

Slot-event

PWO-project “A Bridge Too Far?”

Ir. Robin Debaene

- *Universiteit Antwerpen*

  Faculteit Ingenieurswetenschappen – EMIB - DUeL
- *Odisee Hogeschool*

  DUBiT onderzoekskern
- *Sanacon*

  ingenieursbureau gespecialiseerd in onderzoek en -advies met betrekking tot bestaande betonconstructies

Contact:
Robin.Debaene@odisee.be

Woensdag 18/12/2024
Campus Aalst

SANACON
FOR HEALTHY CONCRETE STRUCTURES

Universiteit Antwerpen

Odisee
DE CO-HOGESCHOOL

PWO-project “A Bridge Too Far?”

- *Introductie*
- *WP1: Ervaring met KB*
- *WP2: Experimenteel luik*
- *WP3: Analyse van KB*
- *Gerealiseerde output*
- *Vervolg onderzoek en dienstverlening*

Introductie

PWO project ‘A Bridge Too Far’ – 2021-2024

September 2021:

Bachelorproeven en masterproeven

September 2022:

- WP1: Ervaring met KB
- WP2: Stroomverdeling
- WP3: Analyse van KB en genereren Output

September 2024:

- KB cursus (gestart 2022)
- Demo-wall = operationeel
- Uitgevoerd proefprogramma
- Leidraden/syllabus
- KB community

December 2024:

- KB cursus (3de editie)
- Publicaties en disseminaties
- Proposals omtrent future research (PWO/TETRA)
- Dienstverlening + Blikopener

PWO project ‘A Bridge Too Far’ – 2021-2024



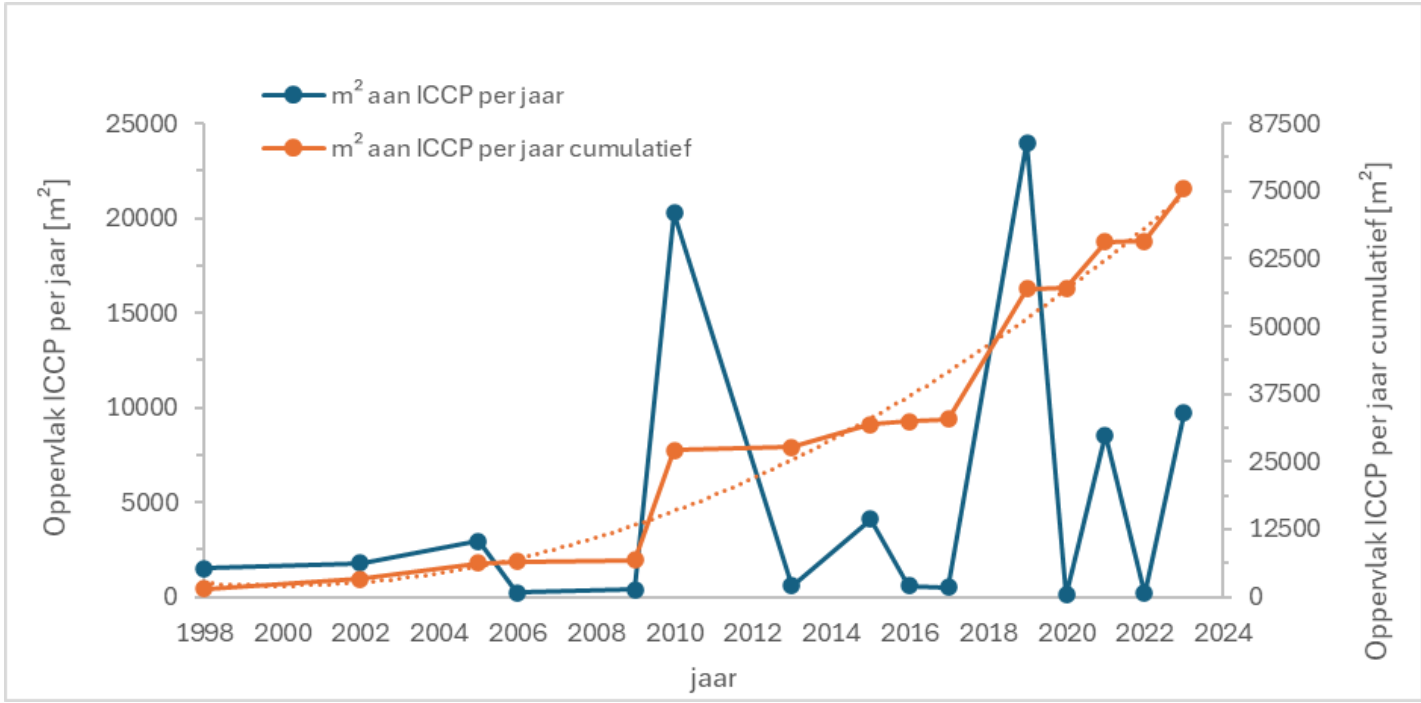
- Praktijkgericht Wetenschappelijk Onderzoek (PWO): *Kathodische bescherming als duurzame hersteltechniek voor levensduurverlenging van bestaande (civiele)betonconstructies*
- WP1 – Ervaringen met KB, marktstudie, pro’s vs. con’s en inventarisatie
  - In kaart van de bestaande KB markt.
- WP2 – Experimenteel luik: Invloed op stroomverdeling
  - Voorbeeld: Welke parameters hebben een invloed op de stroomverdeling binnen het KB-systeem en wat is de gevoeligheid van deze parameters? → Experimenteel vs simulaties
- WP3 – KB analyse
  - Voorbeeld: Hoe bepaal je in welke situaties KB een realistische hersteltechniek is en welk KB systeem het meest geschikt is?
- Genereren van output

WP1 – Ervaringen met KB, marktstudie, pro’s vs. con’s en inventarisatie

Geplaatste ICCP-systemen in België (heden)

- Augustus 2024: 35 ICCP projecten in België goed voor een ±76 000 m^2 aan KB
- Carbonatatie, scheuren of andere (KBC toren Antwerpen) (12%)
- Chloride-verontreiniging (al dan niet in combinatie met carbonatatie) (88%)
- 7% wordt niet meer opgevolgd (4-tal cases)

- Geleidende coating 3%
- TiMMO strip 54%
- TiMMO gaas 8%
- Inbooranodes 8%
- TiMMO cilinder (extern) 27%



Nadelen van KB

- **Jaarlijkse controle, monitoring en een regelmatige onderhoud zijn noodzakelijk en verplicht**
- Enkel toepasbaar met wapeningscorrosie als de primaire oorzaak van de schade
- **Specifiek KB vooronderzoek vereist**
- **Vakkennis en specialisatie noodzakelijk in verband met ontwerp, installatie en monitoring**
- Risico op kortsluiting: oppassen voor metalen in het beton (zoals bvb achtergebleven binddraad), injecteren van scheuren, waterdoorsijpeling, …
- Beperkte levensduur van de elektronische componenten, veroudering van de monitoringssoftware, …
- De sectie van het staal dat is weg-gecorrodeerd kan niet worden terug gebracht door KB (stabiliteit?)
- Mogelijke neveneffecten: waterstofverbrossing, ASR, verzuring anode-beton oppervlak, ..

Barrière om voor ICCP te kiezen

- Gebrek aan kennis en ervaring bij de opdrachtgever, aannemer, …
- Beperkt aantal bedrijven op de Belgische markt waardoor aanbod beperkt blijft → Aannemers willen geen onderhoudswerken uitvoeren op systemen die ze niet zelf hebben geplaatst
- Hogere initiële kost
- Opteren voor GCP vanwege de afwezigheid van monitoring (niet in regel met de NBN EN ISO 12696 norm)
- Het niet meer opvolgen van systemen wegens aflopen onderhoudscontract of verandering in personeel (kennis gaat verloren) → kapotte onderdelen worden niet meer vervangen
- Wantrouwen ontstaan vanuit eerder opgetreden problemen:
  - Scheuren en delaminatie van de morteloverlaging
  - Systeem beschadigd door sijpelend vocht/lekkage
  - Kapotte RE's niet vervangen
  - …

Voordelen van KB

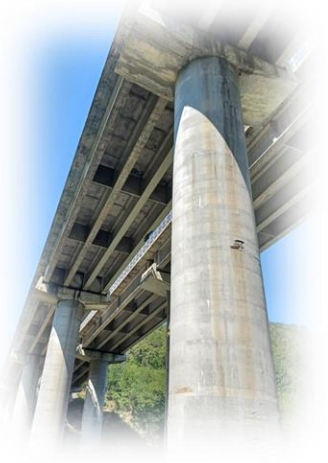
- Een optimaal KB systeem remt de corrosiestroom af naar een verwaarloosbaar niveau
- **Aanzienlijke levensduurverlenging**
- **Beperkte betonsanering (minder afval)**
- Realkalisatie en chloride-extractie als secundaire effecten
- Positieve effecten op vlak van LCA en LCCA → **gedefinieerd als duurzaam**
- Toepasbaar voor moeilijk bereikbare plaatsen
- **Monitoring zorgt voor een controle op het herstel en de goede werking**

WP2 – Experimenteel luik: Invloed op stroomverdeling

Stroomverdeling via experimenteel onderzoek en numerieke modellering

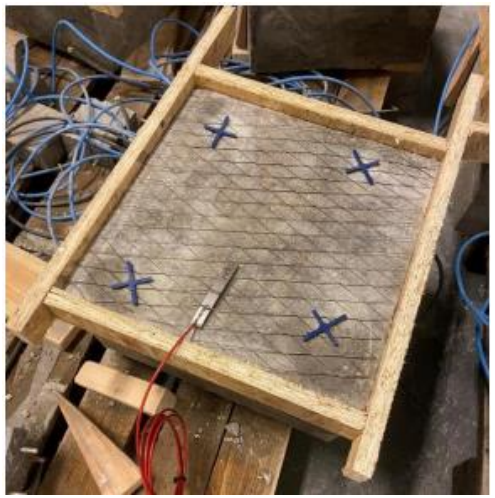
- Doel: optimaal design KB-systeem op vlak van economie, ecologie, …
- Overbescherming/onderbescherming → Hou de beschermstroom zo laag mogelijk
- Invloedsparameters (weerstand van het beton, vochtgehalte, chloridegehalte, carbonatatie, geometrie, configuratie van de wapening, plaats van het element, afstand anode/kathode, initiële corrosiesnelheid, polarisatie, type anode, anodeconfiguratie, anodemateriaalkeuze, toegepaste stroom en stroomdichtheid, temperatuur, relatieve vochtigheid, tijd, …)
- Uitgewerkt in twee masterproeven UAntwerpen:
  - ICCP of steel in concrete: How do key parameters affect power distribution and, consequently, the effectiveness of a CP system? (Seppe Hapers)
  - CP of concrete structures: An overview of existing research and numerical modulation of the protective current distribution to assess the efficiency of the ICCP system. (Yannosh Habers)

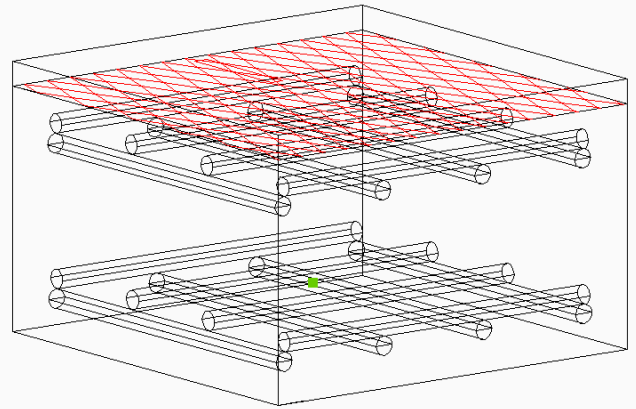
ICCP of steel in concrete: How do key parameters affect power distribution and, consequently, the effectiveness of a CP system?



- Acht proefstukken met afmetingen 0,35m x 0,35m x 0,2m
- Elk proefstuk voorzien van twee wapeningsnetten (lengte 30 cm en diameter 16 mm elke 10 cm
- 2 cm betondekking → afstand anode
- 320 kg/m³ aan cement met w/c factor van 0,55
- Één Ag/AgCl RE per net
- TiMMO TG30 gaas







ICCP of steel in concrete: How do key parameters affect power distribution and, consequently, the effectiveness of a CP system?



Wapeningslaag	24h depolmeting 1 week na opstart (2V) (11 °C 84%)	24h depolmeting 3 weken na opstart (2V) (6°C 82%)	24h depolmeting 4 weken na opstart (2V) (6°C 70%)	24h depolmeting 6 weken na opstart (3V) (13°C 82%)	24h depolmeting 8 weken na opstart (3V) (14°C 95%)
Laag A [mA/m²stper 100 mV depol] pr1	15.1 (24.0/159)	15.2 (45.6/300)	8.9 (12.3/148)	8.2 (20.7/253)	7.6 (18.2/241)
Laag B [mA/m²st per 100 mV depol] pr1	8.5 (4.1/49)	14.7 (15.7/107)	6.6 (3.3/50)	9.9 (7.5/75)	9.8 (7.0/72)
Laag A [mA/m²st per 100 mV depol] pr3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Laag B [mA/m²st per 100 mV depol] pr3	[illegible]	20.7 [illegible]	[illegible]	20.7 [illegible]	22.3 (20.7/93)
Laag A [mA/m²st per 100 mV depol] pr2	25.2 (25.7/102)	27.4 (28.2/103)	13.4 (14.9/111)	16.9 (34.0/201)	15.7 (28.2/180)
Laag B [mA/m²st per 100 mV depol] pr2	55.3 (1.7/3)	18.4 (1.7/9)	18.4 (1.7/9)	16.6 (1.7/10)	20.7 (1.7/8)

blikopener
hogescholen partners in innovatie

Odisee DE CO-HOGESCHOOL
Universiteit Antwerpen
SANACON

ICCP of steel in concrete: How do key parameters affect power distribution and, consequently, the effectiveness of a CP system?

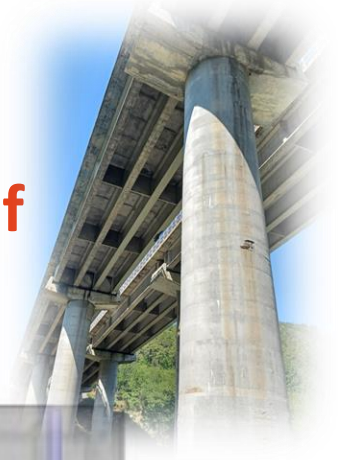


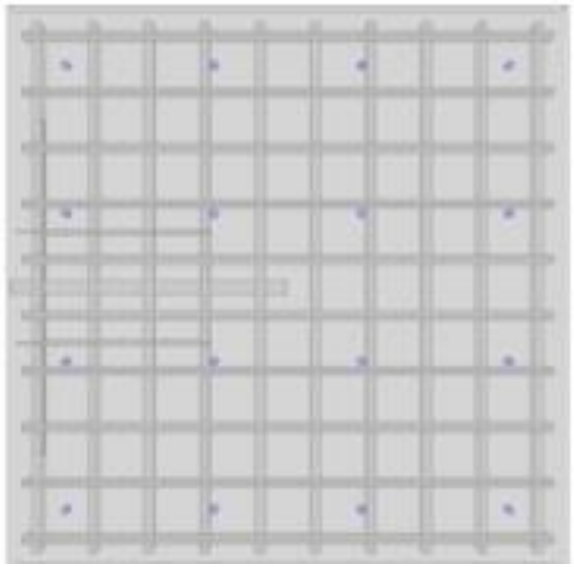
- Drie algemene conclusies:
  - Stijging in temperatuur zorgt voor een stijging in totale beschermstroom (onder gelijke RV) → invloed op 4h depolmeting is niet navenant
  - Proefstuk met CEM III/B cement → gemiddeld 93% van de totale stroom vloeit naar laag A → laag B kan niet voldoende beschermd worden (afstand van 15 cm is te ver van de anode)
  - Een opgelegde spanning van 20V is te hoog voor KB

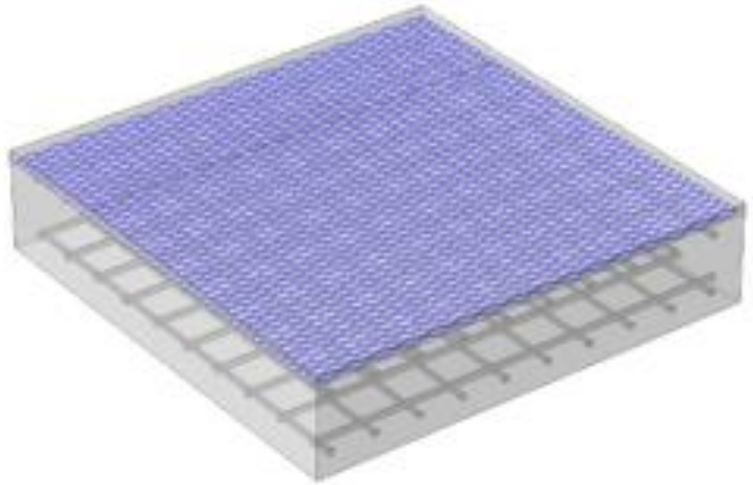


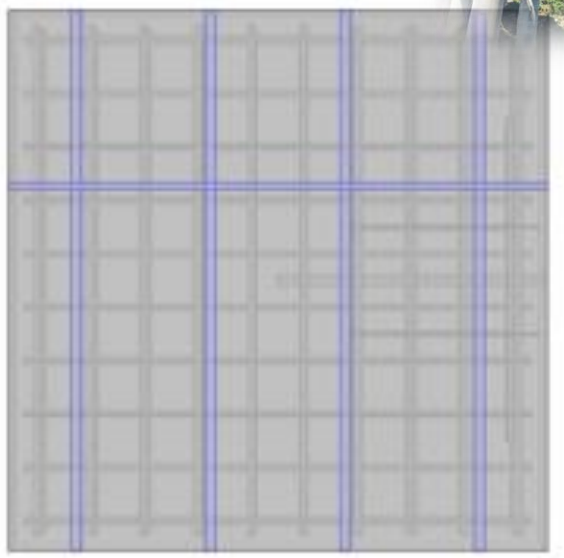
blikopener
hogescholen partners in innovatie

CP of concrete structures: An overview of existing research and numerical modulation of the protective current distribution to assess the efficiency of the ICCP system.









WP3 – KB analyse

Hoe bepaal je in welke situaties KB een realistische hersteltechniek is en welk KB systeem het meest geschikt is?

- Waarom kiezen voor KB en welk systeem is het meest geschikt?:
  - Oorzaak en omvang corrosie
  - Gewenste levensduurverlenging
  - Bereikbaarheid van de wapening
  - Case specifieke voorwaarden (extra gewicht toegelaten, geluid, down-time structuur, wapeningsdensiteit, …)
  - GCP (chloriden, wapeningsdensiteit en resistiviteit beperkt?)
- KB beslissingstool gebaseerd op bestaande cases

Hoe verantwoord je de keuze tot KB op vlak van kosten?



- Niet eenvoudig:
  - Prijs installatiekost: materiaal en arbeidskost → markt afhankelijk
  - Monitoringskost → relatief ten opzichte van installatiekost ifv. het aantal m^2 aan KB
  - het aantal m^2 aan KB → volumekorting
  - Project afhankelijk: bouwplaatsinrichting, maatregelen omtrent veiligheid, …

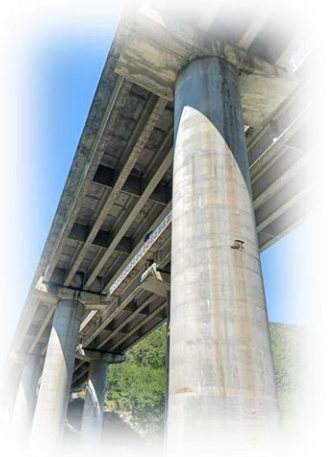
Brugdek	100	m^2						
Lengte	12	m			Volledig brugdek verontreinigd:	5	m^3	
Breedte	8,33	m			10% loszittend:	0,5	m^3	
Wapeningsdensiteit	1	m^2st/m^2beton			45% werkelijk verontreinigd:	2,25	m^3	
Ontwerpstroomdichtheid	20	mA/m^2beton						
verontreinigde diepte	0,05	m						
Loszittend beton	0,50	m^3	500	dm^3	10			
Verontreinigd beton	2,25	m^3	2250	dm^3				

	€ per m^2	Levensduurverlenging
TiMMO gaas	420	40
TiMMO strips	435	40
Geleidende coating	365	20
ICCP discrete anodes	405	40
GCP zink folie	300	15
GCP discrete anodes	485	20
GCP zink gaas	340	20
Klassiek herstel	430	10

Odisee
DE CO-HOGESCHOOL

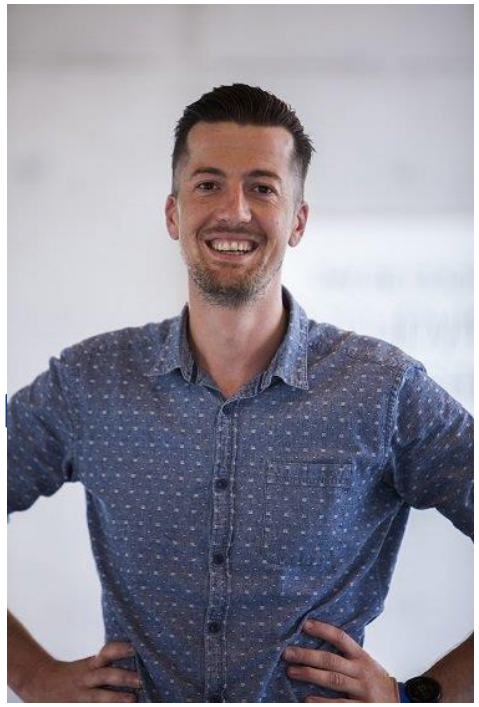
Gerealiseerde output

Opleiding ‘Kathodishe bescherming van betonstructuren’



Info: bart.craeye@odisee.be

Prof. dr. ir. Bart Craeye



Ir. Robin Debaene



Prof. dr. ir. Bjorn Van Belleghem



Opleiding ‘Kathodishe bescherming van betonstructuren’



- Twee KB opleidingen succesvol afgerond en één opleiding volop bezig, goed voor 57 cursisten:
  - Bouwheer: 8
  - Aannemer: 25
  - Studiebureau: 17
  - Leverancier: 3
  - Architect: 4
- Gespecialiseerde KB opleidingsdag voor Agentschap Wegen en Verkeer: 37 personen

Opleiding ‘Kathodishe bescherming van betonstructuren’ - Programma



- Module 1– Wapening**scorrosie** en de (on)zin van KB
  - *Diagnose en beoordeling van betonstructuren – wapeningscorrosie*
  - *Evolutie van KB toegepast op betonstructuren in België*
- Module 2– **Principes KB**: van elektrochemie tot duurzaam herstel
  - *Principes en grondslagen van KB*
  - *KB systemen, onderdelen en terminologie*
  - *Vooronderzoek gericht op KB*
  - *Uitvoeringstechnische aspecten*
- Module 3– **KB installatie**: van ontwerp tot opvolging
  - *Ontwerp en dimensionering*
  - *Opstart en controle voor activering*
  - *Opvolging, monitoring, kwaliteitssysteem, problem solving*

Odisee DE CO-HOGESCHOOL Universiteit Antwerpen SANACON

Opleiding ‘Kathodishe bescherming van betonstructuren’ - Programma



- Module 4– **KB herbekeken**
  - *Faalmechanismen, levensduuraspecten en risico-analyse*
  - *Levenscyclus Kosten Analyse (LCC) van duurzame betonherstelsystemen*
  - *Cases*
- Module 5– **Practicum**
  - *Ga zelf aan de slag in een practicum waarbij je met state-of the art meettoestellen gaat meten in het DUBiT labo, niet-destructief vs. destructief – in situ vs. labo*
- Module 6 **- KB in actie:**
  - *Demo-wall: demonstratie van verschillende KB-systemen op realistische schaal*
  - *oefeningen omtrent diagnose, vooronderzoek en ontwerp KB*
  - *Q&A sessie*
- Module 7 **- Examen**

Odisee DE CO-HOGESCHOOL Universiteit Antwerpen SANACON

Technische voorlichtingen/ leidraden

- Hoofdstuk 1 - Wapeningscorrosie in gewapend beton. Een diepgaand begrip van de corrosieproblematiek is cruciaal om de werking en voordelen van KB (corrigerende of preventieve maatregelen) goed te kunnen begrijpen. Naast de fundamentele principes van corrosie wordt ook het belang van een gedegen vooronderzoek behandeld.
- Hoofdstuk 2 - Principes van KB: van elektrochemie tot duurzaam herstel. De theorie en de verschillende componenten van een KB-systeem worden behandeld. De doelstellingen en parameters van een KB-vooronderzoek worden uitgebreid besproken.
- Hoofdstuk 3 - KB in actie: van ontwerp tot opvolging. Het ontwerp, de installatie en de monitoring van een KB-systeem komen aan bod, met specifieke aandacht voor de verschillende typen anodesystemen. Een goed doordacht ontwerp, professionele installatie en nauwkeurige opvolging zijn onmisbaar voor een duurzaam en optimaal werkend KB-systeem.
- Hoofdstuk 4 - KB herbekeken: de (on)zin, faalmechanismen en levensduur van KB. Dit hoofdstuk belicht de zin en onzin van KB als hersteltechniek, waarbij zowel de voordelen als de beperkingen aan bod komen. Verder worden de levensduur en mogelijke faalmechanismen onder de loep genomen.
- Hoofdstuk 5 - KB praktisch bekeken: uitgewerkte oefening. Het laatste hoofdstuk richt zich op de praktische uitvoering van KB. Aan de hand van een uitgewerkte oefening worden de belangrijkste elementen van de cursus gecombineerd tot een concreet voorbeeld

KB webpagina’s

- https://www.odisee.be/Kathodische-bescherming

Publicaties



- Influence of various parameters on the current distribution and protection degree of impressed current cathodic protection for reinforced concrete with TiMMO mesh anodes (**SMARTINCS'23 Conference on Self-Healing, Multifunctional and Advanced Repair Technologies in Cementitious Systems**)
- Reinforced concrete demo-wall illustrating service life extension through cathodic protection **(7th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR 2024))**
- Effect of chloride concentration on impressed current cathodic protection: experimental research versus numerical modelling **(Concrete Solutions 2025 - 9th International Conference on Concrete Repair, Durability and Technology) (juni 2025)**
- A1 journal papers aan de hand van de numerieke en experimentele data
- Syllabus op aanvraag!
- https://www.odisee.be/Kathodische-bescherming/KB-leidraden-en-publicaties

Odisee DE CO-HOGESCHOOL Universiteit Antwerpen SANACON

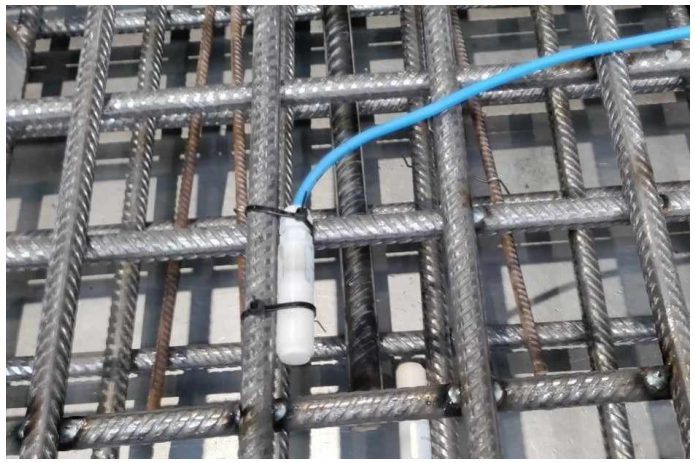
Demo-wall: Levensduurverlenging van gewapend beton doormiddel van kathodische bescherming

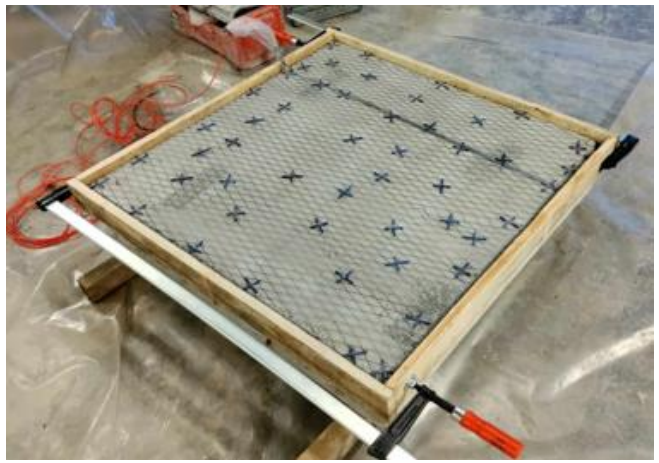


- Zes individuele gewapende betonnen panelen:
  - Vier elementen voorzien van ICCP
  - Eén referentie element zonder KB
  - Eén GCP element (Zinkgaas en discrete anodes)
- Meer info omtrent ontwerp, installatie en monitoring van KB aan de hand van praktisch voorbeeld

https://www.odisee.be/Kathodische-bescherming/demo-wall-kathodische-bescherming → online kalender voor inboeken van sessies

https://camur.no/monitor/#/login









Vervolg onderzoek en dienstverlening

Tetra aanvraag: Duurzaam ontwerp van kathodische beschermingssystemen voor bestaande betonstructuren

Het algemene doel van dit project is om de effectiviteit, duurzaamheid en kosten van verschillende kathodische beschermingssystemen te analyseren en te optimaliseren voor toepassingen in betonconstructies. Door een gedetailleerde vergelijking van ICCP- en GCP-systemen met diverse anode-opties, streeft dit project naar het identificeren van de meest effectieve en duurzame oplossing voor betonbescherming op lange termijn. Inzetten op:

- Life-Cycle Cost Analysis
- Life-Cycle analysis
- Verder inzetten op numerieke simulaties
- PCA gecombineerd met AI en machine learning (ML) om de prestaties en efficiëntie van modellen te verbeteren gebaseerd op data van de gegeneerd door de demo-wall

VLAIO

Tetra aanvraag: Duurzaam ontwerp van kathodische beschermingssystemen voor bestaande betonstructuren

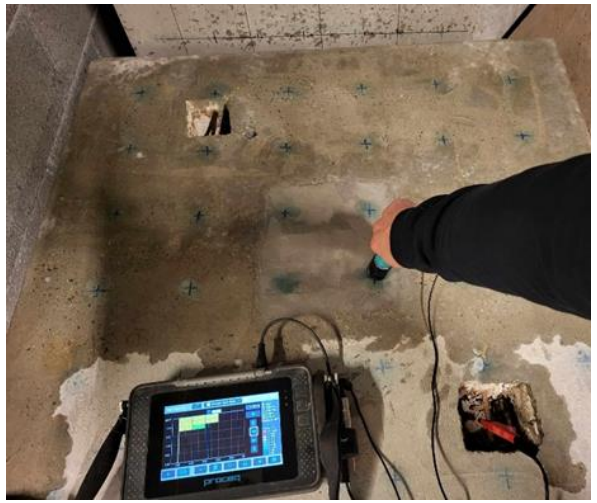
- Verplicht begeleid door een begeleidingsgroep: actieve deelname → minstens 2 maal per jaar samenkomen
- Leden van de begeleidingsgroep dragen minstens 7,5% cofinanciering bij aan de projectkost
- Verwachte projectkost €350.000
- 15 bedrijven met een elk een bijdrage van €1750 → **30% korting op een inschrijving voor onze KB opleiding**
- Interesse → link of qr code

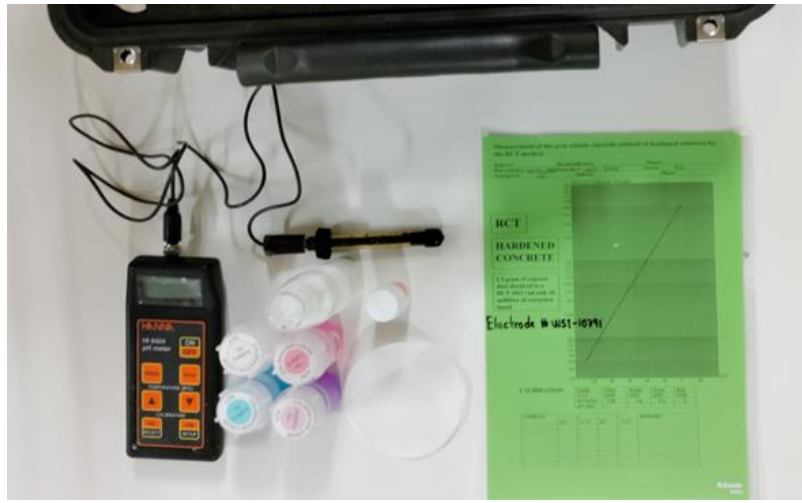
Dienstverlening

- Blikopener: intake gesprekken en eerstelijnsadvies → advies is gratis en neemt minder dan een halve dag in beslag → zeer ruim: bvb advies omtrent KB
- Dienstverlening (dienstverleningsovereenkomst): preliminair onderzoek → inzetten op haalbaarheid van KB (NDT vs DT)











Ir. Robin Debaene

- *Universiteit Antwerpen*

  Faculteit Ingenieurswetenschappen – EMIB - DUeL

- *Odisee Hogeschool*

  DUBiT onderzoekskern

- *Sanacon*

  ingenieursbureau gespecialiseerd in onderzoek en -advies met betrekking tot bestaande betonconstructies

Thank you for listening!

Robin.Debaene@odisee.be

SANACON FOR HEALTHY CONCRETE STRUCTURES

Universiteit Antwerpen

Odisee DE CO-HOGESCHOOL