

ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Факс 560, 1001 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanskiodredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
North Macedonia

MM - 12



mase@gf.ukim.edu.mk
<http://mase.gf.ukim.edu.mk>

ВРСКА ПОМЕЃУ БЕТОНИ СО РАЗЛИЧНИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Никола УЗУНОВ¹, Горан МАРКОВСКИ²

АПСТРАКТ

Тема на трудот е анализа на резултатите од извршени споредбени испитувања на конструктивната врска која се остварува помеѓу два бетона при санација. Испитувањата се вршени според две методи, во согласност со соодветните европски стандарди:

- EN12636 Одредување на Адхезијата на свеж бетон со стврднат бетон, “Pull-Off” тест, (*Determination of adhesion concrete to concrete Adhesively bonded dollies method*)
- EN12615 Одредување на Аголната јакост на смолкнување (*Determination of slant shear strength*) на врската на свеж бетон со стврднат бетон

Во рамките на истражувањето, извршено е испитување на влијанието на перформансите на бетонот, типот на врзното средство и изложеноста на бетонот и двослојниот (саниран) систем на дејство на карбонизација и на мраз.

Притоа, искористени се повеќе типови на бетон со различни јакосни карактеристики (со јакост на притисок од 10МПа до 70МПа), какви што можат да се сретнат во реалните конструкции кои се предмет на санација.

Земајќи во предвид дека една од основните причини за деградација на бетонските и АБ конструкции е изложеноста на дејство на интензивна карбонизација и циклуси на срзнување/размрзнување, извршено е испитување на влијанието на ваквата изложеност на врската стар-нов бетон, како и на влијанието кое изложеноста на мраз и карбонизација ќе го има на санираната конструкција во текот на идната експлоатација.

Сите испитувања се извршени во три серии, при што се применети различни врзни средства – на база на цемент и полимер (Репаратур Пенетрат), на база на епоксидни смоли (Адингпокс-Н) и референтен бетон (Еталон) изработен без примена на врзно средство.

Целта на извршените испитувања е да се продлабочат реалните познавања од оваа материја и да се олесни изборот на материјали и рашенија при вршење на идните санации.

Клучни зборови: Бетон, Адхезија, Европски норми EN1504, Санација, Карбонизација

¹ М-р. Градежен инженер, АДИНГ АД - Скопје, Република Северна Македонија, uzunov@ading.com.mk

² Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св.Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, markovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Бетонот е економичен и достапен еколошки градежен материјал, што придонесува да биде најшироко распространет градежен материјал на светот. Бетонот и Армираниот бетон се применуваат за градење на објекти на сите континенти, во секоја климатска зона, за изведба на инженерски и хидротехнички објекти, построенија во секоја индустрија, подземни конструкции, пристаништа, нафтени платформи и други конструкции во и покрај морињата. Вакваиот широк спектар на примена ги прави различните бетонски и АБ-конструкции изложени на агресии предизвикани од физичко-механички влијанија, атмосферски влијанија, хемиска контаминација и др.

Изложеноста на бетонските конструкции (особено доколку истите не се правилно проектирани, коректно изведени и соодветно заштитени) неизбежно доведува до постепено деградација на бетонот, губење на функционалноста на објектот, и ултимативно до нарушување на стабилноста на конструкцијата. Кај ваквите објекти неопходно е да се изврши санација.

За успешна санација може да се смета онаа санација при која во потполност е вратена функционалноста на објектот и спречено е понатамошно деградација на конструкцијата. Во многу случаи ваквата цел не е возможно да се постигне без да се изврши дополнително зајакнување на конструкцијата – да се надокнади делот од изгубената носивост поради настанатите оштетувања.

Целта на извршените иситувања презентирани овој труд е да даде придонес кон проширување на фондот на практични знаења кои можат да најдат примена при проектирање и вршење на санации. Предмет на истражување е конструктивната врска помеѓу бетоните со различна старост, која често наоѓа примена при санациите. За остварување на таа цел извршена е серија на лабораториски испитувања и анализирани се повеќе примери на врски помеѓу стар и нов бетон, остварени со користење на различни типови на материјали за врска, како и различни класи на бетон.

2. МАТЕРИЈАЛИ И СИСТЕМИ ЗА КОНСТРУКТИВНА САНАЦИЈА

Материјалите и системите за конструктивна и неконструктивна санација се дефинирани во Европскиот стандард EN1504-3, и истите се применуваат кај следните принципи на санација:

Принцип 3: Репарација на бетонот /concrete restoration/

Ги вклучува следните методи:

- Рачно нанесување малтер
- Репрофилирање со бетон
- Прскање малтер или бетон (*Shotcrete*)

Принципот 4: Конструктивно зајакнување /structural strengthening/

Ги вклучува следните методи:

- Додавање на бетон или малтер

Принципот 7: Сочувување или враќање на пасивноста /preserving or restoring passivity/

Ги вклучува следните методи:

- Зголемување на заштитниот слој над арматурата со малтер или бетон
- Замена на деградиран бетон

Со цел наведените принципи и методи да се спроведат успешно, потребно е применетите материјали за санација и зајакнување да бидат со соодветни перформанси за постигнување на бараната цел – јакост на притисок, модул на еластичност, волуменска стабилност, компензирано собирање/експанзија, отпорност на карбонизација, термичка компатибилност, капиларна апсорпција и водонепропусност.

Исто така, неопходно е врската помеѓу постоечкиот бетон кој се санира и новиот репаратурен бетон за санација и зајакнување да биде со соодветни јакосни карактеристики кои ќе овозможат структурно поврзување – спрегање на двата материјала.

Причина е тоа што композитните бетонски елементи составени од бетонски елемент како основа и конструктивно врзан нов бетонски слој преку неа, имат значајно повисока носивост и крутост во споредба со двослоен бетонски елемент составен од неврзани слоеви.

Покрај наведената причина – обезбедување на монолитно однесување на двата слоја на бетон, соодветна конструктивна врска помеѓу слоевите на бетонот е задолжителна со цел да се обезбеди контрола на појавата на пукнатини во горниот слој на бетонот и со тоа да се спречи продор на вода и штетни субстанции во контактната зона помеѓу двата бетона.

3. ВРСКА ПОМЕЃУ БЕТОНИ СО РАЗЛИЧНИ КАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ КОНСТРУКТИВНА САНАЦИЈА

Постигнувањето на трајна конструктивна врска помеѓу слоевите на бетон при санации е комплексна задача која зависи од повеќе фактори меѓу кои се издвојуваат

- Перформансите и состојбата на бетонската подлога – бетонот да биде со соодветни јакосни карактеристики, без сегрегации и микропрснатини, подлогата да биде здрава и без лабилни делови или цементно млеко, да биде чиста, водозаситена, рапава
- Својствата на новиот бетон - новиот слој на бетон да биде правилно вграден, со високи јакосни карактеристики, правилно негуван во долг временски период
- Примена на средства за врска
- Типот на оптоварување на конструкцијата - Приуство на циклично повторувано товарење (пр. Сообраќај во рана фаза по вградување на бетонот)
- Изложеноста на конструкцијата на надворешни влијанија во текот на експлоатацијата

Со цел да се утврди влијанието на наведените фактори на трајноста на врска Стар-Нов бетон, извршивме серија на лабораторијски испитувања со примена на бетон со различни перформанси и различни врзни средства. Испитувањата беа извршени во лабораторијата на Адинг Скопје, со примена на Европскиот Стандард EN 1504-4 кој ги дефинира барањата за перформанси на материјалите наменети за остварување на конструктивна врска.

- EN12636 Одредување на атхезијата на свеж бетон со стврднат бетон, “Pull-Off” тест, (*Determination of adhesion concrete to concrete, Adhesively bonded dollies method*)
- EN12615 Одредување на аголната јакост на смолкнување (*Determination of slant shear strength*) на врска на свеж бетон со стврднат бетон

3.1. Експериментално испитување на влијанието на перформансите на старата бетонска подлога, како и на врзното средство на врска Стар-Нов бетон

Во првиот дел на истражувањето, со примена на методата EN12636 - “Pull-Off” тест, испитани се следните типови на конструктивната врска на стар со нов бетон:

1. Бетон со екстремно ниска јакост <10 МПа со деградирана површина
2. “Стандарден” бетон C30/37 со неподготвена површина
3. “Стандарден” бетон C30/37 со подготвена - орапавена површина
4. Високо вреден SCC бетон со марка повисока од >60 МПа со мазна-лиена површина
5. “Стандарден” бетон C25/30 со неприпемена површина
6. “Стандарден” бетон C25/30 третиран на 50 циклуси мраз-соли со деградирана површина

На секоја од наведените подлоги извршени се по 3 испитувања со употреба на различни врзни средства:

1. Еталон - без врзно средство (само бетон – бетон).
2. Со користење на материјал за врска стар-нов бетон на база на цемент и полимери (Репаратур Пенетрат)
3. Со користење на материјал за врска стар-нов бетон на база на епоксидни смоли (Адингпокс-Н)

Бетонските тела на кои се вршени испитувањата се со димензии 30x30 cm, со дебелина на бетонот во првиот слој ~7cm и за вториот слој ~3cm. Од ваквиот дво-слоен бетонски систем се вадат бетонски јадра на кои се испитува атхезијата со “Pull-Off” тест. Од секоја серија, испитани се по 4 јадра (4 керна $\Phi 50\text{mm}$ - $A=19,625\text{cm}^2$).

Испитувањата се извршени во Централна Лабораторија Адинг – Скопје.



Сл. 1. Подготовка на пробните тела и вршење на испитувањата

3.2. Експериментално испитување на влијанието на врзното средство на врската Стар-Нов бетон преку определување на аголната јакост на смолкнување

Во вториот дел на истражувањето, со примена на методата EN12615 Одредување на аголната јакост на смолкнување (*Determination of slant shear strength*), извршено е споредбено испитување на врска стар-нов бетон остварена со користење на различни типови врзиво:

- Без материјал за врска (само бетон – бетон).
- Со користење на материјал за врска на база на цемент и полимери
- Со користење на материјал за врска на база на епоксидни смоли

Испитувањата се извршени на бетон со класа C30/37, 3-фракциски, со максимална гранулација $D_{\text{max}}=16\text{mm}$. За секое испитување изработени се по три пробни тела – призми со димензии 100x100x400mm, кои се третирали 28 дена во согласност со барањата на стандардот EN1766. Потоа истите се пресечени под агол од 60° и површината е измиена со вода и челична чека. Пред нанесување на врзното средство, бетонската подлога на контактот е заситен со вода.

Новиот бетон е од истата класа C30/37, 3-фракциски, $D_{\text{max}}=16\text{mm}$. Бетонот се вградува на свежо врзно средство, во рамките на “отвореното” време за работа на материјалот (врзното средство).

Притоа, добиените резултати покажуваат дека кај пробните тела е постигната конструктивна врска, односно напрегањата потребни за да се предизвика лом во бетонот се соодветни на напрегањата при кои би дошло до лом во бетонскиот елемент кога истиот би бил изведен монолитано. Кај сите пробни тела дел од површината по која настанува лом минува низ структурата на бетонот (кај некои од испитаните призми лом настанува 100% во бетонот).

Испитувањата се извршени во соработка со Лабораторијата за бетон, ГП Гранит – Скопје.

Табела 1. Одредување на аголната јакост на смолкнување
проба 1, еталон – без врзно средство

Стар Бетон	Подлога /контактна површина/	Нов Бетон	Врзно средство
C30/37 3-фракциски, Dmax=16mm	Заситена со вода	C30/37 3-фракциски, Dmax=16mm	Без В.С.
Испитување на аголната јакост на смолкнување			
Тип на лом	Сила на притисок при лом (kN)	Аголна јакост на смолкнување (MPa)	
Тип А: Лом на бетонската основа	394,1	17,04	



Табела 2. Проба 2, полимер-цементно врзно средство - репаратур пенетрат

Стар Бетон	Подлога /контактна површина/	Нов Бетон	Врзно средство
C30/37 3-фракциски, D _{max} =16mm	Заситена со вода	C30/37 3-фракциски, D _{max} =16mm	Полимер-цементно врзно средство, НБ вграден на свеж прајмер
Испитување на аголната јакост на смолкнување			
Број на Проба	Тип на лом	Сила на притисок при лом (kN)	Аголна јакост на смолкнување (MPa)
1	Тип А: Тип В = 20:80 Лом на бетонската основа : Прекин на атхезијата на една контактни површии	328,3	14,2
			

Табела 3. Проба 3, епоксидно врзно средство - адингпокс-н

Стар Бетон	Подлога /контактна	Нов Бетон	Врзно средство
------------	-----------------------	-----------	-------------------

	површина/		
C30/37 3-фракциски, D _{max} =16mm	Заситена со вода	C30/37 3-фракциски, D _{max} =16mm	Епоксидно врзно средство, НБ вграден на свеж прајмер
Испитување на аголната јакост на смолкнување			
Број на Проба	Тип на лом	Сила на притисок при лом (kN)	Аголна јакост на смолкнување (MPa)
2	Тип А: Тип С = 30:70 Лом на бетонската основа : Лом на ВС	351,8	15,21
			

3.3. Експериментално испитување на влијанието на изложеноста на старата бетонска подлога, како и на санираниот систем на карбонизација и дејство на мраз

Како што беше презентирано во воведното поглавје, конструктивно врзување помеѓу материјалите најчесто се применува при санација и зајакнување на оштетени или деградирани армиранобетонски конструкции. Поради својот карактер и висок степен на изложеност, бетонските конструкции во современите урбани средини, како и објектите од патната инфраструктура (мостови, тунели, вијадукти, потпорни сидови и сл.) се чест предмет на санации и зајакнување.

Со цел да се утврди на кој начин ваквата состојба во која се наоѓа конструкцијата влијае на врската на материјалите при санација, како и да се утврди влијанието на изложеноста на санираната конструкција во текот на понатамошната експлоатација, извршени се дополнителни испитувања на “саниран” бетон изложен на карбонизација и дејство на мраз.

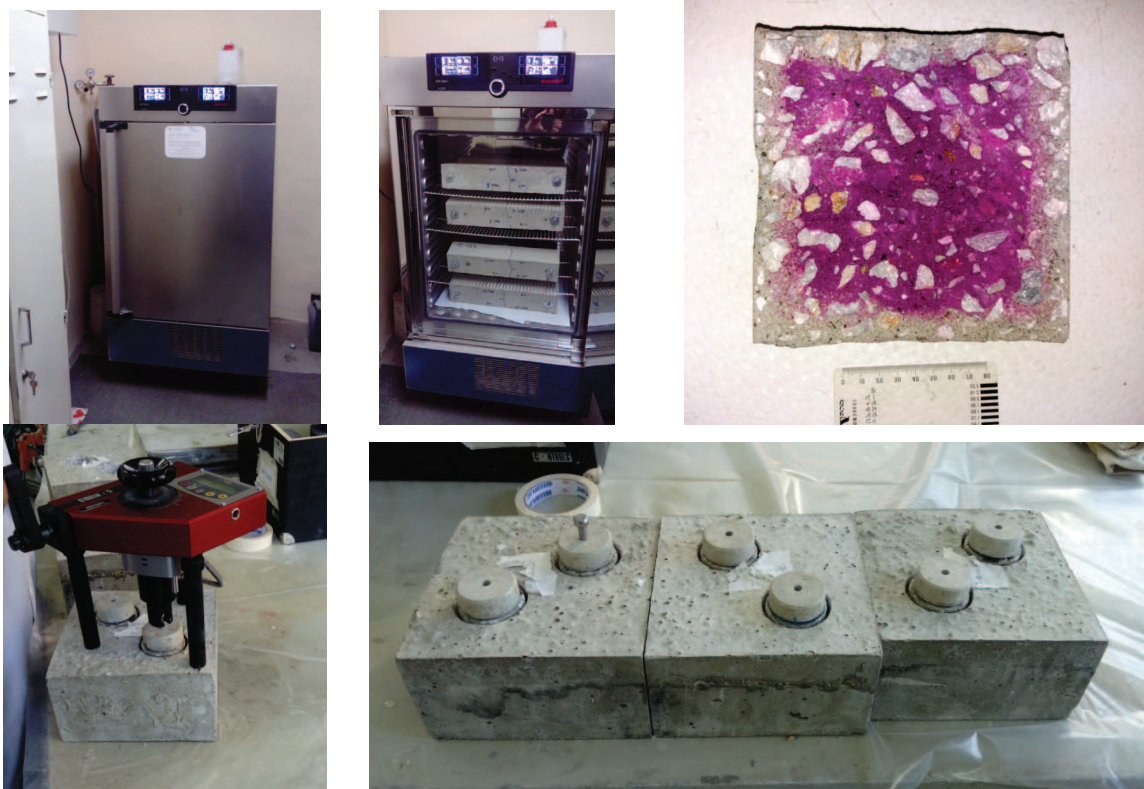
Извршените испитувања може да се поделат во две групи

- Влијание на изложеноста на подлогата на карбонизација
- Влијание на изложеноста на санираниот систем на дејство на карбонизација и дејство на мраз

Притоа, ботонот кој е користен како подлога не е со високи перформанси (истиот е со марка МБ30, 3-фракциски, D_{max}=16mm, произведен со релативно ниска количина на цемент <350 kg/m³ и без користење на адитиви), со цел да се симулира по-неповолна ситуација која често се јавува во пракса.

Бетонот кој е користен за изведба на вториот слој е со слични перформанси, (3-фракциски, D_{max}=16mm, со класа на јакост C25/30, количина на цемент СЕМ II Усје, <350 kg/m³, произведен без користење на адитиви). Целта на користење на ваков тип бетон (со ниска отпорност на продор на вода и агресивни материји), е да се максимизира неповлоното влијание на изложеноста на санираниот систем.

Исто така, користени се различни типови на врзни средства за постигнување на врката помеѓу бетоните, како и кај референтни примероци на бетони излиени без употреба на врзно средство. Испитувањата на забрзана карбонизација и изложеност на бетонот и санираниот дво-слоен систем на замрзнување/одмрзнување, извршени се во Лабораторијата за бетон при Градежниот Факултет од Белград



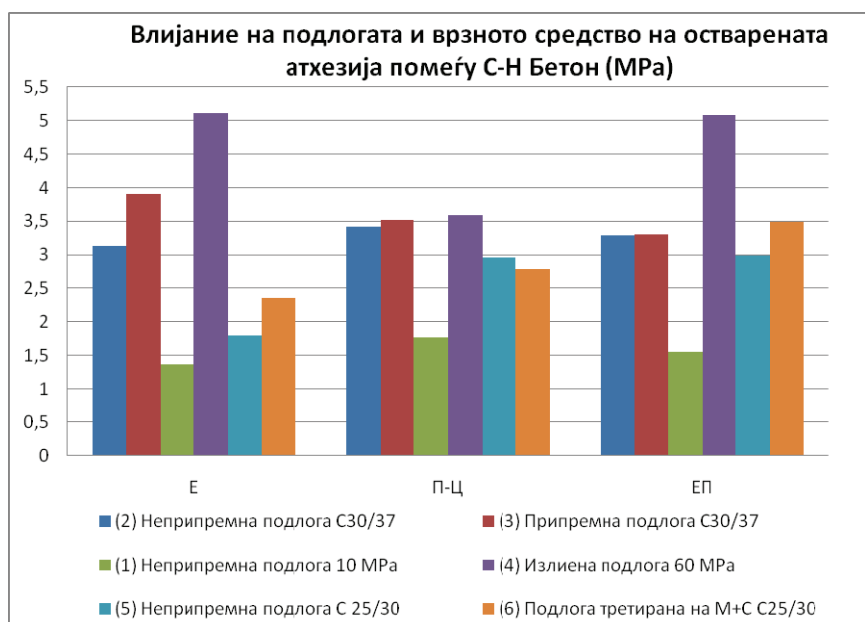
Сл. 2 Изложеност на на пробните тела на забрзана карбонизација и замрзнување/одмрзнување вршење на испитувањата

4. АНАЛИЗА НА ДОБИЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Сумарно, при извршените испитувања на врската Стар-Нов бетон, со примена на методата EN12636 - "Pull-Off" тест, кај различни типови на бетонски подлоги и со примена на различни типови на врзни средства, добиени се следните резултати:

Стар Бетон	Подлога /контактна површина/	Нов Бетон	Врзно средство	Тип на лом	Сила на зат. при лом (kN)	Јакост на Атхезија (MPa)
СЕРИЈА 1						
10 Мра	Неподготвена Заситена со вода	C30/37	Без ВС	Стар Бетон	2,69	1,37
			Пол-цем ВС	В.С : С. Б = 40 : 60 %	3,53	1,77
			Епоксидно ВС	Стар Бетон	3,592	1,56
СЕРИЈА 2						
C30/37	Неподготвена Заситена со вода	C30/37	Без ВС	Лом на С.Б.	6,12	3, 13
			Пол-цем ВС	Лом на С.Б.	6,71	3, 42
			Епоксидно ВС	Лом делумно бетон, делумно епоксид	6,53	3,29
СЕРИЈА 3						
C30/37	Исчистена и орапавена со	C30/37	Без ВС	Лом на С.Б.	7,75	3,91
			Пол-цем ВС	Лом на С.Б	7,00	3,53

	челична четка и бормашина Заситена со вода		Епоксидно BC	Лом С.Б.	6,57	3,31
СЕРИЈА 4						
60MPa	Мазна, излиена, неподготвена Заситена со вода	70MPa	Без BC	Лом на С.Б.	10,12	5,11
			Пол-цем BC	Лом на В.С.	/	~4,0
			Епоксидно BC	Лом на С.Б.	9.95	5,09
СЕРИЈА 5						
C25/30	Неподготвена Заситена со вода	2-фракц. C25/30	Без BC	Лом врска СБ-Н.Б (цем. млеко)	3,58	1, 8
			Пол-цем BC	Н.Б -Папуча	5,88	2,96
			Епоксидно BC	Лом врска СБ-В.С (цем. млеко)	5,94	3,0
СЕРИЈА 6						
C25/30	Третирана на мраз и соли неподготвена Заситена со вода	2-фракц. C25/30	Без BC	Лом врска СБ-Н.Б (цем. млеко)	4,7	2,37
			Пол-цем BC	Лом врска СБ-В.С (цем. млеко)	5,54	2,8
			Епоксидно BC		6.92	3.49



Легенда:

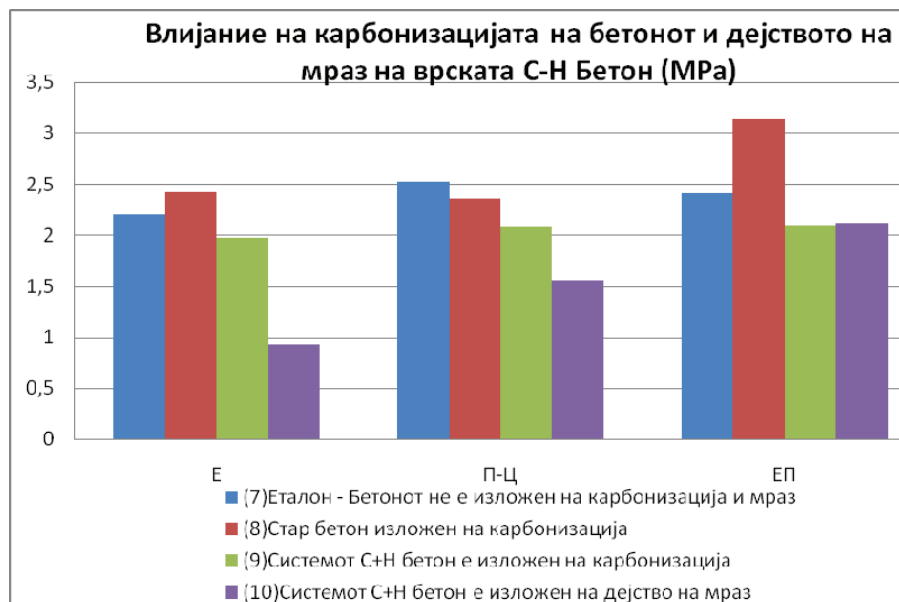
“Е” – ЕТАЛОН (без врзно средство)

“П-Ц” – Полимер-цементно врзно средство

“ЕП” – Епоксидно врзно средство

При испитувањето на влијанието на изложеноста на врска Стар-Нов бетон на карбонизација и замрзнување/одмрзнување, со примена на различни типови на врзни средства, добиени се следните резултати:

Стар Бетон	Подлога /контактна површина/	Нов Бетон	Врзно средство	Тип на лом	Сила на зат. при лом (kN)	Јакост на Атхезија (MPa)
СЕРИЈА 7						
3- фракц. C25/30	Неподготвена Системот С-Н бетон не е изложен	3- фракц. C25/30	Без ВС	Врска С.Б : Н. Б	4,378	2,20
			Пол-цем ВС	Врска С.Б : В. С	5,015	2,52
			Епоксидно ВС	Врска С.Б : В. С	4,799	2,41
СЕРИЈА 8						
3- фракц. C25/30	Карбонизирана, Неподготвена	3- фракц. C25/30	Без ВС	Врска С.Б : Н. Б	4,806	2,42
			Пол-цем ВС	Врска С.Б : В. С	4,69	2,36
			Епоксидно ВС	Н.Б. : Папуча	6,222	3,14
СЕРИЈА 9						
3- фракц. C25/30	Неподготвена Системот С-Н бетон е изложен на карбонизација	3- фракц. C25/30	Без ВС	Врска С.Б : Н. Б	3,916	1,97
			Пол-цем ВС	Врска С.Б : В. С	4,144	2,08
			Епоксидно ВС	Врска С.Б : В. С	4,21	2,1
СЕРИЈА 10						
3-фракц. C25/30	Неподготвена Системот С-Н бетон е изложен на мраз	3- фракц. C25/30	Без ВС	Врска С.Б : Н. Б	1,831	0,92
			Пол-цем ВС	Врска С.Б : В. С	3,104	1,56
			Епоксидно ВС	Врска С.Б : В. С	4,211	2,12



Легенда:

“Е” – ЕТАЛОН (без врзно средство)

“П-Ц” – Полимер-цементно врзно средство

“ЕП” – Епоксидно врзно средство

5. ЗАКЛУЧОК

1. Кога се работи за конструктивно врзување на бетони со високи јакосни карактеристики (со класа C30/37 или повисока), до лом доаѓа при достигнување на ултимативната јакост на бетонот на затегнување (помеѓу 3-5 МПа), односно до лом доаѓа во структурата на бетонот и без примена на специјализирани врзни средства.
2. Во случаите кога бетонската подлога која се санира има пониски јакосни карактеристики (до 30МПа), дегадирана површина, хемиски контаминирана или претходно изложена на влијание на мраз и/или соли, вообичаено до лом доаѓа на контактот помеѓу бетоните или помеѓу врзното средство и стариот (послабиот) бетон. Во овие случаи, за остварување на подобра и потрајна конструктивна врска препорачливо е користење на полимерни врзни средства. Во зависност од јакоста на бетонот, до лом доаѓа при напрегања од 1,5-2,5 МПа кога врзно средство не се применува, односно при напрегање 2,5-3,5 МПа кога се применува.
3. Карбонизацијата на стариот бетонот нема влијание на врската со ново вграден бетон за санација.
4. Изложеноста на карбонизација на системот стар-нов бетон исто така нема значајно влијание на остварената врска помеѓу бетоните.
5. Изложеноста на системот стар-нов бетон на дејство на мраз има големо (негативно) влијание на врската помеѓу бетоните. Во тие случаи, значајно подобри резултати се добиваат при користење на полимерни врзни средства, особено средства на база на епоксидни смоли.
6. Светските истражувања и искуствата од праксата, покажуваат дека истото се однесува и на врска помеѓу елементи кои се изложени на циклични и динамични оптоварувања. Врската остварена со користење на полимерни реактивни врзиви се покажува како далеку потрајна во случај на изложеност на ваквов тип оптеретувања.
7. Практичните искуства на санација на поголеми бетонски површини кај реални конструкции (коловозни плочи кај мостовите или индустриски подови) укажуваат на важноста на димензиите на бетонскиот елемент кој се санира, начинот на вградување и негов на новиот бетон. Кај ваквите конструкции подобри резултати во поглед на трајноста на врската се добиваат со примена на полимерни врзни средства. Новиот бетон мора веднаш по вградувањето да се заштити од директна изложеност на сонце и ветер, постојано да се негува со вода, а поголемите површини да се поделат на полиња со работни фуги.

РЕФЕРЕНЦИ

- [1] М-р Никола Узунов Врска помеѓу бетони со различни карактеристики, Магистерски труд, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ Градежен факултет – Скопје
- [2] Prof. Johan Silfwerbrand, Bonded Concrete Overlays, Concrete International Magazine
- [3] European Standard EN12636 Determination of adhesion concrete to concrete - “Pull-Off” test, (Adhesively bonded dollies method).
- [4] European Standard EN12615 Determination of slant shear strength
- [5] EN 1504-3, Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 3: Structural and non-structural repair
- [6] EN 1504-4, Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 4: Structural bonding