

EINDVERSLAG WERKGROEP LEVENSDUUR GALVANISCHE ANODES VOOR KB VAN WAPENING IN BETON ONDER ATMOSFERISCHE EXPOSITIE

Verslag 2020.9 d.d. 14 september 2020

Aanleiding

In de markt worden verschillende benaderingen gehanteerd voor het benaderen van de levensduur van galvanische anodes. Dit leidt soms tot opmerkelijke verschillen in de benadering voor ontwerp en evaluatie van deze anodes. Het gevoel van “smaak” en “mening”, veroorzaakt verwarring en ongerustheid bij de eindgebruiker. Een goed onderbouwde benadering voor levensduurbeschouwingen van dit type anodes, is gewenst.

GOED FUNCTIONEREN GALVANISCHE ANODES

Voor het goed functioneren van galvanische anodes (ook op langere termijn), zijn vier factoren van belang:

1. De zinkcapaciteit
2. De activator gebruikt in het anodesysteem om het zink actief te maken en te houden
3. De spatiëring van de anodes: het “goed ontwerpen”
4. De uitvoering van het KB-systeem, bijvoorbeeld de duurzaamheid van de contacten (“goede uitvoering”)

De factoren 3 en 4 worden voor deze werkgroep verondersteld goed te zijn, derhalve een goed ontwerp en een goede uitvoering. Deze zijn onderwerp voor een andere werkgroep. Factoren 1 en 2 worden beschouwd door deze werkgroep en worden beide als belangrijk, zelfs cruciaal, beoordeeld.

WAT ZIJN DE CRITERIA VOOR GALVANISCHE ANODES VOOR KB VAN WAPENINGSSTAAL IN BETON?

Deze zijn hetzelfde als die welke gebruikt worden voor KB-systemen met opgedrukte stroom, namelijk die welke zijn vermeld in paragraaf 8.6 van ISO EN NEN12696 (kortweg NEN12696).

Wel wordt opgemerkt dat in sommige gevallen, met name in het buitenland, galvanische KB (GCP) wordt aangebracht in plaatselijke reparaties (“patch repairs”) om ‘ompoling’ en geïnduceerde anodes, ook wel ‘ringanodes’ genoemd, te voorkomen. Er ontstaat dan door de toepassing van de anodes geen macro-cel. Doordat de macro-cel niet gevormd wordt, waarbij de reparatieplek een ‘grote’ tegenelektrode (kathodegebied) zou vormen voor het omliggende wapeningsstaal, heeft buiten de reparatieplek geen versnelling van wapeningscorrosie plaats die zonder de anodes wel zou plaatsvinden. Deze toepassing is min of meer vergelijkbaar met KPre (kathodische preventie) en heeft een lage stroombehoefte (uitgedrukt in mA/m²_{staal} in het reparatiegebied). In deze situatie wordt dan een ‘reparatie+’ uitgevoerd, een reparatie conform de geldende voorschriften voor goed herstel (van de reparatieplek) met aanvullend anode(s) voor de omgeving van de reparatieplek. Er wordt dan voor de omliggende wapeningsstaven buiten de reparatieplek niet noodzakelijkerwijs voldaan aan NEN12696. Deze toepassing wordt in Nederland niet (of misschien ‘niet geregeld’) toegepast. In Nederland zal meestal GCP worden toegepast als

KB-systeem voor een gebied of betonnen onderdeel, en dus niet als ‘aanvulling’ op een traditionele reparatie voor de verduurzaming van het randgebied van de reparatieplek.

CAPACITEIT GALVANISCHE ANODES

De capaciteit van galvanische anodes (praktisch gezien altijd zink-anodes) valt eenvoudig theoretisch uit te rekenen met de wet van Faraday:

$$m = \frac{MIt}{zF}$$

In de wet van Faraday betekenen de grootheden en constanten: de Faraday-constante $F = 96485,3$ Coulomb/mol; het waardigheidsgetal van zink (Zn^{2+}) $z=2$; de molaire massa van zink $M_{Zn}=65,38$ g/mol; I de stroomsterkte in A; en t de betrokken tijd in seconden.

Zink heeft zo een capaciteit van 820 Ah/kg. Andersom geredeneerd heeft 20 mA stroom een zinkconsumptie van 214 gram per jaar.

De hoeveelheid mogelijk te leveren beschermstroom (uitgedrukt in bijvoorbeeld Ah), moet naar algemeen gebruik (zoals bijvoorbeeld door NACE wordt aangegeven bij KB van staalconstructies en leidingen) gecorrigeerd worden voor rendement / efficiency (90-95%) en met een gebruiksfactor (bijvoorbeeld door eilandvorming; 80-85%). In de werkgroep is consensus over het als onafhankelijk toepassen van beide factoren op de voorgestelde slechtste waarden, respectievelijk 90% en 80%. Voor zink als anode op beton komt de gezamenlijke factor dan uit op 72%. Dit betekent dat circa 28% van het aangebrachte zink in de anodes niet nuttig gebruikt zal worden ter bescherming van de wapening, maar als ‘verloren’ beschouwd wordt. Een nadere onderbouwing hiervoor bij de toepassing van zink op betonconstructies is gewenst, bijvoorbeeld uit onderzoeken uit het verleden (bijvoorbeeld zinkfolie op oude installaties).

HOEVEEL CAPACITEIT IS ER NODIG?

Hoeveel zink er nodig is voor langdurige bescherming hangt af van:

- De hoeveelheid te beschermen wapeningsstaal
- De tijdsduur van de bescherming (omgekeerd: de levensduur van de anode)
- De stroombehoefte van de wapening

Dit laatste punt is de onbekende factor. Wat is de beschermstroom die verondersteld wordt nodig te zijn per m^2_{staal} ? Het korte antwoord zou kunnen luiden ‘20 mA/ m^2_{staal} ’. Dit komt voort uit gewoonte of is gebaseerd op de vorige versie van de NEN12696:2000 (in de versie uit 2012 is deze eis losgelaten en een ontwerp wordt sindsdien afgestemd op onderzoeksgegevens aan de specifieke constructie). Dit uitgangspunt is voor GCP problematisch en nodeloos zwaar. Maar bij het loslaten van een ‘harde’ eis, wordt het discutabel hoe een ‘levensduurverwachting’ kan worden berekend voor een GCP-systeem. De werkgroep heeft redelijke aannames uit de markt geïnventariseerd, waarbij de beschermstroom in de tijd niet constant hoeft te zijn (deze mag afnemen in de tijd zoals in de praktijk ook wordt waargenomen bij KB-systemen). Uiteindelijk is een model overgenomen waarbij voor het eerste jaar een stroomdichtheid van 10 mA/ m^2_{staal} is aangenomen, wat vervolgens afneemt naar 8, 5 en 2 mA/ m^2_{staal} in de daaropvolgende jaren. Dit model lijkt redelijk en is deels gebaseerd op ervaringen met ICCP waarbij dan het wapeningsstaal actief corroderend begint en vervolgens passiviert. Wel moet worden bedacht dat in sommige

situaties een dergelijke aanname mank gaat: bijvoorbeeld in situaties met “nat”, chloriden-rijk beton.

Wenselijk is het om projecten met meetwaarden toegankelijk te maken zodat dit punt van afnemende stroombehoefte onderbouwd kan worden. De landelijke KB-database zou gevuld moeten worden met informatie verkregen uit bestaande galvanische KB-projecten.

Conclusies

De zinkcapaciteit is een cruciaal element in de levensduurverwachting van galvanische anodes. Als er van uit wordt gegaan dat juist deze beschikbare zinkhoeveelheid finaal bepalend is voor de levensduur van het KB-systeem, kan op basis van een gemodelleerde stroombehoefte van de te beschermen wapening, met de Wet van Faraday, eenvoudig de levensduurverwachting van galvanische anodes worden bepaald.

Voorbeeld:

Een betonnen balk heeft aan de onderzijde twee hoofdwapeningsstaven Ø16 mm. Verder is er aan de onderzijde een beugelwapening Ø8 mm aanwezig hart-op-hart 150 mm. Als de beugels over een lengte van 1 meter worden meegenomen (onderzijde en flanken aan weerszijde in de uitslag), is er sprake van een te beschermen staaloppervlak van $0,27 \text{ m}^2_{\text{staal}}/\text{m}^1_{\text{balk}}$. (verdeeld in 0,1 voor de hoofdwapening en 0,17 voor de beugels).

De beschermstroomdichtheid wordt verondersteld op: $10 \text{ mA}/\text{m}^2_{\text{staal}}$ voor het eerste jaar; $8 \text{ mA}/\text{m}^2_{\text{staal}}$ voor het tweede jaar; $5 \text{ mA}/\text{m}^2_{\text{staal}}$ voor het derde jaar en $2 \text{ mA}/\text{m}^2_{\text{staal}}$ voor alle daaropvolgende jaren. De Wet van Faraday geeft nu voor het eerste jaar een zinkconsumptie van:

$$m = \frac{65,38 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,27 \cdot (365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)}{2 \cdot 96485,3} = 29 \frac{\text{g Zn}}{\text{m}^1_{\text{balk}}}$$

Dus 29 gram in het eerste jaar, maar dit neemt snel af. De daaropvolgende jaren 23 gram zink, 14 gram zink, en 6 gram zink per jaar in het verdere vervolg. In totaal is derhalve voor 10, 15 en 20 jaar levensduur respectievelijk 107, 136 en 165 gram zink nodig per m^1_{balk} .

De hoeveelheid mogelijk te leveren beschermstroom (bijvoorbeeld uitgedrukt in Ah), wordt naar algemeen gebruik gecorrigeerd voor rendement (90%) en een gebruiksfactor voor uiteindelijk ‘ongebruikt’ materiaal (80%). De combinatie van beide factoren leidt tot een totale correctie met een factor van 72% (28% van het aangebrachte zink in de anodes wordt als ‘verloren’ beschouwd). De bovenstaande hoeveelheden worden derhalve vermenigvuldigd met een factor 1,39, en komen dan voor 10, 15 en 20 jaar levensduur op respectievelijk 148, 188 en 229 gram zink per m^1_{balk} .

HOE WORDT HET ZINK ACTIEF (GEHOUDEN)?

Dit kan op verschillende manieren. Omdat zink amfoteer is, werkt het activeren van zink zowel door het milieu zuur als basisch te maken. Zaak is natuurlijk wel dat dit ‘gunstige’ milieu voor KB behouden blijft in de tijd. Diverse toevoegingen aan het milieu zouden kunnen werken voor het galvanisch actief maken/houden van zink (activatoren: vaak ook effect op potentiaal van de anodische reactie). Ook de aanwezigheid van chloride-ionen houdt zink actief. Bij sommige anodesystemen is het mogelijk dat de activator ook wordt verbruikt. Dit kan dan een factor zijn in de levensduurverwachting van de anodes.

Anodes van diverse fabrikanten gebruiken verschillende methoden om het zink actief te maken en te houden. Hierover zijn slechts in beperkte mate gegevens beschikbaar. Verder ontbreekt een geaccepteerde test-methode. Dit lijkt derhalve een vraag voor de toekomst. De werkgroep stelt zich op het standpunt: Levensduur is het voldoen aan het criterium uit NEN12696. Hoe andere aspecten daarbij vooraf te beoordelen zijn, is nog niet duidelijk. Leveranciers moeten met referenties en cases, laboratoriumproeven en meetresultaten dit gaan invullen en onderbouwen.

Bijkomend wordt opgemerkt dat het aanbrengen van monitoringsvoorzieningen veelal bij GCP wordt nagelaten. Dit is jammer, omdat juist de monitoring van praktijkinstallaties nodig is voor het verkrijgen van inzicht in het functioneren van dergelijke KB-systemen in de tijd.

Aanbevelingen

De werkgroep doet aanbeveling voor het nader onderzoek door marktpartijen van praktijkvoorbeelden met enige gebruiksduur. Hierbij kan op basis van documentatie en metingen mogelijk informatie worden verkregen over de gebruiksfactoren en rendementen van anodes in praktijksituaties. Mogelijk is dan een betere 'gebruiksfactor' te herleiden dan de hier gebruikte, pessimistische 72%.

De werkgroep doet aanbeveling voor het nader onderzoek door marktpartijen van praktijksituaties met galvanische anodes waaruit de benodigde beschermstroom, en het verloop in de tijd van deze stroom, kan worden vastgesteld.

Het actief maken en houden van zink in de anodes is nog onderwerp van discussie. De werkgroep doet aanbeveling aan leveranciers om de activiteit en de levensduur van de door hun gefabriceerde anodes verdergaand te onderbouwen met referenties, case-studies, laboratoriumproeven en meetresultaten.

De werkgroep doet aanbeveling ook bij GCP monitoringsvoorzieningen op te nemen. Deze kunnen wat uitvoering en monitoringsfrequentie betreft, afwijken van voorzieningen bij systemen met opgedrukte stroom, maar de gegevens verkregen uit monitoring van GCP zijn waardevol voor de betreffende installatie en de markt als geheel.

De werkgroep doet aanbeveling voor een nieuwe werkgroep aangaande het ontwerpen van KB-systemen voor beton op basis van galvanische anodes.

Disclaimer : De Kennispublicatie van het KB-Kenniscentrum is een weergave van de algemeen besproken punten en inzichten van de werkgroep. De doelstelling hiervan is informatievoorziening van partijen betrokken bij het KB-Kenniscentrum. Als zodanig dient informatie uit deze publicatie met inzicht en voorbehoud te worden gebruikt. Aan deze tekst kunnen geen rechten worden ontleend en het KB-Kenniscentrum zal nimmer aansprakelijk zijn voor enigerlei schade die is ontstaan door het gebruiken van deze tekst en de weergegeven inzichten. Dit betreft een moment-opname van de kennis en techniek, zoals die door de werkgroep op het moment van verschijnen begrepen werd.