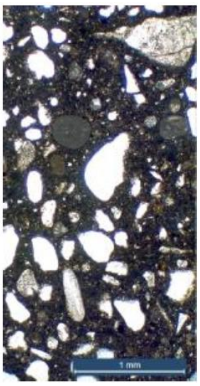


Rapporto di Prova

Valutazione delle Proprietà di Self-Healing (auto-cicatrizzazione) del Penetron Admix

Aprile 2019

RAA11316A_01

IMM
Istituto Meccanica dei Materiali SA
Via al Molino 55 - 6916 Grancia - Switzerland
T +41 91 994 83 41 E-mail imm@imm.ch
F +41 91 994 85 30 Web www.imm.ch

Costruzione del Collegamento Marittimo di Versova Bandra (VSBL)

Project and Engineering Procurement and Construction

Test sui Parametri di Durabilità di provini: Valutazione delle proprietà di Self-Healing del Penetron Admix

Aprile 2019

RELIANCE-ASTALDI JV

EPC Division
2nd Floor, Reliance Centre,
Off. Western Express Highway,
Santacruz (E)
Mumbai – 400 055

Istituto Meccanica dei Materiali SA – Via al Molino 55, 6916 Grancia (Switzerland)
imm@imm.ch - Tel: +41 91 994 83 41 – www.imm.ch

Codice e numero di revisione

ID	Prepared by	Client No	Job No	Progres-sive	Revision-Sta-tus	Date	Checked by	Digitally Signed
RAA	MDT	11316	-	A	00	April, 3 2019	--	
					01	April, 4 2019		

Questo documento è rilasciato per il committente e per scopi specifici connessi solo al progetto sopra menzionato. Non dovrebbe essere citato da alcuna altra parte o utilizzato per altri scopi. Non ci assumiamo alcuna responsabilità per le conseguenze derivanti dalla citazione di questo documento da altra parte o dall'utilizzo per altri scopi o perché contenente qualsiasi errore o omissione dovuto a un errore o omissione nei dati forniti da altre parti. Questo documento contiene informazioni riservate ed è di proprietà intellettuale proprietaria. Non dovrebbe essere mostrato ad altre parti senza il consenso da parte nostra e del committente.

Indice

1. Panoramica 5

1.1 Background 5

2. Risultati 7

2.1 Self-Healing 7

2.2. Osservazioni al microscopio 10

1. Panoramica

1.1 Background

IMM SA - un laboratorio di prove e materiali accreditati ISO / CEI 17025 con sede in Svizzera nel campo della tecnologia dei materiali - è stato nominato da Reliance-Astaldi JV (di seguito "cliente") per effettuare un'analisi comparativa tra le proprietà del calcestruzzo di self-healing (auto-cicatrizzazione) con e senza Penetron Admix.

Tre provini senza Penetron Admix e tre provini con lo stesso mix design del calcestruzzo con Penetron Admix sono stati catalogati ed identificati con le lettere RAJV/VBSL/QA/2019/009 e datati dal cliente il 7 febbraio 2019 (foto 1, 2).

Photo 1

Photo 2.

Il mix di riferimento 443 è il cls senza Penetron Admix, mentre il mix di riferimento 444 è lo stesso mix design del cls con Penetron Admix (vedere annesso 1 per i mix design).

Il cliente ha richiesto un campione di calcestruzzo senza Penetron Admix e due campioni di calcestruzzo con Penetron Admix, da sottoporre a un test di self-healing.

Le modalità di effettuazione della prova sono descritte sotto:

- Rottura del provino a metà, utilizzando la tecnica a trazione indiretta per creare una crepa artificiale;
- Bloccaggio delle due estremità, per assicurare una ampiezza della fessura di 0,50 mm, misurata per mezzo di una lastra di riferimento di acciaio dello spessore di 0,50 mm sulla faccia esposta al flusso dell'acqua;
- Sigillatura delle facce laterali dei campioni lungo la crepa indotta artificialmente per evitare perdite laterali, forzando, invece, tutta l'acqua attraverso la parete dove vi è la fessura;
- Posizionamento di un matraccio di plastica cilindrico graduato, in modo che la fessura si trovi approssimativamente lungo il diametro del matraccio stesso;
- Sigillatura del fondo aperto del matraccio sulla faccia del cubetto, utilizzando del silicio per evitare perdite d'acqua durante la prova;
- Applicazione di 0,04 bar di pressione (1,0 litri volume e 0,4 m di altezza), riempiendo periodicamente il matraccio cilindrico e misurazione del tempo necessario per riempirlo (simulazione di un ciclo asciutto/bagnato);
- Termine del test quando il flusso attraverso la fessura diventa trascurabile;
- Alla fine del test, nuova separazione dei provini a metà;

- Osservazione delle metà dei provini trattati con Penetron Admix e della formazione di sottoprodotti responsabili del self-healing.

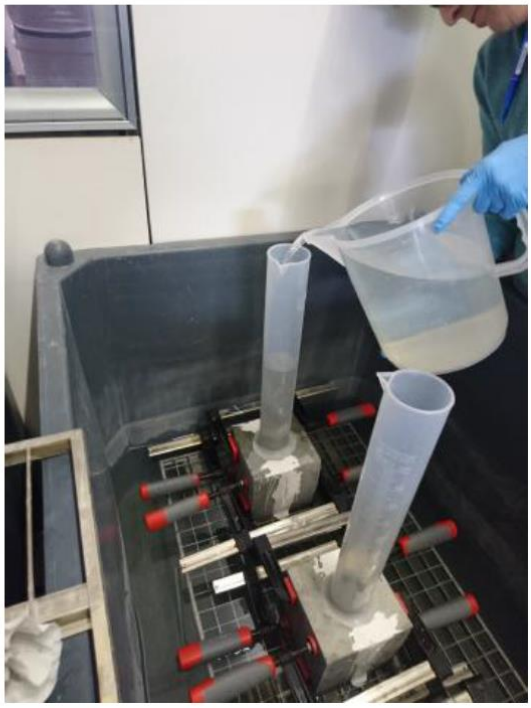
Le foto da 3 a 6 mostrano le modalità generali di esecuzione della prova.

Photo 3.
Cube splitting

Photo 4.
Cracked cube

Photo 5.
Clamping and sealing

Photo 6.
Filling of flasks



2. Risultati

2.1 Self-Healing

La tabella 2.1 riporta il tempo richiesto per riempire 1,0 litri volume di acqua nel matraccio del provino di rifermento senza Penetron Admix (443) e per i due provini con Penetron Admix (444-1, 444-2), mentre la figura 2.1 riporta il decadimento del flusso nel tempo per i mix di riferimento 443 e 444.

Sono state eseguite le letture ogni 2 ore di una giornata lavorativa (quattro volte in otto ore). Il tempo necessario per raggiungere la cicatrizzazione della fessura dipende, naturalmente, dalla quantità di umidità applicata, e può risultare sensibilmente inferiore quando le pareti della fessura siano semipermanentemente a contatto con l'acqua.

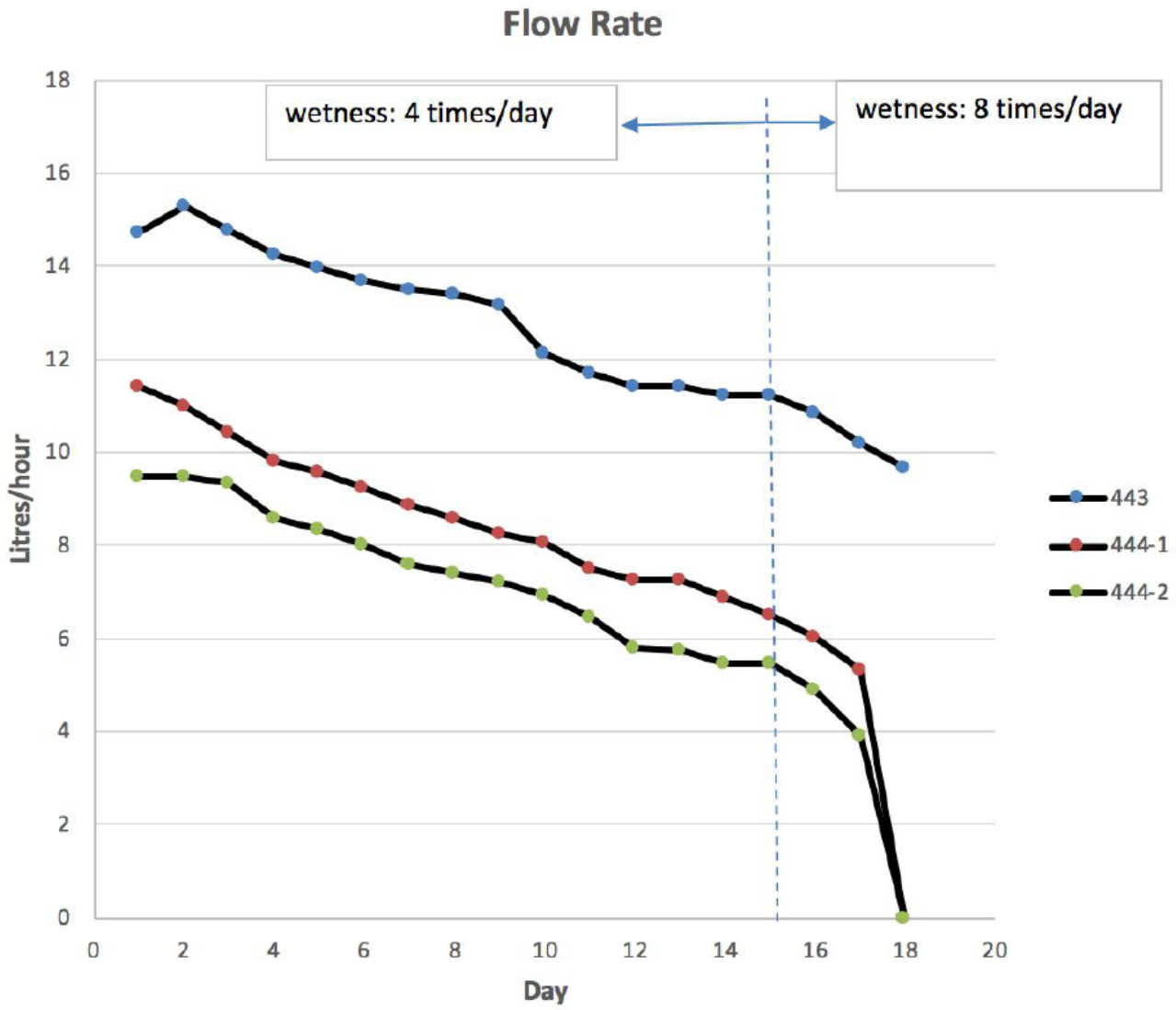
Nella figura 2.1 è evidente come, quando l'esposizione all'umidità è stata aumentata da 4 volte a 8 volte al giorno nel 15° giorno, siano aumentate drasticamente le capacità di self-healing del mix di riferimento 444, che ha ridotto bruscamente il flusso, sino a raggiungere "flusso zero" nei 3 giorni successivi (giorno 18).

Nella figura 2.1, ogni "giorno" (day), dunque, si riferisce alla media di quattro letture per giornata (8 ore), con differente esposizione all'umidità (4 volte al giorno prima del giorno 15 e 8 volte al giorno dopo il giorno 15).

Table 2.1: Readings from the self-healing test

	Time to empty 1.0 liter @ 0.04 bar pressure: min.secs											
Day	**443**				**444-1**				**444-2**			
1	4.07	4.13	4.08	4.03	5.18	5.25	5.25	5.33	6.24	6.35	6.45	6.29
2	4.07	3.55	4.00	4.07	6.01	5.06	5.24	5.47	6.33	6.29	6.21	6.44
3	4.00	4.01	4.11	4.12	5.46	5.50	6.00	6.02	6.20	6.40	6.56	6.57
4	4.16	4.16	4.31	4.19	6.07	6.04	6.25	6.10	6.50	7.02	7.27	7.08
5	4.28	4.30	4.24	4.33	6.26	6.22	6.24	6.35	7.09	7.18	7.17	7.31
6	4.34	4.42	4.35	4.39	6.43	6.43	6.53	6.58	7.35	7.50	7.48	7.59
7	4.34	4.47	4.48	4.50	6.36	6.56	7.07	7.13	7.33	8.01	8.07	8.10
8	4.48	4.48	4.5	4.47	6.57	7.13	7.10	7.09	8.07	8.15	8.10	8.11
9	4.53	4.55	4.53	4.59	7.18	7.15	7.31	7.48	8.11	8.15	8.41	8.47
10	4.58	5.05	5.07	5.06	7.32	7.48	7.50	7.45	8.42	9.00	8.57	8.59
11	5.07	5.09	5.14	5.17	8.00	8.02	8.03	8.00	9.17	9.13	9.42	9.39
12	5.18	5.25	5.24	5.31	8.20	8.31	8.33	8.26	10.15	10.20	10.50	10.38
13	5.20	5.25	5.28	5.30	7.58	8.03	9.02	8.45	10.34	10.41	10.48	10.39
14	5.31	5.36	5.33	5.40	8.43	8.35	9.09	9.05	10.56	10.51	11.48	11.37
15	5.29	5.38	5.30	5.40	9.06	9.34	9.27	9.25	10.51	11.01	11.10	11.15
16	5.49	5.50	5.53	5.58	9.17	10.05	10.31	10.28	11.30	12.47	12.50	12.52
17	5.49	5.58	6.25	6.20	10.35	11.47	11.55	11.59	12.47	16.33	16.40	16.31
18	6.21	6.17	6.20	6.22	***ZERO FLOW***				***ZERO FLOW***			

Figure 2.1.



Nota. I risultati dimostrano la capacità di self-healing del calcestruzzo con Penetron Admix per una fessura di ampiezza (media) documentata fino a 0,5 mm* rispetto allo stesso mix design del calcestruzzo senza Penetron Admix. Il tempo necessario in questa campagna di prova per raggiungere la condizione "zero flusso" dipende, per una certa ampiezza della fessura, solo dalla quantità di acqua fornita al sistema.

* Definizione di ampiezza della fessura: larghezza media misurata sulla superficie esposta all'ingresso di fluidi.

2.2 Osservazioni al microscopio

È stato utilizzato un microscopio ottico Keyence, che può ingrandire fino a 1000X, con luce riflessa, per osservare la superficie dei campioni con Penetron Admix, dopo aver raggiunto la condizione di “flusso zero”.

Nelle foto da 7 a 10 sono riportati i micrografi dettagliati a diversi ingrandimenti.

Photo 7.

Photo 8.

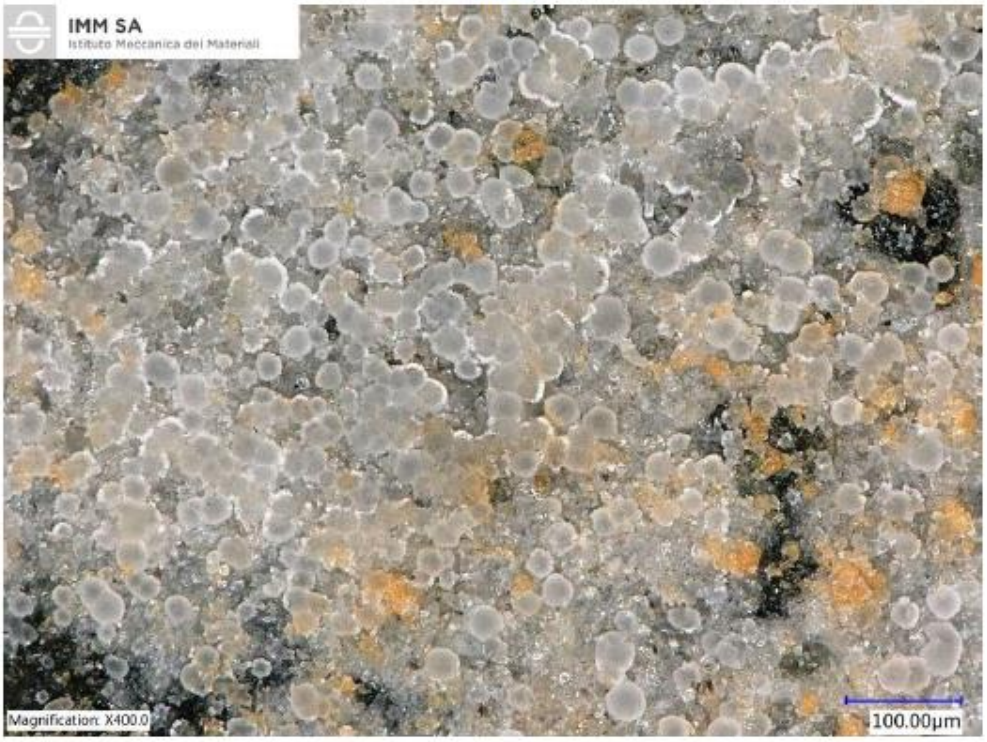


Photo 9.

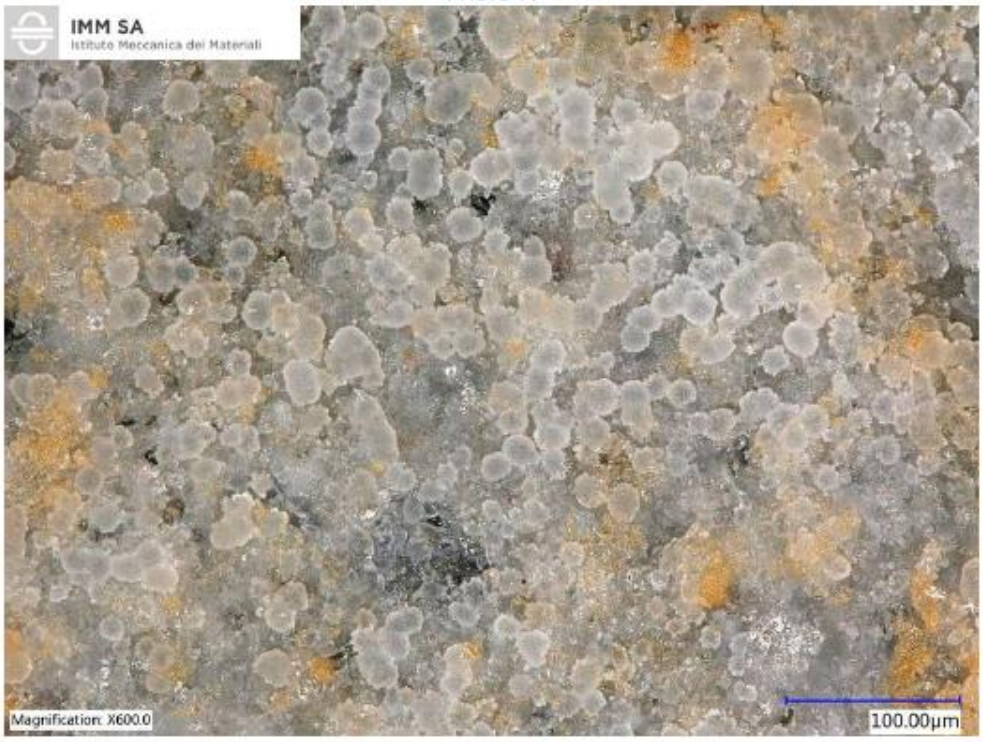


Photo 10.

Nota. Le osservazioni eseguite al microscopio sulle facce fessurate dei campioni contenenti Penetron Admix, dopo aver separato i campioni una volta raggiunto il "flusso zero", mostrano la formazione di un denso strato di "grappoli" di cristalli acicolari con dimensione tipica di circa 0,025-0,030 mm (foto 11, 1000X). Questi "grappoli" non si osservano, invece, sulle pareti del campione senza Penetron Admix, per il quale la condizione di "flusso zero" non si è verificata entro la durata della prova (foto 12, 1000X, da confrontare con foto 11, effettuata con lo stesso ingrandimento). Sulla faccia della fessura nel cls senza Penetron Admix, sono visibili soltanto cristalli di Portlandite (CaOH2) (evidenziati nel riquadro rosso della foto 12), che è uno dei prodotti primari più comuni del processo di idratazione del calcestruzzo.

Si può concludere che i grappoli di cristalli aghiformi sono peculiari soltanto delle superfici delle fessure dei campioni trattati con Penetron Admix e sono cristalli secondari C-S-H prodotti durante l'esposizione della crepa all'acqua.

Photo 11.

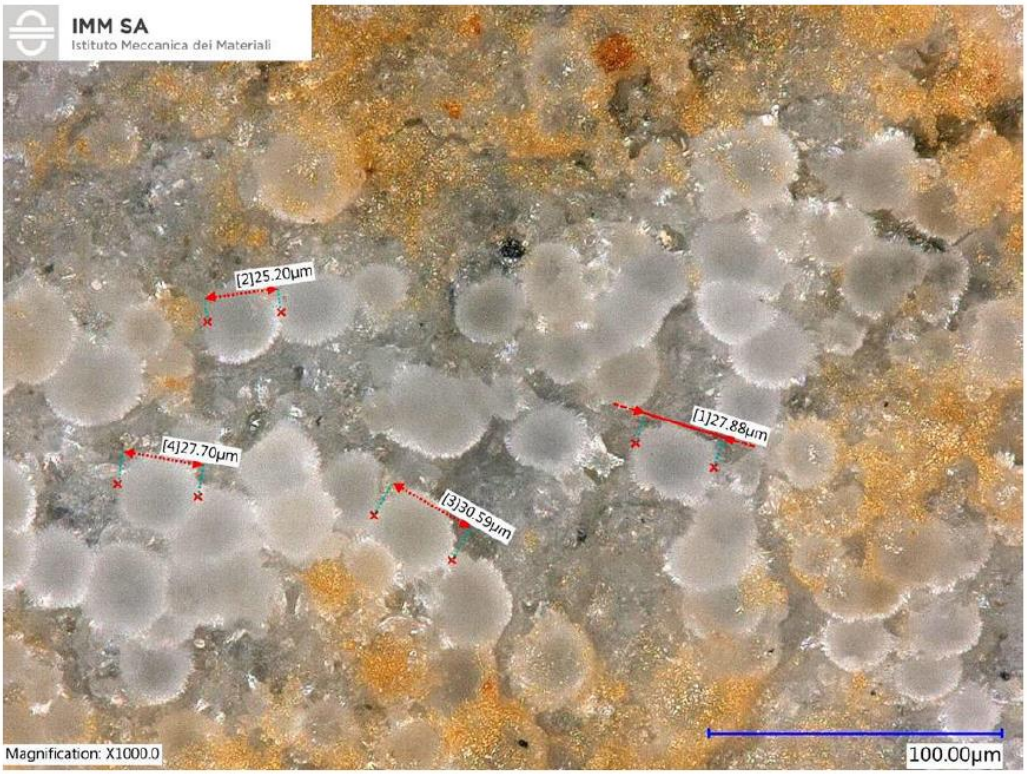


Photo 12.

IMM SA
Istituto Meccanica dei Materiali
Magnification: X1000.0
100.00µm

ANNESSO 1

RELIANCE – ASTALDI JV
EPC Division
2nd Floor, Reliance Centre,
Off.Western Express Highway,
Santacruz (E)
Mumbai – 400 055

Date: 07th Feb. 2019

RAJV/VBSL/QA-QC/2019/009

IMM SA
Via Al Molino 55
CH 6916 Montagnola - Switzerland
Attn. Mr. Michel Di Tommaso

Project: Construction of Versova Bandra Sea Link (VBSL) Project on Engineering Procurement and Construction (EPC) basis.

Subject: - Testing of Sample for Durability Parameters

Dear Sir,

We are sending herewith samples for testing of durability parameters, through M/s. RMC India, for testing of sample at your laboratory. Testing Parameters, Testing Specification, sample ID, Sample Source etc. details are provided with enclosed Annexure-A.

Please mention all the details in your test certificates like Project Name, Sample ID, Source, organization name etc. Also please inform on testing schedule with sufficient prior time of its commencement, to arrange us our personal for witness the testing along with our Authority's Engineer if required.

Kindly note that, testing of samples have been carried out thorough M/s. RMC India and RAJV will not remunerate any expenses related with the testing and other activities.

Yours

For **Reliance – Astaldi JV – (RAJV)**

Ravindra Reddy
Project Manger

Enclosure: Annexure A.

Annexure A:

Sample No's	Sample ID	Test Description	Source	Remarks
Mix Design Trial No. 443				
Concrete Ingredient Material as per TN. 443	**RAJV/MSRDC/VBSL/Sulphate resistance/Control/001**	Sulphate resistance of concrete as per Swiss standard SIA262/1.	Control Mix without Crystalline Admixture	Mix Design (TN. 443) details are provided
1 Set (03 specimens) Cube size: 150×150×150mm	**RAJV/MSRDC/VBSL/Self Healing/Control/001**	Crystalline admixture self-healing test for cracks up to a width of 0.5mm		
Mix Design Trial No. 444				
Concrete Ingredient Material as per TN. 444	**RAJV/MSRDC/VBSL/Sulphate resistance/Penetron/001**	Sulphate resistance of concrete as per Swiss standard SIA262/1	Penetron Crystalline Admixture	Mix Design (TN. 444) details are provided
1 Set (03 specimens) Cube size: 150×150×150mm	**RAJV/MSRDC/VBSL/Self Healing/Penetron/001**	Crystalline admixture self-healing test for cracks up to a width of 0.5mm		

Prism Johnson Limited

RMC (India) Division

LABORATORY REPORT - TRIAL MIXES

MIX REF 444

DATE 11.01.2019

CUSTOMER / PROJECT: Reliance, VBSL

Plant _Ghatkopar Lab, Mumbai

Grade	M50 Pile	Batch size	0.042	AIR TEMP (°C)	26.7°C	BATCH TIME	11:40 a.m

MIX PROPORTIONS (KG)

Moisture	MATERIAL/SOURCE		DRY WT CU.M	DRY WT BATCH	MOISTURE CONTENT	BATCH WEIGHT
	OPC 53	Ultratech	380	15.96		15.96
0	PFA	Adventure (Nasik)	100	4.20		4.20
0	Microsilica	Elkem	20	0.84		0.84
0.051	20MM	Paya	612	25.70	0.20%	25.76
0.102	10MM	Paya	406	17.05	0.60%	17.15
0.330	CSS	Paya	779	32.72	1.01%	33.05
0.000	CSS	Paya	0	0.00	0.00%	0.00
0.464				0.00		
	CAC R250	0.95%	4.75	0.200		0.200
Free Water	Penetron	0.00%	4.00	0.168		0.168
158	THEORITICAL TOTAL WATER		194	8.15	0.49	7.66

App. RD (Ap. PD)	ABS REF VALUE	ABS WAT CU.M	ABS WAT BATCH	YIELD

Theoritical Water	Added water (ml)	Actual Total water	Abs.Wat cum	Actual Free Water	Actual free w/c
194		194.00	37.02	156.2	0.31

MIX DESIGN DATA

(FREE W/C RATIO (Theo)	THEO. PLAST. DENSITY
0.31	2496

TRIAL MIX DATA

SLUMP MM	PLAST. DENSITY	% AIR	FLOW

WEIGHT DENS. POT	PD. GROSS WGHT	NET CONC.WGHT	PD GROSS WGHT	NET CONC

EQUIPMENT

SCALES NO.	DENSITY POT NO.	AIR METER NO.
	0.0007	

PLASTIC CHARACTERISTICS

SEGREGATION / MOBILITY	COHESION / COMPACTION	FINISHABILITY / BLEEDING	CONC TEMP °
No / OK	OK / OK	OK / No	21.9°C

COMPRESSIVE STRENGTH DATA

MOULD REF.	CUBE REF	SIZE	AGE	WEIGHT AIR	WEIGHT WATER	DENSITY	FAIL KN	FAIL N/SQMM	MEAN
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							

P.D. CORRECTION

D/A/M=K

D= ACT PD

A= SUM OF BATCH WT'S

M= INDIV. MAT. WEIGHTS

N= INDIV. MAT.WT/CUM

COMPARE THEO. PD. TO ACT. PD

TOLERANCE +0.5% to -2.5%

Comments about plastic performance of mix: Mix is cohesive and workable. Water temperature used for mixing - 2°C

Setting Time (hours & minutes)

Workability	0 min	Collapse	60 min	Collapse	120 min	Collapse	180 min	Collapse	
Room temp.	0 min	26.7°C	60 min	27.3°C	120 min	27.6°C	180 min	29.3°C	
Concrete temp.	0 min	21.9°C	60 min	23.3°C	120 min	23.9°C	180 min	24.7°C	

SIGNED : DATE / TIME : 11.01.2019

Rucchit Jain
RMC Readymix
India Division
11/01/2019

Vinod Kochemade
Reliance - Astaceli (SV)
11.01.2019

Manish Kumar
AE, Inspector
11/01/19

Rishikesh Dhole
AE
11/01/2019

Note:- 19 cubes were cast
2 cylinders - 100*200m
2 - prisms

Prism Johnson Limited

RMC (India) Division

LABORATORY REPORT - TRIAL MIXES

MIX REF 443

CUSTOMER / PROJECT:
Plant _Ghatkopar Lab, Mumbai — Reliance, VBSL

DATE 10.01.2019

Grade	M50 Pile	Batch size	0.042	AIR TEMP (°C)	26.2°C	BATCH TIME	1:05 p.m

MIX PROPORTIONS (KG)

Moisture	MATERIAL/SOURCE		DRY WT CU M	DRY WT BATCH	MOISTURE CONTENT	BATCH WEIGHT
	OPC 53	Ultratech	380	15.96		15.96
0	PFA	Adventure (Nasik)	100	4.20		4.20
0	Microsilica	Elkem	20	0.84		0.84
0.051	20MM	Paya	612	25.70	0.20%	25.76
0.102	10MM	Paya	406	17.05	0.60%	17.15
0.330	CSS	Paya	779	32.72	1.01%	33.05
0.000	CSS	Paya	0	0.00	0.00%	0.00
0.484				0.00		
Free Water	CAG R250	0.05%	4.75	0.200		0.200
			0.00	0.000		0.000
156	THEORITICAL TOTAL WATER		194	8.15	0.48	7.68

Agg. RD (Ag. PD)	ABS. REF VALUE	ABS WAT CU M	ABS WAT BATCH	YIELD

Theoritical Water	Added water (ml)	Actual Total water	Abs.Wat cum	Actual Free Water	Actual free w/c
194		194.00	37.82	156.2	0.31

MIX DESIGN DATA

FREE W/C RATIO (Theo)	THEO. PLAST. DENSITY
0.31	2496

TRIAL MIX DATA

SLUMP MM	PLAST. DENSITY	% AIR	FLOW

WEIGHT DENS. POT	P.D. GROSS WGHT	NET CONC.WGHT	P.D GROSS WGHT	NET CONC

EQUIPMENT

SCALES NO.	DENSITY POT NO.	AIR METER NO.
	0.0097	

PLASTIC CHARACTERISTICS

SEGREGATION / MOBILITY	COHESION / COMPACTION	FINISHABILITY / BLEEDING	CONC TEMP °C
No / OK	OK / OK	OK / No	22.9°C

COMPRESSIVE STRENGTH DATA

MOULD REF.	CUBE REF	SIZE	AGE	WEIGHT AIR	WEIGHT WATER	DENSITY	FAIL KN	FAIL N/SQMM	MEAN
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							
		150*150							

P.D. CORRECTION

DIV'MAN	
Dr ACT.PD	
M= SUM OF BATCH WT'S	
N= INDIV. MAT. WEIGHTS	
N= INDIV. MAT.WT/CUM	
COMPARE THEO. PD. TO ACT. P.D	
TOLERANCE	
+0.5% to -2.5%	

Comments about plastic performance of mix: Mix is cohesive and workable. Water temperature – 1.2°C

Setting Time (hours & minutes)

Workability	0 min	Collapse	60 min	Collapse	120 min	Collapse	180 min	215 mm	
Room temp.	0 min	26.2°C	60 min	27.1°C	120 min	27.3°C	180 min	26.8°C	
Concrete temp.	0 min	22.9°C	60 min	24.8°C	120 min	24.9°C	180 min	25.3°C	

SIGNED: DATE / TIME: 10.01.2019

Rucchit Jain
RMC Readymix
India Division
10/01/2019

Vinod Kolhandgi
Reliance - Astaldi JV.
10.01.2019
Pavan
PE Inspector
10/01/19

Rishikesh Dhale
AE
10/01/2019

Note :– 19 cubes were cast
2 cylinders – 100 * 200 mm
2 prisms –