

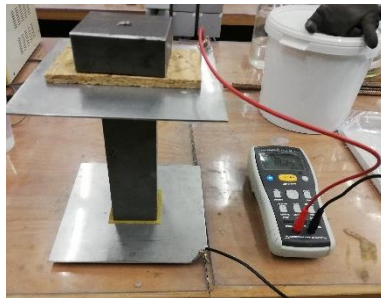


SANACON

FOR HEALTHY CONCRETE STRUCTURES

HERSTEMORTELS GROUTTECH

VERSLAG BEPROEVING RESISTIVITEIT



DATUM VERSLAG

7/4/2023

PROJECT

SC22205

LOCATIE

SANACON

Nijverheidsweg 1/A

B-9820 Merelbeke

VOOR REKENING VAN

Grouttech

Postbus 57, NL-8070 AD Nunspeet

Industrieweg 51, NL-8071 CS Nunspeet

OP AANVRAAG VAN

Dhr. Gerard van Leeuwen (Grouttech)

Dhr. Geert Van Lokeren (Grouttech)

OPGEMAAKT DOOR

SANACON bv

INHOUDSTAFEL

1. Inleiding	3
2. Proefstukken	4
2.1. Vervaardiging proefstukken.....	4
2.2. Bewaringsomstandigheden	4
3. Elektrische resistiviteit	5
3.1. Meetmethodes.....	5
3.2. Meettijdstippen	7
4. Resultaten	8
5. Besluit.....	12

1. INLEIDING

In opdracht van Grouttech, vertegenwoordigd door dhr. Gerard van Leeuwen en dhr. Geert Van Lokeren, werd door SANACON de elektrische resistiviteit van 4 mortels beproefd. De benaming, type en kenmerken van de mortels zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 – Mortels.

Mortel	Type	Kenmerken
RM ProRep R4	Betonreparatiemortel	1-component, kunststof gemodificeerd en vezelversterkt
NSM MultiRep	Betonreparatiemortel	1-component, kunststof gemodificeerd en vezelversterkt
TricoNomic Special	Gietmortel	1-component, polymeer gemodificeerd en zelfnivellerend
ConCrete 80 FL	Gietbeton	zelfnivellerende en verpompbare constructieve betonmortel

Voor elke mortel werden 2 zakken van 25 kg afgeleverd aan SANACON, waaruit proefstukken vervaardigd werden voor het beproeven van de resistiviteit.

De resistiviteit (elektrische weerstand) van de herstelmortels werd door SANACON getest op de aangemaakte mortelproefstukken volgens de methodes en richtlijnen beschreven in:

- ⊗ RILEM TC 154-EMC: Test methods for on-site measurements of resistivity of concrete;
- ⊗ CUR-Aanbeveling 45 – Kathodische bescherming van de wapening in betonconstructies;
- ⊗ Van Belleghem, B., Maes, M., Soetens, T. (2023). Resistivity of Repair Materials for Concrete Repair Prior to the Application of a Cathodic Protection System. In: Proceedings of the 75th RILEM Annual Week 2021. RILEM Bookseries, vol 40. Springer, pp 846–855.

2. PROEFSTUKKEN

2.1. Vervaardiging proefstukken

Per mortel werden volgende proefstukken aangemaakt:

- ⊗ 9 x prisma met afmetingen 200 mm x 60 mm x 60 mm;
- ⊗ 9 x prisma met afmetingen 100 mm x 100 mm x 50 mm, inclusief twee ingebedde RVS staafjes, volgens de richtlijnen uit de CUR-Aanbeveling 45.

De mortelproefstukken werden vervaardigd door SANACON, in het bijzijn van dhr. Geert Van Lokeren (Grouttech), op volgende data:

- ⊗ 18/10/2022 (RM ProRep R4 en NSM MultiRep)
- ⊗ 25/10/2022 (TricoNomic Special en ConCrete 80 FL)

Alle proefstukken werden vervaardigd uit één en dezelfde mengeling volgens de voorschriften vermeld in de technische fiche van de producten. De gebruikte hoeveelheid aanmaakwater per mortel is gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Hoeveelheid aanmaakwater.

Mortel	Hoeveelheid aanmaakwater
RM ProRep R4	3,5 l / 25 kg
NSM MultiRep	4,0 l / 25 kg
TricoNomic Special	2,5 l / 25 kg
ConCrete 80 FL	2,4 l / 25 kg

De proefstukken werden 24 uur in de mallen bewaard bij een temperatuur van 20°C en relatieve vochtigheid (RV) van minstens 95% en werden hierna ontkist.

2.2. Bewaringsomstandigheden

De resistiviteit van de herstellmortels werd getest onder 3 verschillende bewaringsomstandigheden:

- ⊗ 20°C en 60% RV (klimaatruimte);
- ⊗ 20°C en 80% RV (klimaatkast);
- ⊗ 20°C en 100% RV (onder water bewaard).

Per mortel werden 3 prisma's van elk type proefstuk bewaard en getest bij elk van voorvermelde bewaringsomstandigheden.

3. ELEKTRISCHE RESISTIVITEIT

3.1. Meetmethodes

De resistiviteit (elektrische weerstand) werd opgemeten op drie verschillende methodes:

- ⊗ Vier-elektroden methode (VEM), via de zogenaamde ‘Wenner Probe’;
- ⊗ Twee-elektroden methode (TEM);
- ⊗ Methode met ingebedde elektroden (MIE), volgens de richtlijnen uit de CUR-Aanbeveling 45.

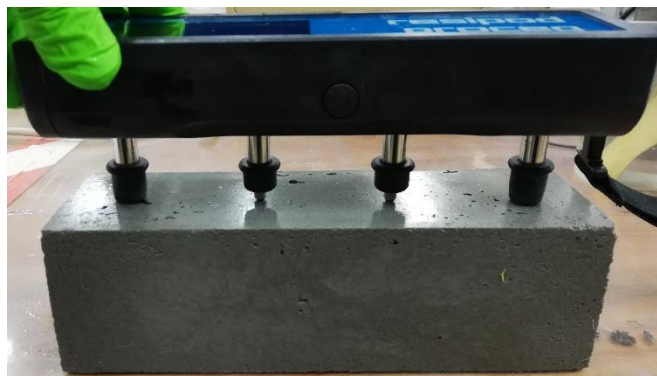
3.1.1. Vier-elektroden methode (VEM)

De oppervlakteresistiviteit via de vier-elektroden methode werd opgemeten op de mortelprisma's met afmetingen 200 mm x 60 mm x 60 mm via een zogenaamde ‘Wenner Probe’. Hierbij worden vier elektroden (in één lijn gelegen, met vaste tussenafstand) op het mortelproefstuk geplaatst in de lengterichting (zie Figuur 1). Via het meettoestel wordt een stroom geïnduceerd tussen de twee uiterste elektroden en wordt een potentiaalverschil gemeten tussen de twee binnenste elektroden. Uit het opgemeten potentiaalverschil bij de aangelegde stroom wordt de elektrische weerstand (R) bepaald die vervolgens omgerekend wordt naar een resistiviteit (ρ_{VEM}) via volgende formule:

$$\rho_{VEM} = 2\pi \cdot a \cdot R$$

Waarbij R = elektrische weerstand (Ω) en a = afstand tussen puntelektroden (cm).

De omrekening van de elektrische weerstand naar resistiviteit gebeurt automatisch, waardoor de resistiviteit meteen is af te lezen op het meettoestel.



Figuur 1 – Meting van de oppervlakteresistiviteit via de vier-elektroden methode (Wenner Probe).

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de formule voor de omrekening van weerstand naar resistiviteit in principe uitgaat van een meting in een ‘semi-oneindig’ medium. Als gevolg hiervan wordt een **beduidende overschatting** van de resistiviteit bekomen via deze methode bij metingen op proefstukken met relatief kleine afmetingen (wat het geval is voor de proefstukken in onderhavig testprogramma).

De opgemeten resistiviteit met de **vier-elektroden methode** is bijgevolg een zogenaamde ‘**schijnbare**’ **resistiviteit**, wat een overschatting is van de werkelijke resistiviteit van de mortel. Specifiek voor de geometrie van de mortelproefstukken in huidig onderzoek (200 mm x 60 mm x 60 mm) wordt via de vier-elektroden meetmethode een **overschatting van de werkelijke resistiviteit bekomen met een factor 4 à 5**.

3.1.2. Twee-elektroden methode (TEM)

De bepaling van de (bulk)resistiviteit via de twee-elektroden methode (TEM) werd eveneens uitgevoerd op de mortelprisma's met afmetingen 200 mm x 60 mm x 60 mm.

Voor de proefstukken die onder water bewaard werden (conditionering 20°C en RV = 100%), werden de proefstukken in de lengterichting tussen twee RVS elektroden geplaatst, waarbij het contactvlak tussen de elektroden en het proefstuk voorzien wordt van een natte spons (zie Figuur 2, links).

De proefstukken die bewaard werden in de klimaatruimtes bij relatieve vochtigheden van 60% en 80% werden voorzien van twee elektroden die via een ion geleidende kleeflaag (gel) aangebracht werden op de twee zijden met afmetingen 60 mm x 60 mm (zie Figuur 2, rechts).

Voor alle proefstukken wordt de elektrische weerstand (R) tussen de twee elektroden opgemeten via een LCR-meter.

De resistiviteit (ρ_{TEM}) wordt berekend uit de opgemeten weerstand (R) via onderstaande formule:

$$\rho_{\text{TEM}} = R \cdot \frac{A}{L}$$

Waarbij R = elektrische weerstand (Ω), A = dwarsdoorsnede van het proefstuk (cm^2) en L = lengte van het proefstuk (cm).



Figuur 2 – Meting van de (bulk)resistiviteit via de twee-elektroden methode (TEM) voor proefstukken bij 20°C en 100% RV (links) en proefstukken bij 20°C en 60% of 80% RV (rechts).

3.1.3. Methode met ingebedde elektroden (MIE)

De bepaling van de bulkresistiviteit via de methode met ingebedde elektroden, zoals voorgeschreven in de CUR-Aanbeveling 45, werd uitgevoerd op de mortelprisma's met afmetingen 100 mm x 100 mm x 50 mm (met ingebedde RVS staafjes). Hierbij wordt de elektrische weerstand tussen de ingebedde staafjes opgemeten via een LCR-meter (zie Figuur 3).



Figuur 3 – Meting van de (bulk)resistiviteit via de methode met ingebedde elektroden (MIE).

De resistiviteit (ρ_{MIE}) wordt berekend door de opgemeten weerstand (R) te vermenigvuldigen met een celconstante (C) die specifiek is voor de geometrie van het mortelprisma en de ingebedde elektroden:

$$\rho_{MIE} = R \cdot C$$

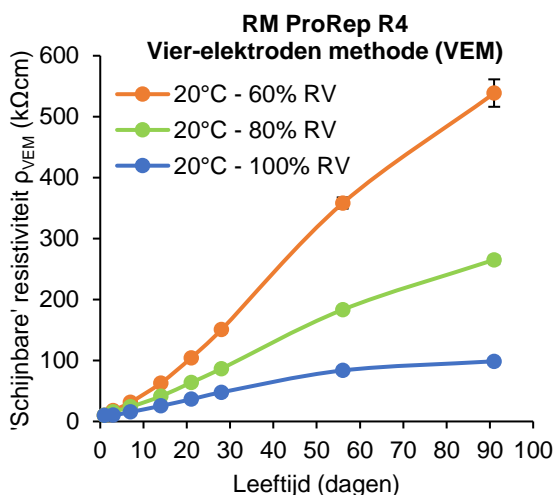
3.2. Meettijdstippen

Alle resistiviteitsmetingen werden uitgevoerd op 8 verschillende tijdstippen, bij een ouderdom van de proefstukken van:

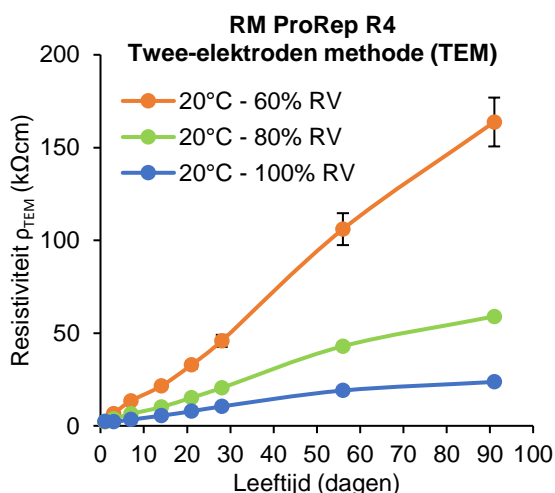
- ⊗ 1 dag, 3 dagen, 7 dagen, 14 dagen, 21 dagen, 28 dagen, 56 dagen en 91 dagen.

4. RESULTATEN

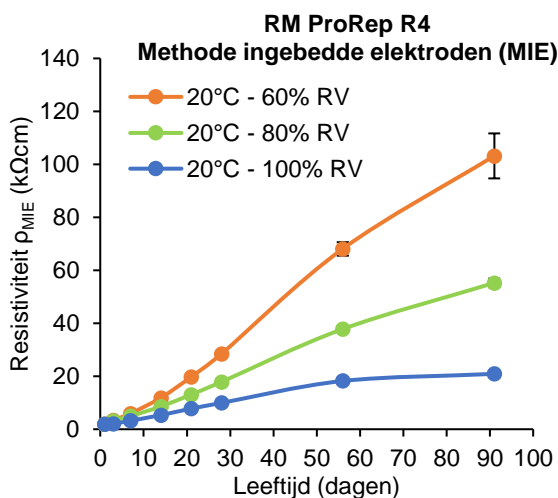
De gemiddelde resistiviteit van de geteste mortels in functie van de leeftijd onder de verschillende conditioneringen (60%, 80% en 100% RV) is per meetmethode voor elke mortel weergegeven in Figuur 4 t.e.m. Figuur 7. De resultaten zijn zowel grafisch weergegeven als in tabelvorm (Gem. en St.Dev.).



Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	9,9	0,3	9,5	0,1	9,8	0,1
3	17,6	0,3	15,8	0,2	10,1	0,1
7	31,2	0,5	23,7	0,3	15,5	0,1
14	62,8	1,9	41,2	0,5	25,5	0,3
21	104,2	2,1	63,7	0,6	36,3	0,4
28	150,5	4,4	86,3	1,1	47,6	0,8
56	358,2	9,2	183,1	3,7	83,4	1,7
91	538,8	22,5	264,9	6,8	98,3	3,0

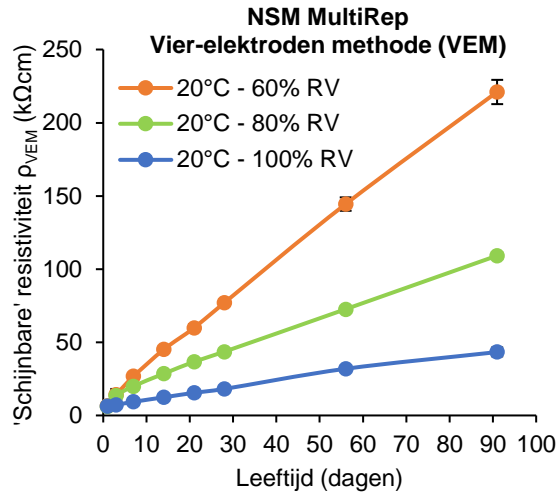


Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	2,2	0,1	2,3	0,1	2,4	0,1
3	6,5	0,5	3,8	0,0	2,3	0,1
7	13,5	0,9	6,5	0,1	3,5	0,1
14	21,5	1,4	10,2	0,2	5,6	0,1
21	32,9	2,1	15,2	0,2	7,9	0,2
28	45,8	3,2	20,5	0,2	10,5	0,6
56	106,0	8,6	43,0	0,5	19,1	0,7
91	163,8	13,2	59,0	1,5	23,7	0,2

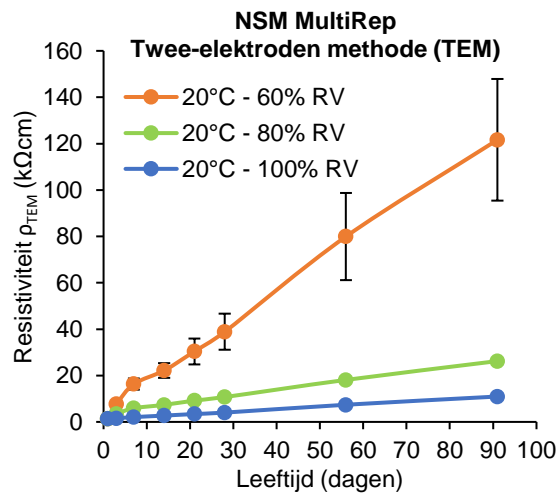


Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	1,9	0,0	2,0	0,1	1,9	0,0
3	3,3	0,1	3,2	0,1	2,1	0,1
7	5,9	0,1	4,9	0,1	3,2	0,1
14	11,8	0,3	8,6	0,2	5,4	0,2
21	19,7	0,5	13,1	0,3	7,8	0,3
28	28,4	0,8	17,8	0,5	10,0	0,4
56	68,1	2,5	37,8	1,1	18,3	0,8
91	103,2	8,5	55,2	1,6	21,0	0,5

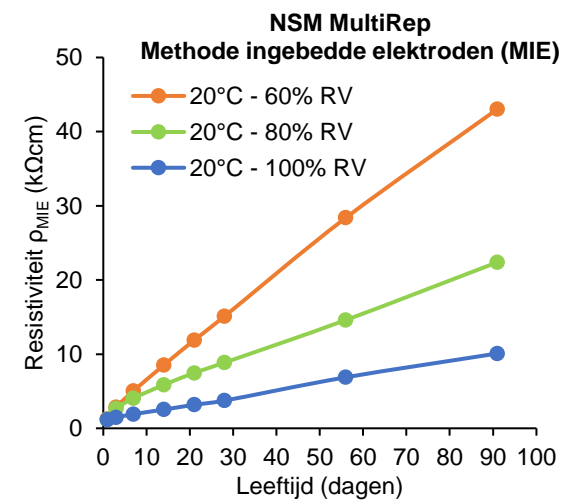
Figuur 4 – Resistiviteitsmetingen RM ProRep R4.



NSM MultiRep – Vier-elektroden methode (VEM)						
Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	6,4	0,2	6,1	0,1	6,2	0,2
3	14,2	4,0	13,5	0,1	7,2	0,1
7	26,7	0,8	19,9	0,2	9,3	0,1
14	45,1	1,6	28,5	0,4	12,4	0,1
21	59,9	2,5	36,6	0,3	15,5	0,1
28	77,1	1,9	43,5	0,4	18,1	0,2
56	144,4	4,5	72,5	1,2	31,9	0,2
91	221,1	8,3	109,1	2,2	43,3	1,2

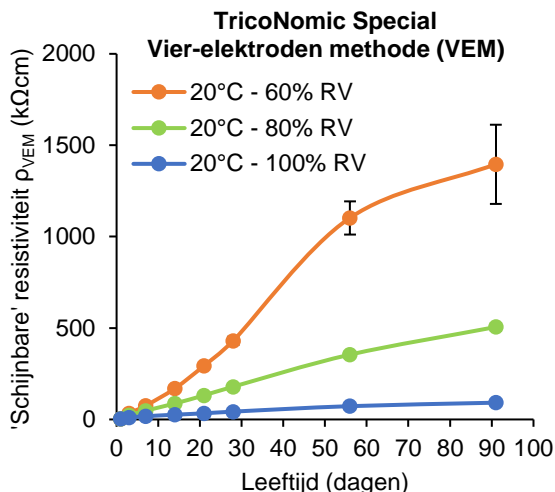


NSM MultiRep – Twee-elektroden methode (TEM)						
Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	1,5	0,0	1,4	0,1	1,5	0,0
3	7,7	0,4	3,5	0,0	1,6	0,0
7	16,4	2,4	5,9	0,1	2,1	0,0
14	22,2	3,2	7,4	0,0	2,7	0,0
21	30,5	5,6	9,2	0,1	3,4	0,0
28	38,9	7,8	10,7	0,1	4,0	0,0
56	80,0	18,8	18,1	0,2	7,4	0,1
91	121,7	26,2	26,3	0,8	10,9	0,1



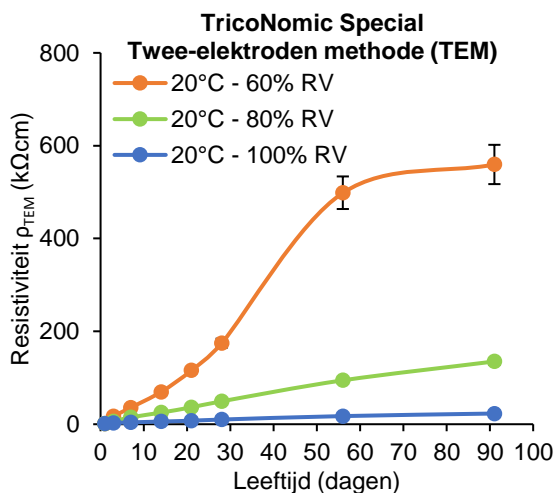
NSM MultiRep – Methode ingebedde elektroden (MIE)						
Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	1,3	0,0	1,2	0,1	1,2	0,1
3	2,9	0,0	2,7	0,0	1,5	0,0
7	5,0	0,0	4,0	0,0	1,9	0,0
14	8,5	0,1	5,8	0,1	2,5	0,0
21	11,9	0,1	7,5	0,1	3,2	0,1
28	15,1	0,1	8,8	0,1	3,7	0,1
56	28,4	0,2	14,6	0,2	6,9	0,1
91	43,0	0,3	22,4	0,3	10,1	0,1

Figuur 5 – Resistiviteitsmetingen NSM MultiRep.



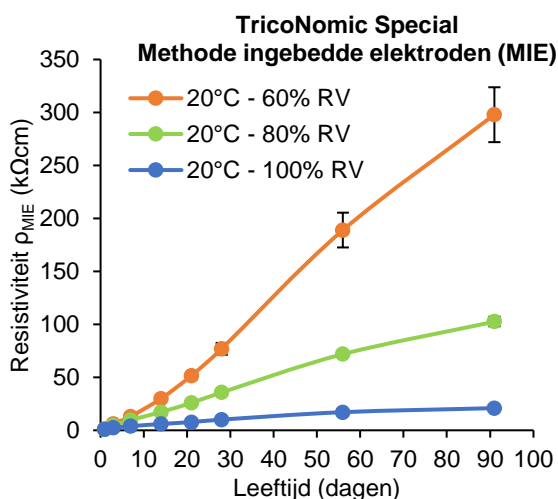
TricoNomic Spec. – Vier-elektroden methode (VEM)

Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	4,0	0,1	4,1	0,1	4,1	0,2
3	32,7	1,6	22,5	0,5	11,5	0,4
7	74,8	3,4	47,7	1,2	17,5	0,5
14	168,9	8,9	87,0	1,7	25,9	0,9
21	293,3	8,4	131,5	2,2	33,4	1,3
28	429,9	22,6	179,0	2,6	42,8	1,5
56	1101,6	90,8	354,5	10,8	72,8	2,6
91	1395,4	217,1	505,8	20,0	92,0	3,5



TricoNomic Spec. – Twee-elektroden methode (TEM)

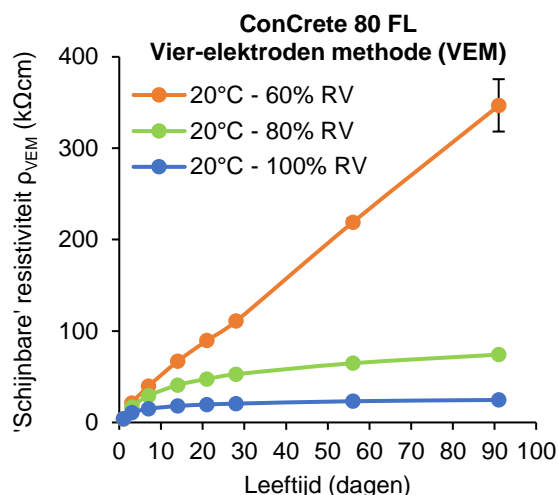
Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	0,9	0,0	0,9	0,0	0,9	0,0
3	16,8	0,3	6,1	0,4	2,5	0,0
7	35,7	2,0	14,8	0,8	3,8	0,1
14	69,5	4,5	24,9	1,4	5,6	0,1
21	115,9	5,8	36,3	2,1	7,4	0,2
28	174,7	9,7	49,3	2,9	9,8	0,3
56	498,6	35,1	94,4	4,6	17,2	0,3
91	559,8	42,2	135,1	7,4	22,6	0,1



TricoNomic Spec. – Methode ingebedde elektroden (MIE)

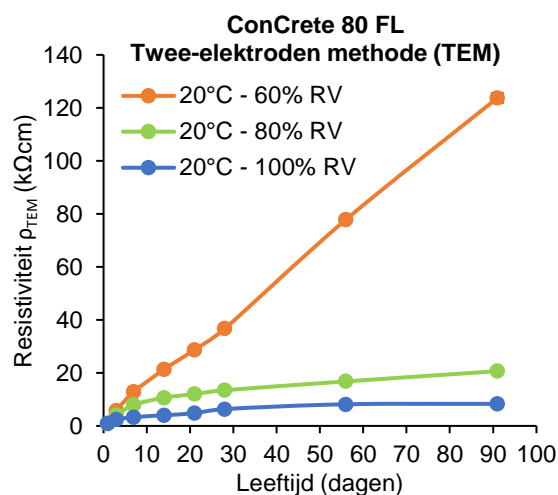
Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	1,0	0,0	1,0	0,1	1,1	0,0
3	6,1	0,3	4,7	0,2	2,5	0,0
7	13,2	0,7	9,6	0,3	3,9	0,0
14	30,0	1,9	17,4	0,6	6,0	0,0
21	51,6	3,6	25,9	1,0	7,8	0,0
28	77,0	5,6	35,8	1,3	10,1	0,0
56	189,0	16,4	72,1	2,6	17,1	0,1
91	298,0	25,9	102,7	4,5	20,9	0,2

Figuur 6 – Resistiviteitsmetingen TricoNomic Special.



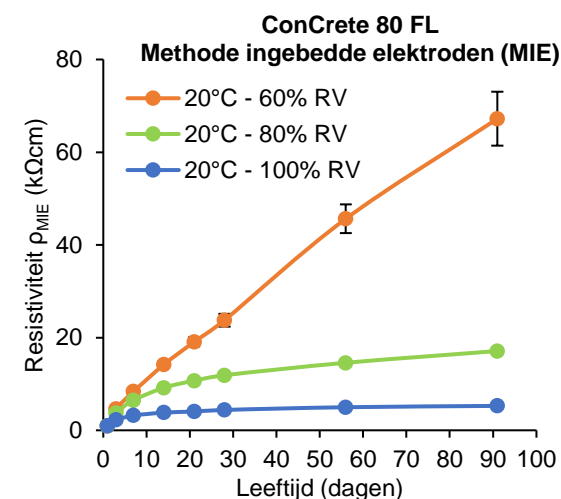
ConCrete 80 FL – Vier-elektroden methode (VEM)

Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	3,9	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1
3	21,3	0,4	16,7	0,4	10,7	0,2
7	39,9	1,0	29,3	0,7	15,1	0,3
14	67,1	1,5	41,0	1,1	18,0	0,4
21	89,8	1,7	47,7	1,0	19,7	0,4
28	110,9	2,5	52,9	1,4	20,7	0,5
56	219,1	4,4	64,9	1,9	23,3	0,5
91	346,7	28,6	74,4	2,4	24,7	0,8



ConCrete 80 FL – Twee-elektroden methode (TEM)

Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	0,9	0,1	0,9	0,0	0,9	0,0
3	5,9	0,0	4,1	0,1	2,4	0,0
7	12,9	0,2	8,0	0,3	3,3	0,0
14	21,4	0,2	10,7	0,3	4,0	0,1
21	28,7	0,3	12,1	0,4	4,8	0,2
28	36,7	0,2	13,5	0,4	6,3	0,2
56	77,9	1,1	16,8	0,5	8,1	0,2
91	123,8	1,8	20,7	0,5	8,3	0,4



ConCrete 80 FL – Methode ingebedde elektroden (MIE)

Leeftijd (dagen)	Resistiviteit (kΩcm)					
	20°C - 60% RV		20°C - 80% RV		20°C - 100% RV	
	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.	Gem.	St.Dev.
1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
3	4,6	0,1	3,8	0,0	2,3	0,0
7	8,4	0,3	6,5	0,1	3,2	0,0
14	14,2	0,7	9,2	0,2	3,9	0,0
21	19,1	1,0	10,7	0,2	4,1	0,0
28	23,8	1,4	11,9	0,2	4,4	0,0
56	45,7	3,1	14,6	0,3	5,0	0,0
91	67,2	5,8	17,1	0,4	5,3	0,0

Figuur 7 – Resistiviteitsmetingen ConCrete 80 FL.

5. BESLUIT

Voor alle beproefde mortels wordt een stijgende resistiviteit in functie van de tijd waargenomen, wat een normaal gedrag is ten gevolge van de uitharding van de mortel enerzijds en de uitdroging van de mortel (bij een RV van de omgeving van 60% en 80%) anderzijds. Voor alle mortels is er in de periode tussen 56 en 91 dagen ouderdom nog steeds een beduidende stijging van de resistiviteit (voornamelijk bij een lage RV van de omgeving), waardoor verwacht wordt dat de resistiviteit nog hoger zal zijn op latere leeftijd.

Voor een bewaring van de mortels bij een RV van 80% en 100% (onder water) worden met de meetmethoden voor bulkresistiviteit (TEM en MIE) zeer gelijkaardige resultaten bekomen. In het geval van een bewaring bij 60% RV wordt voor alle mortels echter een beduidend hogere resistiviteit opgemeten met de twee-elektroden methode (TEM) t.o.v. de methode met ingebedde elektroden (MIE). Dit is vermoedelijk het gevolg van uitdroging van de ion geleidende kleeflaag van de elektroden (bij de TEM) bij de lage relatieve vochtigheid, waardoor de meetresultaten van de TEM op een RV van 60% minder betrouwbaar zijn.

Algemeen wordt de laagste resistiviteit opgemeten voor de mortels NSM MultiRep en ConCrete 80 FL (voor elke relatieve vochtigheid van de omgeving). Beide mortels, alsook de mortel RM ProRep R4, hebben een elektrische resistiviteit die zich binnen de globale range bevindt van andere courant gebruikte cementgebonden herstelmortels (gebaseerd op interne database SANACON van herstelproducten getest met gelijke meetmethoden). Deze producten kunnen, afhankelijk van het type betonconstructie, aangewend worden in combinatie met een kathodisch beschermingsstelsel (KB-systeem).

De gietmortel TricoNomic Special heeft bij een RV van 100% (bewaard onder water) een gelijkaardige resistiviteit als de mortel RM ProRep R4. Bij lagere RV (80% en 60%) is de resistiviteit echter beduidend hoger en valt deze buiten de globale range bevindt van andere courant gebruikte cementgebonden herstelmortels (gebaseerd op interne database SANACON). Het gebruik van deze gietmortel in combinatie met een KB-systeem is mogelijk niet geschikt voor drogere omgevingen (RV < 80%).

Auteur

dr. ir. Bjorn Van Belleghem
Expert Kathodische Bescherming van gewapend beton

Revisor

dr. ir. Tim Soetens
Bestuurder