отстраняване на възможността от поява на пукнатини, чрез проектиране въз основа на изискванията за обезпечаване на т.нар. експлоатационно гранично състояние.
- Ограничаване на ширината на пукнатините с цел благоприятно самовъзстановяване.
- Допускане на ограничен брой пукнатини и придвиждане на тяхното херметизиране чрез инжектиране, според изискванията на работния проект.

Разположението на армировката трябва да бъде избрано от проектанта по част „Конструкции“ по такъв начин, че бетонната смес да може да бъде положена и уплътнена правилно, а фугиращите ленти и вградените части да могат да бъдат интегрирани качествено в нея. При по-високи изисквания за плътност се увеличава степента на армиране и разстоянието между армировъчните пръти се намалява. Препоръчителното разстояние между армировъчните пръти не трябва да надвишава половината от дебелината на елемента. Напр. за ограничаване на ширината на пукнатината от 0,5 до 0,4 mm армировката се увеличава с около 14 %, до 0,3 mm с 35 %, а до 0,2 mm с 69 %. При допустима ширина на пукнатините 0,2 mm необходимото количество армировка варира в границите от 2300 mm²/m до 2600 mm²/m, а при допустима ширина 0,3 mm от 1850 до 2000 mm²/m.

Ограничаването на ширината на пукнатината може да се реализира чрез избор на мерки за полагане на бетонната смес, обработка на разделителните (работни) фуги или тяхното цялостно избягване, така че да се създаде бетонна структура, която е непропусклива за вода.

3.3. Разпределяне на пукнатините в бетона

Това се реализира чрез подходящи начини за армиране на стоманобетонната конструкция. Армирането на конструкцията при СИХС може да се реализира чрез следните четири варианта:

Вариант 1: С конвенционална армировка (класически вариант)

Спектърът на такива СИХС варира от класически сутерени на жилищни сгради до търговски сгради, контейнерни конструкции, плувни басейни, тунели, паркинги и др.

Вариант 2: С конвенционална армировка и стоманени фибри (комбинирана армировка)

Тук изискванията за изпълнение трябва винаги да се проверяват в съответствие с разпоредбите на одобренията за влагане на стоманени влакна и да се спазват по време на изпълнение. Икономическото предимство може да бъде спестяване на армировъчна стомана.

Вариант 3: Уплътнена конструкция срещу земна влага и безнапорни води със стоманени влакна

В зависимост от одобренията на съответните стоманени влакна и компонент сутерените могат да бъдат проектирани без допълнителна армировка.

Вариант 4: С предварително изготвени елементи

Те имат особено добро качество на стенната повърхност. Минималната дебелина на елемента е 30 cm.

3.4. Модифициране на СИХС с адхезионни мембрани

Водоуплътняният бетон от СИХС може да се модифицира чрез предварително полагане на изолационни мембрани с адхезионен към бетонната смес слой, като допълнение към технологията за повърхностно запечатване. Композитната адхезионна мембрана осигурява висококачествена допълнителна защита за бетоновите елементи в контакт със земята или кофража. Тези мембрани са с дебелина 0,80 mm, притежават висока гъвкавост за преодоляване на пукнатини и осигуряват хибридна връзка с бетона. Чрез използването на подобни мембрани могат да бъдат силно ограничени сложните последващи инжекционни работи. Различните производители на композитни мембрани предлагат системи, които образуват механична и/или химическа връзка с прясно положената бетонна смес, като се инплантират трайно към бетона. Химическите съединения се основават на хибридни композитни слоеве, които са базирани на модифицирани с цимент полимери. Уплътняващият слой най-често се състои от силно гъвкави полиолефини (FPO), които са свързани с решетъчен основен слой и поемат уплътнителната функция. Композитната мембрана се полага преди армировката и бетонирането, като се комбинира със системите за уплътняване на фуги.

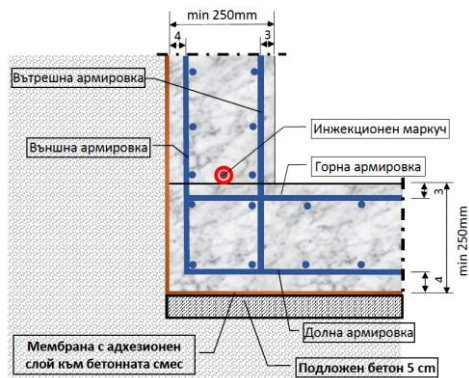
3.5. Уплътняване на всички работни и дилатационни фуги

При хидроизолиране на подземната или на надземната част на сградата чрез СИХС трябва да се обезпечи водонепропускливостта в зоната на всички работни и дилатационни фуги на конструкцията. По възможност трябва да се избягват дилатационни фуги, като се предвиждат само когато деформациите между съседни елементи на конструкцията не могат да бъдат контролирани с други проектни мерки. Водоуплътността се обезпечава чрез полагане и вбетониране на инжекционни маркучи в работните фуги (фиг. 2), полагане на уплътнителни водонабъбващи ленти (фиг. 3), вграждане на уплътнителни ленти от външната страна на елемента (фиг. 4 и фиг. 5), използване на интегрирани уплътнителни водоспиращи ленти (фиг. 6), залепване на уплътняващи ленти (фиг. 7) и др.

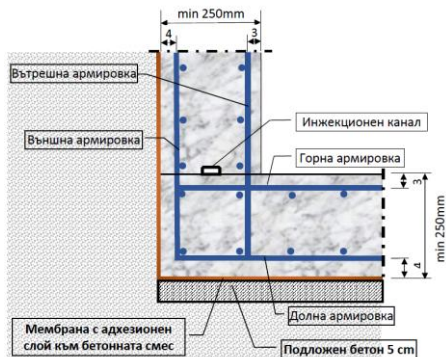
Системите за уплътняване на работните фуги трябва да бъдат съобразени с водното налягане и оформени в единна и затворена система. Лентите за фуги са гъвкави, изработени от поливинилхлорид с пластификатор (PVC-P). Предлагат се в различни видове и размери и са съобразени със съответната област на приложение и проектните натоварвания.

Основно лентите за фуги се делят на вътрешни (интегрирани) фугиращи ленти, които се полагат в средата на фугата, и ленти за външни фуги, които се фиксират директно към кофража. Свързващите ленти се съединяват чрез заваряване. Позицията на лентите за фуги трябва да бъде осигурена срещу преместване по време на бетониране. Изключително важен е мониторингът на изпълнението при изграждане на конструкцията. Съществуват и напълно вградени във фугата „стена-фундамент“ уплътнителни ленти от високогъвкави полиолефини (FPO) с модифицирана повърхност за уплътняване. Благодарение на

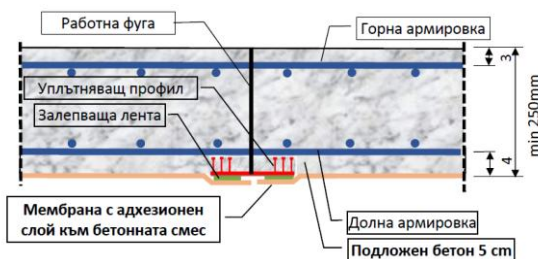
модифицираната повърхност (хибриден композитен слой), която се основава на модифицирани с цимент полимери, лентите имат трайна и устойчива връзка с бетона.



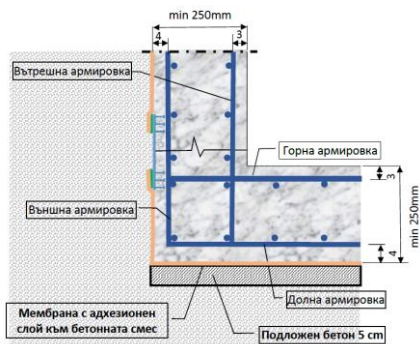
Фиг. 2. Инжекционен маркуч



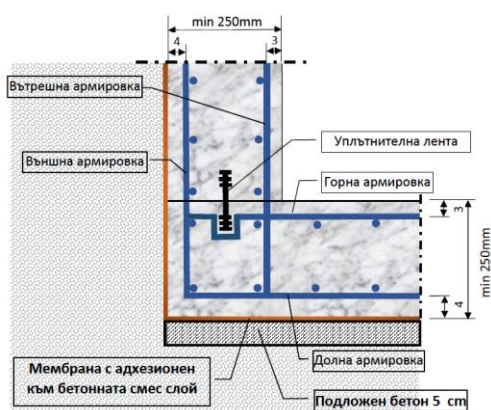
Фиг. 3. Водонабъбващи ленти



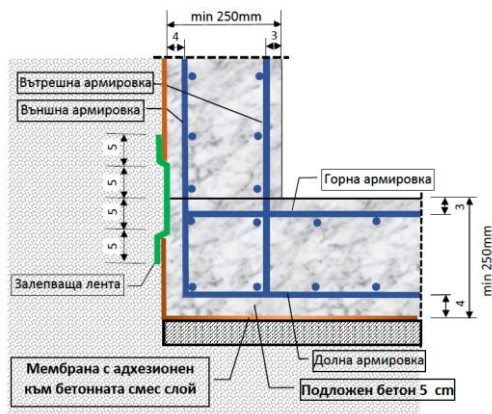
Фиг. 4. Уплътнителна лента под



Фиг. 5. Уплътнителна лента стена



Фиг. 6. Интегрирана уплътнителна лента



Фиг. 7. Залепваща лента

Уплътняванията могат да се извършват чрез облепвания. Мембранната уплътнителна система, залепена отвън, се състои от мембранни уплътнителни ленти и

лепило, изработени от 2-компонентно епоксидно лепило. Използва се за строителни фуги, разширителни фуги, съединителни фуги и ремонти на пукнатини.

3.6. Обезпечаване на водонепропускливостта на всички проводи през конструкцията – тръби, кабели и кабелни канали, кофражни шпилки и др.

Необходимо е да се уплътнят всички проводи за тръби и кабели, преминаващи през водоуплътната стоманобетонна конструкция. За проводи на тръби могат да се използват уплътнителни притискащи пръстени, които се монтират директно в отвор на конструкцията или във вбетонирана обсадна тръба. Могат да се използват вериги от уплътнителни звена или маншони за уплътняване на тръби. Тези маншони се използват за уплътняване срещу вода под налягане или срещу дифундиращи газове, като радон. Когато са монтирани оптимално, стенните маншони могат да защитят помещенията до водно налягане 10 бара. Те се използват за тръби през подови плочи и стени.

Преминаването на кабели се осъществява в специални кабелни канали с обезпечена водоуплътност в зоната на пресичане на бетона.

Тръбна да бъдат уплътнени и отворите от кофражните шпилки на стените Това се осъществява с кофражните анкери, изработени от висококачествен полиетилен HDPE.

3.7. Целеви фуги в конструкцията, ограничаващи пукнатинообразуването

Тези мерки целят намаляване на вероятността от пукнатинообразуване в стоманобетонната конструкция. Те включват:

- подходящо подреждане на работните фуги и разстоянието между тях – това цели намаляване на относителната дължина на елементите и ограничаване на деформациите от съсъхване, което редуцира пукнатинообразуването и ширината на пукнатините под 0,2 mm;
- разработване на правилни решения за уплътняване на различните фуги в конструкцията в зависимост от очакваните експлоатационни деформации;
- намаляване на водоциментовото отношение на бетона;
- избор на подходящ вид цимент и химически добавки с цел ограничаване на съсъхвателните процеси;
- изготвяне на проект за състава на бетон с отчитане на неговото предназначение за намаляване на пукнатинообразуването;
- предварително анализиране и постановяване на начина на полагане на бетонната смес, уплътняване и укрепване на кофража. Точните спецификации по отношение на вида, продължителността и изпълнението на последващата обработка и грижите в ранна възраст се регламентират в проекта.

3.8. Самовъзстановяване на бетона

Самовъзстановяването на пукнатини (разделящи пукнатини) в бетона е предимно химичен процес, при който водата, преминаваща през пукнатината, реагира с на хидратиралите циментови зърна и новообразуванятията на циментовия камък, което води

до получаване на съединения с по-голям обем. Процесът е съчетан с малък принос на набъбване на циментовия камък, което обаче е обратимо. Механичният принос се повишава, когато в пукнатини присъстват нехидратирани циментови частици, които влизат в съответните химични реакции с водата. В екстремни случаи това води до пълно запечатване на пукнатини. Процесът на самоуплътняване на пукнатините е изключително важен за реализиране на СИХС и тяхната безпроблемна експлоатация. Самовъзстановяването се получава, когато пукнатината не се движи, водата е неагресивна и скоростта на движение на водата е малка.

Проучванията показват, че пълното запечатване (самовъзстановяване) на пукнатините се осъществява при ширина на пукнатината $< 0,2$ mm и е възможно най-малко пет седмици след проникване на водата в пукнатините. Това е периодът за формиране на уплътняващите структурата карбонати, калцити и калциеви хидросиликати (CSH), образуването на които зависи от минералния състав на цимента, вложените уплътняващи химически или минерални добавки, ситността на смилане на цимента, водоциментовото отношение и др.

3.9. Реализиране на последващи мерки за херметизиране на конструкцията през експлоатационния период

Пукнатинообразуването във водоустойчиви бетонни конструкции може да се получи на всеки етап в зависимост от деформациите от пълзене и съсъхване, температурни влияния, слягане на фундаментите на сградата, увеличаване на статичното натоварване от хидродинамичен напор, динамични натоварвания, деформации в неопределими конструкции, сеизмични въздействия и др. Никой не е в състояние точно да прогнозира вида, ширината и количеството на пукнатините. Особено трудно се отстраняват появили се пукнатини в труднодостъпните места, което може да причини непоправими щети. Това налага след реализиране на конструкцията и в последващия експлоатационен период, при доказана необходимост, да се вземат мерки за трайно херметизиране на всички появили се пукнатини.

Техниката на инжектиране е активен процес на запечатване, при който се постига пълно запечатване или запълване на кухини и пукнатини с помощта на различни инжекционни състави. Техниката на инжектиране разграничава следните процедури:

- Повърхностно уплътняване с инжекционни завеси – може да се извърши отвътре, което означава, че няма допълнителни разходи за разкриване на външните стени. Инжектирането се извършва с екологично чист акрилатен гел.
- Екранни инжекции – създават трайна капилярна бариера срещу влага, проникваща през почвата и издигаща се в стената. Използва се в по-стари сгради.
- Инжектиране на пукнатини – за целта се използват шахматно разположени инжекционни пакери по продължение на пукнатината. Инжектирането се извършва с полимерни инжекционни смоли за трайно запечатване.
- Блокиране на проникването на водата в кавернозни зони на конструкцията.
- Инжектиране на фуги – последващо уплътняване на работните или дилатационните фуги със специални смоли, които запазват постоянна еластичност след втвърдяване.

3.10. Планиране на строителния процес

При изготвяне на работен проект на СИХС трябва да бъдат анализирани, съгласувани и решени следните основни организационни въпроси:

- Определяне на основните участъци за бетониране и наличието на работни фуги между тях – участъци при фундаментна или покривна плоча, тактовете за бетониране на стени, връзката между стените в ъглите на сградата и др. Броят на тактовете се минимизира, а за работната граница между тях се разработва проектно решение за уплътняване.
- Временно водопонижаване – планират се мерки за временно понижаване на нивото на почвените води до пълно завършване на СИХС.
- Анализират се изискванията към състава на бетона, технологията на изпълнение и грижите в ранна възраст с цел минимизиране на съсъхването и пукнатинообразуването.
- Установяват се необходимите мерки за последваща обработка на бетонните конструкции.

3.11. Ограничаване на дифузията на водни пари и образуването на конденз

Това се осъществява чрез изпълнение на подходящи за целта топлоизолационни системи, целящи основно повишаване на температурата на вътрешната повърхност на конструкцията над температурата на оросяване. Определен ефект и недопускане на конденз се получава чрез изпълнението на външна или вътрешна листовата топлоизолация или обмазване със специални топлоизолационни бои.

С цел ограничаване на относителната влажност на въздуха и респективно повишаване на температурата на оросяване могат да бъдат предвидени мерки за принудително вентилиране на използваемите помещения.

3.12. Фази на реализиране на СИХС

В резултат на направения анализ могат да се конкретизират следните фази за реализиране на СИХС:

Концептуална фаза

- Предварителни консултации – възложител, проектант, строител.
- Предпроектни проучвания.
- Разработване на възможни варианти в зависимост от вида на конструкцията.
- Разработване на основна концепция.
- Анализ на разходите за постигане на желаната хидроизолационна система.

Фаза на проектиране

- Съгласуване на проектното решение с проектантите по отделните части.
- Анализ на конструктивната концепция.
- Определяне на начина на армиране с цел контрол на пукнатините и поведението на бетона при съсъхване.
- Определяне на дължини и размери на полета, както и на етапи на бетониране.
- Определяне на конкретни рецептурни състави за бетона.
- Установяване на изисквания за бетониране, уплътняване и грижи.

- Разработване на детайли за уплътняване на фугите.
- Разработване на последващи мерки за уплътняване на пукнатините.

Фаза на изпълнение

- Запознаване на строителя със СИХС.
- Определяне на периодите на втвърдяване на бетона и декофриране.
- Определяне на мерките за мониторинг и осигуряване на качеството.
- Мониторинг на бетонирането за използваните уплътнителни продукти.
- Бързо разработване на решения по непредвидени проблеми.
- Надзор от специалисти в областта на хидроизолирането.

Контрол на качеството и конструктивен мониторинг

- Приемане на работата по изграждане на СИХС.
- Проверки за поддръжка по време на гаранционния период.
- Своевременно отстраняване на дефекти по време на гаранционния период.
- Грижи за състоянието на водоплътния бетон.
- Запазване на херметичността на всички съединения и втулки.
- Установяване на наличието на пукнатини от съсъхване.
- Наличие на пукнатини в резултат на механични въздействия и пълзене.
- Наличие на пукнатини в резултат на температурни колебания.
- Конструктивен мониторинг чрез безразрушителни методи за контрол.

4. Конструктивен мониторинг на изпълнената СИХС

В случай че по време на изпълнение на строителството не могат да се изключат критични влияния върху елементите на стоманобетонната конструкция, трябва да се направи оценка на изпълнената СИХС и да се обобщят продължаващи действия и мерки. За целта може да се използва безразрушителен контрол, който включва:

4.1. Технически оглед на изпълнените стоманобетонни елементи

Техническият оглед трябва да включва установяване на:

- Видими дефекти по повърхността на бетона – наличие на десортиран и разслоен бетон, зони с липса на циментово мляко между зърната на добавъчния материал, открити пръти от армировката, повърхностни каверни, небетонирани участъци, видими и разхлабени фиксатори.
- Работни граници от дълговременно прекъсване на бетонирането и картиране на тяхното местоположение. Критичен оглед на всички контактни граници между елементи, бетонирани по различно време – „фундамент-стени“, тактове стени, „стени-междуетажни плочи“ и др.
- Пукнатини в бетона, предизвикани от автогенно или влажностно съсъхване и картиране на тяхното местоположение.
- Пукнатини, предизвикани от температурни деформации при статически неопределими конструкции и картиране на тяхното местоположение.
- Конструктивни пукнатини в резултат на редуциране на опорните площи и/или локално слягане на основата и картиране на тяхното местоположение.
- Състоянието на бетона при преминаване на канализационни, водопроводни и други видове тръби, както и проводи на кабели.

- Състоянието на всички дилатационни фуги – дефекти на бетона, обрушване на ръбовете, нелинейност на фугата, неправилен начин на обработка на фугата с трайно изолационни състави или уплътняващи ленти.
- Наличие на нерегламентирани пробиви в елементите.

4.2. „In-situ“ проверка на структурните характеристики на бетона

Получените резултати от „In-situ“ проверката дават основание да се направи оценка на качеството на положения бетон и при отклонения да се обоснове необходимостта от поддържащи мерки.

4.2.1. Ултразвукова диагностика (UT)

Методът се базира на измерване на скоростта на ултразвуковия импулс, като използва звукови вълни за откриване на дефекти като кухини, каверни, чакълести джобове, вградени дефекти и разслояване, установява различия в плътността на бетона, определя дебелината на конструктивните елементи. Чрез подходящи изчислителни методики се определя ширината и дълбочината на разпространение на пукнатини в бетона. Ултразвуковата диагностика се използва също за оценка на якостта на натиск и определяне на динамичния модул на бетона. Скоростта на ултразвук се определя чрез времето за преминаване на импулса в $\mu\text{с}$. Необходимата точност на измерването е $\pm 0,16 \mu\text{с}$. Изчислителната методика е базирана на сравняване на опитните резултати за еднороден без повърхностни дефекти бетон и бетон с дефекти. Приложението се осъществява в съответствие с изискванията на [10, 11].

4.2.2. Безразрушително установяване на якост на натиск на бетона на място от вложените в конструкцията бетони чрез определяне на големината на отскока

Изпитването се провежда в съответствие с изискванията на [12]. Диференцират се зони с разлики в якостта на натиск, респективно в плътността на бетона. Въз основа на различията се оценява водонепропускливостта на бетона.

4.2.3. Импулсен радар – Ground Penetrating Radar (GPR)

Импулсният радар, известен още като георадар (GPR), е безразрушителен метод, използван за изследване на бетонни конструкции чрез изпращане на радарни импулси и анализ на отразените сигнали. Електромагнитните вълни се излъчват и отразяват при смяна на материалите (напр. бетон/армировка) или в края на елемента (преход бетон/въздух или бетон/почва). Нискочестотните сигнали проникват по-дълбоко, но реализират по-малка резолюция, докато високочестотните сигнали осигуряват по-добра резолюция в плитките слоеве. Точността за идентифициране зависи главно от честотата на използваната антена и диаметъра на дефекта. Дълбочината на изследване варира от 25 cm (при честота 1600 MHz) до 1,5 m (при честота 800 MHz).

Тази технология може да локализира кухини, дефекти, пукнатини, както и да определи дебелината и плътността на бетона. Тя е особено ефективна за откриване на характеристики, които причиняват промени в електромагнитните свойства на материала. Това позволява създаването на вертикални изображения чрез компоненти, известни като радарограми.

4.2.4. Ударно ехо (Impact Echo)

Изпитването с ударно ехо (IE) е метод за безразрушителен контрол, който използва вълни, генерирани от механично въздействие, за да оцени състоянието и дебелината на стоманобетонни конструкции. Ударът генерира нискочестотни вълни на напрежение, които преминават през бетона. Прилага се при едностранен достъп до елементите на съоръжението. Чрез анализ на отраженията и резонансните честоти на тези вълни при преминаването през материала експертите могат да открият вътрешни дефекти и да измерят дебелината, без да интервенират конструкцията. Подобно на ултразвуковия метод, методът използва отразени звукови вълни. Честотният анализ на вибрациите, регистрирани от приемника, позволява да се определят дебелините на компонентите и да се локализира дефекти. С този метод на изпитване могат да бъдат открити проблемни области като чакълести джобове, кухини, или отворени пукнатини, успоредни на повърхността, които са невидими с просто око.

Методът на ултразвуковото ехо работи подобно на импулсен радар, базиран на принципа на отражението, като използва акустични вместо електромагнитни вълни.

4.2.5. Измерване на електропотенциала

Методът измерва разликата в електрическия потенциал между арматурната стомана и референтен електрод върху бетонната повърхност, за да определи вероятността от корозия и надеждното сцепление между бетона и армировката, което обезпечава водоплътността. Той може да картографира разпространението на хлориди и да ги определи количествено. Тази методика е предназначена за безразрушителен контрол на корозията на армировъчните пръти в бетона и определяне на степента на корозия на дадения етап, когато тя все още не е възможно да бъде определена визуално и не е предизвикала сериозни разрушения в зоната на бетонната повърхност.

Корозията на армировката в бетона е електро-химичен процес. Чрез измерване на потенциала между повърхността на бетона и армировъчния прът в дълбочина, уредът дава възможност за оценка на степента на корозия на армировката. Чрез измерването се дава качествена оценка за сцеплението между бетона и армировъчната стомана и възможността им за съвместна работа. Намалването на стойността на електропотенциала в зоната на отрицателните стойности отразява повишаващата се активност на стоманата, което се наблюдава при недостатъчно бетоново покритие, неутрализация на бетона, в зоната на работни фуги, при пукнатини в бетона, в зоните с проливи на вода или в участъци с недостатъчна плътност на бетона.

Изпитването за определяне на електропотенциала между носещата армировка и повърхността на бетона се извършва в съответствие с изискванията на [13]. Въз основа на получените резултати се обосновава необходимостта от ограничаване на срока на служба (ресурса) на конструкцията и хидроизолационната система.

4.2.6. Измервания чрез променливо магнитно поле

Местоположението на армировъчните пръти се установява с цел определяне на местата на разположение на стоманобетоновите елементи на носещата конструкция на сградата. Установяването на местоположението на армировъчните пръти (надлъжни и напречни) в стоманобетонните сечения се извършва в съответствие с изискванията на [14]. Въз основа на получените резултати се оценява наличието и дебелината на реалното бетоново покритие на носещата армировка с цел недопускане на дълбочинна карбонизация на бетона и корозия. Установява се степента на армиране и на обезпечеността на конструкцията за гранично експлоатационно състояние без допускане на пукнатини от съсъхване в бетона.

4.2.7. Термографско изследване

Термографското изследване е безразрушителен метод за диагностика, който използва инфрачервена термография и специални камери за визуализиране на топлинната енергия, излъчвана от обекта. Чрез откриване на температурни аномалии методът позволява точното локализиране на проблеми като скрити течове, влага, дефекти в СИХС и др. Инфрачервената термография установява топлинната радиация (топлина), която е невидима за човешкото око. Термокамерите създават изображения, които показват температурата на повърхността на даден обект, като по-топлите области са в един цвят, а по-студените – в друг.

4.2.8. Определяне на съпротивляемостта на бетона

Безразрушителното определяне на съпротивляемостта на бетона и неговите компоненти срещу развитието на корозионните процеси в армировката и оценяването на риска от развитие на корозия се извършва в съответствие с изискванията на [15]. Измерването е извършено чрез тъй наречения четириточков метод. Границите, в които се извършва измерването, са от 0 до 99 k Ω .cm. Точността при обектови измервания е ± 1 k Ω .cm. Съпротивляемостта на бетона се определя основно от състоянието на структурата на бетона, влажността, съдържанието на различни видове соли (най-вече хлориди) и др. Ниската електрическа съпротивляемост на бетона способства за бързо развитие на корозионните процеси на повърхността на носещата армировка в стоманобетонното сечение, при което стоманата губи функционалността си във времето.

Комбинацията от методи за определяне на съпротивляемостта на бетона и измерването на електропотенциала на армировъчната стомана подобряват информацията относно условията за корозия на армировъчните пръти в резултат на проливи през пробиви в СИХС. Чрез това изпитване се установяват зони с проникване на вода в бетона и намаляване на неговото съпротивление.

4.2.9. In situ проверка на водоплътността на изпълнения бетон

Всички тези методи работят чрез корелационни зависимости между физичните свойства на бетона (като съпротивляемост, способност за разсейване на неутрони или скоростта на ултразвуковите вълни) и неговото съдържание на влага, респективно неговата водонепропускливост. Чрез измерване на тези свойства е възможно безразрушително да се оцени проникването на водата в бетона, което е от решаващо значение за прогнозиране на експлоатационна надеждност и дълготрайност на СИХС.

4.2.10. Визуални тестове за абсорбция на вода

Това е елементарен качествен безразрушителен метод за оценка на порьозността и абсорбцията на вода от бетона. Водата се поставя върху бетоновата повърхност и се определя времето на проникване в структурата на бетона. В случай че капката вода се запази върху повърхността, това е показател за плътността и водонепропускливостта на бетона.

4.2.11. Ултразвуков контрол (УТ)

Чрез ултразвуков контрол се установяват разлики в плътността на бетона и съответно порестостта на циментовия камък. Така индиректно се съди за водонепропускливостта на изпълнения бетон, както и за промените на водонепропускливостта във времето. UPV се използва за оценка на качеството на бетона и може също така да предостави информация за неговата издръжливост и потенциал за водопоглъщане.

4.2.12. Контрол на водонепропускливостта чрез георадар (GPR)

GPR може да се използва за оценка на съдържанието на влага в бетона чрез измерване на вариациите в амплитудата на отразеното електрическо поле, която зависи от степента на насищане.

4.2.13. Измерване на електрическото съпротивление на бетона (ER)

Това е широко използван неразрушителен метод, при който електроди се поставят върху повърхността на бетона, за да се измери електрическото съпротивление. По-високото електрическо съпротивление показва по-малко вода и по-непропусклив бетон. ER тестовете могат да се извършват с помощта на контактни сензори или чрез вграждане на сензори в бетона преди изливане [16].

4.2.14. Неутронна радиография

Това е полубезразрушителен метод за директно наблюдение и количествено измерване на водопоглъщането в бетона, който осигурява висока пространствена резолюция и прецизност. Тя е особено ефективна за подробни изследвания на проникването на вода във времето. Методът използва неутронен лъч за създаване на изображения на вътрешната структура на обекта, подобно на рентгеновата радиография, но с фундаментална разлика в начина, по който неутроните взаимодействат с материята. За разлика от рентгеновите лъчи, които се абсорбират предимно от тежки елементи, неутроните се отслабват от леки елементи като водород, въглерод и бор, като същевременно преминават лесно през много по-тежки материали като метали. Тази допълваща природа прави неутронната радиография мощен инструмент за визуализиране на вътрешни дефекти (като корозия или пукнатини) в стоманобетона.

Неутронната радиография се използва за безразрушителен контрол и анализ за откриване на повреди от вода в композитни структури, дефекти и др. [17].

4.2.15. Тест за водопрпускливост (абсорбция) по Figg

„Тестът на Figg“ не е стандартен тест за водопрпускливост или абсорбция, а метод за измерване на въздухопрпускливостта и водопрпускливостта на бетон и други материали. Този тест включва пробиване на отвор и нагнетяване на вода с минимално налягане. Водата абсорбира в структурата на бетона по капилярен път. Времето, необходимо за абсорбиране, се измерва в секунди като индекс на абсорбция. По-високият индекс на абсорбция съответства на бетон с по-висока водоплътност. Основното предимство на този метод на изпитване са ниска цена и простота в сравнение с други техники за изпитване. Основният недостатък на този тест е, че пробиването, дори при ниска скорост, може да доведе до образуване на микропукнатини, което може да обезсмисли целта на теста, като промени механизма на потока [18].

В резултат на проведения конструктивен мониторинг се определя разпределението на риска между клиента, проектанта, специалиста по проектиране и изпълнителя на СИХС [19 – 21].

5. Заключение

В резултат на направения анализ са обобщени комплексни изчислителни и технологични препоръки и изисквания за проектиране и изпълнение на Структурно

интегрирани хидроизолационни системи. Установени са проектни изисквания към бетона в зависимост от градиента на водния напор и експлоатационния клас на помещенията.

Предложена е класификация за определяне на Експлоатационен клас на помещенията в зависимост от предназначението, допускането на влажни петна и конденз по стените, дифузия на водни пари и проникване на вода.

Високата функционална използваемост на водоустойчива бетонна конструкция се постига чрез строително-физична концепция, незначителен обем на капиллярите в бетона, ниска дифузия на водните пари, правилно разпределение на фините пукнатини и допълнителни мерки за уплътняване на фуги, ограничаване на съсъхвателни, технологични и конструктивни пукнатини в бетона.

Структурно интегрираната хидроизолационна система изисква задълбочено планиране и внимателно изпълнение. Водоустойчиви и водоплътни конструкции могат да бъдат изпълнени само след внимателно планиране, правилен избор на уплътнителни концепции и продукти, както и професионална изработка и осигуряване на качеството на всеки детайл.

Обобщени са основни изисквания за конструктивен мониторинг на изпълнената хидроизолационна система въз основа на технически оглед, проверка на структурните характеристики на бетона и оценка на водоплътността на конструктивните елементи и фугите между тях. Обобщени са принципи за правилно анализиране на обектовите резултати и изготвяне на обективни и ефективни продължаващи действия и мерки.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Beddoe, R., Springenschmid, R.* Feuchttransport durch Bauteile, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999) H. 4, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
2. Наредба № РД-02-20-3 за техническите изисквания към енергийните характеристики на сгради.
3. BDS EN 206:2013+A2:2021/NA:2021 Concrete – Specification, performance, production and conformity – National Annex (NA).
4. DAFStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ (2017-12), Beuth Verlag, Berlin.
5. DBV-Merkblatt „Hochwertige Nutzung von Untergeschossen“, Fassung Januar 2009, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V., Berlin.
6. Erläuterungen zur WU-Richtlinie, DAFStb-Heft 555, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin 2006.
7. Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖVB) – Die Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“, Februar 2018.
8. SIA 270. Abdichtungen und Entwässerungen – Allgemeine Grundlagen und Abgrenzungen, 2014.
9. Report on Chemical Admixtures for Concrete Reported by ACI Committee 212, Chapter 15-2016.
10. BDS EN 12504-4 Testing concrete in structures – Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity.
11. BS 1881 Part 203:1986 Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.
12. BDS EN 12504-2 Testing concrete in structures – Part 2: Non-destructive testing – Determination of rebound number.
13. ASTM C876 “Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”.

14. BS 1881-Part 204:1988 Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic cover meters.

15. AASHTO Designation: T XXX-08 Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.

16. Zhishan Xu, Yongsheng Ji, Guodong Huang, Zhongzhe Zhng, Furong Gao, Qi Xue, Jie Zhang. Nondestructive monitoring and evaluation of permeability of alkali activated slag concrete based on electric resistance. Construction and Building Materials, Vol. 327, 11 April 2022, 126813.

17. Peng Zhang, Folker H. Wittmann, Tie-jun Zhao, Eberhard H. Lehmann, Peter Vontobel. Neutron radiography, a powerful method to determine time-dependent moisture distributions in concrete. Nuclear Engineering and Design, Vol. 241, Issue 12, Dec 2011, Pages 4758 – 4766.

18. Babak Mohammadi. Development of Concrete Water Absorption Testing for Quality Control. Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science (Civil Engineering) at Concordia University Montréal, Québec, Canada, Dec 2013.

19. “White Tank” – waterproof Concrete Principles and Methodology of Installation – Ading ingredient of every structure.

20. Lohmeyer, Gottfried; Ebeling, Karsten. Weiße Wannen einfach und sicher. 9. berarb. Auflage, Dusseldorf 2009.

21. Weiße Wannen – technisch und juristisch immer wieder problematisch? 11 107. Jahrgang November 2012, S. A7-A13 ISSN 0005-9900 A 1740 Sonderdruck.

MODERN TRENDS FOR THE APPLICATION OF STRUCTURALLY INTEGRATED WATERPROOFING SYSTEMS

B. Petrov¹

Keywords: *structurally integrated waterproofing system, watertight concrete, structural monitoring, follow-up measures*

ABSTRACT

The paper summarizes the basic requirements and possibilities for the implementation of structurally integrated waterproofing systems (SIHS). Based on a critical analysis of experimental results, the essential requirements for the classification of premises, determination of the composition of concrete, selection of sealing additives, treatment of joints and cracks, etc. are summarized. A methodology for the design of this type of waterproofing systems in the implementation of buildings and facilities in our country is presented. Requirements for monitoring the implemented SIHS and determining the need for follow-up measures are presented.

¹ Bogomil Petrov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Building Materials and Insulation”, UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: BWP_FCE@uacg.bg