

Brusselse tunnels onder spanning

Frederick Crevits
27/09/2023

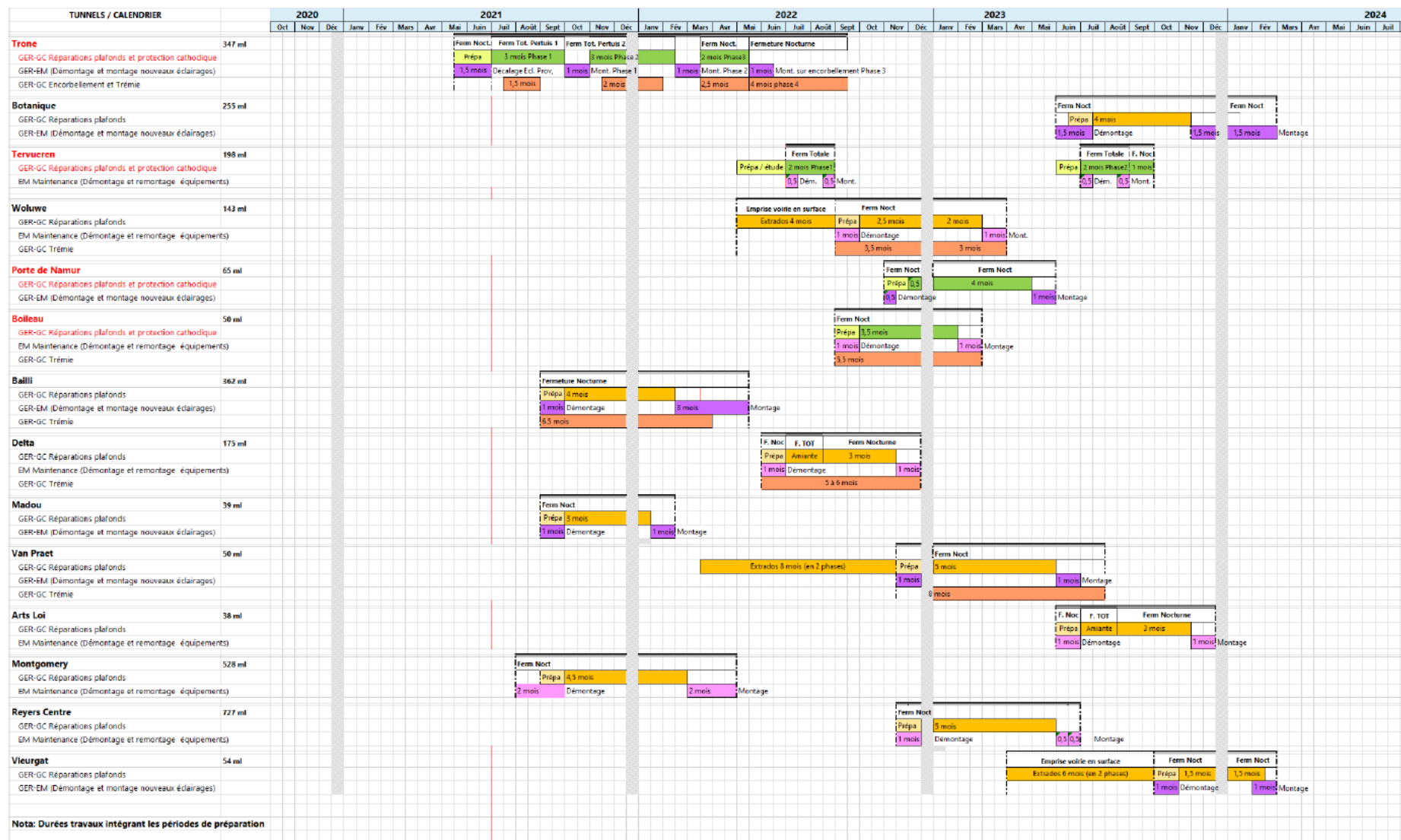


Introductie

Brussel Mobiliteit

Renovatie 14 tunnels

- Lot 1: 4 tunnels
- Lot 2: 10 tunnels

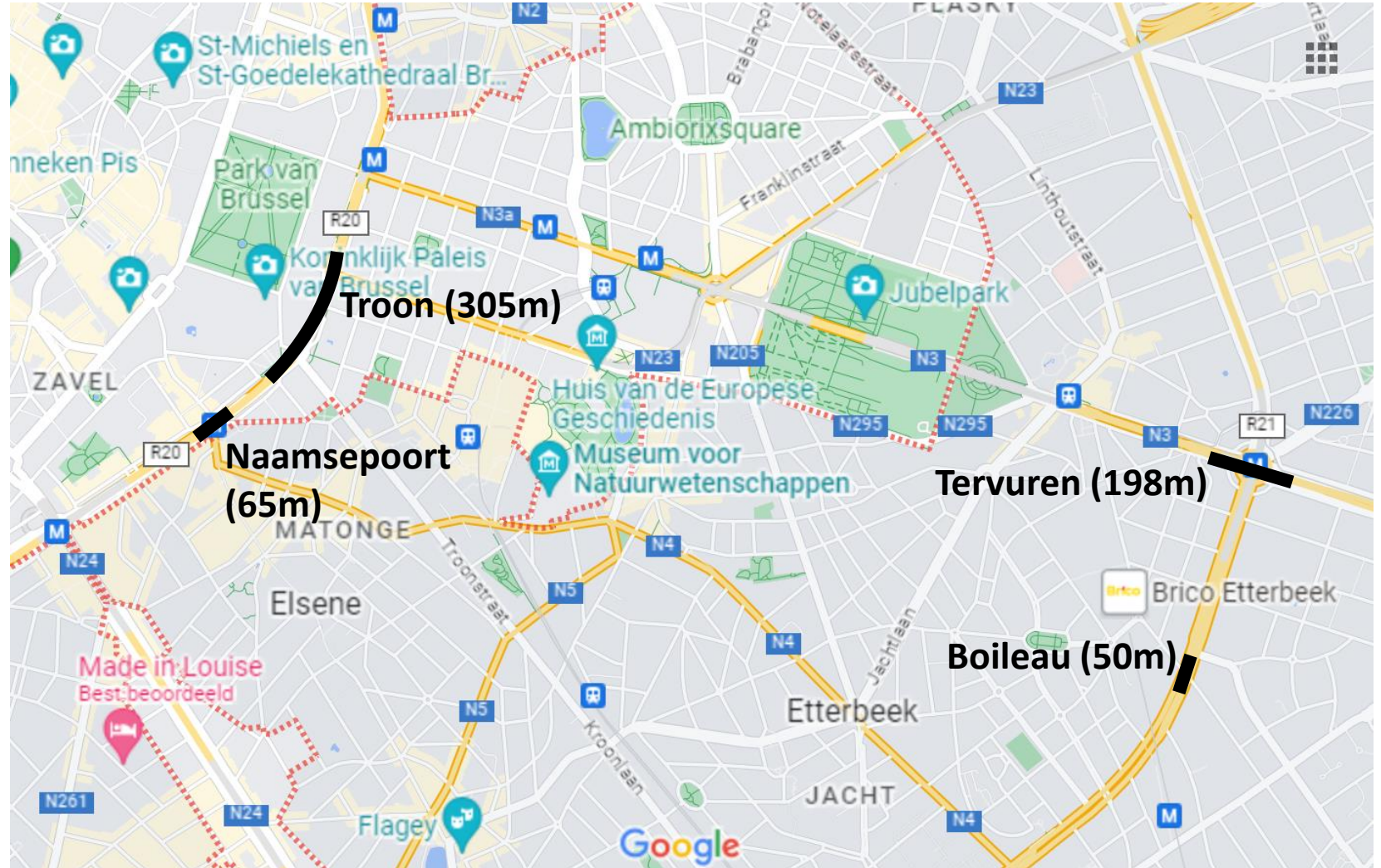


Introductie

Lot 1

- Betonherstel
- Injecteren
- Kathodische bescherming
- Asbestsanering

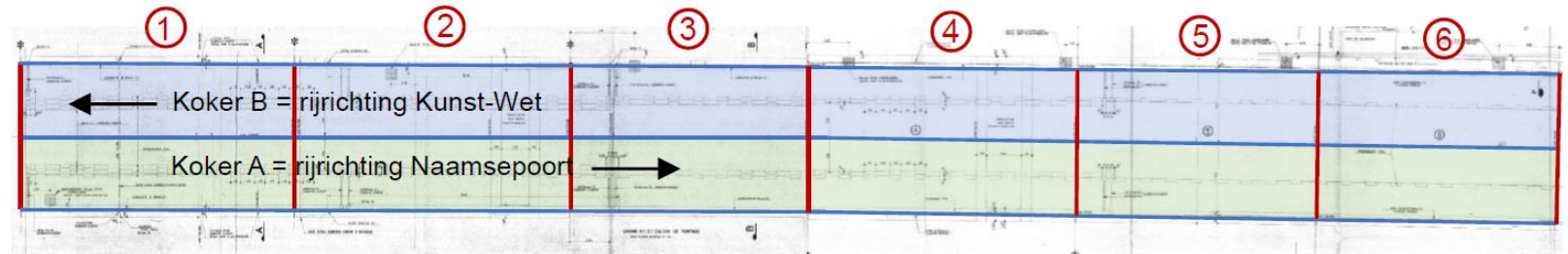
Partners



Troontunnel - Geometrie

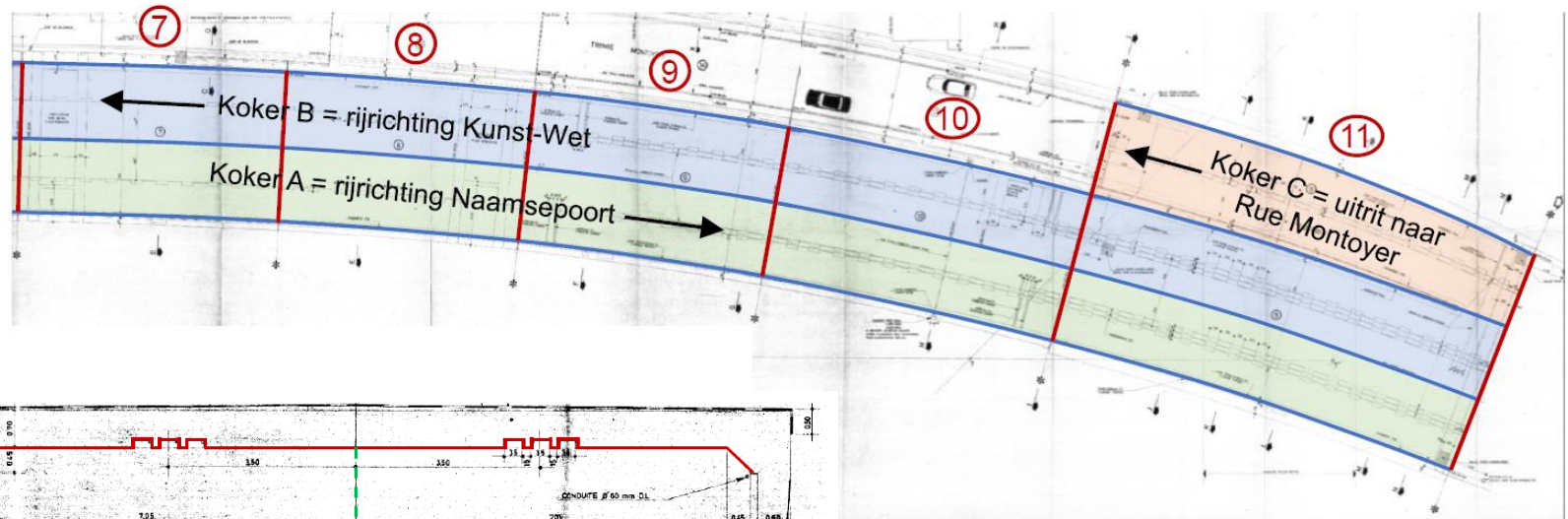
Lengte

- 305m (Koker A & B)
- 47m (Koker C)



Breedte

- 2x 7,5m
- Scheidingswand A/B

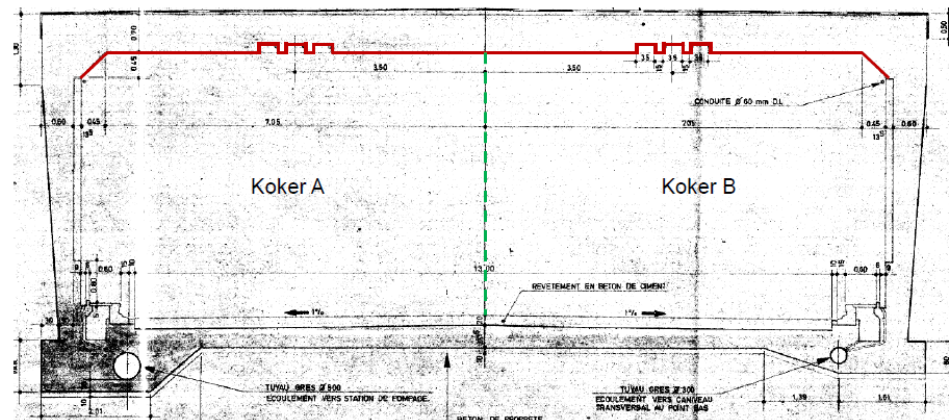


Dilatatievoegen

- 11 Segmenten
- Lengte 24-30m

Opp. Dakplaat

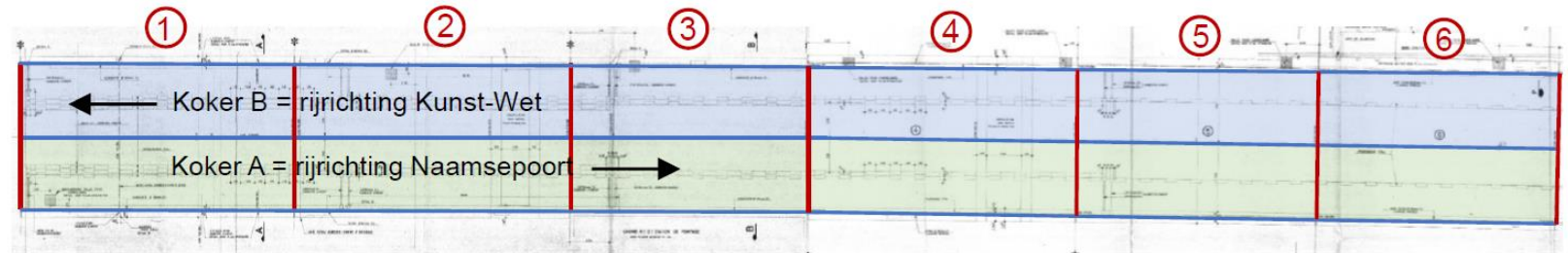
- 5015m²



Troontunnel - Fasering

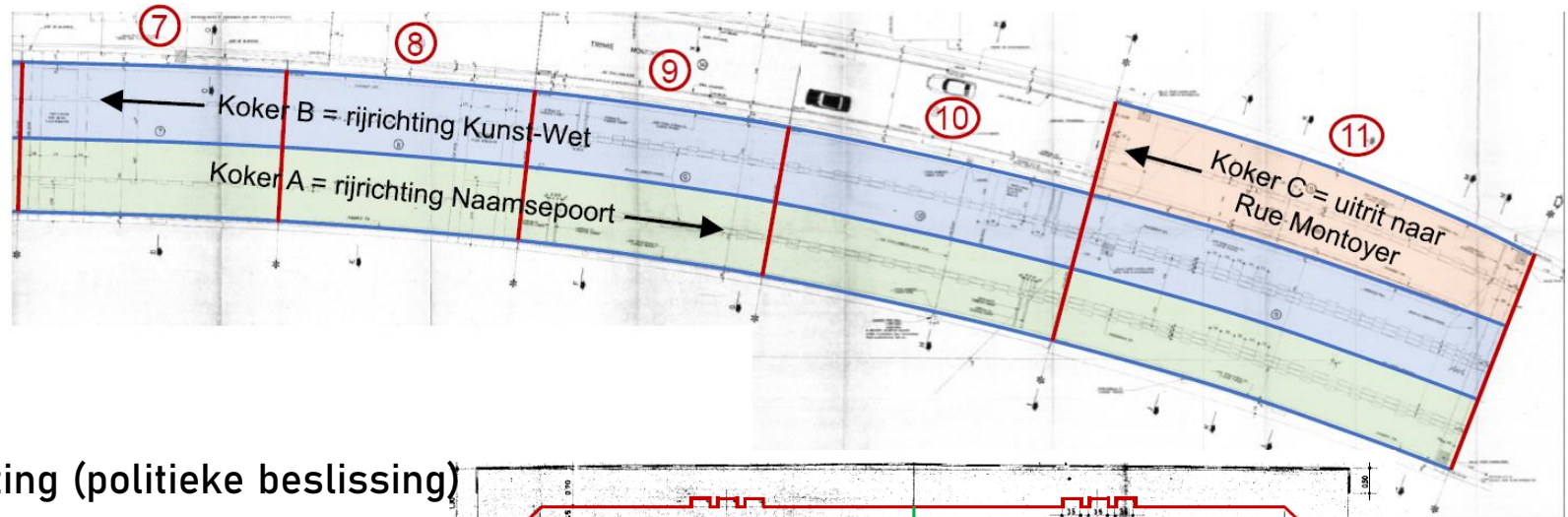
Fase 0

- Vooronderzoek + Proefvlak
- Nachtsluiting



Fase 1

- Renovatie koker B + C
- Volledige dagsluiting

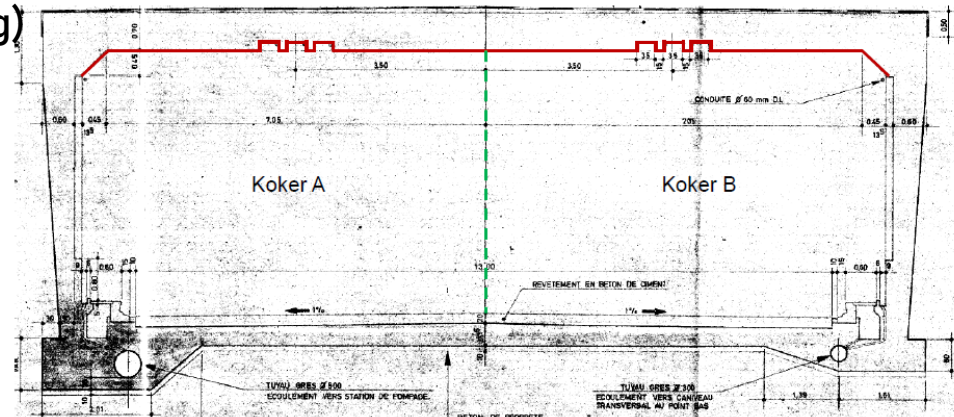


Fase 2

- Renovatie koker A
- 50% dagsluiting – 50% nachtsluiting (politieke beslissing)

Fase 3

- Zone scheidingswand (1,5m x 305m)
- Nachtsluiting



Troontunnel - Vooronderzoek

Vooronderzoek design parameters

- Elektrische continuïteit
- Resistiviteit
- Betondekking
- Wapeningsdensiteit

Opmeting tunnel

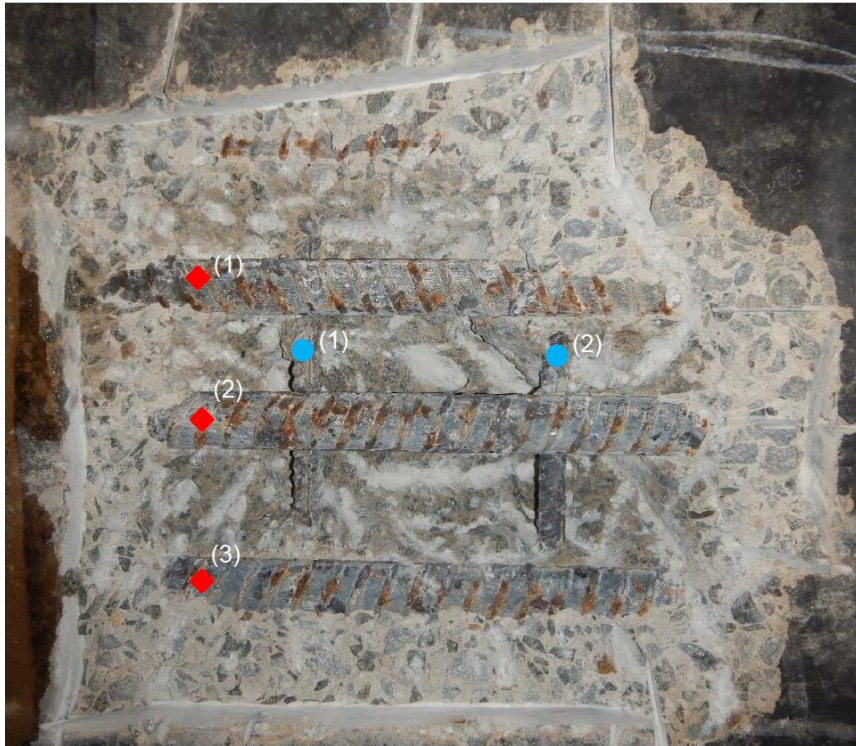
- 100% 3D mapping
As built !
- Locatie voegen / zichtbare schade



Troontunnel - Vooronderzoek

Vooronderzoek

- 49 kijkvensters gemaakt



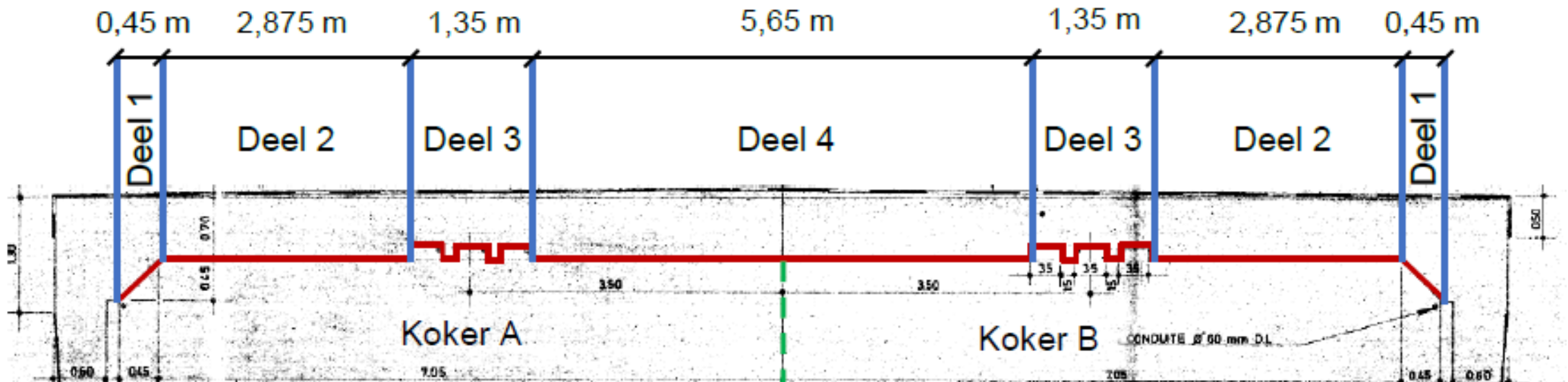
Wapening	Aanduiding	Type rib	Opgemeten diameter D1 (mm)	Vermoedelijke nominale diameter (mm)	Betondekking (mm)
Dwars (1)	◆	"/-rib"	36,6	32	39
Dwars (2)	◆	"/-rib"	37,0	32	38
Dwars (3)	◆	"/-rib"	-	-	38
Langs (1)	●	"/-rib"	20,5	18	74
Langs (2)	●	"/-rib"	20,0	18	71

Wapening	Toestand
Dwars	Lokaal corrosie t.h.v. ribben
Langs	Geen corrosie

Tunnelsegment	Kijkvensters	Weerstand (Ω)	
		Min.	Max.
Segment 1a	KV1 - KV2	0,19	2,25
	KV2 - KV3	0,09	2,00
Segment 2a	KV3 - KV4	0,04	0,06
	KV4 - KV5	0,05	0,19
Segment 3a	KV5 - KV6	0,05	0,42
	KV6 - KV7	0,01	0,34
Segment 4a	KV7 - KV8	0,06	0,13
	KV8 - KV9	0,78	1,21
Segment 5a	KV9 - KV10	0,05	0,09
	KV10 - KV11	0,50	0,61
Segment 6a	KV11 - KV12	0,06	0,25

Troontunnel – Design

Wapeningsdensiteit



	Wapeningsdensiteit (m ² staal / m ² beton)
Deel 1	0,63
Deel 2	0,49 - 1,09
Deel 3	1,01 - 2,56
Deel 4	1,41



Troontunnel – Design

Ontwerpstroom

- Carbonatatie diepte (Egis)
 - Bij 14/22 boorkernen dieper dan maximaal gemeten betondekking
- Chloridegehalte (Egis)
 - Bij 13/22 boorkernen hoger dan kritisch gehalte

→ Ontwerpstroom van 14mA/m^2 staal

Troontunnel – Design

Type Anode

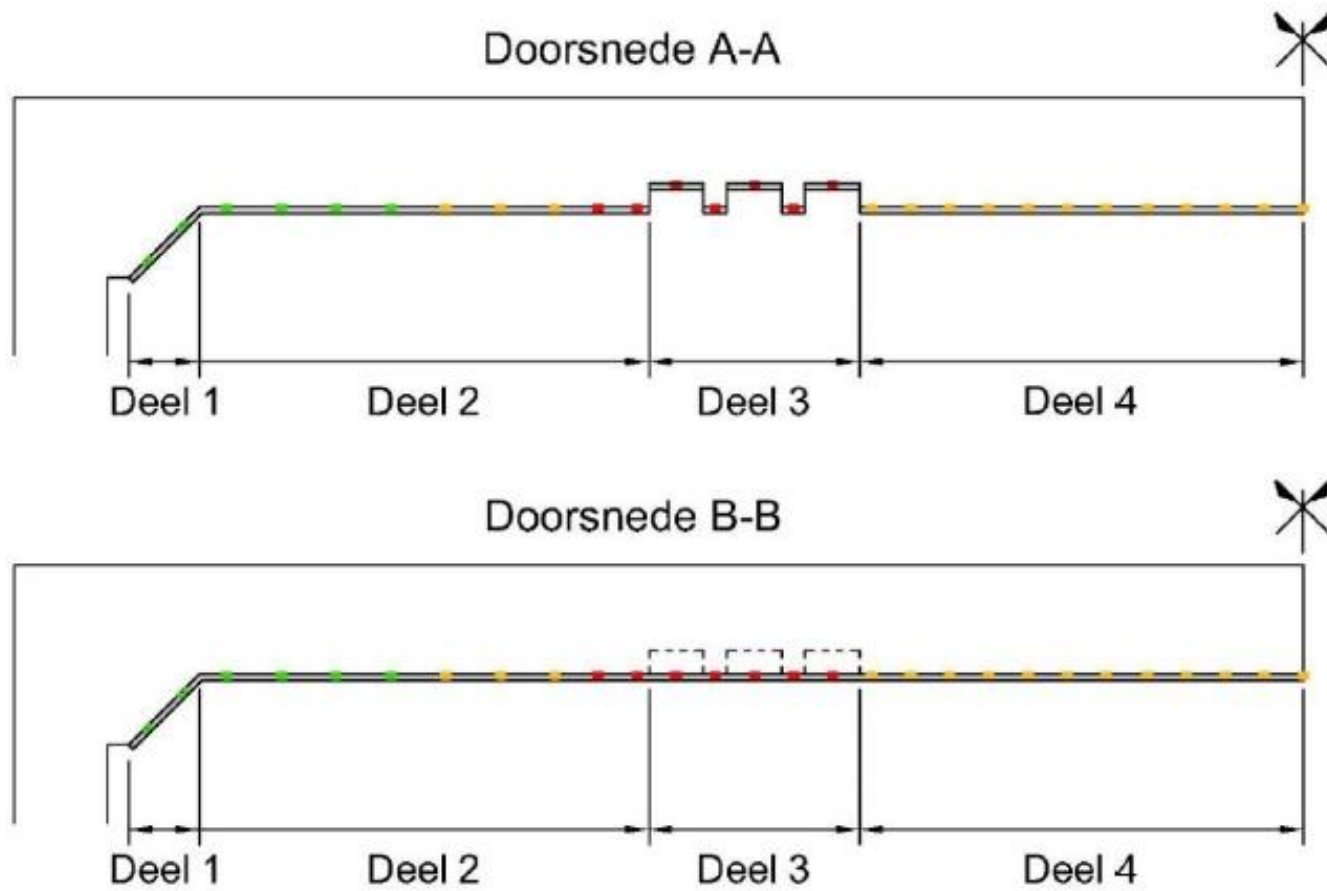
- Keuzen in functie van technieken
- Ti MMO strips

Meetcellen

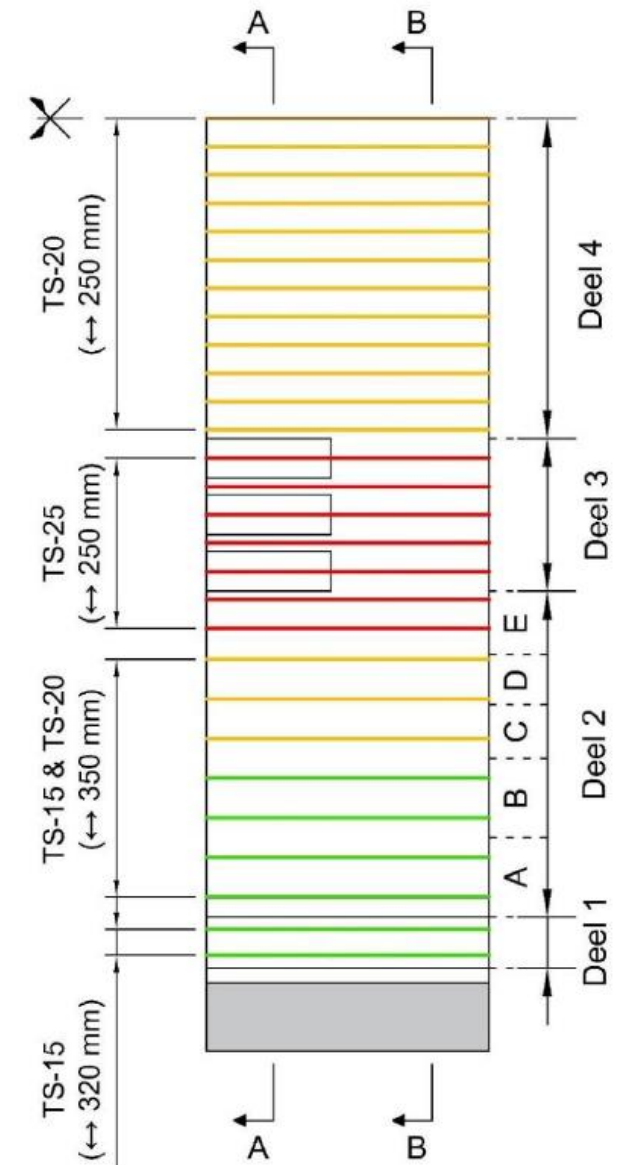
- 4 st / zone (~ 200m²)
- Combinatie van
 - ERE20 Elektrodes (MnO₂)
 - Depolarisatie sensoren



Troontunnel – Design



- TS-15
- TS-20
- TS-25

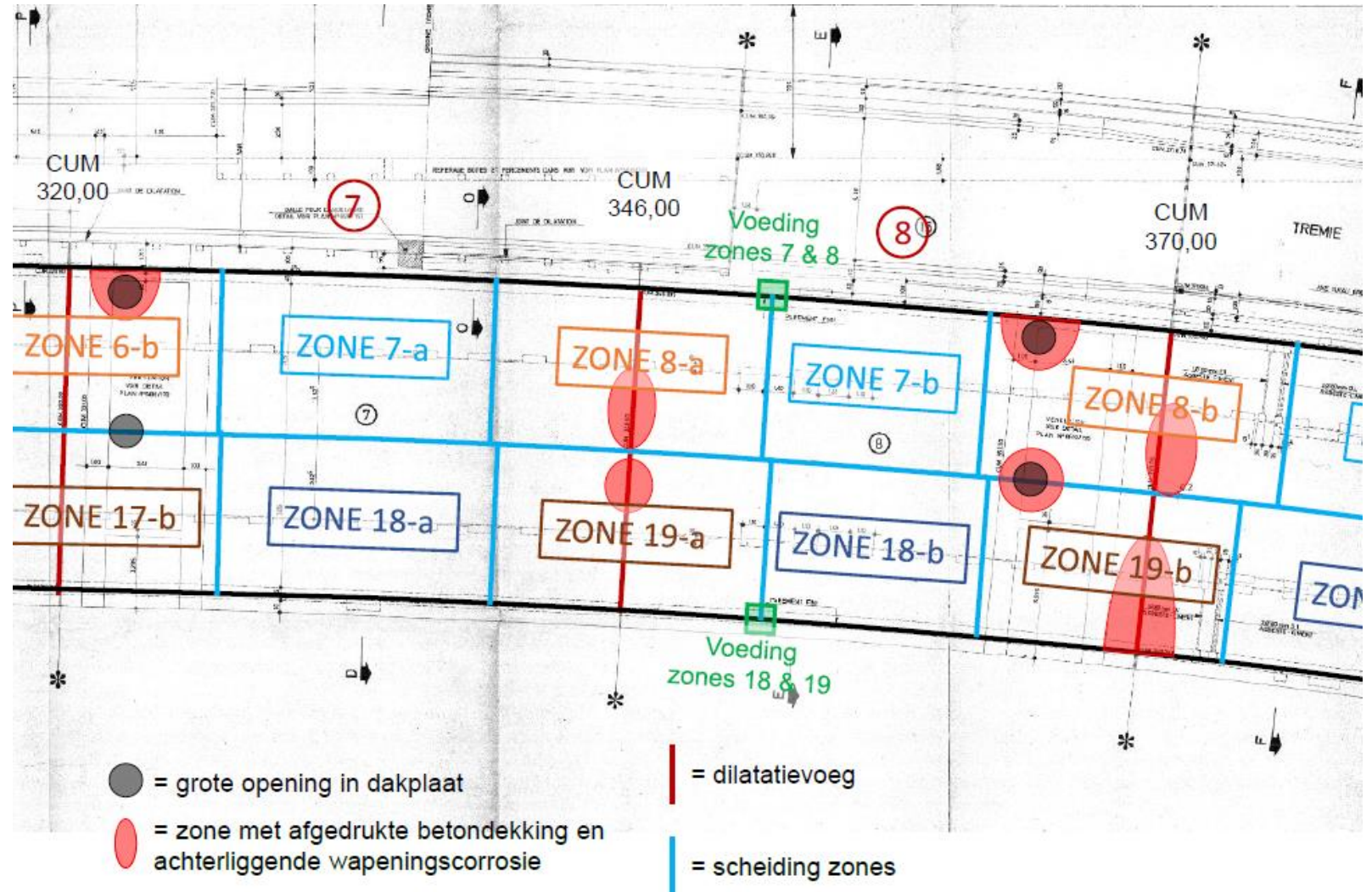


Troontunnel – Design

Zonering

- Duidelijk schadepatroon aan de voegen
- Hogere vochtbelasting aan de voegen
- Meer betonschade aan opening in de dakplaat

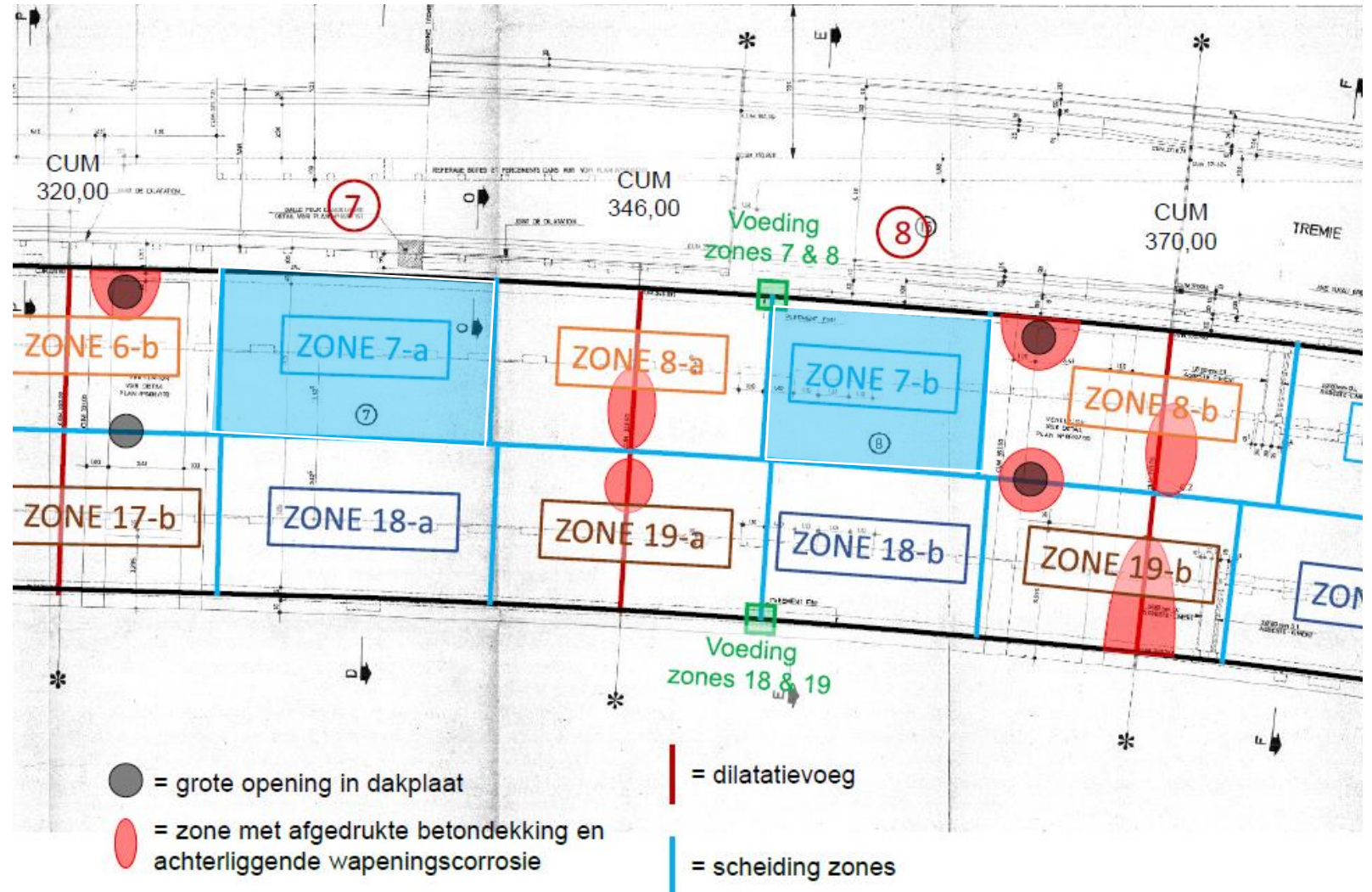
→ Zones opgesplitst in sub-zones !



Troontunnel – Design

Zonering

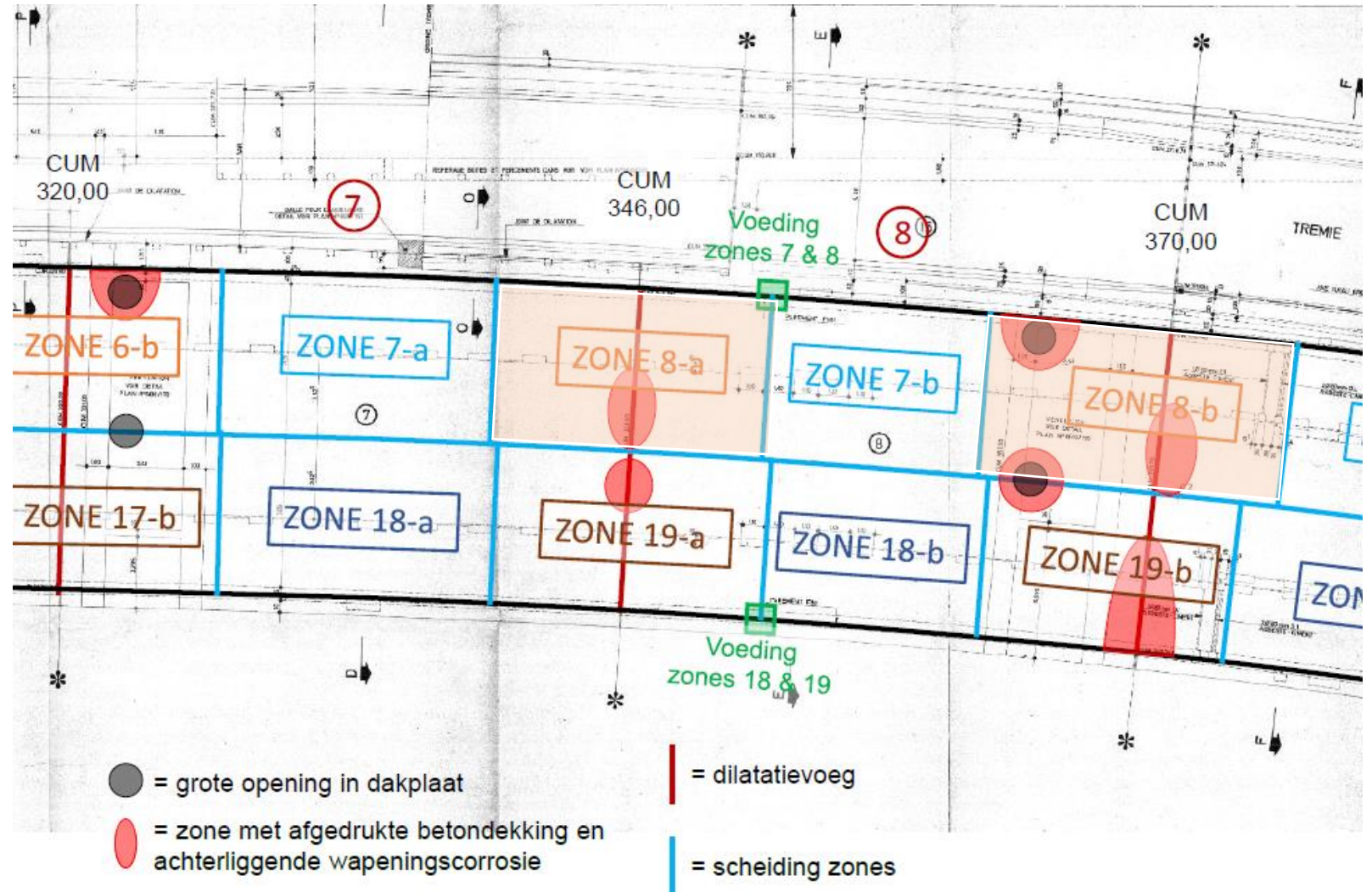
- Zones opgesplitst in sub-zones !
 - 1 voeding / 2 sub-zones
- Zone 7
 - Lagere vochtbelasting
 - Weinig schade
- 7a = 96m²
- 7b = 77m²



Troontunnel – Design

Zonering

- Zones opgesplitst in sub-zones !
 - 1 voeding / 2 sub-zones
- Zone 7
 - Lagere vochtbelasting
 - Weinig schade
 - 7a = 96m²
 - 7b = 77m²
- Zone 8 (voeg zone)
 - Hogere vochtbelasting
 - Meer zichtbare schade
 - 8a = 96m²
 - 8b = 107m²



Troontunnel – Design

Zonering

- Koker B

- 11 zones -> 21 sub-zones

- Koker A

- 11 zones → 21 sub-zones

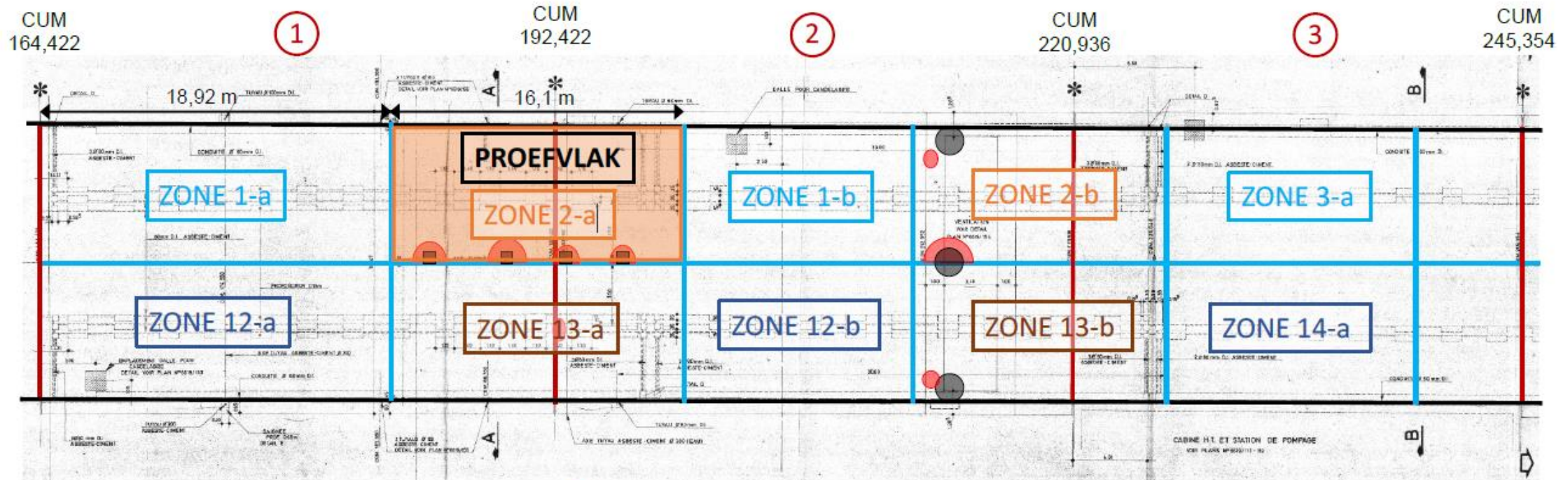
- Koker C

- 2 zones

Totaal 44 apart bekabelde (sub)zones

	Lengte (m)		Oppervlakte (m ²)		Totale oppervlakte (m ²)
	a	b	a	b	
Zone 1	18,9	12,5	145,5	96,3	241,8
Zone 2	16,1	13,9	124,0	107,0	231,0
Zone 3	13,6	10,0	104,7	77,0	181,7
Zone 4	12,5	13,9	96,3	107,0	203,3
Zone 5	13,6	12,5	104,7	96,3	201,0
Koker B Zone 6	12,5	12,5	96,3	96,3	192,5
Zone 7	12,5	10	96,3	77,0	173,3
Zone 8	12,5	13,9	96,3	107,0	203,3
Zone 9	12,5	12,5	96,3	96,3	192,5
Zone 10	11,1	17,5	85,5	134,8	220,2
Zone 11	38,6		297,5		297,5
Zone 12	18,9	12,5	145,5	96,3	241,8
Zone 13	16,1	13,9	124,0	107,0	231,0
Zone 14	13,6	10,0	104,7	77,0	181,7
Zone 15	12,5	13,9	96,3	107,0	203,3
Zone 16	13,6	12,5	104,7	96,3	201,0
Koker A Zone 17	12,5	12,5	96,3	96,3	192,5
Zone 18	12,5	10,0	96,3	77,0	173,3
Zone 19	12,5	11,4	96,3	87,8	184,0
Zone 20	13,6	12,5	104,7	96,3	201,0
Zone 21	11,4	17,5	87,8	134,8	222,5
Zone 22	37,1		285,7		285,7
Koker C Zone 23	21,2		174,8		174,8
Zone 24	22,3		183,8		183,8

Troontunnel – Proefvlak



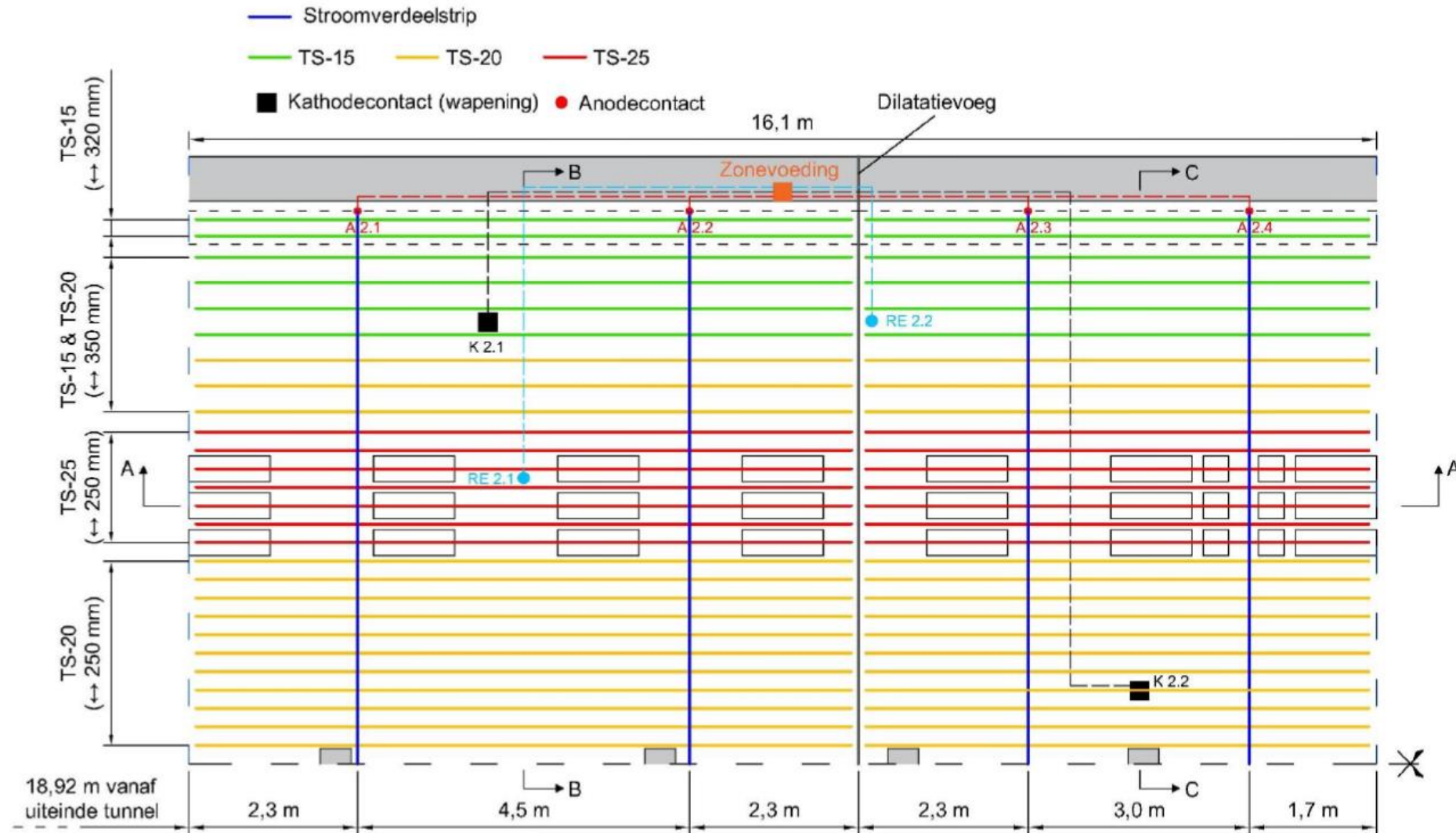
● = grote opening in dakplaat

● = zone met afgedrukte betondekking en achterliggende wapeningscorrosie

| = dilatatievoeg

| = scheiding zones

Troontunnel – Proefvlak

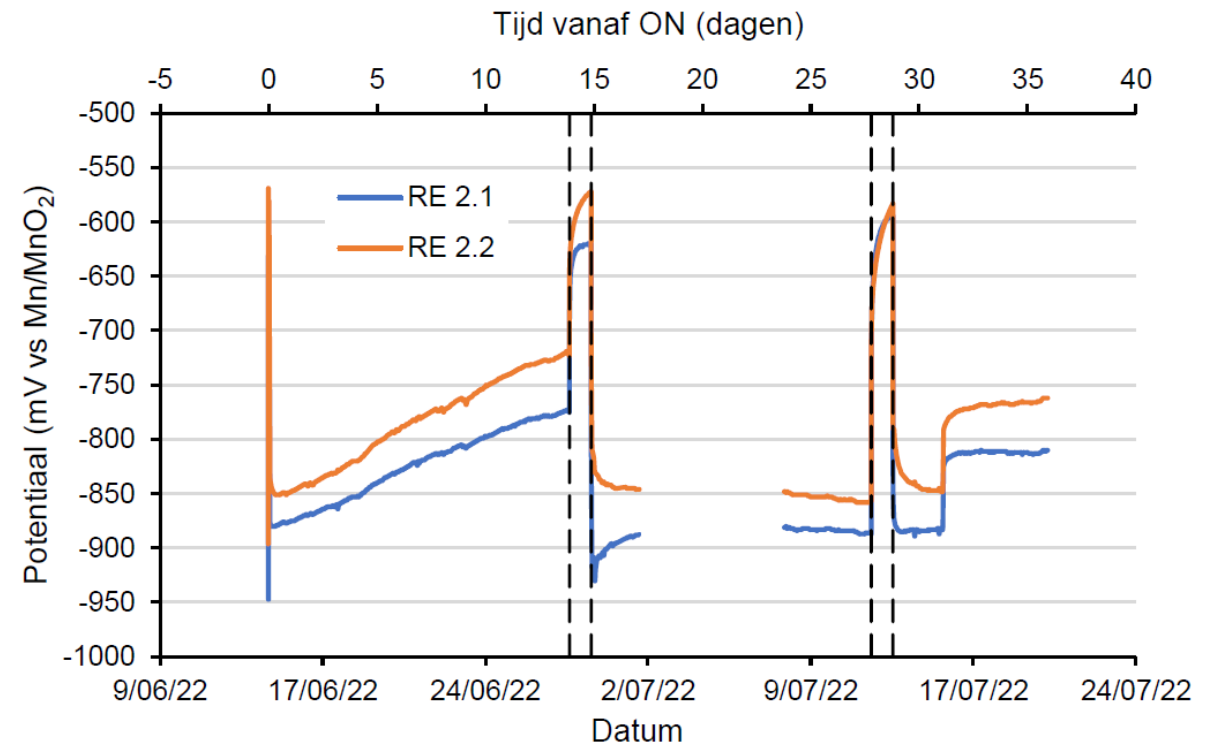
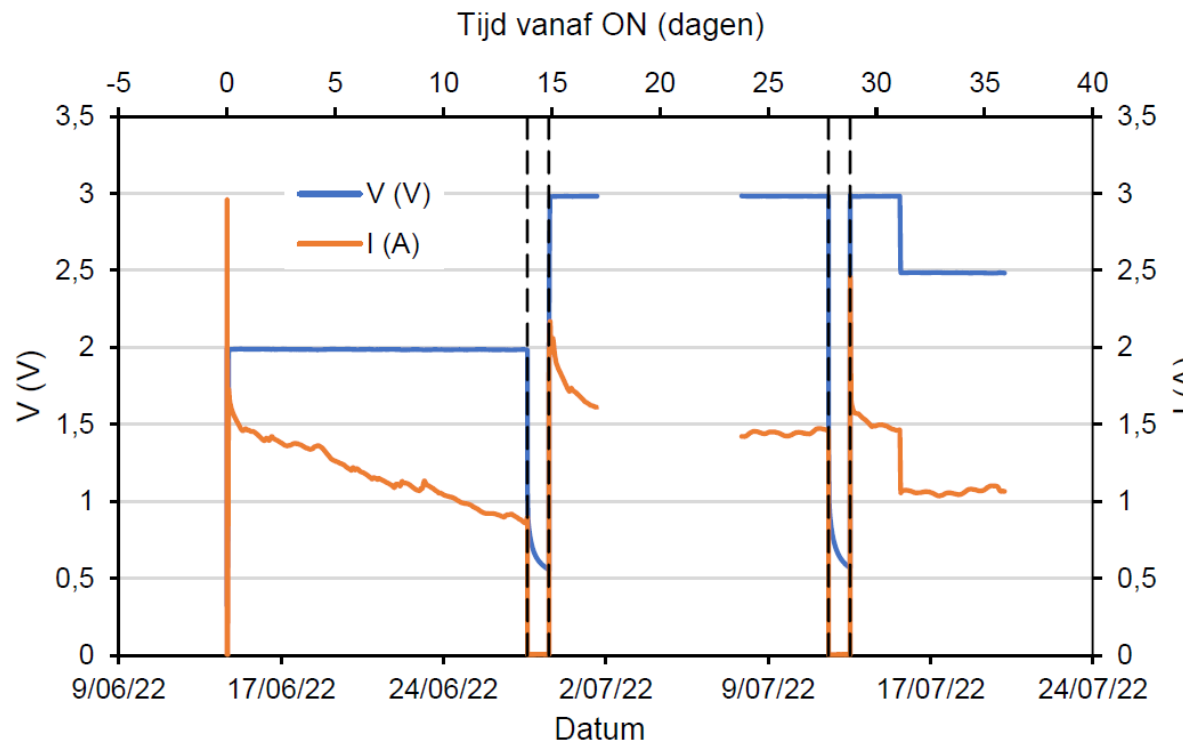


Troontunnel – Proefvlak



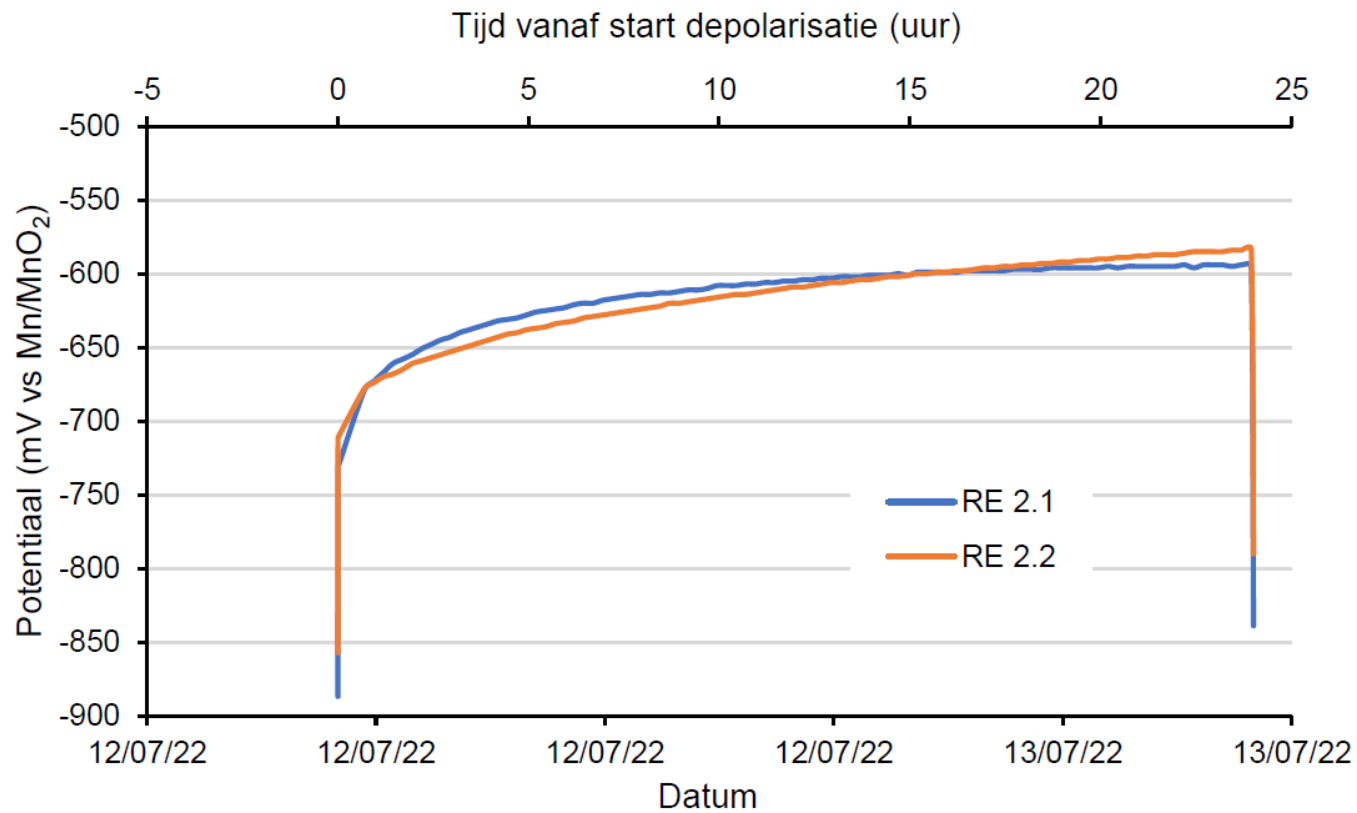
Troontunnel – Proefvlak

Spanning / Stroom



Troontunnel – Proefvlak

Depolarisatie



	Potential (mV vs Mn/MnO ₂)	
	RE 2.1	RE 2.2
'ON'	-887	-857
'INSTANT-OFF'	-749	-725
24h OFF	-594	-583
24h DEPOLARISATIE	155 mV	142 mV

Troontunnel – Uitvoering

Betonherstel

- Hydrodemolition / manueel bijpikeren



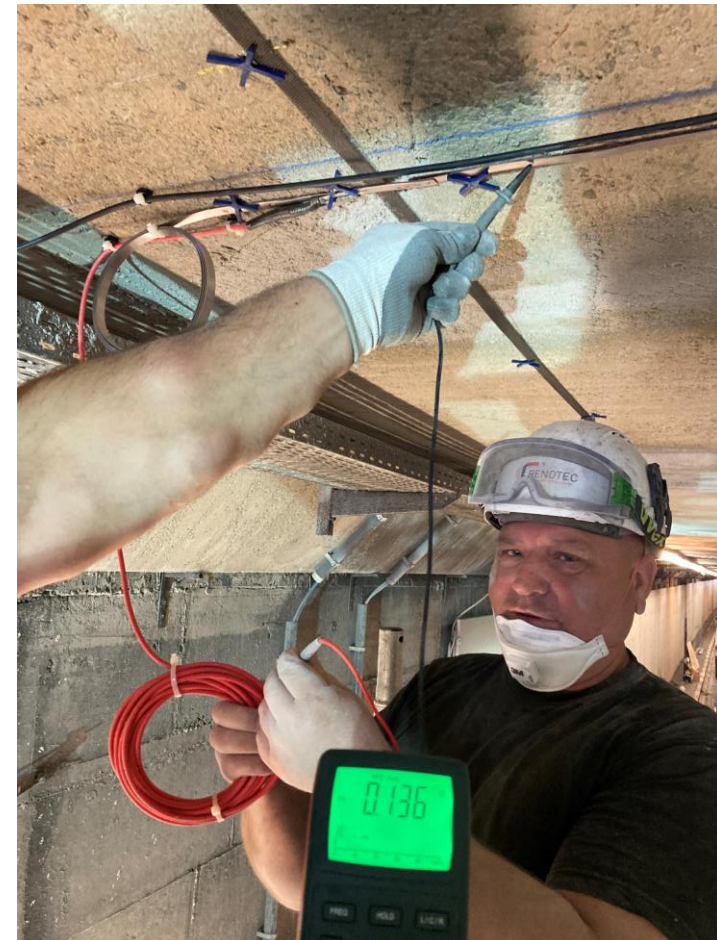
Troontunnel – Uitvoering

Kathodische bescherming



Troontunnel – Uitvoering

Kathodische bescherming



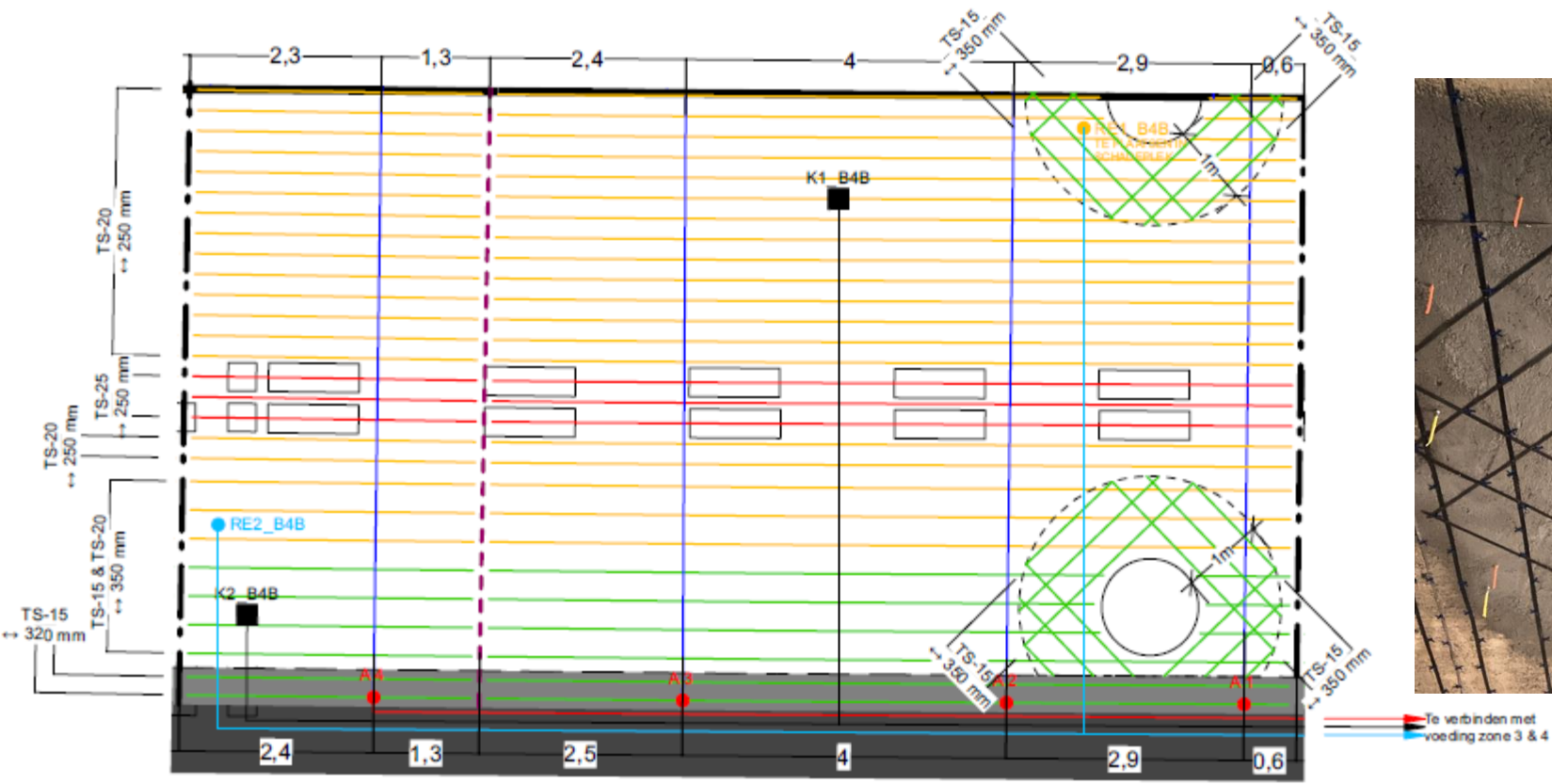
Troontunnel – Uitvoering

Kathodische bescherming



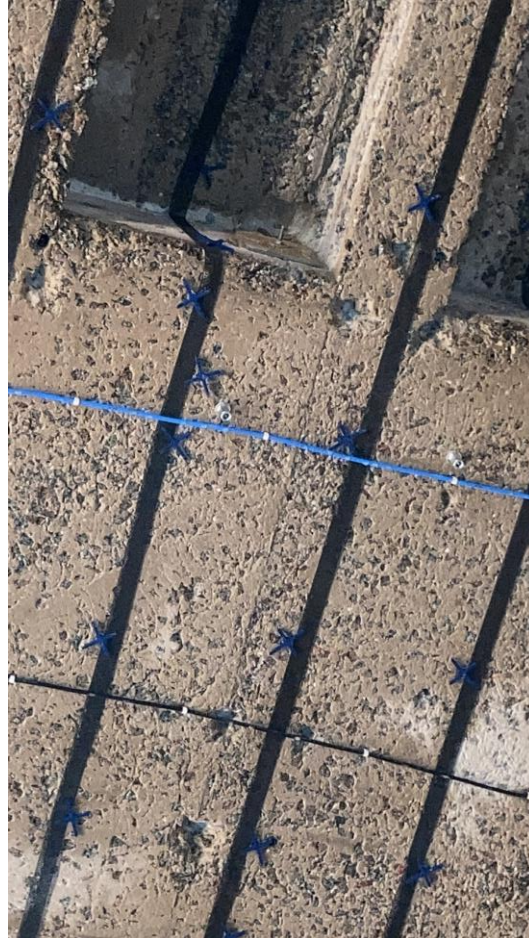
Troontunnel – Uitvoering

Kathodische bescherming



Troontunnel – Uitvoering

Kathodische bescherming – 18km Ti MMO strips / +72000 fixatie
pl



Troontunnel – Uitvoering

Overlaging



Troontunnel – Uitvoering

Overlaging – 250 trekproeven !



Troontunnel – Uitvoering

Technieken / Markering



Troontunnel – Uitvoering

Technieken / Markering

- Camur III Monitoring systeem.
 - 2 zones voedingen / kast



Project: Troon Tunnel

Zone	Status	Schedule	Alarm	Cathodic Protection
Zone C2 A	Decay	On	No	On
Zone C1 A	Decay	On	No	On
Zone B9 A+B	Decay	On	No	Off
Zone B8 A+B	Decay	On	No	On
Zone B7 A+B	Decay	On	No	On
Zone B6 A+B	Decay	On	No	On
Zone B5 A+B	Decay	On	No	On
Zone B4 A+B	Decay	On	No	On
Zone B3 A+B	Decay	On	No	On
Zone B2 A+B	Decay	On	No	On
Zone B11 A	Decay	On	No	On
Zone B10 A+B	Decay	On	No	On
Zone B1 A+B	Decay	On	No	On
Zone A9 A+B	Decay	On	No	On
Zone A8 A+B	Decay	On	No	On
Zone A7 A+B	Decay	On	No	On
Zone A6 A+B	Decay	On	No	On
Zone A5 A+B	Decay	On	No	On
Zone A4 A+B	Decay	On	No	On
Zone A3 A+B	Decay	On	No	On
Zone A2 A+B	Decay	On	No	On
Zone A11 A	Decay	On	No	On
Zone A10 A+B	Decay	On	No	On
Zone A1 A+B	Decay	On	No	On

Troontunnel – Eerste data

Eerste depolarisatie's – Fixed voltage 2,5V

Reference electrode	RE 1	RE 2	RE 3	RE 4
On	-927	-950	-834	-1100
Instant Off	-672	-500	-417	-708
IR drop	255	450	417	392
Off 24 hours	-597	-378	-205	-598
Depolarization	75	122	212	110
Criterion (8.6): Instant Off > -1100 mV	✓	✓	✓	✓
Criterion (8.6.a): Instant Off < -720 mV (-880mV voor MnO2)	✗	✗	✗	✗
Criterion (8.6.b): Depolarization >= 100 mV	✗	✓	✓	✓

Reference electrode	RE 1	RE 2	RE 3	RE 4
On	-692	-562	-356	-811
Instant Off	-512	-394	-287	-705
IR drop	180	168	69	106
Off 24 hours	-412	-289	-183	-645
Depolarization	100	105	104	60
Criterion (8.6): Instant Off > -1100 mV	✓	✓	✓	✓
Criterion (8.6.a): Instant Off < -720 mV (-880mV voor MnO2)	✗	✗	✗	✗
Criterion (8.6.b): Depolarization >= 100 mV	✓	✓	✓	✗

Reference electrode	RE 1	RE 2	RE 3	RE 4
On	-662	-1197	-650	-306
Instant Off	-510	-663	-534	-215
IR drop	152	534	116	91
Off 24 hours	-430	-445	-404	-111
Depolarization	80	218	130	104
Criterion (8.6): Instant Off > -1100 mV	✓	✓	✓	✓
Criterion (8.6.a): Instant Off < -720 mV (-880mV voor MnO2)	✗	✗	✗	✗
Criterion (8.6.b): Depolarization >= 100 mV	✗	✓	✓	✓

Bedankt voor jullie
aandacht.

Vragen

Frederick Crevits
27/09/2023





CONTACTEER ONS

Renotec Geel
Winkelomseheide 229
2440 Geel
T +32 14 86 60 21
www.renotec.be

Onze vestigingen
Geel
Wommelgem
Gent
Brussel
Waremmme