Coatingdegradatie

Literatuurstudie **Bijlage 1**

J.F. (Jeffrey) Banis

27-07-2017

Definitief 2.0

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Port of Rotterdam

Coatingdegradatie – Literatuurstudie

Opleiding & organisatie:	Civiele Techniek, Hogeschool Rotterdam
In opdracht van:	Havenbedrijf Rotterdam N.V. - Asset Management Constructions
Auteur:	J.F. (Jeffrey) Banis
Bedrijfsbegeleider:	M. (Marc) Wormmeester
Stagedocent:	A. (Aart) Westerduin
Versie:	Definitief 2.0
Plaats:	Rotterdam
Datum:	27 juli 2017

Voorwoord

Dit deelrapport is geschreven in het kader van de afstudeeropdracht van Jeffrey Banis, student Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam, in opdracht van Havenbedrijf Rotterdam N.V. (hierna te noemen: ‘het Havenbedrijf’), vertegenwoordigd door dhr. M. (Marc) Wormmeester, asset manager namens de afdeling Asset Management Constructions (AM-CON). Dit deelrapport omvat een literatuurstudie naar coatingsystemen en bijbehorende degradatie hiervan.

De literatuurstudie is opgezet om kennis en inzicht te vergaren betreffende het afstudeeronderwerp. Vanuit de literatuurstudie wordt er in samenspraak met het Havenbedrijf de uitgangspunten bepaald voor het verdere afstudeeronderzoek. In het afstudeerrapport wordt meermaals gerefereerd naar deze literatuurstudie.

Inhoud

Voorwoord 3
Inhoud 4
1 Inleiding 5
1.1 Leeswijzer 5
2 Corrosie 6
2.1 Corrosie risico's 8
3 Coatingsystemen 8
3.1 Bindmiddelen 9
3.2 Pigmenten 9
3.3 Oplosmiddelen 10
3.4 Toevoegingen 10
4 Werking van coating 11
4.1 Barrière effect 11
4.2 Remmend effect 11
4.3 Galvanisch effect (kathodische beschermpigmenten) 11
5 Degradatie van coating 12
5.1 Coatingeigenschappen 12
5.2 Substraateigenschappen 13
5.3 Milieuomstandigheden 13
6 Bestaande meettechnieken en modellen 14
6.1 Milieu blootstelling 14
6.2 Zoutsproei test 15
6.3 Cyclic test 15
6.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) 15
6.5 Electrochemical Noise Measurement (ENM) 16
6.6 Conclusie bruikbaarheid bestaande methoden 16
7 Scope voor degradatiemodel 17
8 Conclusie 18
9 Bibliografie 19

1 Inleiding

De afdeling AM-CON van het Havenbedrijf beheert vele constructies in het Rotterdamse havengebied. Onder het beheer valt onder andere een groot aantal losse palen, remmingwerken en steigers.
De door de afdeling te beheren stalen constructies kunnen worden aangetast door corrosie en dit brengt risico's met zich mee op het gebied van functionele geschiktheid. Ook visueel kunnen zich problemen voordoen, alleen leidt dit niet direct tot grote risico's voor de constructie. Indien echter de corrosieschade schade zich voordoet in de maatgevende staaldoorsnede van een constructie kan de constructieve veiligheid in het geding komen.

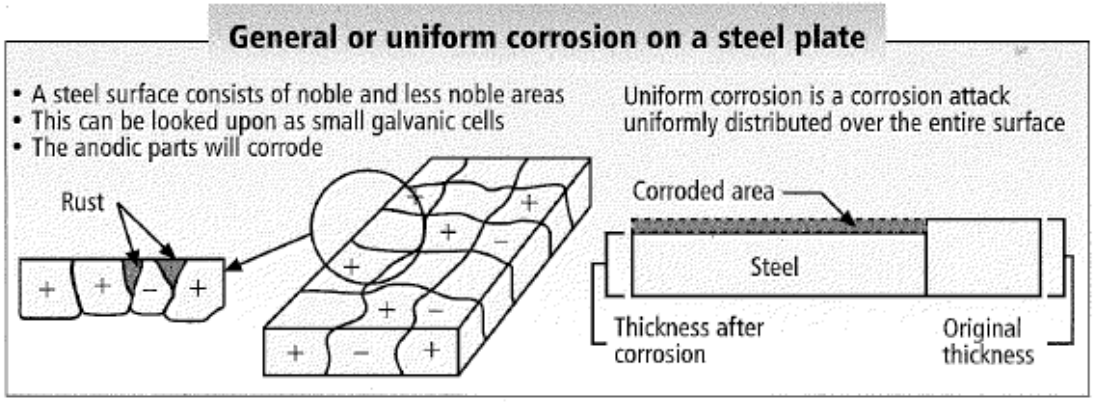
Om deze reden zijn de stalen constructies voorzien van beschermde coatingsystemen.
Deze coatingsystemen bestaan uit een aantal lagen verf die een barrière vormen voor de intreding van schadelijke ionen die corrosie kunnen veroorzaken. Er zijn verschillende testmethoden om coatingeigenschappen en degradatie ervan te onderzoeken. Er is nog geen degradatiemodel dat gebruikt kan worden om coating levensduur te simuleren.

1.1 Leeswijzer

Dit deelrapport begint met een uitgebreide toelichting over wat corrosie inhoudt en welke risico's dit met zich mee brengt voor een civiele constructie.
Hoofdstuk 2 geeft uitleg over waaruit een coating bestaat en uit welke onderdelen een coating opgebouwd is.
Hierop aansluitend is in hoofdstuk 3 de werking van een coating uitgelegd middels drie hoofdmechanismen.
Als de werking van coatingsystemen behandeld is wordt er gekeken naar de factoren die coatingdegradatie te weeg brengen, dit is te lezen in hoofdstuk 4.
In hoofdstuk 5 zijn bestaande meettechnieken met betrekking tot coatingdegradatie beschreven en de eventuele bijdrage hiervan aan een degradatiemodel.
De laatste drie hoofdstukken richten zich op de problematiek en uitgangspunten voor het afstudeeronderzoek. Zo is er in de laatste hoofdstukken de scope voor het eindrapport bepaald en ten slotte een conclusie opgesteld over de literatuurstudie.

2 Corrosie

Corrosie is een scheikundige reactie die ontstaat doordat milieufactoren inwerken op een bepaald materiaal. De meest voorkomende vorm van corrosie is de aantasting van metaal door elektrochemische reacties. De term roesten is een bekende vorm van corrosie, maar dient alleen gebruikt te worden wanneer het materiaal staal betreft. Corrosie beperkt zich tot natuurlijke invloeden, mechanische invloeden worden dus niet gezien als een vorm van corrosie.



Figuur 1: Corrosie schematisering (Jotun paints, 1999)

Corrosie is een oppervlakte verschijnsel dat altijd is verbonden met de aanwezigheid van een agressief milieu. Het corroderen van metaal is in feite een natuurlijk proces, doordat het metaal wordt omgezet naar een stabielere toestand. Metalen worden gewonnen uit ertsen, zo bestaat staal voor een deel uit ijzererts. De meeste metalen bevinden zich in een chemisch gebonden toestand in hun ertsen, waarin het ijzererts dan gebonden is aan bijvoorbeeld zuurstof-, hydroxide- of sulfaationen. De ijzerertsen in staal willen terug naar een stabielere toestand en zullen dus proberen terug te oxideren of te binden aan hydroxide-ionen.

Corrosie ontstaat als er een zogeheten corrosie cel zich kan vormen. Een dergelijke cel bestaat uit een elektrisch circuit met transport van elektronen en ionen tussen twee verschillend geladen elektroden. Een standaard corrosie cel bestaat uit:

- Twee verschillende materialen, dan wel twee verschillend geladen elektroden
- Twee aparte geleiders
  - elektrisch contact tussen beide elektroden
  - een elektrolyt: vloeistof
- Zuurstof

De elektroden in een corrosie cel

Om corrosie te laten plaatsvinden moet er een stroom kunnen lopen. In de meeste gevallen zijn er twee verschillend geladen elektroden die zorgen voor een elektrische stroming, zoals dat bij een batterij werkt. De twee elektroden kunnen ook twee verschillende fasen van eenzelfde legering zijn. Een legering bestaat grotendeels niet uit één vaste fase, maar kent afhankelijk van de samenstelling en temperatuur meerdere fasen. Verschillende fasen kenmerken zich door hun eigen manier waarop atomen een kristalrooster vormen. In een corrosie cel is altijd een van de twee metalen meer edel dan de ander, hierin in de meest positief geladen elektrode de anode. Het is de anode die dan de corrosieve reactie zal ondervinden, daarmee is de meest negatieve elektrode in dat geval de kathode en zal deze niet corroderen.

Elektrisch contact in een corrosie cel
De eerste geleider in een corrosie cel wordt gevormd wanneer de anode in contact is met de kathode. Dit kan bijvoorbeeld door middel van direct contact of via externe elektrische geleiders, zoals draden, bouten, stutten of ophangsystemen. Metaal contact maakt elektronen overdracht mogelijk van de anode naar de kathode.

De elektrolyt in een corrosie cel
De meeste corrosie reacties vinden plaats in een nat of vochtig milieu. Het basisprincipe van veel corrosie reacties is van elektrochemische aard. Een voorwaarde voor een dergelijke reactie is de aanwezigheid van een elektrolyt dat ionen bevat, zodat er transport van een elektrische stroom kan plaatsvinden. Hoe hoger de ionen concentratie is, des te beter de geleider en ontstaat er een sneller corrosie proces. Corrosie in water wordt vaak elektrochemische corrosie genoemd.

Als metalen ondergedompeld zijn in een vloeistof, dan is het vloeistof zelf de elektrolyt.
Een elektrochemische reactie kan ook boven de waterlijn plaatsvinden. Dit gebeurt wanneer een elektrolyt gevormd kan worden door vocht in de lucht. Vochtigheid en water kunnen eenvoudig onzuiverheden en zout samenbrengen, dit samen vormt een geleidend elektrolyt.

Zuurstof bevordert corrosie in een corrosie cel
De bovengenoemde factoren zijn voldoende om corrosie te laten plaatsvinden, maar dan wel in een erg traag tempo. In veel gevallen is er aanwezigheid van zuurstof, zowel in de atmosfeer als opgelost in een vloeistof. De aanwezigheid van zuurstof doet het corrosie proces versnellen als het reageert met het ijzer tijdens de overdracht van elektrische energie.

2.1 Corrosie risico's

Corrosie kan op den duur zorgen voor roest vorming wat veiligheid risico's met zich meebrengt en mogelijk kan zorgen voor het falen van constructies. Door aantasting van de constructie nemen respectievelijk het weerstandsmoment en traagheidsmoment af, als gevolg van de afname van de staaldikte. Het proces leidt uiteindelijk tot een zwakkere constructie, omdat de ontstane corrosie producten geen sterkte bevatten en uiteindelijk zullen afbrokkelen.

Een ander bijkomend risico is dat de corrosie producten een groter volume aannemen dan het metaal. Door het vervormen van het desbetreffende materiaal kan een constructie ontwricht worden.
Een voorbeeld hiervan is beton rot, waarin het wapeningsstaal gaat roesten binnen in het beton. Binnenin het beton ontstaat een grotere spanning, waardoor het beton op den duur gaat scheuren en afbrokkelen.

Wat ook een risico vormt is de afname van de esthetische kwaliteit van constructies. De roest aanslag op het staal oogt niet fraai. Tevens brengt corrosie hoogoplopende kosten met zich mee.
Het materiaal bereikt door corrosie eerder zijn einde levensduur en onderhoud werkzaamheden ten behoeve van corrosie zorgt voor dure oplossingen. Wanneer er constructies opnieuw tegen corrosie behandeld worden is dit een complexe beheersmaatregel. Een coating opnieuw aanbrengen heeft met name alleen zin als deze onder ideale geconditioneerde omstandigheden en volgens de normen aangebracht kan worden. Zo is een remmingwerk langs een ligsteiger slecht te behandelen, waardoor je geen optimale kwaliteit kunt leveren en het probleem dus niet volledig kan verhelpen.

3 Coatingsystemen

Een coating is een deklaag die op een substraat wordt aangebracht om corrosie tegen te gaan. Coatingsystemen kunnen onderverdeeld worden in organische coatingsystemen, anorganische coatingsystemen en metallische coatingsystemen. Organische coatingsystemen zijn verfproducten welke hun naam danken aan de organische stoffen die ze bezitten, vaak koolstofverbindingen. Anorganische coatingsystemen zijn op basis van glas/email en conversielagen en werken ook anticorrosief. Metallische coating beschermt het materiaal door een edeler of onedelere deklaag aan te brengen.

Een coating kan een beschermende, decoratieve of technische werking uitoefenen. Coatingsystemen worden samengesteld naar de functie met elk andere gewenste karakteristieke eigenschappen. Coatingsystemen worden al meer dan 100 jaar doorontwikkeld en de toepassingsmogelijkheden worden ook steeds breder. Alle coatingsystemen hebben een voorgeschreven levensduur, maar in de praktijk blijkt deze sterk uiteen te lopen.

Een coating bestaat over het algemeen uit de volgende ingrediënten:
- Bindmiddelen
- Pigmenten
- Oplossingsmiddelen
- Toevoegingen

3.1 Bindmiddelen

De bindmiddelen zijn het niet vluchtige deel van een coating. Hars is een bindmiddel dat de pigmentdeeltjes bij elkaar houdt en zorgt voor de hechting aan een oppervlak. De meeste verfsoorten/coatingsystemen zijn vernoemd naar het type hars. Het hars/bindmiddel is verantwoordelijk voor het overgrote deel van de fysieke eigenschappen van een coating. Zoals onder andere de chemische weerstand, milieu weerstand en hechting eigenschappen. Ten slotte heeft het ook invloed op de hardheid en schuurweerstand. Voorbeelden van bindmiddelen zijn vinyl, acryl en epoxy.
De voor- en nadelen van een epoxybindmiddel zijn in tabel 1 weergegeven.

Voordelen	Nadelen
Goede waterweerstand	Slecht bestand tegen UV straling
Goede hechting met het substraat	Applicatie en behandeling mogelijkheden is afhankelijk van de temperatuur
Goede chemische weerstand	Behandelde coating kan lastig her behandeld worden
Zeer goede alkali weerstand	Het zijn tweecomponenten producten wat goede samenhang verlangt
Sterke weerstand tegen mechanische schade	Matige weerstand tegen zuren
Hoge levensduur	Kan allergie veroorzaken (eczeem)
Temperatuur bestendig tot 120°C	Verlangt goede kennis voor goed gebruik
Sommige systemen zijn officieel goedgekeurd voor drinkwater tanks en voeding gerelateerde opslag	
Hoog vaste stof gehalte/lage vluchtigheid	

Tabel 1: Voor- en nadelen epoxybindmiddel (Jotun paints, 1999)

3.2 Pigmenten

De pigmenten kunnen onderverdeeld worden in verschillende klassen. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen kleurpigmenten, extenders, remmende pigmenten en metaalpigmenten.

Kleurpigmenten

Kleurpigmenten zorgen voor de kleur en decoratieve eigenschappen van een coating.
De kleurpigmenten die corrosie bescherming bieden bezitten de volgende eigenschappen:
- Hoge dekkingskracht
- Kleurvastheid
- Niet uitlopend
- Chemische weerstand
- Absorptie van UV straling

Extenders

Extenders komen voor in poedervorm en in verschillende groottes en vormen. Extenders worden gebruikt om de kwaliteit van de coating te verhogen en bepaalde gewenste eigenschappen in het mengsel te verwerken. Verder worden deze pigmenten toegepast om de filmlaag te versterken en om samenhang te creëren waardoor het geschikt wordt voor diverse behandelingen. Het toevoegen van extenders maakt het mogelijk een hogere film dikte te behalen zonder dat de coating gaat inzakken. Tevens voorkomt het ook sedimentatie van pigmenten, verbetert het de mechanische eigenschappen en verhoogt het de weerstand van de coating ten opzichte van water en chemicaliën. Ten slotte vormen de extenders een goede barrière tegen UV straling.

Anti corrosieve pigmenten
Deze groep pigmenten kan onderverdeeld worden in drie subgroepen:

- **Remmende pigmenten:** zinkchromaat, zinkfosfaat of rood lood. Deze pigmenten zorgen voor de corrosie weerstand van de coating. Op wat voor manier de pigmenten een bijdrage leveren is behandeld in hoofdstuk 6.2.
- **Metalen pigmenten:** Aluminium vezels zorgen voor een hogere water weerstand. Zink zorgt zowel een goede water- als corrosieweerstand. De werking van de deze pigmenten wordt nader toegelicht in hoofdstuk 6.3.
- **Vezel gevormde pigmenten:** Glasvezels en ijzerglimmer zorgen voor hoge waterweerstand, betere hechting van de verf en maakt de coating meer bestand tegen inkrimping. In hoofdstuk 6.1 is de werking van deze pigmenten toegelicht.

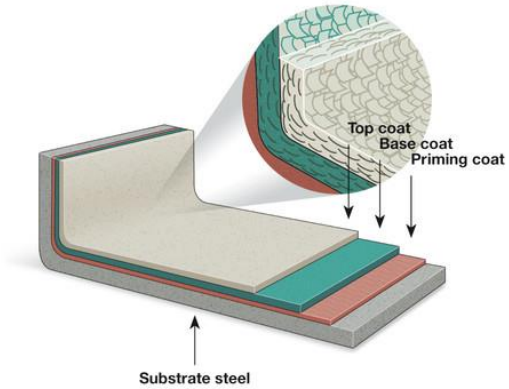
Aangroei werende pigmenten
Sommige coatingsystemen bevatten biociden die aangroei doen voorkomen. Deze mengsels zijn in de meeste gevallen gebaseerd op koper, zink of tin.

3.3 Oplosmiddelen

Oplosmiddelen worden gebruikt om de bindmiddelen op te lossen en de viscositeit van de verf te beïnvloeden. De oplosmiddelen beïnvloeden ook de stromingseigenschappen, droog snelheid, sproei of borstel karakteristieken en de glans van de coating. De meeste bindmiddelen zijn vaste materialen of erg stroperige vloeistoffen, waardoor deze vaak opgelost worden in organische oplosmiddelen. Oplosmiddelen worden ook tegenovergesteld gebruikt, namelijk om het bindmiddel minder vloeibaar te maken. Voorbeelden van een oplosmiddel die vaak verwerkt wordt in coatingsystemen zijn xyleen en tolueen. Xyleen wordt bijvoorbeeld toegevoegd aan een bindmiddel om het vloeibaarder te maken. Een nadeel van xyleen en tolueen is dat de dampen ervan hoofdpijn veroorzaken en de stof zelf irriterend is voor de huid.

3.4 Toevoegingen

Ter aanvulling op de bindmiddelen, pigmenten en oplosmiddelen bevatten de meeste coatingsystemen ook toevoegingen. Vaak zijn deze toevoegingen maar 1-2% van de gehele coating samenstelling.
Dit ingrediënt zorgt voor een homogene coatinglaag en draagt bij aan vereenvoudigde fabricage mogelijkheden. Het versterkt in stabiliteit, vereenvoudigt de applicatie, verbeterd de esthetische eigenschappen en zorgt tenslotte voor een verhoging van de coatingweerstand.



Figuur 2: schematische coating structuur (REMA TIP TOP)

4 Werking van coating

Coating bestrijdt corrosie volgens drie hoofdmechanismen:

- Barrière effect
- Remmend effect
- Galvanische effect (kathodische bescherming)

4.1 Barrière effect

Het barrière effect is het basis concept voor de meeste anticorrosieve coatingsystemen. Er bestaat echter geen enkele coating met een volledig ondoordringbare barrière. Barrière coatingsystemen zijn ontworpen om onaangetast te blijven door vocht van buitenaf. Een barrière coating wordt meestal toegepast in ondergedompelde oppervlakten en moet hierdoor bestand zijn tegen chemicaliën uit de omgeving. Het dient ondoordringbaar te zijn voor lucht, zuurstof, koolstofdioxide en de stroming van ionen en elektronen.

De hechting met het onderliggende oppervlak moet erg goed zijn en daarom moet de coating dicht genoeg zijn om leegtes te voorkomen tussen de coating zelf en het substraat. Over het algemeen vormt een barrière coating dus een passieve laag over de oppervlakte, wat inhoudt dat de coating corrosieve media bij het substraat vandaan houdt. Schilfer pigmenten van onder andere aluminium en glas worden in veel coatingsystemen toegepast om het barrière effect te optimaliseren.

4.2 Remmend effect

Remmers worden vaak alleen aan de primer toegevoegd en bevatten pigmenten die reageren met het geabsorbeerde vocht in de coating. De remmers hebben geen passieve film laag als bij barrière coating. Ze bevatten chemicaliën die reageren met het geabsorbeerde water in de filmlaag om het substraat corrosie vrij te houden. De remmers reageren met het oppervlaktestaal om het substraat als het ware passief te maken. Hierdoor worden corrosieve media uit het milieu die het substraat doen corroderen gereduceerd.

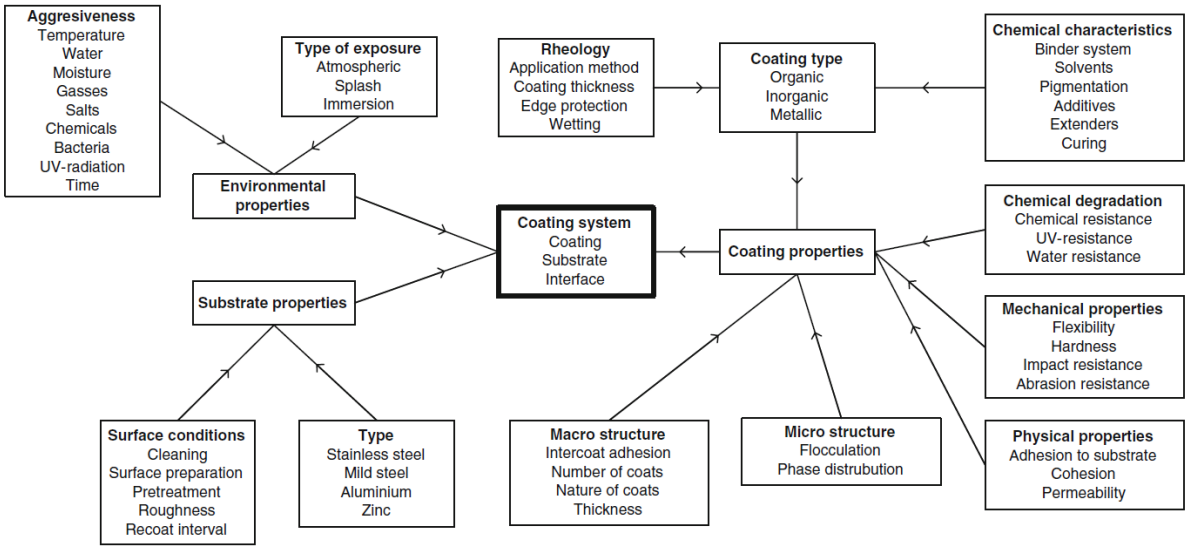
Remmers worden soms beschreven als anode actief, wat betekend dat de pigmenten ioniseren door water of vocht. Vervolgens reageert het met het stalen substraat op de anodische delen.
Remmers worden met name gebruikt in atmosferische omstandigheden en niet in natte milieus. Sommige pigmenten in de remmers zijn overgevoelig voor water, wanneer deze nat worden kan er zich blaarvorming voordoen.

4.3 Galvanisch effect (kathodische beschermpigmenten)

Het concept van de kathodische beschermpigmenten is in veel opzichten een uitbreiding op het remmende principe. Alhoewel de optredende reacties compleet van elkaar verschillen.
Remmende pigmenten reageren namelijk op het water om corrosie tegen te gaan en kathodische pigmenten hebben een opofferende werking. In het geval van bijvoorbeeld een zink laag reageert het zink als opofferende anode. Deze reactie is bedoeld om het basis materiaal te beschermen tegen corrosie, terwijl het pigment zelf wel corrodeert. Vaak wanneer er krassen of beschadigde delen zich voordoen in een zink coating treedt er een soort zelf helende werking op. De zink producten uit het corrosie proces vullen het beschadigde oppervlak op en sluit het hiermee af voor verdere degradatie.

5 Degradatie van coating

Onder coatingdegradatie wordt de afname van functionele eigenschappen van een coating verstaan als gevolg van blootstelling aan de omgeving. Een coating kan door uiteenlopende oorzaken in functie degraderen. De degradatie kan zijn oorsprong vinden in alle facetten van de levensduur. De oorzaken van degradatie zullen in dit hoofdstuk behandeld worden.



Figuur 3: Degradatie factoren in een systeem (Sørensen, Nuygen, Hubbard, & McFadden, 1991)

5.1 Coatingeigenschappen

De coatingeigenschappen zijn van aanzienlijk belang om degradatie te voorkomen. Met behulp van onderzoek naar degradatie factoren waartegen een coating bestand moet zijn kan een type coating bepaald worden. Of degradatie zich voordoet in een later stadium is afhankelijk van de samenhang van alle factoren die bijdragen aan de coatingeigenschappen. Op basis van deze punten heeft het Havenbedrijf kwaliteit gedreven onderzoek uitgevoerd naar de meest geschikte coatingsystemen voor in de Haven. Uiteindelijk zijn er drie hoofdcoatingsystemen gekozen vanuit het onderzoek, welke op vrijwel alle werken toegepast zullen worden. De gekozen coatingsystemen brengen de laagste life cycle kosten met zich mee. In de contracten van het Havenbedrijf wordt kwaliteitsborging door de aannemer verplicht gesteld om de gewenste kwaliteit van de coatingeigenschappen te waarborgen.

Coatingdegradatie kan zijn oorsprong al vinden in de applicatie fase. In deze fase van de levensduur is zorgvuldige inspectie en controle op meerdere gebieden nodig om degradatie in een later stadium deels te voorkomen. De kwaliteit van de aan te brengen coating kan op verschillende manieren de levensduur negatief beïnvloeden. Zo zijn er meerdere methoden om een coating aan te brengen op een substraat. Bij de applicatie moet er een afweging gemaakt worden welke methode het meest geschikt is voor de desbetreffende coating en het substraat.

5.2 Substraateigenschappen

Een goede oppervlakte voorbehandeling is een van de belangrijkste aspecten voor een goed presterende coating. Een sterke hechting is een belangrijke factor om de coating optimaal te laten presteren. Door goede voorbehandeling wordt er een maximale hechting gecreëerd tussen de coating en het substraat. Aan de voorbehandeling worden eisen gesteld die moeten voldoen aan de normen, hierdoor moet er inspectie plaatsvinden in verschillende stadia van het proces. Onvolkomenheden in de substraateigenschappen zullen zich in de eerste jaren van de levensduur openbaren. Om deze reden heeft het Havenbedrijf een driejarige garantie in haar contracten, waarmee de risico's op afwijkingen is afgedekt. De driejarige termijn is gekozen, omdat aantoonbaarheid van uitvoeringsfouten in een object na deze periode problematisch is.

Een constructie moet indien mogelijk zo ontworpen worden dat het geen problemen ten behoeve van de coating kan veroorzaken. Een voorbeeld is de mogelijkheid van onderhoud aan een constructie door goede toegankelijkheid te creëren om coating aan te brengen en/of te onderhouden. Bij het ontwerp dient onder andere rekening gehouden te worden met:
- Afronden van scherpe randen (minimaal R=2mm)
- Afvlakken van ruwe lasnaden
- Lasspetters verwijderen
- Verwijderen van lasrook
- Scheuren en putjes
- Oppervlakte oneffenheden

In de *NEN-EN-ISO12944-3* zijn de eisen aan het staalwerk te vinden.

Uiteraard speelt ook de kwaliteit bij verwerking van materialen een grote rol in het ontstaan van eventuele problemen. Er dient onder andere rekening gehouden te worden met de omstandigheden tijdens voorbehandeling, coating applicatie of transport van constructies. Veel van deze aspecten hebben invloed op de kwaliteit van coating. De ideale klimaat omstandigheden tijdens de voorbehandeling, applicatie en droogperiode zijn vermeld in *ISO 8502-4*.

5.3 Milieuomstandigheden

Indien alle handelingen om een coating naar wens te produceren volledig volgens de eisen en normen zijn uitgevoerd, dan wil dit nog niet betekenen dat de coating daadwerkelijk de voorgeschreven levensduur zal halen. Dit heeft alles te maken met de milieuomstandigheden waarmee de coating in aanraking zal komen gedurende zijn levensduur. Het Havenbedrijf heeft grip op de coatingeigenschappen en substraateigenschappen, echter kan het geen invloed uitoefenen op milieueigenschappen.

De drie coatingsystemen zijn onder andere gekozen naar hun weerstandscapaciteiten tegen het milieu in het havengebied. Echter is de intensiteit van de milieuomstandigheden altijd variabel en tamelijk onvoorspelbaar. De onderstaande milieufactoren kunnen individueel of in samenhang de levensduur van een coating beïnvloeden:
- Temperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Regen
- Afwisselend nat/droog tijd
- UV straling
- Temperatuur veranderingen
- Zoutgehalte van het water
- Stroomsnelheden

Veel van deze milieufactoren beïnvloeden coatingdegradatie en hiermee uiteindelijk ook het corrosie proces. Afzonderlijk en in samenhang kunnen er verschillende parameters de coatinglevensduur beïnvloeden. In *NEN-EN-ISO12944-2* zijn milieus gerangschikt in verschillende klassen, hieruit kan een type coating bepaald kan worden. Algemeen bekend binnen het Havenbedrijf is dat watertemperatuur, zoutgehalte en UV straling dominante coatingdegradatie factoren zijn.
Deze factoren zijn ook binnen het Havenbedrijf goed te monitoren. Aan de hand van de milieufactoren zal het coatingdegradatie model opgesteld moeten worden.

6 Bestaande meettechnieken en modellen

Coatingsystemen worden al meer dan 100 jaar onderworpen aan allerlei meetmethoden. Het inschatten van een coating levensduur uitgevoerd in de praktijk zou enorm belangrijk zijn voor fabrikanten, leveranciers en klanten. In dit hoofdstuk worden bestaande testen en evaluatiemethoden toegelicht.

6.1 Milieu blootstelling

De meest betrouwbare manier om een coating met het specifieke substraat te testen is door het in het milieu te plaatsen waarin het uiteindelijk toegepast zal worden. Dit wordt vaak gedaan door middel van panelen op een rek, welke vervolgens dan op de gewenste locatie geplaatst worden. Door de lange blootstelling in het daadwerkelijke milieu wordt er een representatieve levensduur degradatie verkregen. Echter gaan moderne coatingsystemen tientallen jaren mee en dus duurt relevante degradatie gegevens verkrijgen op deze manier een enorme tijd, waardoor het vrijwel nutteloos is voor veel partijen. Een tweede nadeel is dat het milieu op locatie altijd zal variëren. Er zullen nooit twee exact overeenkomende meteorologische jaren elkaar opvolgen voor eenzelfde locatie. Dit zorgt ervoor dat elke test periode andere invloeden kan uitoefenen door de milieuomstandigheden waarin het bloot is gesteld.

6.2 Zoutsproei test

De zoutsproei test is een test waarin een zout oplossing in een mondstuk gepompt wordt en het samenkomt met bevochtigde samengeperste lucht wat samen een zoute straal vormt. Het principe van deze test is om corrosie versneld te laten optreden, zodat de kwaliteit van het coating systeem bepaald kan worden. Dit wordt gedaan door de zoutnevelstraal gedurende een bepaalde periode op een coating te laten stralen, waaruit vervolgens opgemaakt kan worden hoe goed de coating bestand is tegen corrosie. Een nadeel van deze test methode is dat het onderworpen wordt aan een bepaalde specifieke omstandigheden. Zo wordt er een bepaald zoutpercentage gekozen en een bijbehorende temperatuur in de meetkast. Ook al zijn deze waardes als extreem gekozen, dan verkrijg je hier nog niet het gewenste degradatiemodel mee. Er kan alleen opgemaakt worden hoe een coating reageert op continue corrosie invloeden in een versnelde methode.

6.3 Cyclic test

Om de tekortkomingen van de continue zoutsproeitest te tackelen is de cyclic test ontwikkeld.
In deze test is er een mengsel gebruikt wat meer representatief is voor een industriële atmosfeer.
In latere stadia werd de test uitgebreid met droog nat intervallen, omdat dit meer correspondeert met natuurlijke weersverschijnselen. Cyclic testen bevatten vele aspecten die het principe van een buiten opstelling na kunnen bootsen. Zo zorgt cyclische variatie van temperatuur voor inkrimpen en uitkrimpen van de materialen, wat zorgt voor spanning tussen de coating en het substraat.

Het absorberen van water zorgt ook voor spanning toename in een materiaal, dit komt door het toenemende volume. De herhaling van nat droog periodes zorgt voor grotere spanningen in het materiaal en kan uiteindelijk zorgen voor een beginnende degradatie ervan. Ten slotte treedt het algemene corrosie proces op een stalen substraat sneller op. Het voorgaande maakt de cyclic test een meer realistische test om coatingdegradatie versneld te simuleren. De cyclic test is vervolgens nog verder doorontwikkeld door UV straling toe te voegen aan het gehele proces.

6.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

EIS kan helpen om nauwkeurige informatie uit elektrochemische systemen te verkrijgen.
Deze methode is gebaseerd op het meten van de impedantie vanuit een bepaalde toegepaste frequentie. Impedantie staat voor verschillende waarden die weerstand bieden in een elektrochemische cel, hierbij kun je denken aan de capaciteit van de coating en de poriënweerstand. De input van verschillende frequenties kan een beeld schetsen van de weerstand die een coating biedt tegen corrosie. EIS kan ook naarmate de levensduur gevorderd is meermaals toegepast worden om hieruit een degradatie te verkrijgen. Het is dan wel zaak om alle metingen met dezelfde frequentie uit te voeren om een uniform en gelijk systeem te creëren.

EIS metingen kunnen coatingweerstanden uitdrukken in R_c. De R_c vormt een indicatie van de gesteldheid van de coatingeigenschappen en hiermee dus de functionele status van een coating.
In veel rapporten worden de coatingweerstanden ingedeeld langs de coatingkwalificatie norm van *Gray et al.* (Gray, 2003). Deze norm vormt een overzichtelijke indicatie van de ‘resterende’ functionele eigenschappen van de coating. De norm is onderverdeeld in zeer uitstekend, uitstekend, goed, matig en slecht.

6.5 Electrochemical Noise Measurement (ENM)

Elektrochemisch geluid verwijst naar het potentiaal en de ontstane fluctuatie als gevolg van elektrochemische reacties. In tegenstelling met EIS waar externe verstoringen met bekende frequentie worden toegepast, bevat ENM de metingen van deze zelf gegenereerde verstoringen om informatie te verkrijgen over het gemeten systeem. Hoewel systemen die gemeten worden met ENM geen tijdsinterval bevatten kan er bruikbare informatie gevonden worden door analyse methodes.

6.6 Conclusie bruikbaarheid bestaande methoden

Voor het afstudeeronderzoek wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van een coatingdegradatie model. De bestaande methoden en modellen worden toegelicht of deze eventueel wel of niet kunnen bijdragen aan een degradatiemodel voor het Havenbedrijf Rotterdam. Met behulp van deze conclusie kan informatie opgedaan worden wat in het hoofdonderzoek een rol van betekenis kan spelen.

Allereerst kan de milieu blootstelling methode vooralsnog nu geen betekenis spelen voor degradatiemodel van het Havenbedrijf. Ondanks de redelijke betrouwbare simulatie is dit proces tijdrovend en heeft het Havenbedrijf niet de mogelijkheid om deze testen af te wachten. Dit zal jaren in beslag nemen en hiermee wordt het probleem dus alleen maar verder naar voren geschoven.

De zoutsproeitest is een versnelde test, alleen is er stevige kritiek op. Het principe van de test is om een coating een constante stress op te leggen wat hierdoor vaak niet overeenkomt met de degradatie door zout in de praktijk. Met name in een havengebied als dat in Rotterdam kunnen temperatuur en zoutgehalte in het water in het hele gebied sterk verschillend. Een zoutsproeitest geeft dus een uitkomst bij een specifieke input, alleen deze input correleert vrijwel nooit met de omstandigheden in de praktijk.

De cyclic test is verder doorontwikkeld en neemt meer factoren mee die bijdragen aan coatingdegradatie. Een cyclic test geeft hierdoor een meer realistische weergave van de coating prestaties. Alle versnelde testen inclusief de milieublootstelling methode geven geen exacte voorspelling van de absolute levensduur van een coating in het werk. Deze testen geven met name een indicatie van relatieve prestaties van een coating en niet zo zeer te levensduur. Het Havenbedrijf heeft de wens om levensduur van coating te simuleren en voorspellen. De versnelde testen kunnen hieraan bijdragen, maar het geeft niet direct het gewenste degradatie model waarnaar het Havenbedrijf op zoek is.

De EIS methode kan wel een nuttige bijdrage leveren aan een toekomstig degradatiemodel van het Havenbedrijf. De elektrochemische testen bieden niet alleen meer exacte resultaten, maar er kan in een vrij korte termijn informatie opgedaan worden over o.a. corrosie mechanismen. In vroegtijdige stadia van de levensduur waarin er visueel nog geen degradatie te zien is biedt EIS een aantal voordelen. Verschillende processen die bijdragen aan coatingdegradatie kunnen worden geïdentificeerd met behulp van deze methode, zonder dat er versneld getest wordt. Bestaande EIS testresultaten dienen zeker meegenomen te worden in het onderzoek naar een degradatiemodel.
De EIS methode heeft als voornaamste voordeel dat het met het meten van de R_c een overall resultaat wordt behaald. Gezamenlijke factoren die invloed uitoefenen op coatingdegradatie kunnen met de test bemeten worden. Weerstanden vanuit EIS metingen zijn maatgevend voor de functionele gesteldheid van een coating.

Meetmethode ENM wordt nog weinig toegepast en heeft dus niet een breed scala aan onderzoeksresultaten. De techniek is nog vrij nieuw en heeft nog niet de mogelijkheden om uitgebreid en veelvuldig toegepast te worden. ENM heeft vooralsnog nu geen directe bijdrage aan een eventueel coatingdegradatie model. Wel dient het als optie opengehouden te worden, omdat de techniek zich kan ontwikkelen in de komende jaren.

7 Scope voor degradatiemodel

Het is bij het Havenbedrijf bekend dat als gevolg van degradatie van coatingsystemen de barrière werking ervan verminderd en het risico op corrosie op een bepaald moment in de tijd dermate groot is dat onderhoud aan de coating noodzakelijk is. De snelheid waarmee coatingsystemen degraderen en daarmee het moment van het moeten uitvoeren van onderhoud, is echter niet bekend.
Daarnaast is het onduidelijk welke factoren de coatingdegradatie beïnvloeden.
Vanuit deze problematiek is de behoefte aan een coatingdegradatiemodel ontstaan.

Het Havenbedrijf is op zoek naar een model dat coating levensduur kan simuleren in elk gebied van de Rotterdamse haven met verschillende milieueigenschappen. Het belang van goede basisbeginselen voor een goed werkende coating is van enorme waarde, maar het is zaak om deze fouten bij voorbaat te elimineren. Als de fouten in de voorbereidende fases getackeld worden kan het Havenbedrijf zich richten op een ‘vereenvoudigd’ degradatie model. Dat gebaseerd is op de invloed van milieufactoren op coatingdegradatie. De substraat- en coatingeigenschappen zijn beheerbaar gemaakt en vormen voor de afbakening van het afstudeeronderzoek geen deel uit van het model.

Op basis van de literatuurstudie wordt geadviseerd aan het Havenbedrijf om met behulp van de EIS testen zich te focussen op de afname van de functionele gesteldheid van coating over een bepaalde tijdsperiode. In welke mate hieruit een daadwerkelijke levensduurvoorspelling komt zal moeten blijken uit het verdere onderzoek en uit toekomstige onderzoekcijfers. Afzonderlijke testen geven met name alleen antwoord op een bepaalde eigenschap van een coating, terwijl de gezamenlijke eigenschappen van een coating juist het degradatie proces daadwerkelijk tegengaan of vertragen. Geadviseerd wordt dan ook om testen te doen waarin zoveel mogelijk factoren en eigenschappen getest worden, zoals het eerder benoemde EIS. Hierbij wel vermeld dat EIS ondersteund dient te worden met andere bronnen, pas dan kan er een zinvolle conclusie getrokken worden over het degradatieproces van coatingsystemen. Laboratorium testen zijn zeer nuttig bevonden om losse degradatiefactoren te onderzoeken en kunnen dus theoretische waarde opleveren over diverse milieu degradatiefactoren.

Vanuit de grote hoeveelheid impedantie waarde van beschermende coatingsystemen verkregen door bijvoorbeeld EIS zouden er directe vergelijkingen gemaakt kunnen worden. Als de impedantie waarde bekend zijn kan hierop volgend gekeken worden op wat voor schaal de milieuomstandigheden deze waarde beïnvloeden en dus meewerken aan het degradatieproces. Hierdoor kunnen coatingsystemen met dezelfde impedantie waarden getest worden met input van gekozen milieuomstandigheden.
De laatste stap zou dan zijn om dit verschil te verklaren en in kaart te brengen om vervolgens dit te verwerken in het degradatie model.

8 Conclusie

Corrosie van metalen heeft enorme economische, cosmetische en veiligheid technische consequenties. Coatingsystemen worden toegepast om degradatie van metaal door corrosie tegen te gaan. Er zijn verschillende manieren waarop een coating kan functioneren, echter dienen alle coatingsystemen hoofdzakelijk om het onderliggende oppervlak te beschermen tegen degradatie.
Het voorkomen van degradatie is een complex en diepgaand proces, waarin met verschillende factoren rekening gehouden moet worden. In verschillende fasen van een coating levensduur kunnen degradatie oorzaken zich voordoen. Het beschermen tegen degradatie is een proces waarin uiteenlopende zaken uiterst nauwkeurig en weldoordacht onderhanden genomen moeten worden.

Coatingsystemen kunnen getest worden met behulp van uiteenlopende testmethoden en/of modellen. Er zijn methoden waarin op specifieke coatingeigenschappen getest wordt, anderzijds zijn er testen waarin meerdere eigenschappen meegenomen worden. Er is hedendaags nog geen methode of model dat voldoet aan de vraag van het Havenbedrijf. Er zijn geen methoden die een volledig geautomatiseerd degradatie model op basis van levensduur weergeven voor een coating met bijbehorende milieuomstandigheden. De theoretische coating levensduur botst binnen het Havenbedrijf vaak met de daadwerkelijke levensduur in de praktijk.

Met behulp van diverse bronnen is er in dit rapport onderzoek gedaan naar alle bijkomende aspecten van coatingdegradatie en kan dit onderzoek dienen als een onderbouwend document voor het uiteindelijke afstudeerrapport. Uit het literatuuronderzoek is vervolgens een advies door de student geschreven, waarmee in samenwerking met het Havenbedrijf gekeken gaat worden naar de uitgangspunten voor het eigen toekomstige degradatie model. Voor het hoofdonderzoek zal de student een aandeel leveren in de inleidende fase naar het daadwerkelijke model. Het model is haalbaar gebleken door het op een statistische manier op te bouwen. Het genereren van een database met testresultaten en ondersteuning met laboratorium waarde moet het model vormgeven. Hierin staat de invloed van de milieufactoren die bijdragen aan coatingdegradatie centraal.

9 Bibliografie

REMA TIP TOP. (sd). *Surface protection*. Opgehaald van Coating structure: http://products.rema-tiptop.de/en/beschichtungsaufbau.html

Bos, W. (2008). *Prediction of coating durability.* Delft.

D. Loveday, P. P. (2004). *Evaluation of organic coating with electrochemical impedance spectroscopy.* Gamry Instruments.

Gellings, P. (2006). *Inleiding tot Corrosie en Corrosiebestrijding.* Enschede.

Havenbedrijf Rotterdam. (2017). *Moederbestek.* Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam N.V.

HavenbedrijfRotterdam. (2017). Interne bronnen. Rotterdam.

HbR KMS. (sd). Kade Modelering Systeem. Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland.

J.Martin, S. L. (1996). *Methodologies for predicting the service lives of coating systems.* Blue bell: Federation of societies for coating technology.

Jongbloed, P. (2013). *Richtlijnen kathodische bescherming (KB).* Rotterdam: Port of Rotterdam.

Jotun paints. (1999). *Coating manual.* Sandefjord.

M.Wormmeester. (2015). *Memo Corrosiesnelheid i.r.t. salaniteit.* Rotterdam.

Mol, A. *Deklagen en Oppervlaktebehandeling.* TU Delft, Utrecht.

NEN. (2007). *12944-5, Corrosion protection of steel structures by protective paint systems.* Delft: Nederlands normalisatie instituut.

NEN. (2010). *14713-1, richtlijnen en aanbevelingen voor de vescherming van ijzer en staal in constructies tegen corrosie.* Delft: Nederlands normalisatie instituut.

NEN. (2016). *16773-1, elektrochemische impedantiespectroscopie(EIS) op hogeimpedantie beklede monsters.* Delft: Nederlands normalisatie instuut.

NEN. (2016). *4628-3, evaluatie van de degradatie van verflagen.* Delft: Nederlands normalisatie instituut.

Sørensen, P., Nuygen, T., Hubbard, J., & McFadden, G. (1991). *Anticorrosive coating: a review.*

Coatingdegradatie

Testprotocol Simco Technologies **Bijlage 2**

J.F. (Jeffrey) Banis 27-07-2017 Definitief 2.0

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Port of Rotterdam

Coatingdegradatie – Testprotocol

Opleiding & organisatie:	Civiele Techniek, Hogeschool Rotterdam
In opdracht van:	Havenbedrijf Rotterdam N.V. - Asset Management Constructions
Auteur:	J.F. (Jeffrey) Banis
Bedrijfsbegeleider:	M. (Marc) Wormmeester
Stagedocent:	A. (Aart) Westerduin
Versie:	Definitief 2.0
Plaats:	Rotterdam
Datum:	27 juli 2017

Voorwoord

Het testprotocol is opgesteld in het kader van de afstudeeropdracht van Jeffrey Banis, student Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam, in opdracht van Havenbedrijf Rotterdam N.V.(hierna te noemen: ‘het Havenbedrijf’), vertegenwoordigd door dhr. M. (Marc) Wormmeester, asset manager namens de afdeling Asset Management Constructions (AM-CON). Dit rapport omvat een testprotocol gericht aan Simco Technologies, partner van het Havenbedrijf. Het rapport moet een handleiding vormen voor het onderzoek naar de gevoeligheid van dominante coatingdegradatie parameters.

Na de literatuurstudies van de student en Simco Technologies is besloten om een testprotocol op te stellen. Het testprotocol is opgesteld om de zoektocht naar een degradatiemodel voor te zetten. Het rapport omvat een volledige beschrijving van testmethoden die uitgevoerd moeten worden in het laboratorium van Simco Technologies. De informatie en resultaten die verkregen worden aan de hand van de testen moeten een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van het degradatiemodel.

Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Havenbedrijf en is bedoeld voor partner Simco Technologies. Simco Technologies heeft in het verleden meermaals soortgelijke testen uitgevoerd en is eveneens benaderd om deze testen uit te voeren. Het document kan gebruikt worden door Simco Technologies als ondersteuning en handleiding bij het testen.

Inhoud

Voorwoord 3
Inhoud 4
1 Inleiding 5
1.1 Samenvatting testmethode 5
1.2 Elektrochemische Impedantie Spectroscopie 5
2 Laboratorium onderzoek 7
2.1 Testopstellingen 8
3 Coupon voorbereiding en blootstelling 9
3.1 Substraat oceaanwater voorbereiding 9
3.2 Gecontroleerde omgeving blootstelling 9
3.3 Monitoren van saliniteit en temperatuur van de oplossing 9
3.4 Eigenschappen stalen coupons 9
3.5 Opstelling stalen coupons 9
4 Coatingsystemen 10
4.1 Te gebruiken coatingsystemen 10
4.2 Eisen aan applicatie coating 11
4.3 Eisen aan de nominale verflaagdikte 12
5 Uitwerking 12
5.1 Resultaten 12
5.2 Rapportage 13
Bibliografie 14

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de algemene zaken betreffende het testprotocol. In het kort wordt de testmethode samengevat en wordt de uitvoermethode toegelicht.

1.1 Samenvatting testmethode

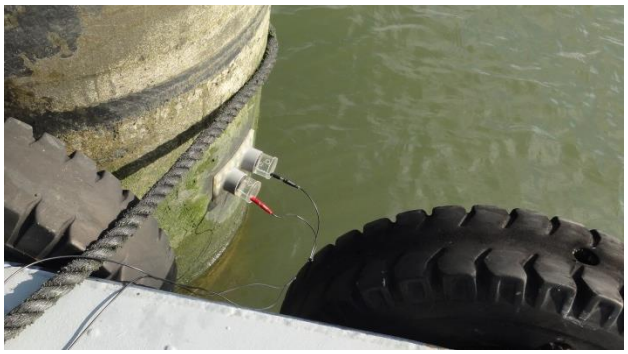
De testopstellingen bestaan uit gecoate metaalplaatjes die onder gecontroleerde condities ondergedompeld worden voor een bepaalde periode. Met behulp van deze testen wil het Havenbedrijf inzichtelijk maken wat er gebeurt met coating degradatie onder verschillende milieuomstandigheden. De testen worden uitgevoerd om een bijdrage te leveren aan de realisatie van het coating degradatiemodel. De testresultaten worden behaald door het toepassen van Elektrochemische Impedantie Spectroscopie (EIS).

1.2 Elektrochemische Impedantie Spectroscopie

Introductie

De EIS methode biedt mogelijkheden om nauwkeurige informatie te verkrijgen over de functionele eigenschappen van een coating. Simpelweg gezegd is de EIS methode een test met apparatuur dat de reststerkte van een coating kan meten. De elektrochemische techniek maakt het mogelijk om een impedantie spectrum van een elektrochemisch systeem te meten. Een impedantie spectrum bestaat uit capaciteiten die een coating zijn functionele eigenschappen geeft. Wanneer men regelmatig (in de tijd) de weerstand van een coating op een object met behulp van EIS meet, kan de degradatie van die desbetreffende coating in kaart worden gebracht.

EIS is een van de meest wijd toegepaste elektrochemische methodes om informatie over een anticorrosieve coating te verkrijgen. EIS kan zowel in het laboratorium als in de praktijk toegepast worden om onderzoek te doen naar coatingeigenschappen.
In figuur 1 is een EIS meetcel te zien op een afmeerpaal in de Rotterdamse haven.



Figuur 1: On-site EIS meetcel (HbR)

Werking van EIS

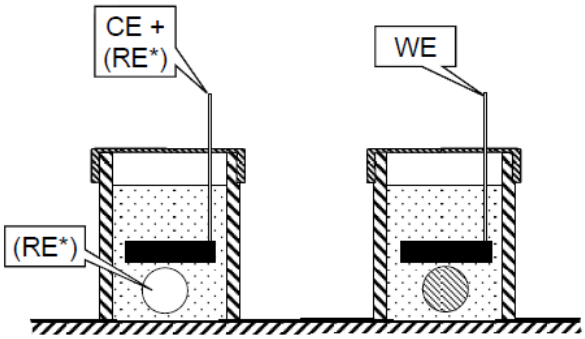
Naar mate een coating verouderd zal de weerstand afnemen en hiermee de coatingdegradatie toenemen. Na het meten van een coatingweerstand met EIS kan aan de hand van de coatingkwalificatie van *Gray et al* (Gray, 2003) de weerstand worden ingedeeld in bepaalde klassen. De indeling van *Gray et al* bestaat uit de volgende klassen: slecht, matig, goed, uitstekend en zeer uitstekend. De indeling is te zien in tabel 1.

Weerstand In Ohm/cm^2	Barrière eigenschappen coating
R_c < 1,0E+04	Slecht
1,0E+04 < R_c < 1,0E+06	Matig
1,0E+06 < R_c < 1,0E+08	Goed
1,0E+08 < R_c < 1,0E+10	Uitstekend
R_c > 1,0E+10	Zeer uitstekend

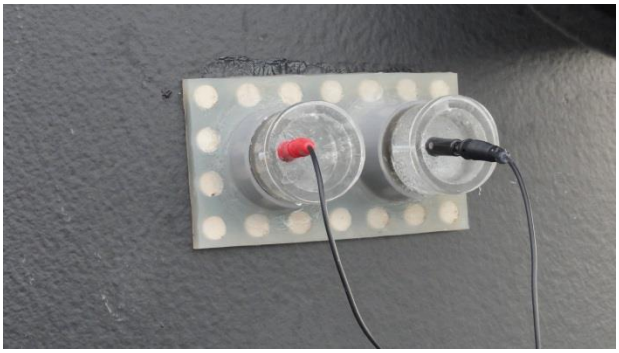
Tabel 1: : Indeling volgens Gray et al. (Endures, 2016)

Binnen het Havenbedrijf is de EIS methode al meermaals toegepast in de haven om coating op civiele werken te onderzoeken. Op een gelijke manier zal Simco Technologies de testen moeten uitvoeren in het laboratorium, zodat de verkregen resultaten een aanvulling zijn op de resultaten verkregen vanuit de praktijk. De laboratorium testen zullen op een zelfde manier toegepast worden, alleen dient er nu gefocust te worden op enkele degradatie factoren afzonderlijk. Dit wordt gedaan om de invloedrijke degradatie factoren uit het milieu als losse factoren te kunnen monitoren.

In figuur 2 is een schematische tekening te zien van een EIS meetcel. De meetcel toegepast in de praktijk is weergegeven in figuur 3. Er wordt een wisselspanning aangelegd tussen tegenelektrode CE en de werkelektrode WE. Dit houdt in dat er een wisselstroom door de cellen heen loopt en vervolgens de resulterende stroom gemeten kan worden na het doorlopen van het circuit. Met de resulterende stroom kan men de R_C[1] van een coating bepalen.



Figuur 2: Schematische EIS meetcel (Endures, 2016)



Figuur 3: Close up EIS meetcel (HbR)

[1] Met de R_C wordt de coatingweerstand uitgedrukt in Ohm/cm^2.

2 Laboratorium onderzoek

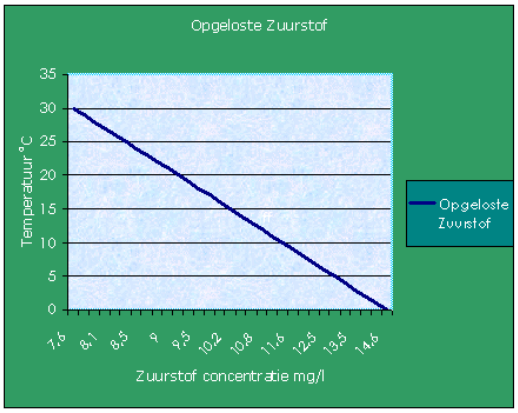
Het onderzoek dient volgens verschillende normen uitgevoerd te worden, zodat uniforme testresultaten behaald worden. Vaste startwaarden en gelijkheid van testopstellingen zijn noodzaak om eventuele fouten te elimineren. Een drietal coatingsystemen zal getest worden, deze systemen kunnen de meest waardevolle resultaten bieden voor het Havenbedrijf. Het testen met EIS metingen moet gedaan worden volgens de ISO 16773-2 norm.

Besloten is om te testen op een drietal milieufactoren die bijdragen aan coatingdegradatie.
Deze factoren zijn goed te implementeren in de testopstellingen en hebben een bijdrage aan coatingdegradatie. Eveneens zal de basis van het degradatiemodel aan de hand van de input van deze factoren opgesteld worden. De factoren zullen gecombineerd toegepast worden, zodat voor elk mogelijke combinatie meetresultaten te behalen zijn.

Voor aanvang van alle testen moet er onderzocht worden of UV straling, eén van de drie factoren een significante bijdrage heeft in coatingdegradatie. Aangeraden wordt om twee testopstellingen te gebruiken om te controleren of UV straling ondergedompelde gecoate stalen coupons kan aantasten. Indien het significant bijdraagt aan coatingdegradatie, dan zal UV straling meegenomen worden in alle testopstellingen.

Op de volgende factoren zal in ieder geval getest worden, deze factoren worden gecontroleerd gesimuleerd:
1. Saliniteit
2. Temperatuur

Deze factoren zijn bepaald aan de hand van de literatuurstudies en onderzoek binnen het Havenbedrijf. Uit deze documenten blijkt dat het zoutpercentage in het water degradatie kan versterken. Ook opgelost zuurstof is van groot belang binnen het degradatieproces. Hoe hoger de temperatuur des te minder opgeloste zuurstof, zoals te zien is in figuur 4.



Figuur 4: Zuurstofconcentratie/Temperatuur (Lenntech)

Saliniteit
Er zal worden getest met vier verschillende saliniteit waarden. Deze waarden zijn opgesteld om de uiteenlopende saliniteit in het Rotterdamse havengebied na te bootsen. Daarentegen maken groot uiteenlopende waarden inzichtelijk in welke mate de saliniteit bijdraagt aan coatingdegradatie.
Er worden vier testopstellingen toegepast voor de verschillende saliniteit waarden. Dit wordt in veelvoud gedaan na combinatie met andere milieufactoren.

Temperatuur/Opgelost zuurstof
Het effect van temperatuur op coatingdegradatie zal getest worden aan de hand van drie verschillende temperaturen. Het Havenbedrijf werkt aan het inzichtelijk maken van in hoeverre de temperatuur daadwerkelijk bijdraagt aan coatingdegradatie.

UV straling
De invloed van UV straling dient onderzocht te worden met behulp van een viertal opstellingen.
Onder een en dezelfde omstandigheden zullen metalen plaatjes afzonderlijk in een bak water gehangen worden. Het enige verschil tussen de testopstellingen is dat twee van de vier UV straling zal ondervinden.

2.1 Testopstellingen

Voorafgaand aan de daadwerkelijke uitvoering van het grote aantal testen zal er eerst getest moeten worden of UV straling invloed heeft op degradatie van coating. Voorgesteld wordt om dit met vier testopstellingen te doen. Gekozen is voor combinatie 2 en 11 (tabel 2), om te kunnen oordelen of er verschil is bij uiteenlopende parameters. Indien aangetoond wordt dat er significant verschil is, dienen alle 12 testopstellingen dubbel uitgevoerd te worden. Dit betekend dat elke testopstelling wordt uitgevoerd onder invloed van UV straling en de andere helft zonder invloed van UV straling.

De coatingdegradatie wordt getest op een enkel type staal, namelijk S235. Uit voorgaande onderzoeken van Simco Technologies is gebleken dat er zich geen verschillen zich voordoen, betreffende degradatie van een coupon zonder coating. Het is daarom niet zinvol om in deze testopstellingen wel met meerdere staaltypen te testen. De opstellingen zijn in tabel 2 horizontaal uitgezet in temperatuur in graden Celsius en verticaal is de saliniteit weergeven in parts per thousand.

Temperatuur→ **↓Saliniteit**	*4 °C*	*20 °C*	*32 °C*
1 ppt[2]	1	2	3
5 ppt	4	5	6
15 ppt	7	8	9
32 ppt	10	11	12

Tabel 2: Testopstellingen S235 genummerd

[2] Ppt geeft het aantal gram zout aan in 1 liter water.

3 Coupon voorbereiding en blootstelling

In dit hoofdstuk worden de specificaties van de testopstellingen toegelicht. Er wordt ook verwezen naar normen waaraan de testen moeten voldoen.

3.1 Substraat oceaanwater voorbereiding

De volle sterkte van oceaanwater is zo'n 35 ppt volgens de ASTMD1141 – *Standard Practice for the Preperation of Substitute Ocean Water.* Er zijn oplossingen voor 32 ppt, 15 ppt, 5 ppt en 1 ptt om de volledige range van verschillende saliniteit in de Rotterdamse haven te dekken.

3.2 Gecontroleerde omgeving blootstelling

De opstellingen worden in plastic containers geplaatst met een totaal volume van rond de 18 liter, gelijk aan de eerder gebruikte containers in voorgaande onderzoeken voor het Havenbedrijf. Het volume van de oplossingen in de containers zal 10 liter zijn. De coupons zijn hiermee volledig ondergedompeld in de oplossing. De containers zijn afgesloten met een deksel van Plexiglas, deze wordt vastgemaakt met clips aan de container. Zwart schuim moet tussen de deksel en de container geplaatst worden om verdamping te voorkomen. De blootstellingstemperatuur moet gecontroleerd worden voor de volgende temperaturen: 4°C, 20°C en 32°C zoals bij de voorgaande onderzoeken. Dit kan gecontroleerd worden door het continu meten van de temperatuur met behulp van thermometers in de containers. Uit In zijn totaliteit zijn er 12 plastic containers nodig voor de testopstellingen.

3.3 Monitoren van saliniteit en temperatuur van de oplossing

Veranderingen van het zuurstofgehalte en de saliniteit van de oplossing moeten gemonitord worden om te verifiëren dat ze stabiel zijn. Hiervoor dient net als tijdens de testen van 2014-2015 gemeten te worden met de HQ40d, gefabriceerd door Hach. Voorgaande testen bleken positief, maar dit dient opnieuw gemeten te worden om fouten te elimineren.

3.4 Eigenschappen stalen coupons

Het staal dat gebruikt wordt voor de coupons is van het type S235. De stalencoupons welke gebruikt gaan worden in de testopstellingen moeten een reinheid hebben van Sa 2,5 als bedoeld in artikel 56.22.01 lid 01 van de Standaard RAW bepalingen 2015 (CROW, 2015). Roest- en brandplekken van het lassen en snijden ook stralen tot een reinheid van Sa 2,5 volgens NEN-EN-ISO 8501-1. De coupons dienen tenminste zo groot te zijn als de EIS meetapparatuur die op het substraat aangebracht moet worden, aangeraden wordt om voldoende marge te hierin te behouden. Afmetingen van de coupons worden bepaald na het vaststellen van de te gebruiken EIS meetapparatuur. Alle coupons dienen wel dezelfde afmetingen te hebben.

3.5 Opstelling stalen coupons

Voor elke temperatuur met saliniteit combinatie worden 9 coupons opgehangen, welke met 3 verschillende soorten coating behandeld zijn. De coupons worden in tegenstelling tot bij voorgaande testen van Simco Technologies nu zonder open ruimte in het middelpunt geleverd, deze openruimte zorgt voor problemen met het uitvoeren van EIS testen. In zijn totaliteit zijn er 108 coupons nodig over 12 plastic containers. Aangeraden wordt om de coupons op een gelijke manier te nummeren of te markeren om onderscheid te kunnen maken, dit bijvoorbeeld gedaan worden op basis van positie in de containers.

4 Coatingsystemen

De drie meest waardevolle coatingsystemen binnen het Havenbedrijf zullen toegepast worden op de stalen coupons. In de toekomst spelen deze drie coatings de grootste rol, waardoor er gekozen is om deze te gebruiken in de laboratorium testopstellingen.

4.1 Te gebruiken coatingsystemen

Tabel 56.2.1 van de Standaard is met de volgende verftypen uitgebreid door het Havenbedrijf:

Verftypenummer: 24
Naam aanduiding: Glassflake versterkte polyester coating

Verftypenummer: 25
Naam aanduiding: Glassflake versterkte epoxy coating

Tabel 56.2.2 van de Standaard is met het volgende verftype uitgebreid:

Glassflake versterkte polyester/epoxy coating
- nummer verfsysteem CROW: 21.19
- nummer verfsysteem NPR 7452: -
- nominale laagdikte µm: 1200
- voorbehandeling: Sa 2½
- verflaag 1, type / µm: 24 of 25 / 600
- verflaag 2, type / µm: 24 of 25 / 600
- verflaag 3, type / µm: -
- verflaag 4, type / µm: -
- afwerklaag na montage, type / µm: -

De specificaties van het 3^{e} en laatste coatingsysteem dat getest gaat worden zijn als volgt:

Epoxy primer a.c (HS)
- nummer verfsysteem CROW: 21.07
- nummer verfsysteem NPR 7452: S5.15
- nominale laagdikte µm: 320
- voorbehandeling: Sa 2½
- verflaag 1, type / µm: 7 / 80
- verflaag 2, type / µm: 10 / 80
- verflaag 3, type / µm: 10 / 80
- verflaag 4, type / µm: -
- afwerklaag na montage, type / µm: -

4.2 Eisen aan applicatie coating

Opgesteld vanuit artikel 56.22.10 van RAW Moederbestek HbR:

03 In aanvulling op artikel 56.22.10 lid 03 van de Standaard alle in water oplosbare zouten, zoals chloriden sulfaten, verwijderen tot een maximale concentratie van 25 mg/m2 overeenkomstig NEN-EN-ISO 8501-6 en NEN-EN-ISO 8502-9.

06 In aanvulling op artikel 56.22.10 lid 06 van de Standaard geldt dat geen gebreken zijn toegestaan als bedoeld in NEN-EN-ISO 4628-1 t/m 10.

07 In afwijking van artikel 56.22.10 lid 07 van de Standaard dient de hechting meer te zijn dan 5 MPa overeenkomstig NEN-ISO 4624 (de pull-off test).

11 De versnelde veroudering volgens NEN-ISO 20340 bedraagt minimaal 4200 uur.

12 Voor zover UV-resistentie is vereist mag de afname van de glans op basis van een UV-Condense test overeenkomstig ASTM D4587-05 gedurende een periode van 1000 uur niet meer zijn dan 50%.

13 Voor zover slijtvastheid is vereist mag het materiaalverlies op basis van een test overeenkomstig ASTM D4060 gedurende 1000 omwentelingen met een C16 1 kg wiel niet meer dan 40 mg zijn.

14 De coating-weerstand Rc dient na het fitten volgens Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) overeenkomstig NEN-EN-ISO 16773 minimaal 10e7 ohm*cm2 te bedragen.

15 Het capacitieve gedrag van de coating (EIS) dient een Yo te hebben kleiner dan 5*10e-10 s^n ohm, een n-waarde groter dan 0,90.

16 Er mogen in de meetresultaten (EIS) geen signalen zijn van de corrosie dubbellaag (Rct en Qdl).

Notitie:

lid 07 bij methode 2b en 2c aanvullen met de volgende zin:
de hechting van de onderliggende coating dient minimaal 3 mpa te zijn overeenkomstig nen-iso 4624 of maximaal klasse 0-1 overeenkomstig nen-iso 2409.

lid 11 opnemen bij immersie en/of slijtvaste coatings.

lid 12 opnemen indien uv resistentie is vereist. In de betreffende bestek posten van de afwerklaag de tekst 'uv-resistent' opnemen.

lid 13 opnemen indien slijtvastheid is vereist. In de betreffende bestek posten van het verfsysteem de tekst 'slijtvast' opnemen.

lid 14, 15 en 16 verwijderen indien keuring volgens de 'eis' niet wordt toegepast.

4.3 Eisen aan de nominale verflaagdikte

01 De voorgeschreven droge laagdikte, als genoemd in artikel 56.22.11 lid 01 van de Standaard, moet overeenkomen met NEN-ISO 19840. De correctiewaarden voor ruwheid zijn alleen van toepassing indien vooraf overeengekomen.

02 In aanvulling op artikel 56.22.11 lid 02 van de Standaard mag maximaal 20% van de metingen onder de nominale laagdikte liggen. De maximale laagdikte dient te worden afgestemd met de aanbevelingen van de producent.

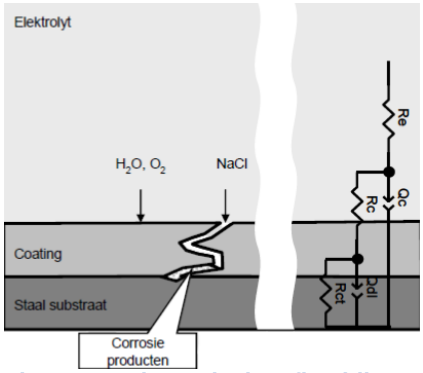
5 Uitwerking

In dit hoofdstuk worden de beoogde resultaten van het onderzoek toegelicht. De rapportage vorm waarin het Havenbedrijf graag de resultaten ontvangt wordt ook besproken.

5.1 Resultaten

Zoals eerder benoemd worden de test resultaten behaald met behulp van de EIS methode. De waarden worden viermaal uitgelezen, op dag 0, 30, 60 en 90. De meetresultaten van elke meetopstelling moeten verwerkt te worden in een diagram, waarin de R_C waarde afgelezen kan worden in combinatie met de kwalificatienorm van *Gray et al*. In het diagram moet ook de minimale R_C weergeven zijn die vanuit het Havenbedrijf geëist wordt.

Een overzicht ter verduidelijking van wat de R_C inhoud is te zien in figuur 5. Alle bijbehorende symbolen zijn ook ter verduidelijking opgenomen in figuur 6. Het principe moet begrepen worden, maar de uitkomsten zullen computer gestuurd gegenereerd worden.

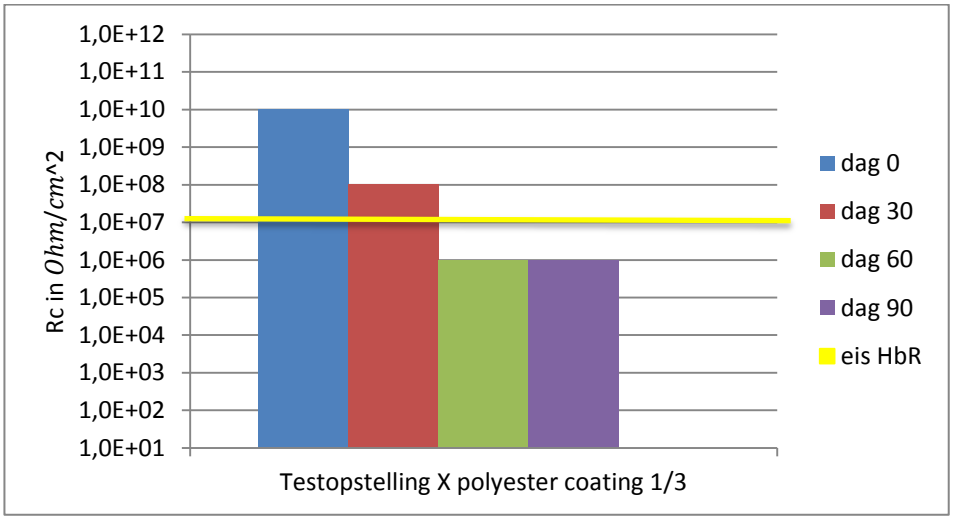


Figuur 5: schematische afbeelding van coatingparameters (Endures, 2016)

Symbool	Omschrijving	Impedantie
R_{el}	de weerstand van de elektrolyt (ASTM-zeewater)	$Z = R$
Q_c	het constante fase-element van de coating	$Z = \frac{1}{Y_0(j\omega)^n}$
R_c	de weerstand van de coating	$Z = R$
Q_{dl}	het constant fase element van de dubbellaag	$Z = \frac{1}{Y_0(j\omega)^n}$
R_{ct}	de weerstand van de ladingsoverdracht	$Z = R$

Figuur 6: Coating parameters (Endures, 2016)

De resultaten van alle testopstellingen op alle testdata moeten verwerkt worden in een grafiek, zoals dat in figuur 7 is gedaan. De doelstelling is om voor elke testopstelling een dergelijke grafiek op te stellen. Aan de hand van deze grafieken kan achteraf gekeken worden wat de degradatiesnelheden zijn voor elke testopstelling. Na afloop kan er dan ook wat geconcludeerd worden over de invloed van de milieufactoren op de coatingeigenschappen. Elke testopstelling bevat 9 coupons met 3x3 verschillende coatingsystemen. Voor een enkele testopstelling moeten er dus 9 EIS metingen uitgevoerd worden. Er worden 3 coupons per coating gebruikt om afwijkingen en meetfouten te elimineren.



Figuur 7: voorbeeld resultaten grafiek (Banis, 2017)

De grote bulk aan informatie die deze testen teweeg moet brengen kan statistisch benaderd worden om hiermee een model te realiseren. Een statistisch model is bijvoorbeeld op basis van de kansrekening of regressie vergelijkingen. Simco Technologies moet onderzoeken of er verbanden terug te vinden zijn in de testresultaten. De verbanden betrekken zich dan met name tot de individuele bijdrage van milieufactoren aan coatingdegradatie. Deze individuele bijdrage kan een ondersteuning vormen voor in de praktijk gevonden resultaten en de verwerking ervan in het model.

5.2 Rapportage

Het Havenbedrijf verwacht rapportage over de gevonden resultaten van Simco Technologies. Zaak voor Simco Technologies is om inzichtelijk te maken wat alle testopstellingen voor uitkomsten geven. Zoals eerder benoemd moet dit gedaan worden in de vorm van grafieken met als voorbeeld figuur 8. Het hoofddoel van het uitvoeren van deze grote hoeveelheid testen is om een verbanden te vinden in de resultaten. Een indeling op mate van coatingdegradatie is gewenst, zodat het direct inzichtelijk is voor het Havenbedrijf in welk milieu de degradatie het hardst verloopt. Onderbouwende conclusies en aanbevelingen moeten geformuleerd worden, zodat het Havenbedrijf hier eventueel op verder kan borduren.

Bibliografie

Banis. (2017). Grafiek EIS resultaten. Rotterdam.

CROW. (2015). *Standaard RAW bepalingen.* Ede.

Endures. (2014). *Coating kwalificatie steiger 0.* Den Helder.

Endures. (2016). *Coatingkwalificatie steiger 0.* Den Helder.

Gray. (2003). *Using EIS to better understand tank lining performance in laboratory and field evaluation.* Houston.

HbR. (2017). *Moederbestek.* Rotterdam.

HbR. *EIS metingen ligplaats 90-91.*

Lenntech. (sd). *Zuurstof in water*. Opgehaald van www.lenntech.nl: http://www.lenntech.nl/zuurstof_oplosbaarheid.htm

NEN. (2017). *Nederlandse norm.*

Coatingdegradatie

On-site EIS metingen

Bijlage 3

J.F. (Jeffrey) Banis

27-07-2017

Definitief 2.0

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Port of Rotterdam

Coatingdegradatie – On-site EIS metingen

Opleiding & organisatie:	Civiele Techniek, Hogeschool Rotterdam
In opdracht van:	Havenbedrijf Rotterdam N.V. - Asset Management Constructions
Auteur:	J.F. (Jeffrey) Banis
Bedrijfsbegeleider:	M. (Marc) Wormmeester
Stagedocent:	A. (Aart) Westerduin
Versie:	Definitief
Plaats:	Rotterdam
Datum:	27 juli 2017

Voorwoord

Dit deelrapport is geschreven in het kader van de afstudeeropdracht van Jeffrey Banis, student Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam, in opdracht van Havenbedrijf Rotterdam N.V. (hierna te noemen: ‘het Havenbedrijf’), vertegenwoordigd door dhr. M. (Marc) Wormmeester, asset manager namens de afdeling Asset Management Constructions (AM-CON). Dit rapport omvat een uitgewerkte opdracht voor on-site EIS metingen in de Rotterdamse haven.

De on-site EIS metingen zijn opgesteld en uitgezet om kennis en inzicht te vergaren betreffende het afstudeeronderwerp. Aan de hand van dit onderzoek moet het Havenbedrijf weer een stap dichterbij komen bij de ontwikkeling van een degradatiemodel. Dit rapport is opgesteld ter aanvulling op het afstudeeronderzoek van J.F. (Jeffrey) Banis. Het rapport is bedoeld ter ondersteuning en verduidelijking van het afstudeeronderzoek. Het Havenbedrijf kan dit document ook gebruiken voor informatie over het uitgevraagde werk.

1 Inhoudsopgave

Voorwoord 3
1 Inhoudsopgave 4
2 Inleiding 5
3 Het werk 6
4 Bijlagen 8

2 Inleiding

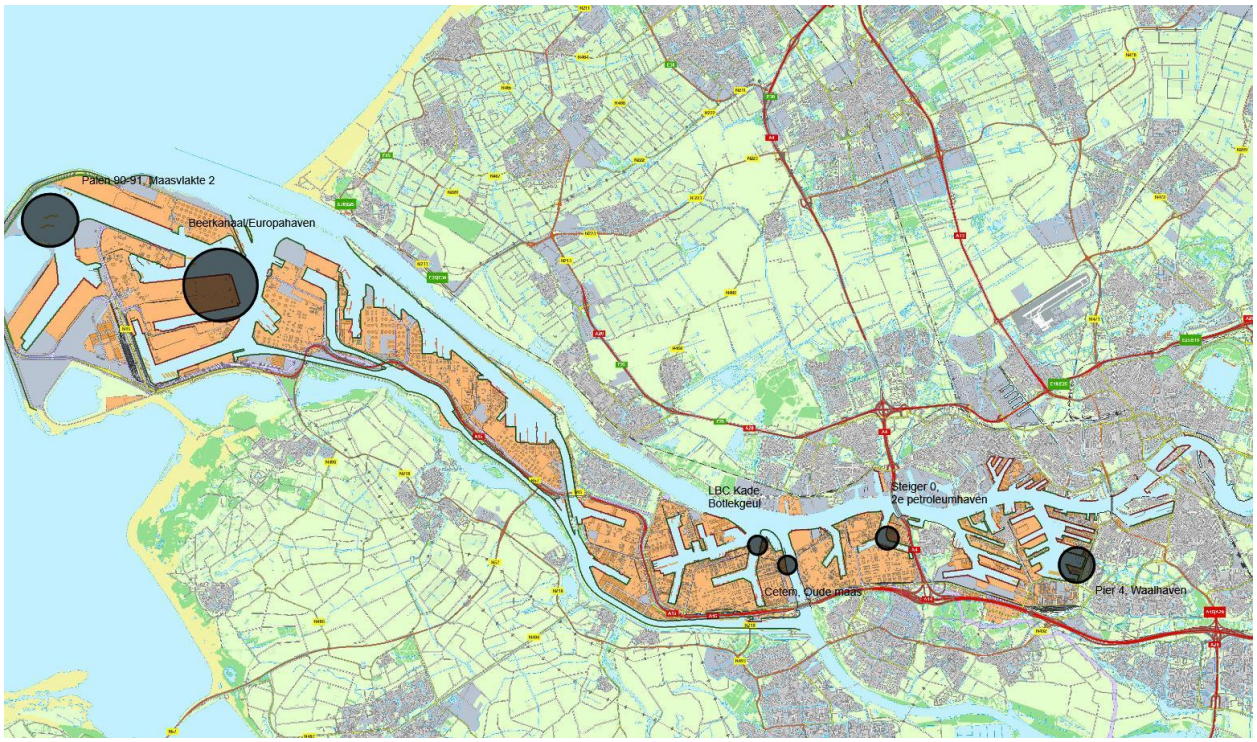
Vanuit getrokken conclusies uit de literatuurstudies is er besloten om on-site EIS metingen uit te voeren in de Rotterdamse haven. De EIS metingen moeten een aanvulling zijn op de databank die het Havenbedrijf wenst te genereren. Met het behalen van dermate veel testresultaten vergroot het Havenbedrijf de nauwkeurigheid van het statistisch opgestelde model.

De locaties zijn gekozen op basis van de aanwezige coatingsystemen en milieueigenschappen. De uiteenlopende milieueigenschappen moeten inzicht bieden in welke factoren meer of minder bijdragen aan coatingdegradatie. Met behulp van de testresultaten kan er wat geconcludeerd worden wat betreft de invloed van verschillende factoren uit het milieu en over coatingdegradatie snelheden.

In het verleden is er al meermaals onderzoek gedaan met EIS metingen in de Rotterdamse haven. Na het bestuderen van deze onderzoeken is besloten op eenzelfde manier te gaan testen. De voorgaande resultaten zijn dermate bruikbaar gebleken dat het gewenst is om het op een gelijke manier uit te voeren. Tevens wordt er getest op locaties waarvan de coatingweerstand bekend is vanuit contractuele documenten of eerder uitgevoerde testen. Aan de hand van deze documenten kan er wat geconcludeerd worden over coatingdegradatie snelheden en in welke mate de milieufactoren dit beïnvloeden.

3 Het werk

De on-site metingen zijn aangeboden bij verschillende partijen, om vervolgens na de offerte aanvraag een partij het werk te gunnen. C-Cube International B.V. zal de EIS testen in de haven gaan uitvoeren en uitwerken. In het verleden heeft C-Cube al soortgelijke opdrachten uitgevoerd voor het Havenbedrijf. Onderstaand in figuur 1 zijn de verschillende locaties aangegeven met zwarte cirkels, de figuur is met het programma Portmaps van het Havenbedrijf vormgegeven.



Figuur 1: Locaties EIS metingen (Banis, 2017)

De gemarkeerde locaties zijn gekozen op basis van de aanwezige coatingsystemen en omgevingseigenschappen. Alle objecten op de gekozen locaties zijn voorzien van een van de drie hoofd coatingsystemen binnen het Havenbedrijf. Om die reden kan er een link worden gelegd met het laboratorium onderzoek van Simco Technologies, hier worden namelijk dezelfde coatingsystemen toegepast.

Locaties

Beerkanaal/Europahaven
Beerkanaal paal FWP4 D2; *Tekening VX010_01*
Europahaven palen FWP3 D1 en FWP3 D3; *Tekening VX037_03*

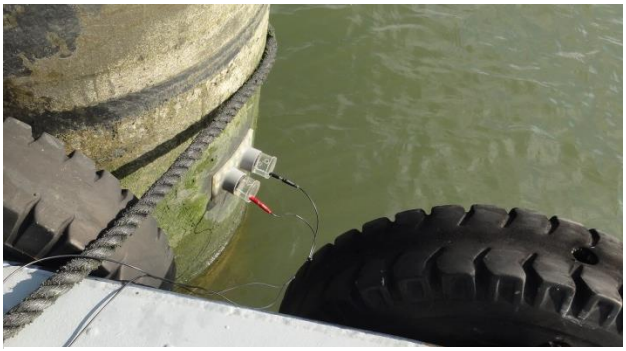
Steiger 0, 2e Petroleumhaven
Afmeerpalen D2, D5 en ondersteuningspalen OP4, 9 en de loopbrug
Gelijk aan rapport van 03 oktober 2016, herhalingsmeting

Pier 4, Waalhaven
Afmeerpalen 4,6,11 en loopbrug; *Tekening B004-G*

Cetem, Oude maas
3 Afmeerpalen; *Tekening C02011.000294_A207_rev.b*

LBC kade, Botlekgeul
Trospalen 5 en 6, Paal R32, *Tekening BC6054-201*

Palen 90-91, Maasvlakte 2
90: Palen T1 en T6; *Tekening 31-11-SD-7011-C*
91: Palen T1 en T6; *Tekening 31-11-SD-7011-C*


Figuur 2: EIS meting op een afmeerpaal (HbR)

Het werk zal in zijn totaliteit bestaan uit het uitvoeren van 80 afzonderlijke metingen. In figuur 2 is een eerder uitgevoerde EIS meting in de haven te zien. Elk object dient in de atmosferische zone en de eb/vloed zone bemeten te worden. Voor beide zones geldt dat er in de zonbeschenen en onbeschenen kant wordt gemeten. Logischerwijs worden loopbruggen alleen in de atmosferische zone getoetst.
De resultaten zijn van belang om in kaart te brengen wat verschillende milieueigenschappen doen met de degradatiesnelheid van een coating.

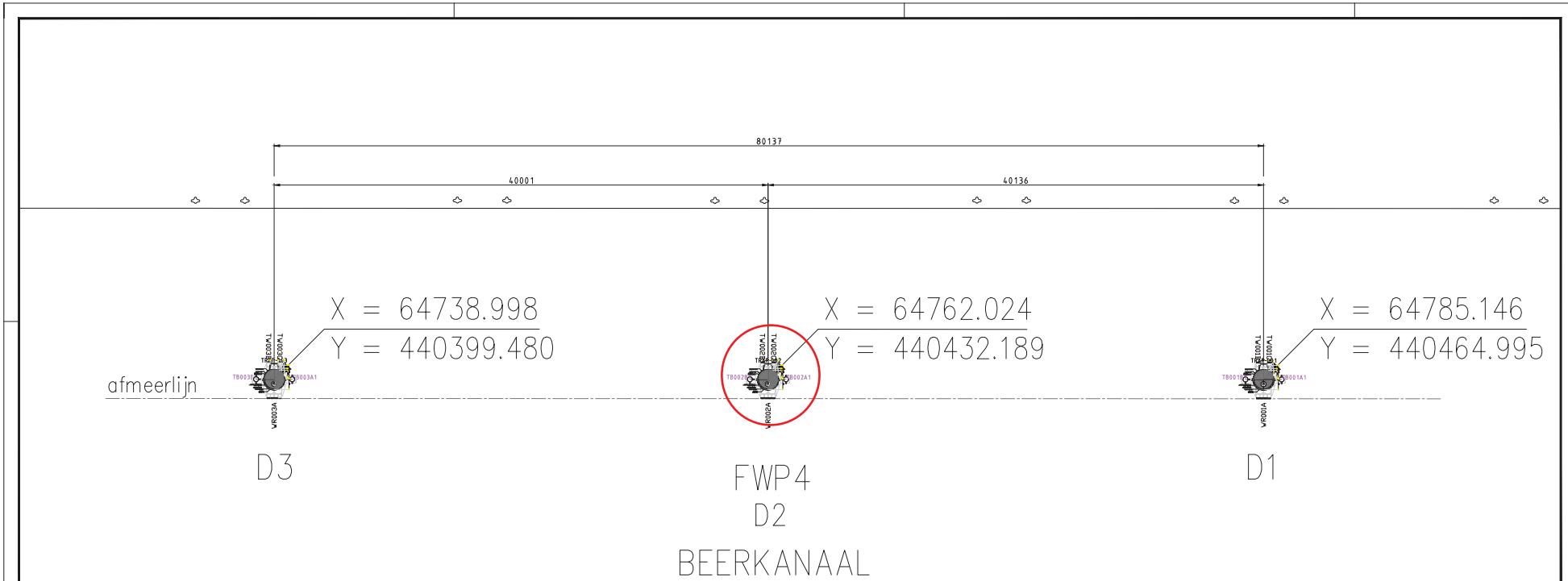
EIS metingen uitvoeren valt binnen de expertises van C-Cube en dus is er vrijwel geen ondersteuning nodig in het werk. Het Havenbedrijf zorgt voor vrije werkruimte en voor een werkboot. C-Cube zal op eenzelfde manier de EIS testen uitwerken als in voorgaande onderzoeken. Een voorbeeld van zo'n uitwerking is te zien in de bijlagen van dit rapport.

4 Bijlagen

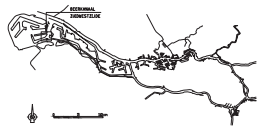
De locaties waar EIS metingen uitgevoerd worden zijn allen ingetekend of overgenomen uit eerder werk voor het Havenbedrijf. De tekeningen en rapporten zijn toegevoegd bij de offerte aanvraag om het voor de opdrachtnemer inzichtelijk te maken.

In de volgende volgorde zijn de stukken toegevoegd aan dit rapport:

1. *Beerkanaal/Europahaven*
2. *Steiger 0, 2e Petroleumhaven*
3. *Pier 4, Waalhaven*
4. *Cetem, Oude maas*
5. *LBC kade, Botlekgeul*
6. *Palen 90-91, Maasvlakte 2*



SITUATIE



OPMERKINGEN

- ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
- HOOGTEMATEN IN METERS t.o.v. N.A.P.

- Gekend:
- Tekenaar: COOS
- Gecontroleerd:

- BOUWJAAR:
- LENGTE = 83.632m
- BESTEK/OPDRACHT:

WIJZ.	DATUM

Havenbedrijf Rotterdam N.V.

www.portofrotterdam.com

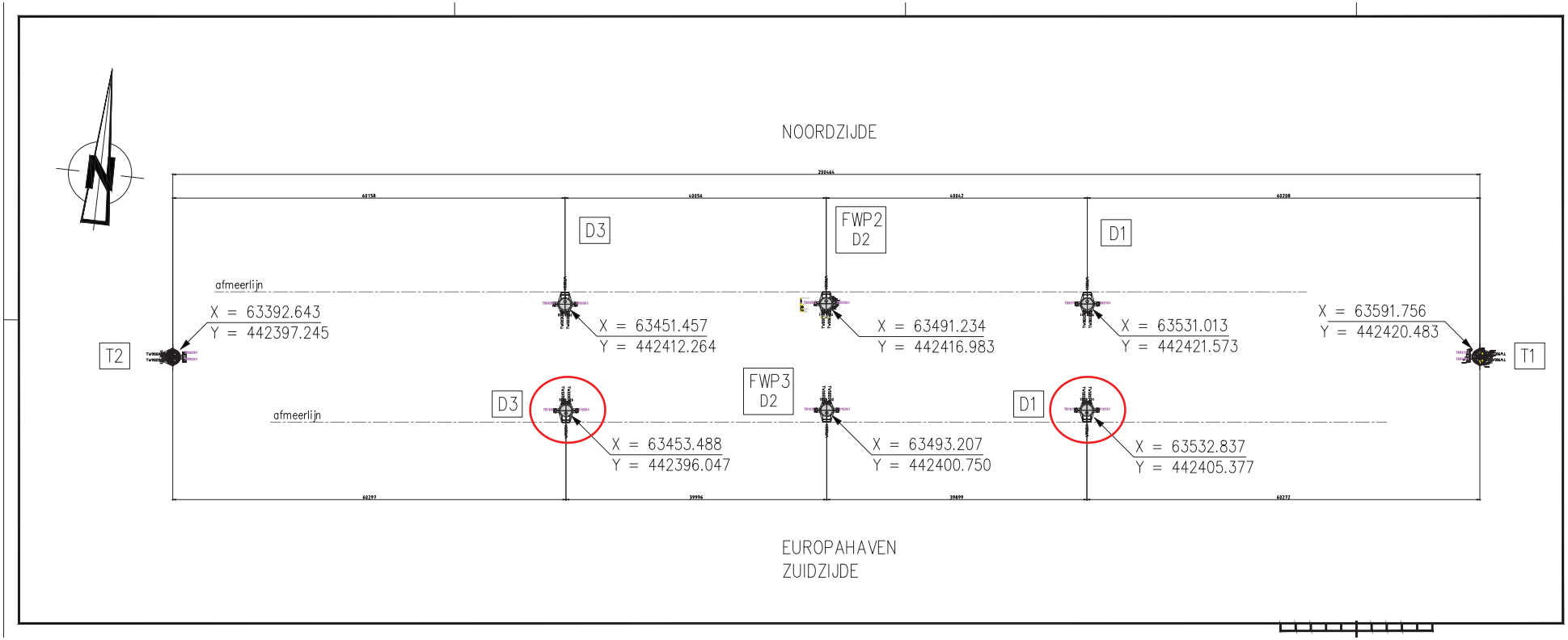
VasteAfmeerVoorziening

HAVEN: 010.BEERKANAAL
VAV: 01.Beerkanaal VAV 1 ZWz

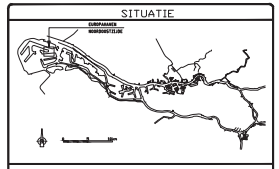
BOVENAANZICHT

formaat: 420x1188
schaal :
versie : 0
datum : 2014-05-14

VX010-01.DWG



SITUATIE



OPMERKINGEN

- ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
- HOOGTEMATEN IN METERS t.o.v. N.A.P.

- Gekekend:
- Tekenaar: CDOS
- Gecontroleerd:

- BOUWJAAR:
- LENGTE = 2x200.464m
- BESTEK/OPDRACHT:

WIJZ.	DATUM

Havenbedrijf Rotterdam N.V.

www.portofrotterdam.com

VasteAfmeerVoorziening

HAVEN: 037.EUROPAHAVEN
VAV: 03.Europahvn VAV 3 NOz

BOVENAANZICHT

formaat: 420x1188
schaal :
versie : 0
datum : 2014-05-14

VX037-03.DWG

ENDURES B.V.
Bevesierweg, Gebouw MML
(Fort Harssens) --
1781 AC Den Helder
Postbus 505
1780 AM Den Helder

www.endures.nl

T +31 (0)2 23 74 70 01
info@endures.nl

ENDURES-RPT16006

Coatingkwalificatie steiger 0 (2 afmeerpalen, 2 ondersteuningspalen, loopbrug)

Datum	03 oktober 2016
Auteur(s)	S.J. Buter
Herziening	Rev00
Oplage	-
Aantal pagina's	16 (incl. appendices)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Havenbedrijf Rotterdam N.V. T.a.v. de heer M. Wormmeester Postbus 6622 3002 AP Rotterdam
Projectnaam	EIS metingen aan 5 objecten
Projectnummer	PROJ16006

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ENDURES.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan ENDURES, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 ENDURES B.V.

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3

2 Uitvoering 4
2.1 Apparatuur 4
2.2 Meetcellen 4
2.3 Coatingsysteem 5
2.4 Meetposities 6

3 Resultaten 8
3.1 De buispalen 8
3.2 Kwalificatie 12

4 Conclusie & Aanbeveling 14

5 Ondertekening 15

DRAFT

1 Inleiding

Door ENDURES wordt een meetmethode, gebaseerd op elektrochemische metingen, gebruikt om de corrosiebeschermende werking van coatings vast te stellen.

De heer M. Wormmeester van Havenbedrijf Rotterdam N.V. heeft opdracht gegeven om een herhaling van elektrochemische metingen uit te voeren aan twee afmeerpalen, twee ondersteuningspalen en een loopbrug (Steiger 0) na 2 jaar blootstelling aan de omgevingscondties. Per paal zijn op vier punten metingen uitgevoerd, namelijk in de atmosferische zone en in de getijdezone aan zowel de zonzijde (zuidkant) als aan de niet door de zon beschenen zijde (noordkant). Bij de loopbrug zijn op twee punten EIS metingen uitgevoerd. Het coatingsysteem dat op de palen is aangebracht betreft een één- of meerlaags Jotun Baltoflake Ecolife black systeem. Op de loopbrug is het volgende systeem aangebracht: als primer Jotun Barrier, als tussenlaag Jotamastic 90 en als toplaag Hardtop XP.

DRAFT

2 Uitvoering

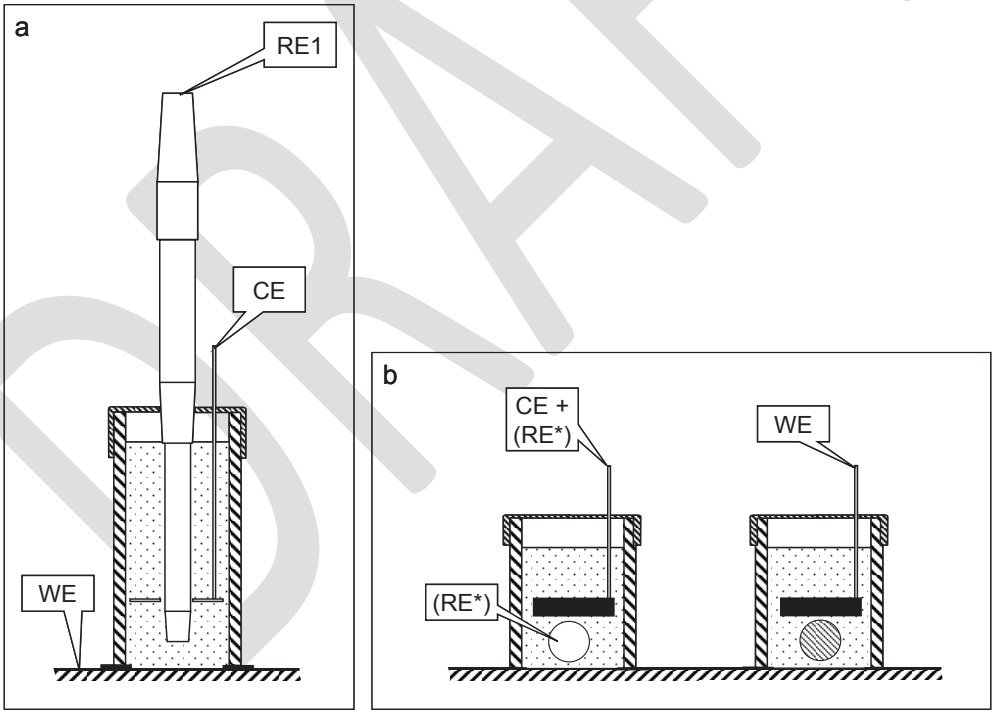
2.1 Apparatuur

De meetapparatuur bestaat uit een CompactStat van Ivium Technologies en een laptop met het programma IviumSoft, eveneens van Ivium Technologies. Deze apparatuur is zeer geschikt voor het uitvoeren van in-situ metingen op locatie.

2.2 Meetcellen

Bij de oorspronkelijk set-up voor EIS-metingen werd een PMMA buis (inwendige diameter 4 cm) op het te onderzoeken coatingoppervlak gelijmd. In deze buis werd een platina tegenelektrode en een verzadigde Ag/AgCl referentie-elektrode (Radiometer XR820) geplaatst (Figuur 1a).
Gedurende de meting werd tussen het metalen substraat (het gecoate deel) en de platina tegenelektrode een wisselspanning van ca. 20 mV[1] aangebracht.

Een schematische weergave van de nieuwe set-up is weergegeven in Figuur 1b. Met de nieuwe set-up wordt een wisselspanning aangelegd tussen de tegenelektrode CE en de werkelektrode WE. De configuratie kan enerzijds worden uitgevoerd met een aparte referentie-elektrode RE. Anderzijds kan de aansluiting voor RE worden kortgesloten met CE. Laatstgenoemde optie is alleen bruikbaar voor metingen aan coatings die een voldoende mate van bescherming bieden.



Figuur 1: a) Conventionele set-up EIS meetcel b) Praktische EIS set-up voor in situ-metingen. Deze configuratie kan enerzijds worden uitgevoerd met een aparte referentie-elektrode RE*. Anderzijds kan de aansluiting voor RE* worden kortgesloten met CE.

EIS data worden doorgaans geïnterpreteerd met behulp van equivalent circuits. Deze circuits bestaan uit elementen die een fysisch of elektrochemisch proces representeren. Effectief passeert de wisselstroom bij de nieuwe set-up tweemaal de coating. Om de resultaten te vergelijken met de conventionele set-up is een eenvoudige berekeningstap nodig voor het berekenen van de coatingparameters.

[1] De benodigde wisselspanning is afhankelijk van het gemeten systeem. Voor goede barrièrecoatings is een grotere wisselspanning nodig om betrouwbare meetresultaten te krijgen.

DRAFT

Voor de weerstand van de coating (R_c) en de effectieve coatingcapaciteit (C_c) gelden de volgende formules:

$$R_c = R_{cel1} + R_{cel2} \quad (1)$$

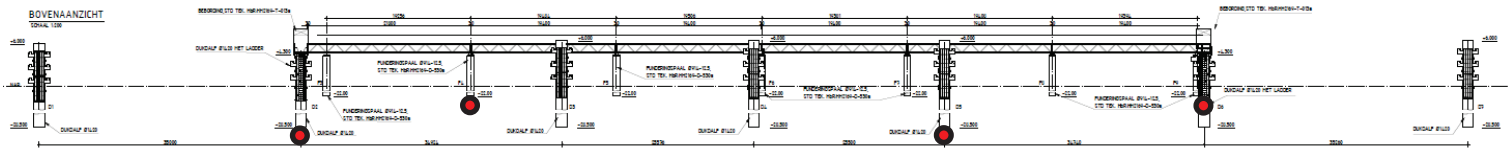
$$\frac{1}{C_c} = \frac{1}{C_{cel1}} + \frac{1}{C_{cel2}} \quad (2)$$

Met bovenstaande formules zijn uit metingen met de nieuwe set-up de relevante coatingparameters per oppervlakte-eenheid te berekenen.

Alle metingen aan de buispalen zijn uitgevoerd met water uit het desbetreffende kanaal.

2.3 Coatingsysteem

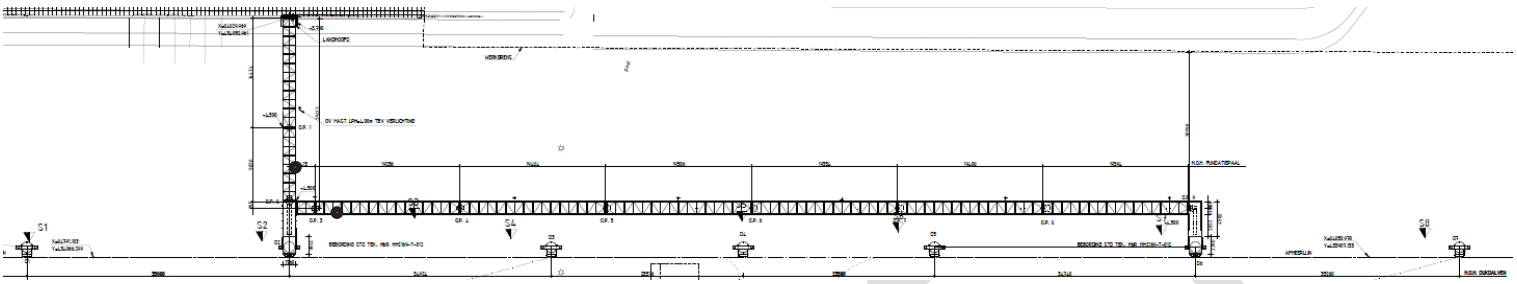
De impedantiemetingen zijn uitgevoerd aan twee afmeerpalen, twee ondersteuningspalen en aan de loopbrug. Het object bevond zich in de haven. De metingen aan deze palen zijn uitgevoerd op vier verschillende niveaus / posities. Een overzicht van de bemeten palen is weergegeven in Figuur 2. In Figuur 3 is de positie aangegeven van de bemeten posities aan de loopbrug.



Figuur 2: Overzicht van de gemeten palen.

Afmeerpalen D2, D5 en ondersteuningspalen OP4, OP9 zijn bemeten.

DRAFT



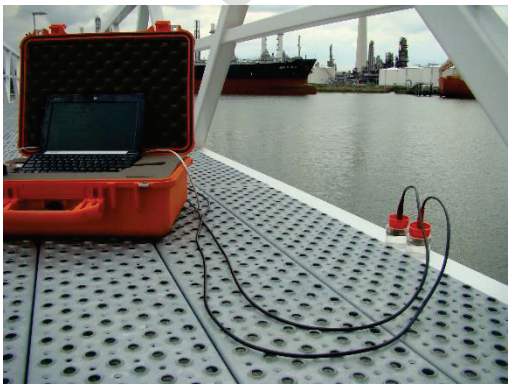
Figuur 3: Overzicht van de gemeten posities op de loopbrug.

2.4 Meetposities

Palen en Loopbrug

Een overzicht van de meetposities aan de palen is gegeven in Figuur 4. De EIS metingen hebben plaatsgevonden in de atmosferische zone en in de getijdezone aan zowel de zonzijde (zuidkant) als aan de niet door de zon beschenen zijde (noordkant). In Figuur 5 is een meetpositie weergeven van de loopbrug. De bijbehorende gemeten laagdiktes van het coatingsysteem zijn gegeven in Tabel 1.

Figuur 4: Overzicht meetposities palen (links: atmosferische zone, rechts: getijdezone).



Figuur 5: Een meetpositie op de loopbrug.

Tabel 1: Droge laagdiktes (µm) van het coatingsysteem aan de palen en loopbrug.

Lokatie 2de petroleumhaven		n	Xgem	STDEV	<	>
Afmeerpaal D2	**Atmosferisch zonbeschenen**	10	1433	73,5	1307	1532
Afmeerpaal D2	**Atmosferisch onbeschenen**	10	978	178,7	750	1307
Afmeerpaal D2	**Eb/vloed zonbeschenen**	10	1004	61,9	860	1066
Afmeerpaal D2	**Eb/vloed onbeschenen**	10	1219	130,5	1004	1373
Afmeerpaal D5	**Atmosferisch zonbeschenen**	10	1107	80,5	952	1203
Afmeerpaal D5	**Atmosferisch onbeschenen**	10	945	54,4	854	1027
Afmeerpaal D5	**Eb/vloed zonbeschenen**	10	790	69,4	707	881
Afmeerpaal D5	**Eb/vloed onbeschenen**	10	886	84,1	730	982
Ondersteuningspaal OP4	**Atmosferisch zonbeschenen**	10	701	147,1	490	880
Ondersteuningspaal OP4	**Atmosferisch onbeschenen**	10	1050	184,1	826	1318
Ondersteuningspaal OP4	**Eb/vloed zonbeschenen**	10	872	47	786	938
Ondersteuningspaal OP4	**Eb/vloed onbeschenen**	10	1328	133,9	1080	1505
Ondersteuningspaal OP9	**Atmosferisch zonbeschenen**	10	1097	144,9	896	1278
Ondersteuningspaal OP9	**Atmosferisch onbeschenen**	10	1260	70,7	1142	1370
Ondersteuningspaal OP9	**Eb/vloed zonbeschenen**	10	714	135,4	477	918
Ondersteuningspaal OP9	**Eb/vloed onbeschenen**	10	1259	89,9	1121	1376
Loopbrug	**Positie 1**	10	768	46,8	720	869
Loopbrug	**Positie 2**	10	518	22,9	478	560

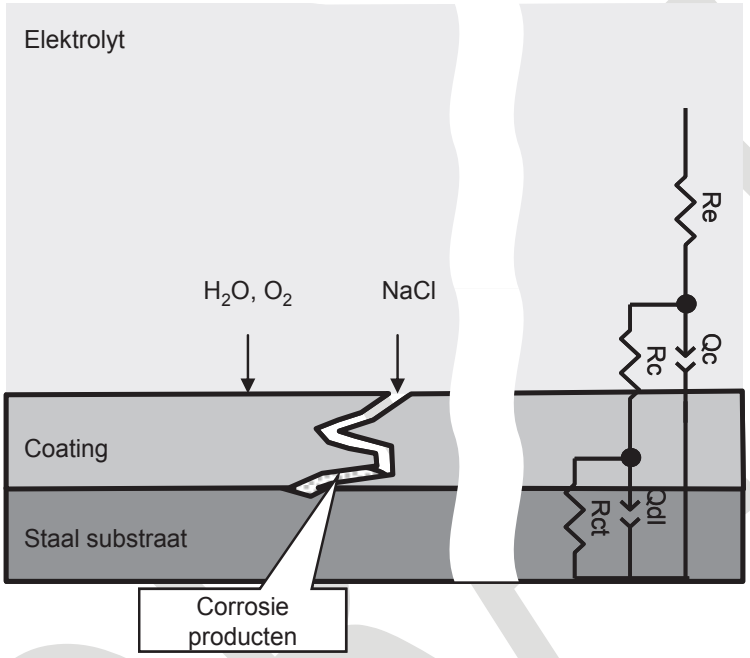
DRAFT

3 Resultaten

3.1 De buispalen

De eerste meetserie werd op 25 juli 2014 uitgevoerd aan de palen en loopbrug. De tweede meetserie, na 2 jaar blootstelling aan de omgevingscondites, heeft plaatsgevonden op 19 julie 2016.

De respons van het systeem is gefit naar een equivalentcircuit. De elementen van dit circuit beschrijven fysische processen die binnen het gemeten systeem plaatsvinden. Voor alle meetposities konden de data worden gefit naar het circuit van Figuur 6.



Figuur 6: Schematische weegave van het gemeten coating systeem en het bijbehorende equivalentcircuit.

De omschrijving van de symbolen is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Omschrijving van de symbolen uit het equivalentcircuit.

Symbool	Omschrijving	Impedantie
R_{el}	de weerstand van de elektrolyt (ASTM-zeewater)	$Z = R$
Q_c	het constante fase-element van de coating	$Z = \frac{1}{Y_0(j\omega)^n}$
R_c	de weerstand van de coating	$Z = R$
Q_{dl}	het constant fase element van de dubbellaag	$Z = \frac{1}{Y_0(j\omega)^n}$
R_{ct}	de weerstand van de ladingsoverdracht	$Z = R$

Het circuit van Figuur 6 is één van de meest gebruikte en meest algemene equivalentcircuit voor het karakteriseren van de beschermende eigenschappen van coatings.
Het diëlektrische gedrag van de coating wordt weergegeven door het element Q_c. Dit constante fase-element wordt gekarakteriseerd door twee parameters Y_0 en n. Y_0 kan worden gerelateerd aan de capaciteit (polariseerbaarheid) van de coating als n ≈ 1. De n-waarde zelf geeft de afwijking van ideaal (capacitief) gedrag aan.

De Y_0-waarde van de coating (bij verzadiging met water) neemt toe met de levensduur van de coating, terwijl de n-waarde afneemt.
R_c wordt gerelateerd aan de weerstand die ladingsdragers (ionen) in de coating ondervinden. Een goede barrièrecoating heeft een hoge R_c-waarde. De R_c neemt doorgaans af met de levensduur van de coating.
Q_{dl} is de impedantie van de elektrochemische dubbellaag.
R_{ct} is gerelateerd aan de snelheid van de anodische en kathodische reacties die aan het oppervlak plaats vinden.

De meetresultaten van de palen en loopbrug zijn gegeven in Tabel 3 en Tabel 4. Om de resultaten in een tabel weer te geven is bij loopbrug ook atmosferisch zon beschenen en onbeschenen vermeld. Dit is echter niet juist, want de bemeten lokaties op de loopbrug zijn zonbeschenen.

DRAFT

Tabel 3: Meetresultaten impedantiemetingen palen en loopbrug 25 juli 2014.

Meetpositie	n [-] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	0,98	0,98	0,85	0,99
Afmeerpaal D5	0,96	0,98	0,88	0,94
Ondersteuningspaal OP4	0,98	0,97	0,84	0,95
Ondersteuningspaal OP9	0,97	0,98	0,91	0,92
Loopbrug	0,98	0,97		

Meetpositie	Y_0 [$S^n/(\Omega^* cm^2)$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	2,50E-11	2,55E-11	2,10E-10	2,83E-11
Afmeerpaal D5	3,14E-11	2,33E-11	1,13E-10	5,45E-11
Ondersteuningspaal OP4	2,75E-11	2,83E-11	2,33E-10	4,36E-11
Ondersteuningspaal OP9	2,83E-11	2,15E-11	8,49E-11	5,74E-11
Loopbrug	1,21E-11	1,80E-11		

Meetpositie	R_c [$\Omega^* cm^2$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	8,97E+08	1,16E+07	9,21E+05	3,40E+05
Afmeerpaal D5	1,91E+09	8,42E+07	1,77E+06	9,93E+05
Ondersteuningspaal OP4	1,96E+09	7,48E+07	1,59E+06	4,63E+05
Ondersteuningspaal OP9	1,68E+07	1,24E+08	1,16E+06	5,24E+06
Loopbrug	1,69E+08	1,99E+08		

Meetpositie	n_{dl} [-] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	0,55	0,51	0,39	0,57
Afmeerpaal D5	0,65	0,53	0,46	0,52
Ondersteuningspaal OP4	0,55	0,48	0,45	0,45
Ondersteuningspaal OP9	0,72	0,48	0,47	0,42
Loopbrug	0,59	0,75		

Meetpositie	Y_{0dl} [$S^n/(\Omega^* cm^2)$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	3,65E-11	2,24E-10	4,42E-09	1,75E-09
Afmeerpaal D5	2,97E-11	8,16E-11	4,24E-09	1,68E-09
Ondersteuningspaal OP4	3,74E-09	3,44E-11	2,47E-08	2,56E-09
Ondersteuningspaal OP9	5,94E-11	3,04E-11	2,52E-09	2,96E-09
Loopbrug	1,26E-11	7,13E-12		

Meetpositie	R_{ct} [$\Omega^* cm^2$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	1,29E+17	5,60E+08	2,08E+09	6,80E+06
Afmeerpaal D5	4,25E+10	3,75E+10	1,79E+07	7,80E+07
Ondersteuningspaal OP4	4,90E+15	1,38E+10	2,32E+06	3,22E+07
Ondersteuningspaal OP9	1,83E+09	2,62E+11	2,75E+07	1,03E+08
Loopbrug	4,43E+11	7,05E+11		

Tabel 4: Meetresultaten impedantiemetingen palen en loopbrug 19 juli 2016.

Meetpositie	n [-] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	1,04	1,04	0,98	1,10
Afmeerpaal D5	1,06	1,05	0,97	0,95
Ondersteuningspaal OP4	1,07	1,09	0,96	0,93
Ondersteuningspaal OP9	1,05	1,10	0,95	0,99
Loopbrug	1,15	1,14		

Meetpositie	Y_0 [$S^n/(\Omega^* cm^2)$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	1,46E-11	1,42E-11	3,17E-11	1,04E-11
Afmeerpaal D5	1,07E-11	1,34E-11	4,48E-11	5,53E-11
Ondersteuningspaal OP4	1,07E-11	7,93E-12	4,64E-11	6,74E-11
Ondersteuningspaal OP9	1,37E-11	6,30E-12	5,41E-11	3,05E-11
Loopbrug	2,34E-12	2,23E-12		

Meetpositie	R_c [$\Omega^* cm^2$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	1,31E+07	7,93E+06	2,94E+06	2,12E+05
Afmeerpaal D5	5,46E+06	3,32E+06	3,15E+06	1,50E+06
Ondersteuningspaal OP4	4,93E+06	3,43E+06	3,34E+06	1,34E+06
Ondersteuningspaal OP9	6,01E+06	3,79E+06	4,76E+06	4,06E+06
Loopbrug	3,00E+06	6,38E+06		

Meetpositie	n_{dl} [-] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	0,70	0,70	0,52	0,61
Afmeerpaal D5	0,76	0,66	0,54	0,55
Ondersteuningspaal OP4	0,77	0,79	0,52	0,44
Ondersteuningspaal OP9	0,74	0,84	0,57	0,54
Loopbrug	0,80	0,85		

Meetpositie	Y_{0dl} [$S^n/(\Omega^* cm^2)$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	5,06E-11	6,81E-11	5,02E-10	1,49E-09
Afmeerpaal D5	4,16E-11	1,37E-10	4,85E-10	8,45E-10
Ondersteuningspaal OP4	4,41E-11	4,43E-11	6,04E-10	1,70E-09
Ondersteuningspaal OP9	5,62E-11	3,06E-11	3,33E-10	3,89E-10
Loopbrug	4,97E-11	2,31E-11		

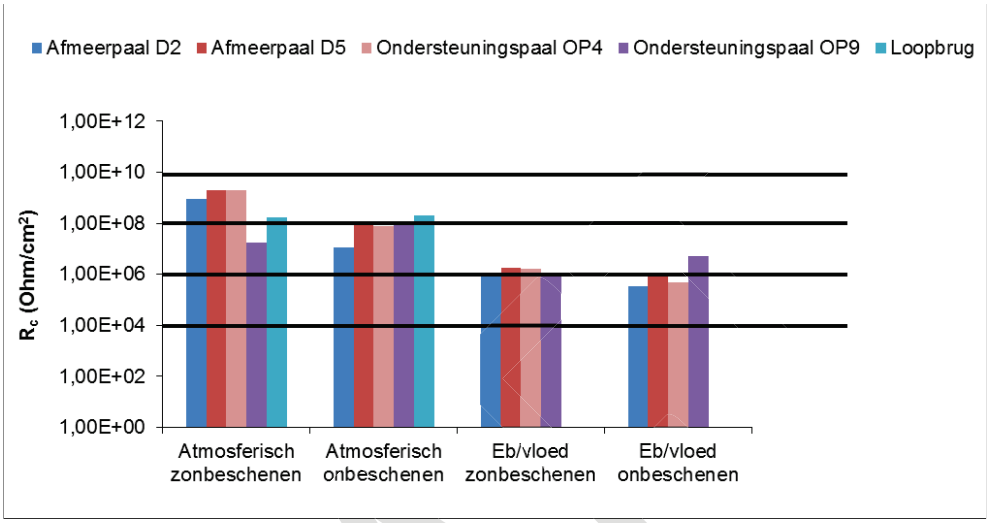
Meetpositie	R_{ct} [$\Omega^* cm^2$] Atmosferisch zonbeschenen	Atmosferisch onbeschenen	Eb/vloed zonbeschenen	Eb/vloed onbeschenen
Afmeerpaal D2	3,50E+10	1,58E+10	5,67E+08	1,15E+08
Afmeerpaal D5	3,93E+10	5,42E+08	3,35E+08	2,12E+08
Ondersteuningspaal OP4	3,72E+10	3,47E+10	1,98E+09	4,41E+08
Ondersteuningspaal OP9	1,15E+10	3,64E+10	1,08E+09	1,09E+09
Loopbrug	8,51E+10	1,59E+11		

De meetposities atmosferisch en eb/vloed laten een verwachte afname van de n, Y_0 en R_c-waarden zien als functie van de blootstellingsduur van de omgevingcondities. Het coatingssysteem dat zich in de eb/vloed zone bevindt laat

nauwelijks degradatie van het coatingsysteem zien na 2 jaar blootstelling. Op de atmosferische hoogte is een duidelijk verschil waarneembaar na 2 jaar blootstelling. Degradatie dmv UV belasting speelt een belangerijke rol van de degradatie van het coatingsysteem.

3.2 Kwalificatie 25 juli 2014

Figuur 7 laat de coatingkwalificatie volgens Gray *et al.* zien. In dit figuur zijn de R_c-waarden van de gemeten posities van de palen en loopbrug weergegeven.



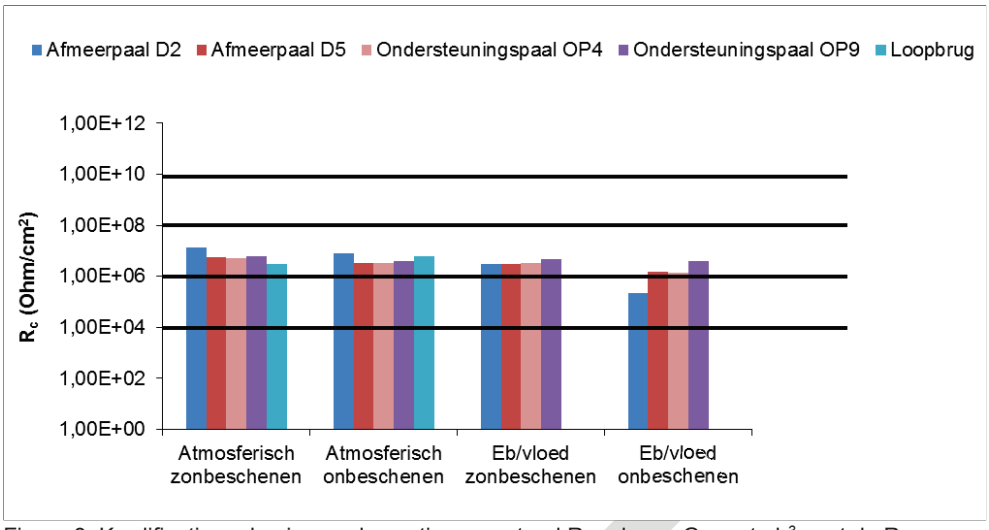
Figuur 7: Kwalificatie op basis van de coatingweerstand R_c volgens Gray et al.[2], met de R_c-waarden voor de palen en loopbrug.

Uit Figuur 7 en Tabel 3 kan worden geconcludeerd dat de beschermende werking van de coating op de palen in de atmosferische zone varieert tussen goed en uitstekend. De beschermende werking van het coatingsysteem in de eb/vloed zone kan worden gekwalificeerd als matig. De beschermende werking van de loopbrug kan als goed worden gekwalificeerd.

3.3 Kwalificatie 19 juli 2016

Figuur 8 en Tabel 4 geven de coatingkwalificatie / weerstand weer na 2 jaar blootstelling aan de omgevingscondities. Wordt dit vergeleken met de eerdere uitgevoerde metingen dan is een duidelijke afname van de weerstand bij de atmosferische blootgestelde coatings. De coatings blootgesteld aan wisselende condities eb/vloed vertonen geen afname van hun coatingperformance.

[2] Hoewel de kwalificatie volgens Gray *et al.* is gebaseerd op een grote hoeveelheid lab- en velddata, mag nooit zondermeer alleen naar R_c-waarden worden gekeken. Coatingkwalificatie vereist kennis van het gemeten systeem en van de daaraan gerelateerde interpretatie.



Figuur 8: Kwalificatie op basis van de coatingweerstand R_c volgens Gray et al.[3], met de R_c-waarden voor de palen en loopbrug.

Het is verstandig om beide systemen, Jotun Baltoflake Ecolife en de Hardtop XP om de 2 jaar te monitoren en de performance te bepalen.

DRAFT

[3] Hoewel de kwalificatie volgens Gray *et al.* is gebaseerd op een grote hoeveelheid lab- en velddata, mag nooit zondermeer alleen naar R_c-waarden worden gekeken. Coatingkwalificatie vereist kennis van het gemeten systeem en van de daaraan gerelateerde interpretatie.

4 Conclusie & Aanbeveling

Op basis van de elektrochemische impedantiemetingen verricht aan vier buispalen en de loopbrug is de volgende conclusie getrokken:

1. De beschermende werking van de coating op de palen in de atmosferische zone is duidelijk afgenomen na 2 jaar blootstelling.
2. De beschermende werking van het coatingsysteem in de eb/vloed zone is gelijk gebleven.
3. De beschermende werking van de loopbrug is afgenomen.

Het is verstandig om beide systemen, Jotun Baltoflake Ecolife en de Hardtop XP om de 2 jaar te monitoren en de performance te bepalen.

DRAFT

5 Ondertekening

Den Helder, 3 oktober 2016

Dhr. S.J. Buter
Directeur ENDURES B.V

ENDURES B.V.

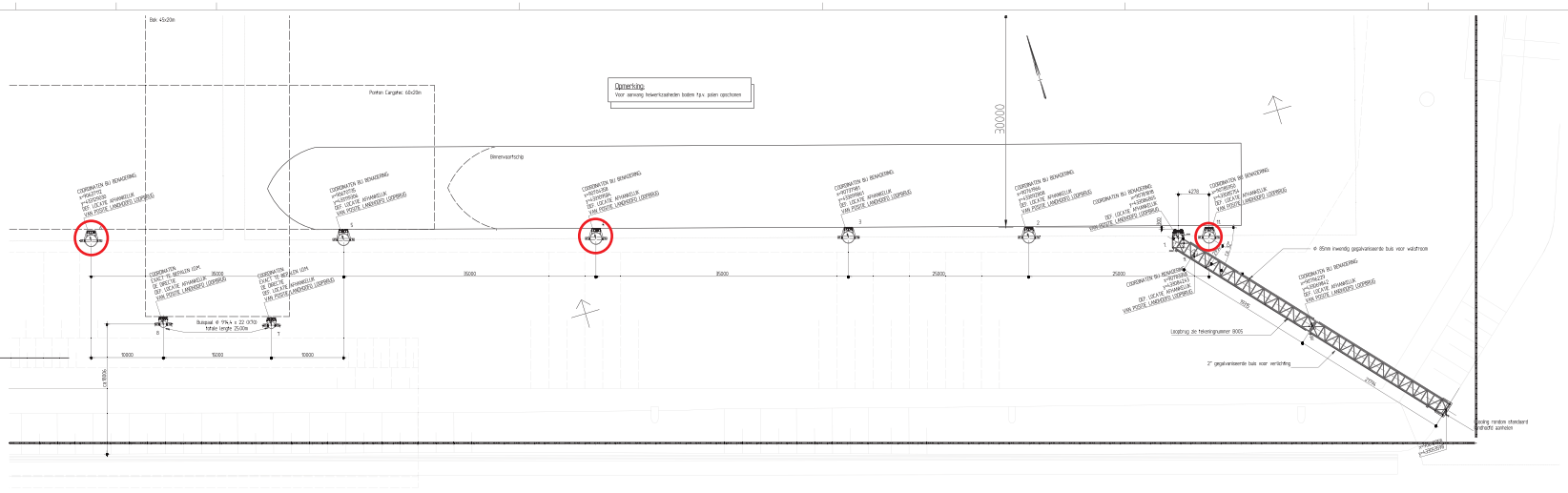
S.J. Buter
Auteur

DRAFT

Bouwtekening met de aangegeven bemeten lokaties

Opmerking:
Nieuwe palen 1 m ß fusten schroefsleutelgoeken aanbrengen.
Betonpoeten fussen de bakken verwijderen indien aanwezig voor nieuwerk.

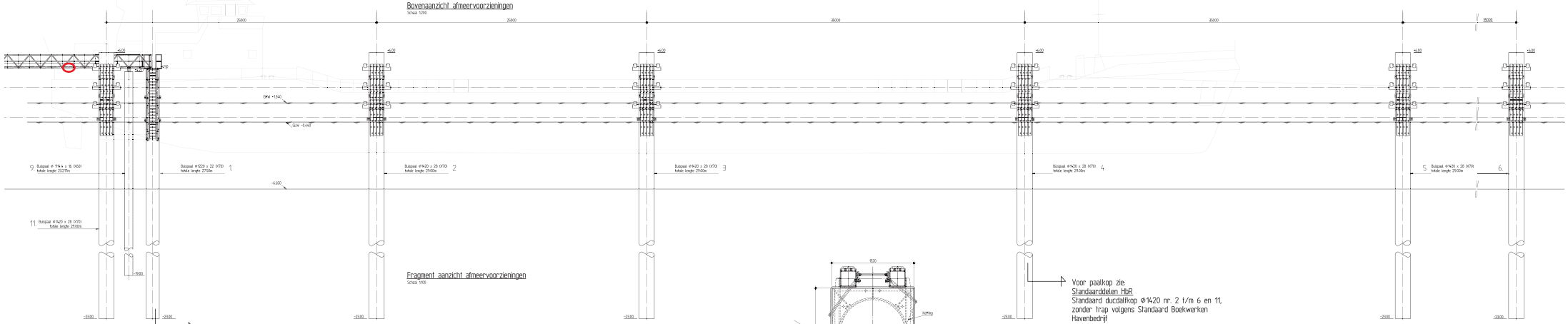
Voor paalkop zie:
Standaarddelen HbR
Standaard ducdalfkop Φ914.4 nr. 7 en 8 zonder trap volgens Standaard Boekwerken Havenbedrijf
teknr. - HH 2169-D-110a
- HH 2169-D-111a
- HH 2169-D-112a
- HH 2169-D-113a
- HH 2169-D-114a
- HH 2169-D-115a
- HH 2169-D-116a
- HH 2169-D-117a



Situatie Pier 4 Waalhaven

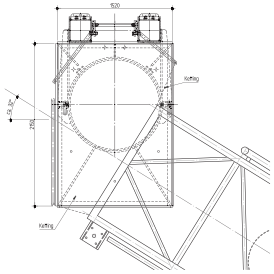
Bovenaanzicht afmeervoorzieningen
Schaal 1:200

Voor Loopbrug zie tekeningnummer B005



Fragment aanzicht afmeervoorzieningen
Schaal 1:100

Voor paalkop zie:
Standaarddelen HbR
Standaard frontpaal Φ1220 nr. 1 met trap zonder bolderarmen, volgens Standaard Boekwerken Havenbedrijf
teknr. - HH 2169-D-420a
- HH 2169-D-421a
- HH 2169-D-422a
- HH 2169-D-423a
- HH 2169-D-424a
- HH 2169-D-425a
- HH 2169-D-426a
- HH 2169-D-427a
- HH 2169-D-428a
- HH 2169-D-440a
- HH 2169-D-445a
- HH 2169-D-447a
- HH 2169-D-618a
- Standaard ladder 25 treden



Detail afmeerpaal met bordes t.b.v. loopbrug
Schaal 1:20

Overige gegevens volgens Standaard Boekwerken Havenbedrijf
teknr. - ~~HH~~ 2169-D-423a
- ~~HH~~ 2169-D-428a

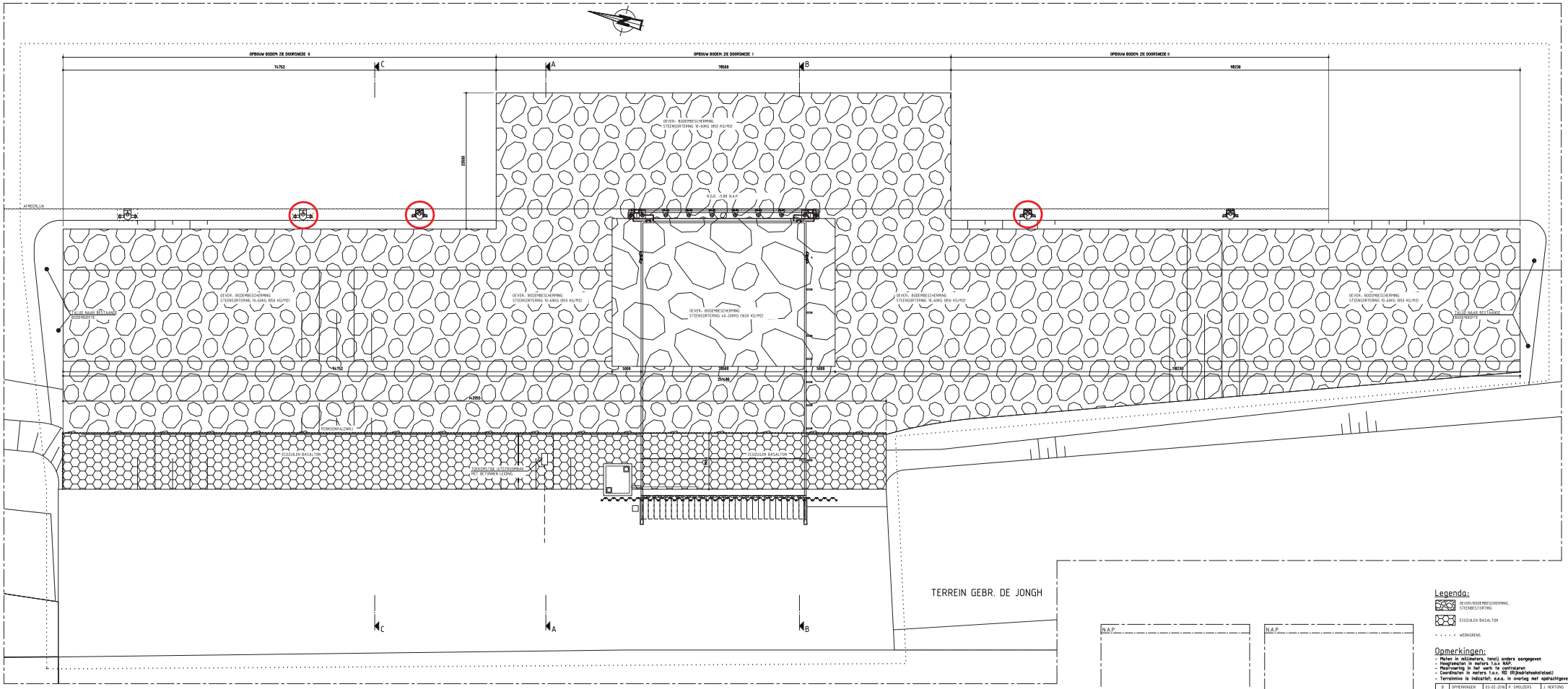
Voor paalkop zie:
Standaarddelen HbR
Standaard ducdalfkop Φ1420 nr. 2 t/m 6 en 11, zonder trap volgens Standaard Boekwerken Havenbedrijf
teknr. - HH 2169-D-310a
- HH 2169-D-311a
- HH 2169-D-312a
- HH 2169-D-313a
- HH 2169-D-314a
- HH 2169-D-315a
- HH 2169-D-316a
- HH 2169-D-317a

Opmerkingen:
- Maten in millimeters.
- Coordinaten in m (zoo RD Rijksdriehoeksstelsel)
- Hoogte waarden in meters t.o.v NAP
- Coordinaten en maatvoering in het werk te controleren

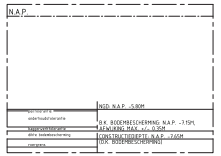
Versie : G	Datum : 22-04-2013	Gefaseerd	: Gefaseerd
Ontwerpcoördinator	: Gefaseerd		
Versie : F	Datum : 05-04-2013	Gefaseerd	: V. de Vries
Ontwerpcoördinator	: Gefaseerd		
Gecontroleerd	: T. Loefkens	Tekengenoot	: T. Loefkens

ARCADIS
Architecture · Design · Engineering · Consultancy
Lichtenauerplein 100
Postbus 4205
3006 AE Rotterdam
Tel: 010 283 22 22
Fax: 010 436 13 98
info@arcadis.nl
www.arcadis.nl

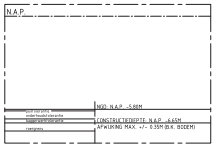
Opdrachtgever	: Havenbedrijf Rotterdam
Uitvoerder	: Arcadis
Project	: Herontwikkeling pier 4 Waalhaven, Rotterdam Afmeervoorziening
Onderwerp	: Afmeervoorzieningen met aanzicht
Fase	: Bestekfase
Schaal	: 1:200, 1:100, 1:20
Discipline	: Werktuigbouwkunde
Status	: Gefaseerd
Bestek nr	: 1000000
Projectleider	: T. Loefkens
Projectnummer	: C02011.000238
Tekeningnummer	: B004
Versie	: G



OVERZICHT NIEUWE SITUATIE
SCHAAL 1:200



DOORSNEDE 1 :
OPBOUW BODEM MET BODEMBESCHERMING



DOORSNEDE 2:
OPBOUW BODEM ZONDER BODEMBESCHERMING

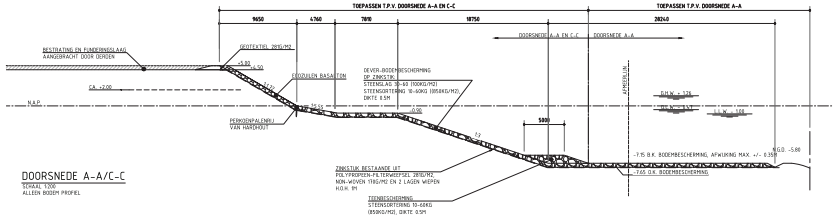
Legenda:

- OEVER/BODEMBESCHERMING, STEENBESTORTING
- EIZOZULEN BASALTON
- MERKGRENS

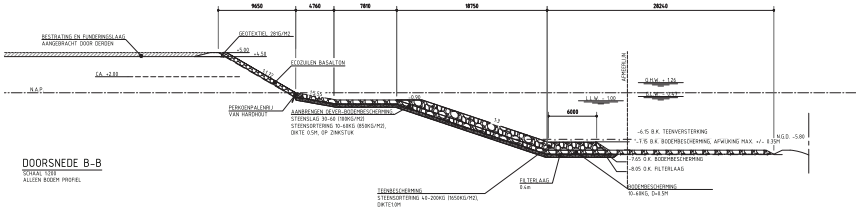
Opmerkingen:

- Maten in millimeters, tenzij anders aangegeven
- Hoogtematen in meters t.o.v NAP.
- Maatvoering in het werk te controleren
- Coordinaten in meters t.o.v. RD (Rijksdriehoeksstelsel)
- Terreinniveu is indicatief; e.e.a. in overleg met opdrachtgever

D	OPMERKINGEN	23-02-2015	F. SMULDERS	J. HEFTING
A	AS BUILT	08-12-2015	F. SMULDERS	R. DELE
Rev.	Omschrijving	Datum	Gekeurd	Gecontroleerd



DOORSNEDE A-A/C-C
SCHAAL 1:200
ALLEEN BODEM PROFIEL



DOORSNEDE B-B
SCHAAL 1:200
ALLEEN BODEM PROFIEL

Havenbedrijf Rotterdam NV

Gecontroleerd : F. van Wielink
Vrijgegeven : V. Roebergen

ARCADIS
Infrastructuur - Water - Milieu - Gebouwen
Lichtenauerlaan 100
Postbus 4200
3006 AE Rotterdam
Tel 010 253 22 22
Fax 010 434 13 98
info@arcadis.nl
www.arcadis.nl

Opdrachtgever : Havenbedrijf Rotterdam
Ontwerp : ARCADIS
Project : RBC CETEM Steiger en afmeervoorziening
Onderwerp : Oever- en bodembescherming

AS BUILT

Fase	: Uitvoering		
Schaal	: 1:200	Divisie	: Water
Bladformaat	: A0-	Status	: definitief
Basisk.nr.	: L1000a3-2	Projectleider	: V. Roebergen
Projectnummer	: C02011.000294	Tekeningnummer	: A207
		Versie	: B

C-Cube international bv
Coating *and* Corrosion under Control

Office: Molengraaffsingel 12
2629 JD Delft (NL)
Tel. +31 (0)15 744 01 38
Fax +31 (0)15 744 01 02
Internet www.ccube.nl

De Klerk

EIS metingen
LBC Haven

Klant: **De Klerk**
Contactpersoon: **Dhr. K. Timmers**
Order nr: **15A07**

Project: **16026-01**
Rapport: **R16-04141**
Datum: **14 april, 2016**

Auteur: **Dhr. G. Harteveld, B.Sc.** **Akkoord: Mr. G. Coolegem, M.Sc.**

Copyright© 2016

Inhoudsopgave

1 Inleiding 2
2 Opzet 3
2.1 Testopzet 3
2.2 Object 3
3 Achtergrond 8
3.1 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) 8
3.2 Criteria 8
4 Resultaten 9
4.1 EIS metingen 9
4.2 Laagdikten 12
5 Interpretatie /Conclusie 15

1 Inleiding

De Klerk levert het project LBC Haven af met in de coatingspecificaties: Elektrochemische Impedantie Spectroscopie (EIS) metingen. Het project valt onder De Klerk nummer 15A07.

C-Cube is specialist op het gebied van corrosie en coatings en heeft de EIS methode doorontwikkeld naar een handzame snel uitvoerbare meetmethode voor het kwalificeren van coatings.

2 Opzet

2.1 Testopzet

De posities zijn voor aanvang van de metingen geconditioneerd. Tijdens de metingen wordt door middel van elektrochemische impedantie spectroscopie (EIS) het systeem doorgemeten. Hierbij wordt met de daarvoor ontwikkelde sensor contact gemaakt met de conservering. De waarden voor Rc en Yo worden gerapporteerd.

2.2 Object

Op verschillende meetpunten zijn conditionering en metingen uitgevoerd.

- Trospalen (5 en 6);
- Aanvaarbeveiliging;
- Ligplaats 1 ter hoogte van de ladders;
- Ligplaats 3 ter hoogte van de ladders;
- Buispalen.

Figuur 1: *Overzicht van de meetposities, op: Trospalen; b) Aanvaarbeveiliging; c) Steiger ter hoogte van de ladders; d) Palen; e) Buispalen.*

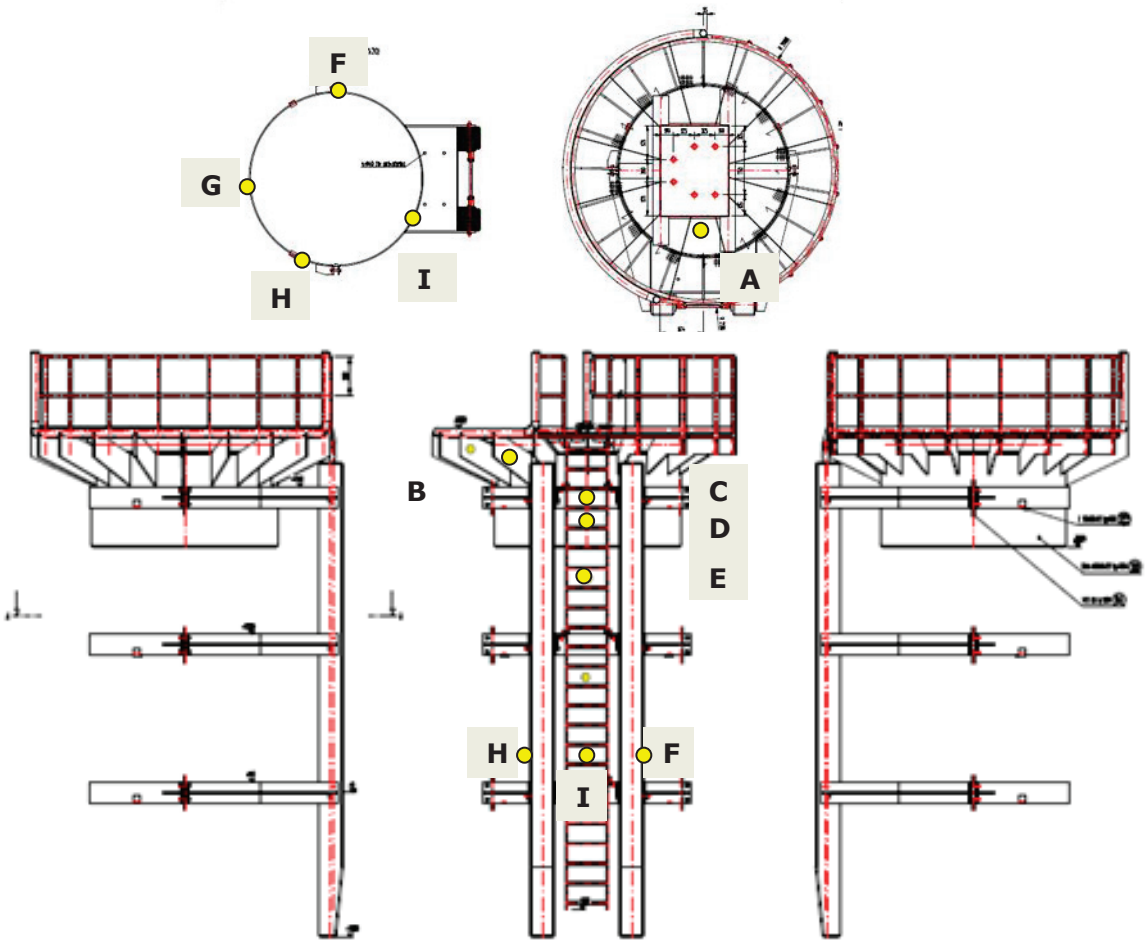
De trospalen 5 en 6 zijn beide op dezelfde posities gemeten. Zie Figuur 2 voor de posities. De posities op de aanvaarbeveiliging zijn in Figuur 3 weergegeven. De ligplaatsen 1 en 3 zijn volgens Figuur 4 gemeten. Figuur 5 geeft de posities op de buispalen onder de steiger weer.

In de resultaten worden de posities aangeduid door de codering op de bouwtekening met een letter. Deze letters corresponderen met de hoogte/positie van de meting. De letters in grijs zijn aan de achterzijde gemeten.

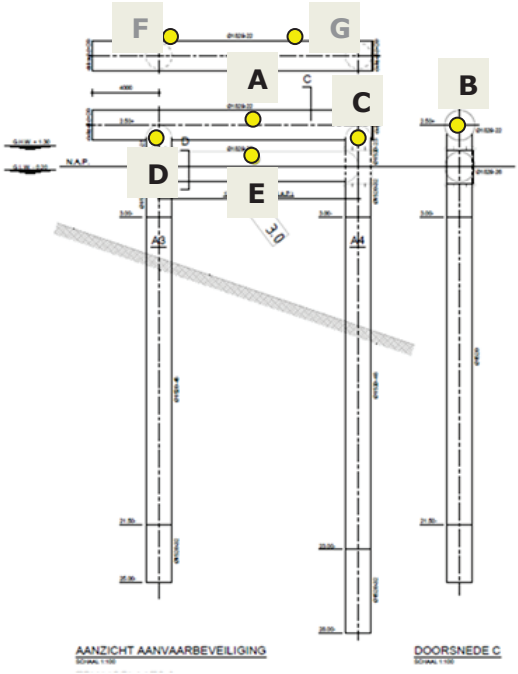
Het verfsysteem met betreffende laagdikten volgens specificatie is aangegeven in tabel 1.

Tabel 1: *met de parameters van het verfsysteem.*

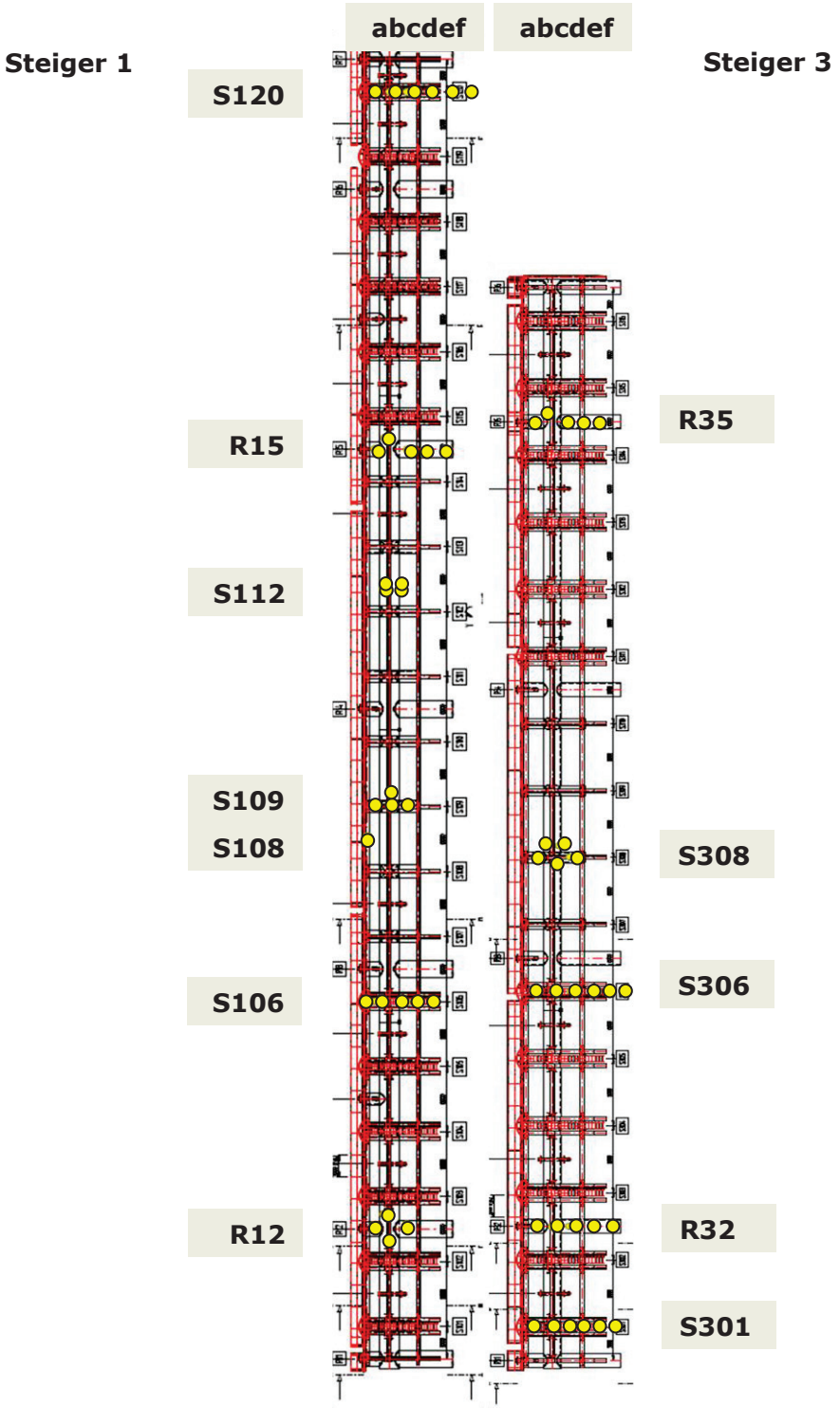
Opbouw	Coating type	Kleur	Droge laagdikte [µm]
1e laag	Sigmashield 880	RAL9017	500
2e laag	Sigmashield 880	RAL9017	500



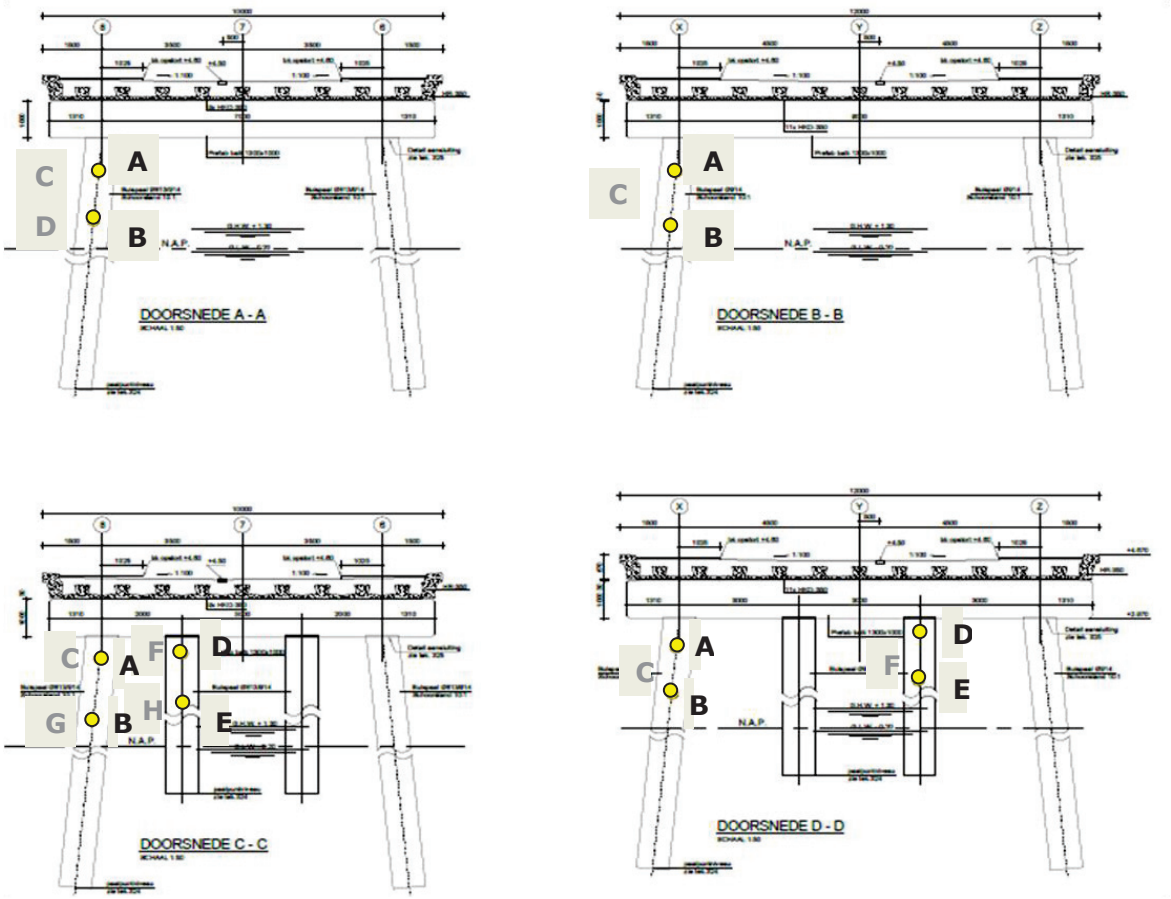
Figuur 2: *Meetlocaties op de meerpalen 5 en 6.*



Figuur 3*: Meetlocaties op de aanvaarbeveiliging.*



***Figuur 4**: Meetlocaties op steiger 1 en 3.*



Figuur 5: *Meetlocaties op de buispalen.*

3 Achtergrond

3.1 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Elektrochemische impedantie spectroscopy (EIS) metingen zijn uitgevoerd volgens de ISO 16773-2 norm. De meetposities zijn geconditioneerd voor minimaal 1 week. Hierna is de elektrochemische impedantie gemeten.

De coatingweerstand Rc dient na het fitten volgens Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) overeenkomstig ISO 16773 minimaal $1x10^7$ Ohm.cm² te bedragen. Het capacitieve gedrag van de coating dient een Y0 te hebben kleiner dan $5*10^{-10}$ s^n Ohm en een n-waarde groter dan 0.90.

3.2 Criteria

De criteria van de EIS metingen zoals opgenomen in het bestek en de CQM methode zijn in Tabel 2 weergegeven.

Tabel 2: *Criteria volgens de methode van EIS en CQM.*

Parameter	EIS methode
Coatingweerstand [Rc]	> $1x10^7$ ohm.cm²
Capacitatief gedrag [Y0]	< $5*10^{-10}$ s^n Ohm n-waarde >0.90

4 Resultaten

4.1 EIS metingen

De resultaten van de EIS metingen in Rc en Y0 zijn weergegeven in Tabel 3 t/m 7.

Tabel 3: *Resultaten van de EIS metingen aan de meerpalen 5 en 6.*

Object	Positie	Rc	Y0
Trospaal 5	a	1.3E+08	7.8E-11
	b	6.2E+10	1.6E-13
	c	4.2E+10	2.4E-13
	d	1.5E+08	6.9E-11
	e	2.3E+10	4.4E-13
	f	1.6E+10	6.3E-13
	g	3.7E+09	2.7E-12
	h	1.5E+08	6.8E-11
	i	6.7E+08	1.5E-11
Trospaal 6	a	4.0E+09	2.5E-12
	b	5.1E+10	2.0E-13
	c	2.9E+07	3.4E-10
	d	6.0E+10	1.7E-13
	e	4.6E+10	2.2E-13
	f	2.2E+10	4.5E-13
	g	1.5E+10	6.5E-13
	h	1.8E+10	5.5E-13
	i	4.0E+09	2.5E-12

Tabel 4: *Resultaten van de EIS metingen van de aanvaarbeveiliging.*

Object	Positie	Rc	Y0
Aanvaarbeveiliging	a	1.5E+09	6.7E-12
	b	7.1E+10	1.4E-13
	c	2.1E+11	4.7E-14
	d	3.4E+11	3.0E-14
	e	8.2E+10	1.2E-13
	f	6.0E+08	1.7E-11
	g	7.4E+10	1.3E-13

Tabel 5: *Resultaten van de EIS metingen van steiger 1 en 3.*

Object	Positie		Rc	Y0
Ligplaats 1	**S106**	a	4.1E+08	2.5E-11
		b	7.5E+09	1.3E-12
		c	2.4E+09	4.2E-12
		d	1.8E+09	5.7E-12
		e	2.6E+08	3.8E-11
	S108	Hbalk	2.7E+10	3.8E-13
	S109	a	4.8E+09	2.1E-12
		b	3.2E+10	3.1E-13
		c	4.0E+10	2.5E-13
		d	7.5E+08	1.3E-11
	S112	a	1.7E+10	5.8E-13
		b	2.0E+10	5.1E-13
		c	9.9E+08	1.0E-11
		d	2.0E+10	5.1E-13
	S120	a	4.8E+10	2.1E-13
		b	4.1E+10	2.5E-13
		c	8.6E+10	1.2E-13
		d	5.7E+10	1.8E-13
		e	2.2E+10	4.6E-13
		f	2.2E+10	4.6E-13
Ligplaats 3	**S301**	a	2.6E+10	3.8E-13
		b	2.1E+10	4.8E-13
		c	2.6E+10	3.8E-13
		d	1.6E+09	6.2E-12
		e	2.4E+10	4.2E-13
		f	5.3E+08	1.9E-11
	S306	a	2.6E+10	3.8E-13
		b	2.1E+10	4.8E-13
		c	3.0E+10	3.3E-13
		e	9.1E+08	1.1E-11
		f	1.5E+09	6.6E-12
	S308	a	1.8E+10	5.5E-13
		b	1.2E+10	8.6E-13
		c	1.8E+09	5.6E-12
		d	1.0E+09	9.8E-12
		e	6.2E+09	1.6E-12

Tabel 6: *Resultaten van de EIS metingen van Palen van steiger 1 en 3.*

Object	Positie	Rc	Y0
Palen R12	a	3.8E+08	2.6E-11
	b	7.7E+07	1.3E-10
	c	3.5E+09	2.9E-12
	d	1.3E+10	7.9E-13
Palen R15	a	6.2E+10	1.6E-13
	b	3.9E+10	2.6E-13
	c	4.3E+08	2.3E-11
	d	1.9E+08	5.3E-11
	e	1.8E+09	5.7E-12
Palen R32	a	2.7E+10	3.7E-13
	b	3.6E+10	2.8E-13
	c	1.7E+10	5.8E-13
	d	3.3E+10	3.0E-13
	e	1.9E+09	5.2E-12
Palen R35	a	4.0E+10	2.5E-13
	b	1.2E+10	8.5E-13
	c	2.2E+10	4.5E-13
	d	1.1E+10	8.7E-13
	e	3.6E+09	2.7E-12

Tabel 7: *Resultaten van de EIS metingen aan de buispalen.*

Object	Positie	Rc	Y0
Buispaal a	a	2.4E+09	4.1E-12
	b	3.1E+09	3.3E-12
	c	4.4E+10	2.3E-13
	d	5.3E+08	1.9E-11
Buispaal b	a	7.8E+10	1.3E-13
	c	1.1E+09	9.2E-12
Buispaal c	a	2.8E+10	3.6E-13
	b	1.9E+09	5.3E-12
	c	2.1E+09	4.8E-12
	d	8.0E+09	1.3E-12
	e	3.0E+08	3.3E-11
	f	9.8E+07	1.0E-10
	g	7.4E+08	1.4E-11
Buispaal d	a	1.9E+10	5.2E-13
	b	1.6E+09	6.2E-12
	c	1.1E+08	8.8E-11
	d	2.4E+08	4.1E-11
	e	4.9E+08	2.1E-11
	f	1.6E+09	6.5E-12

De resultaten van de Rc voldoen aan de gestelde eisen en liggen boven de grenswaarde van $1x10^8$ ohm.cm². De Y0-waarden liggen onder de grenswaarde van $5*10^{-10}$ s^n Ohm.

4.2 Laagdikten

Op de meetposities zijn de laagdikten van de coating gemeten. Figuur 8 t/m 12 geeft de resultaten van de metingen.

Tabel 8: *Laagdikten op de meerpalen 5 en 6.*

Object	Positie	Gemiddeld	Stdev	Min	Max
Trospaal 5	a	3.46	0.21	3.10	3.68
	b	1.80	0.10	1.70	1.95
	c	1.32	0.12	1.23	1.54
	d	1.65	0.03	1.61	1.69
	e	1.34	0.60	0.88	1.79
	f	1.23	0.08	1.10	1.33
	g	1.33	0.06	1.26	1.43
	h	1.46	0.18	1.22	1.71
	i	1.56	0.09	1.44	1.73
Trospaal 6	a	2.37	0.09	2.25	2.52
	b	1.81	0.10	1.68	1.99
	c	1.56	0.11	1.51	1.68
	d	1.73	0.15	1.58	1.96
	e	1.52	0.23	1.16	1.72
	f	1.35	0.07	1.24	1.44
	g	1.10	0.05	1.03	1.18
	h	0.95	0.05	0.83	1.00
	i	1.67	0.11	1.49	1.83

Tabel 9: *Laagdikten op de aanvaarbeveiliging.*

Object	Positie	Gemiddeld	Stdev	Min	Max
Aanvaarbeveiliging	a	0.94	0.08	0.84	1.19
	b	0.71	0.06	0.63	0.85
	c	0.91	0.07	0.74	1.00
	d	1.42	0.08	1.26	1.53
	e	0.99	0.06	0.83	1.06
	f	1.04	0.02	1.00	1.07
	g	1.57	0.10	1.38	1.76

Tabel 10: *Laagdikten op steiger 1 en 3.*

Object	Positie		Gemiddeld	Stdev	Min	Max
Ligplaats 1	**S106**	a	1.30	0.10	1.20	1.40
		b	1.32	0.14	1.14	1.48
		c	1.59	0.20	1.36	1.91
		d	1.35	0.07	1.24	1.45
		e	2.00	0.22	1.67	2.33
	S108	Hbalk	0.76	0.12	0.68	0.97
	S109	a	1.73	0.24	1.46	2.09
		b	1.27	0.10	1.14	1.51
		c	1.21	0.05	1.19	1.31
		d	1.09	0.08	0.97	1.24
	S112	a	1.10	0.17	0.94	1.26
		b	0.81	0.04	0.73	0.87
		c	0.91	0.06	0.80	1.00
		d	0.98	0.06	0.90	1.11
	S120	a	1.81	0.17	1.68	2.06
		b	1.12	0.05	1.15	1.28
		c	1.23	0.10	1.04	1.40
		d	1.35	0.07	1.24	1.44
		e	1.42	0.20	1.14	1.71
		f	1.33	0.04	1.29	1.38
Ligplaats 3	**S301**	a	1.43	0.11	1.33	1.63
		b	1.24	0.04	1.21	1.32
		c	1.56	0.13	1.33	1.68
		d	1.70	0.12	1.89	1.50
		e	1.40	0.09	1.50	1.35
		f	1.26	0.11	1.03	1.36
	S306	a	1.53	0.06	1.42	1.59
		b	1.53	0.09	1.48	1.59
		c	1.46	0.08	1.39	1.59
		e	1.56	0.14	1.38	1.91
		f	1.18	0.04	1.12	1.30
	S308	a	1.46	0.10	1.21	1.60
		b	1.20	0.08	1.03	1.31
		c	1.27	0.05	1.21	1.38
		d	0.98	0.03	0.94	1.04
		e	1.07	0.13	0.92	1.36

Tabel 11: *Laagdikten op de palen van Steiger 1 en 3.*

Object	Positie	Gemiddeld	Stdev	Min	Max
Palen R12	a	1.21	0.14	1.04	1.49
	b	1.26	0.11	1.13	1.48
	c	1.13	0.23	0.80	1.53
	d	1.81	0.18	1.55	2.10
Palen R15	a	0.91	0.09	0.82	1.12
	b	0.96	0.06	0.89	1.04
	c	1.05	0.05	0.98	1.12
	d	0.99	0.05	0.92	1.09
	e	1.33	0.14	1.13	1.61
Palen R32	a	1.05	0.04	1.14	1.00
	b	0.86	0.05	0.92	0.78
	c	0.93	0.05	0.80	1.04
	d	1.06	0.06	1.14	0.93
	e	0.66	0.06	0.55	0.75
Palen R35	a	1.46	0.29	1.05	1.75
	b	1.22	0.12	1.10	1.47
	c	1.22	0.08	1.11	1.37
	d	1.31	0.08	1.17	1.42
	e	1.36	0.07	1.25	1.48

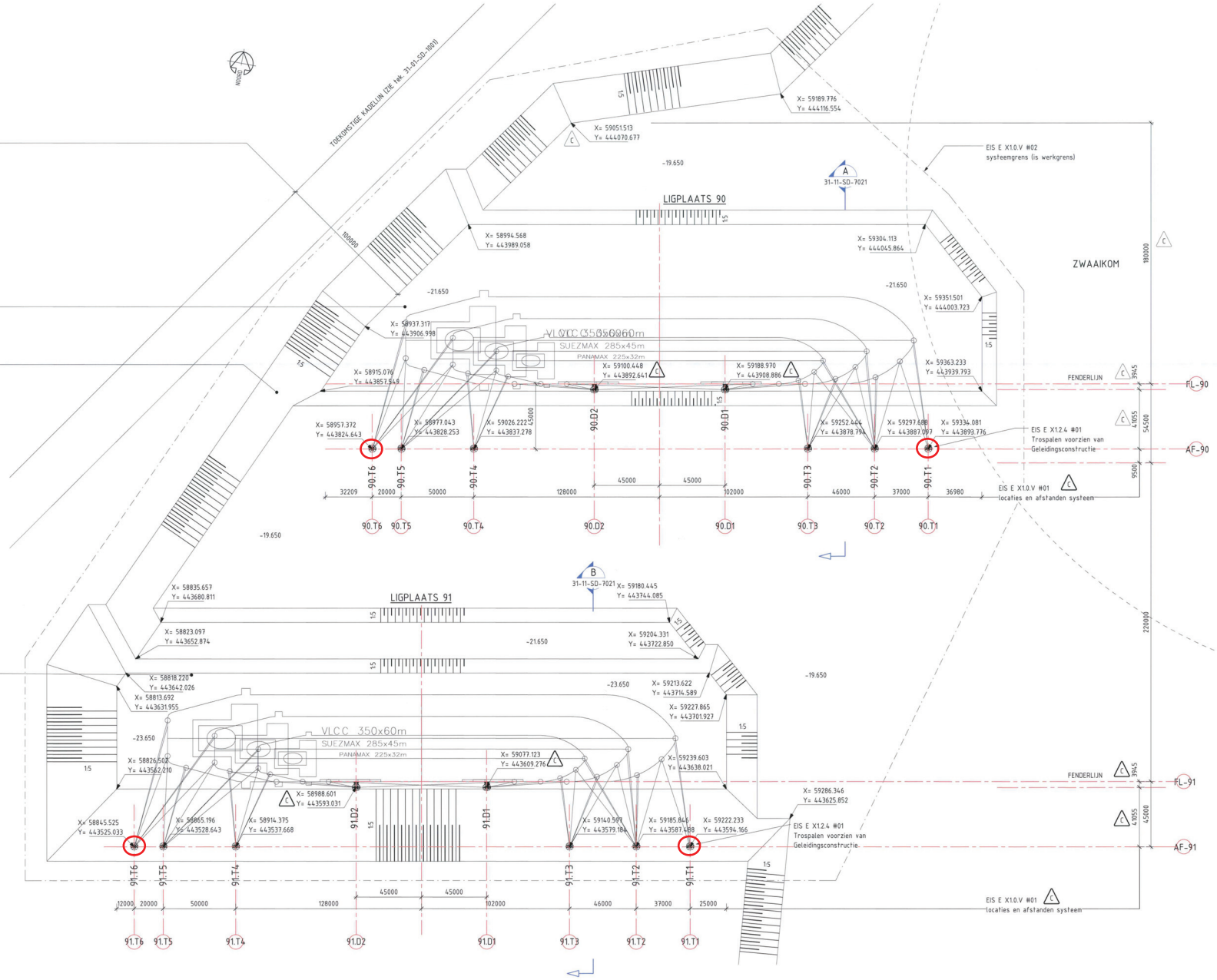
Tabel 12: *Laagdikten op de buispalen.*

Object	Positie	Gemiddeld	Stdev	Min	Max
Buispaal a	a	1.30	0.09	1.11	1.40
	b	0.97	0.10	0.82	1.13
	c	1.29	0.10	1.15	1.41
	d	1.06	0.04	1.01	1.12
Buispaal b	a	1.19	0.09	1.38	1.09
	c	1.42	0.12	1.59	1.22
Buispaal c	a	0.83	0.05	0.77	0.91
	b	0.96	0.10	0.82	1.11
	c	1.25	0.14	1.01	1.46
	d	0.82	0.05	0.74	0.92
	e	1.36	0.10	1.29	1.41
	f	0.90	0.09	0.96	1.02
	g	1.11	0.04	1.03	1.16
Buispaal d	a	1.37	0.03	1.43	1.30
	b	1.31	0.12	1.06	1.41
	c	1.40	0.17	1.65	1.18
	d	1.90	0.12	1.31	0.95
	e	1.30	0.09	1.17	1.52
	f	1.20	0.05	1.33	1.11

5 Interpretatie /Conclusie

De resultaten van de EIS-metingen van de gemeten objecten vallen binnen de eisen zoals gesteld in de norm/bestek.

De gestelde laagdikte van 1000 µm wordt in de meeste gevallen behaald.



OVERZICHT LIGPLAATSEN 90 & 91

SCHAAL 1 : 1000

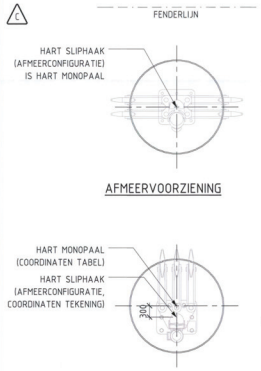
OPMERKINGEN

- MATEN IN MILLIMETERS, TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
- HOOGTEMATEN IN METERS t.o.v. N.A.P.

- LAYOUT BORDESSEN TER INDICATIE

COORDINATEN HART MONOPALEN

NR	X	Y
90.T1	59334.026	443894.071
90.T2	59297.634	443887.392
90.T3	59252.390	443879.089
90.T4	59026.168	443837.573
90.T5	58976.989	443828.548
90.T6	58957.317	443824.938
90.D1	59188.970	443908.886
90.D2	59100.448	443892.641
91.T1	59222.180	443594.461
91.T2	59185.788	443587.782
91.T3	59140.543	443579.479
91.T4	58914.321	443537.963
91.T5	58865.142	443528.938
91.T6	58845.471	443525.328
91.D1	59077.123	443609.276
91.D2	58988.601	443593.031



AANPASSINGEN

- CONTOUR BAGGERGEBIED
- AFMEERCONFIGURATIE CONFORM VTW
- AFSTAND AFMEERLIJN TOT HART SLIPHAAK VAN 5m NAAR 3,945m
- EISSEN TOEGEVOEGD

BIJBEHORENDE TEKENINGEN

31-11-SD-6011 MAASVLAKTE 2, SITUATIE
31-11-SD-7011 MAASVLAKTE 2, LIGPLAATSEN 90 & 91, OVERZICHT
31-11-SD-7021 MAASVLAKTE 2, LIGPLAATSEN 90 & 91, DOORSNEDEN
31-11-SD-8011 MAASVLAKTE 2, WACHTPLAATSEN ABC, OVERZICHT

OVERZICHT VOORZIENINGEN TROSPALEN

LIGPLAATS 90			LIGPLAATS 90		
PAAL:	NAUTISCH LICHT	AANVAAR BESCHERMING	PAAL:	NAUTISCH LICHT	AANVAAR BESCHERMING
90.T1	JA	JA	91.T1	JA	JA
90.T2	JA		91.T2		
90.T3	JA		91.T3	JA	
90.T4			91.T4	JA	

- PAALUITRUSTING BLIJFT BINNEN AANVAARBESCHERMING

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opsteller	Beoordeler	Autorisatie
C	05-03-2014	TER TOETSING		DWE	MVE	VNO

Fase: DEFINITIEF ONTWERP

Ballast Nedam Engineering
Ringwade 51
3439 LM Nieuwegein
Postbus 1055
3430 BN Nieuwegein
Nederland
Tel: +31 30 285 4000
E-mail: info.BNE@Ballast-Nedam.nl
Van Oord Nederland B.V.
Schaardijk 211
3063 NH Rotterdam
Postbus 4337
3006 AC Rotterdam
Nederland
Tel: +31 88 826 5300
E-mail: Nederland@vanoord.com

Opdrachtgever: PORT OF ROTTERDAM

Project: OPENBARE LIGPLAATS
MAASVLAKTE 2 EN PALEN 66 BOTLEK

Onderdeel: MAASVLAKTE 2
LIGPLAATSEN 90 & 91, OVERZICHT
AFMEERCONFIG., NAUTISCH ONTWERP

Schaal: 1:1000
Formaat: A0

Projectnummer: 10130083
Tekeningnummer: 31-11-SD-7011
ext. rev: C
int. rev:

© Ballast Nedam

L:\BAV\Asset\10130083 - Definitiefontwerp\Rev\F1001_OLRV2.rvt