

Inspectieprotocol voor het bepalen van holle ruimten in dijkbekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen met behulp van MIRA



Status: Eindversie 1 juli 2016

Opgesteld door: MIRAMAP, HWBP, KOAC-NPC en HHNK

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Waarom dit inspectieprotocol?	3
1.2	Wanneer dit protocol toepassen?	4
1.3	Definitie holle ruimte	5
1.4	Wanneer is een holle ruimte bezwaarlijk?	5
1.5	Hoe werkt de MIRA techniek?	6
1.6	Opbouw van dit inspectieprotocol.....	8
2	Protocol voor kalibratie en bepalen diktemodel.....	9
2.1	Protocol voor het aanleggen van kalibratievakken.....	9
2.2	Protocol voor MIRA metingen over kalibratievakken.....	10
2.3	Protocol voor het opstellen van het diktemodel	11
3	Protocol voor de gebiedsdekkende MIRA metingen.....	14
3.1	Protocol voor gebiedsdekkende MIRA metingen	14
3.2	Protocol voor het maken van grijswaardekaarten	15
4	Protocol voor controleboringen en analyseren grijswaardekaart.....	19
5	Protocol voor het diagnosticeren van de bekleding	24
6	Resulterende Informatie.....	25
	Bijlage 1 – Protocol voor het controleren zendmast.....	26
	Bijlage 2 – Protocol voor het meten van boorkernen.....	27

1 Inleiding

Dit document beschrijft het inspectieprotocol voor het bepalen van holle ruimten in dijkbekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen door middel van passieve microgolven radiometrie (MIRA). Het inspectieprotocol is gevormd op basis van verschillende onderzoeken die zijn uitgevoerd op de Wieringermeerdijk in de periode van 2013 tot 2016 door een consortium van MIRAMAP, HWBP, KOAC-NPC en HHNK.

1.1 Waarom dit inspectieprotocol?

Het inspectieprotocol is opgesteld ten behoeve van de oplevering van nieuw aangelegde bekledingen. Doel is te voorkomen dat er delen van de bekleding niet aan de ontwerplevensduurverwachting zouden voldoen.

Verschillende dijken in Nederland worden versterkt door over de huidige bekleding een nieuwe laag breuksteen aan te leggen waarvan de holle ruimte wordt opgevuld met gietasfalt. De aanwezigheid van holten waar geen gietasfalt aanwezig is, wordt gezien als het belangrijkste risico bij de aanleg van dit type bekledingen. Deze holten vormen een risico voor de bekleding, doordat, wanneer deze holten met elkaar en met het open water in verbinding staan, golfklappen wateroverdrukken onder deze gesloten dijkbekleding zouden kunnen veroorzaken. Vooral wanneer de watervoerende capaciteit groot is kan dit leiden tot opdrukken en uitbreken van de dijkbekleding en schade aan het onderliggende dijklichaam.

Bij aanleg van de nieuwe dijkbekleding op de Wieringermeerdijk zijn holten en gruisophopingen gecontroleerd door gemiddeld iedere 10 meter een kernboring uit te voeren. De kans dat holten zo werden opgespoord was echter klein (orde 1 %), daarnaast waren de boringen ook kostbaar. Daarom is na onderzoek op de Wieringermeerdijk een nieuw inspectieprotocol voor de eindcontrole van dit type dijkbekleding gedefinieerd dat berust op een oppervlakte-dekkende en niet-destructieve meetmethode voor het detecteren van holten in deze bekleding. De meetmethode berust op de MIRA techniek in combinatie met een beperkt aantal gerichte kernboringen. Omdat dit een nieuwe inspectiemethode is, kan dit in eerste instantie leiden tot meer afkeur van de aangelegde bekleding maar kan dit tevens een prikkel vormen om beter werk te leveren. Herstel van geconstateerde defecten kan gericht plaatsvinden.

In het onderzoek op de Wieringermeerdijk is de toepasbaarheid van de MIRA methode voor de inspectie van vol en zat gepenetreerde breuksteen vastgesteld. Omdat de betrouwbaarheid van de uitspraken nog niet genoeg onderbouwd kon worden, is in dit protocol een iteratieve werkwijze opgenomen waarmee het aantal gerichte kernboringen gaandeweg teruggebracht wordt en de meerwaarde van de MIRA methode naar voren komt. Wanneer dit protocol dus voor de eerste maal operationeel wordt ingezet, verdient het de aanbeveling om, in overleg met de opdrachtgever, deze iteratieve werkwijze te gaan toepassen.

1.2 Wanneer dit protocol toepassen?

Het inspectieprotocol is van toepassing op de volgende categorische beschrijving van de dijkbekleding:

- Type kering: alle dijktypen
- Functionele zone: alle zones
- Waterkerend element: breuksteen met gietasfalt
- Inspectieparameter: holle ruimten
- Kwaliteitsklasse: goedkeur / afkeur. Een uitspraak hierover moet volgen uit dit inspectieprotocol.

Figuur 1: Type kering en bekleding waar dit protocol voor is opgesteld



Het inspectieprotocol behoort aan te sluiten op en opgenomen te zijn in de processen voor de integrale bedrijfsvoering van de beherende organisatie. De inspectie volgens dit protocol is integraal onderdeel van de opleveringscontrole na aanleg van de bekleding en behoort planmatig plaats te vinden. Dit inspectieprotocol kan waar nodig worden aangescherpt gedurende de uitvoering van inspectiewerkzaamheden. Uitgangspunt is dat zowel de operationele inzet als het gebruik van de resultaten door iedereen toegepast kunnen worden.

Het inspectieprotocol kan zowel bij contracten onder RAW worden ingezet als ook bij (geïntegreerde) contracten binnen UAV-gc. Wanneer de aannemer de bepaling van de holle ruimten uitvoert volgens het protocol dan kan daarmee aangetoond worden in hoeverre aan de gestelde eisen uit het contract wordt voldaan. De opdrachtgever kan de bepaling van de holle ruimten inzetten ter controle van het geleverde werk of bij oplevering van het dijkvak. Het is raadzaam in beide gevallen in het bestek of contract duidelijk aan te geven dat het inspectieprotocol wordt gehanteerd om de kwaliteit vast te stellen (en wat de consequenties zijn indien afwijkingen worden vastgesteld), zodat dit voor alle partijen duidelijk is.

1.3 Definitie holle ruimte

In dit protocol wordt alleen gesproken over holten of holle ruimten. De MIRA techniek detecteert de holle ruimte, ongeacht de verdeling daarvan over de dikte van de dijkbekleding. Holle ruimten of holten kunnen namelijk in verschillende hoedanigheden optreden.

Eenzijds bestaan er grotere luchtinsluitingen, die veroorzaakt kunnen worden door de lokale steenstapelings. Tijdens het penetreren van de breuksteen verhindert het visceuze gedrag van het gietasfalt soms het ontwijken van lucht die tussen de stenen aanwezig is. Hierdoor ontstaan in het algemeen afgesloten luchtbellens in de bekleding die niet in open verbinding staan met elkaar of met het buitenwater.

Anderzijds bestaat de mogelijkheid dat de breuksteen vervuild is met relatief fijn gruis, variërend in grootte van minder dan een millimeter tot enkele centimeters. Dit gruis kan ontstaan tijdens het transport en de handling of het spreiden en profileren van de breuksteen maar kan ook vanuit de productielocatie meegeleverd zijn. Dit gruis verzamelt zich tijdens het spreiden en profileren van de breuksteen veelal onderin de laag breuksteen en mogelijk vooral onder aan het talud ten gevolge van het spoelen van de breuksteen. Tijdens het penetreren is het gietasfalt niet in staat om de fijn verdeelde poriën in dit gruis te penetreren. Gevolg is een laag van los en doorlatend materiaal onder de gesloten laag gepenetreerde breuksteen. Juist deze mogelijk min of meer doorgaande doorlatende laag gruis kan als een filterlaagje gaan functioneren. Wanneer dit laagje in open verbinding met het buitenwater staat, kan dit aanleiding geven tot drukgolven onder de bekleding met opdrukken en uitbreken als mogelijk gevolg. Overigens kan dit naar verwachting alleen optreden als de gruisophopingen zo dik worden, dat er voldoende watertransport mogelijk is om bij het optreden van een drukgolf ook daadwerkelijk voldoende water door te laten om de dijkbekleding op te drukken.

Ophoping van gruis is een verschijnsel dat alleen kan optreden bij het overlagen van bestaande bekledingen met vol en zat gepenetreerde breuksteen. Bij nieuwbouw waarbij de vol en zat gepenetreerde breuksteen direct op zand wordt aangelegd, zal het fijne gruis zich met het onderliggende zand vermengen en ontstaat er geen laag met een bezwaarlijk hoge doorlatendheid waardoor te grote waterdrukken onder de bekleding kunnen optreden. Onvoldoende vulling van de holten en lokale luchtinsluitingen zijn verschijnselen die zowel bij overlaging van bestaande constructies als bij nieuwbouw kunnen optreden.

1.4 Wanneer is een holle ruimte bezwaarlijk?

De aanwezigheid van holle ruimten wordt bezwaarlijk geacht, zodra er sprake is van één of beide onderstaande situaties en het defect groter is dan 1 m²:

- Gruisophopingen onderin de bekleding met een dikte van 2 centimeter of meer die zich voordoen in de golfklapzone. Dit criterium is vastgesteld door de projectgroep Asfaltdijkbekleding in november 2013;
- Minder dan 90 % vulling van de holle ruimte in het onderste 2/3^e deel van de laag breuksteen, wat overeenkomt met meer dan circa 4% HR in het gepenetreerde deel van de kern (Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 52.5). Dit criterium is gehanteerd

in het bestek voor de op de Wieringermeerdijk aangebrachte dijkbekleding door middel van kernboringen. Hierin waren tevens eisen aan de lengte van de boorkernen gesteld, opdat de bekleding de minimaal vereiste dikte bezit en er ook voldoende gietasfalt in aanwezig is. Bovendien mochten er geen losse delen onderin het boorgat aanwezig zijn;

- Defecten kleiner dan 1 m² worden in de regel niet bezwaarlijk geacht.

Figuur 2: Gruisophoping onderin de bekleding die door de MIRA techniek is gedetecteerd

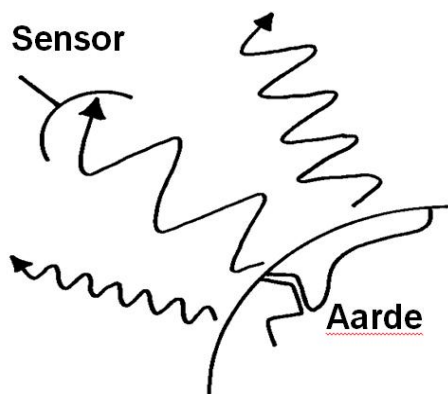


Bovenstaande eisen zijn in dit inspectieprotocol overgenomen als basis voor afkeur. De MIRA-techniek wordt ingezet als niet-destructieve, oppervlakte-dekkende techniek om deze defecten op te sporen. De oppervlakte-dekkendheid van deze techniek maakt het mogelijk om het aantal benodigde boringen drastisch te verminderen. Op plaatsen waar de MIRA-techniek ruimte laat in de interpretatie van de bezwaarlijkheid van een afwijking ('grijze vlek'), worden validatieboringen ingezet om tot een definitief oordeel te komen.

1.5 Hoe werkt de MIRA techniek?

Een geavanceerde mobiele passieve microgolven ontvanger meet de natuurlijke elektromagnetische uitstraling van de dijkbekleding in het microgolvenbereik (L-band, 1,400-1,427 GHz).

Figuur 3: Natuurlijke straling van de bekleding wordt opgevangen door de MIRA sensor



De MIRA sensor zet het gemeten stralingsniveau om in stralingstemperaturen (T_b). De T_b is opgebouwd uit de emissiviteit en de effectieve temperatuur volgens de formule:

$$T_b = e \cdot T_s.$$

Hierbij zijn:

- e =emissiviteit. Deze is gevoelig voor veranderingen in het materiaal van de ondergrond en de bodemvochtcondities (diëlectrische eigenschappen) van ongeveer de eerste meter. De diëlectrische constante van water is 80, die van asfalt ongeveer 5 en die van lucht 1.
- T_s =effectieve temperatuur van de ondergrond. Het verband tussen het gemeten signaal en de effectieve temperatuur wordt gegeven door de zwarte-straler kromme. Voor straling op 1,4 GHz en temperaturen rond de 300 K is dit een nagenoeg lineair verband.

De geschatte penetratiediepte op deze bekleding is een halve meter waarbij het onderscheidend vermogen toeneemt naar het oppervlak. De radiometer kijkt dus in de dijkbekleding. Verschillen tussen horizontale en verticale stralingsniveaus ontstaan doordat de straling uit de ondergrond gebroken wordt op overgangen tussen twee media. Dit kan de overgang zijn tussen een homogene ondergrond en de atmosfeer, maar ook een overgang tussen twee bodemlagen van verschillende samenstelling, of de aanwezigheid van een laagje lucht (bijvoorbeeld door het ontbreken van de asfaltvulling van een gruisophoping in de ondergrond).

Omdat een MIRA sensor polarisatiegevoelig is wordt er gemeten in twee polarisaties: horizontaal (T_{bh}) en verticaal (T_{bv}). De invloed van de effectieve temperatuur van de ondergrond kan eenvoudig teniet gedaan worden door te werken met de zogenaamde MPDI (Microwave Polarization Difference Index) volgens onderstaande formule.

$$MPDI = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{T_{bv} + T_{bh}}$$

Door de breukverhouding van de MPDI wordt T_s op de waarnemingen zo goed mogelijk geminimaliseerd, waardoor in feite alleen veranderingen in emissiviteit overblijven.

Door het uitvoeren van de niet-destructieve MIRA techniek op dijkbekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen wordt een gedetailleerde, oppervlakte-dekkende opname gemaakt. Dit ruimtelijk beeld geeft gedetailleerd inzicht in de holle ruimten in de dijkbekleding. Deze informatie geeft de mogelijkheid om veel gerichter defecten op te sporen.

Een L-band MIRA sensor is ontwikkeld om uitsluitend gevoelig te zijn voor meetsignalen tussen 1400 en 1427 MHz. Deze frequentieband is bedoeld voor astronomische waarnemingen, en is verboden voor aardse bronnen. Door de hoge gevoeligheid van de radiometer is storing van andere bronnen niet op voorhand uit te sluiten. Zo kan bij zendmasten met meerdere bronnen bijvoorbeeld passieve intermodulatie optreden. Door niet-lineaire effecten in de ontvanger of in metalen voorwerpen in de omgeving kunnen de signalen van twee of meerdere bronnen

vermengd worden tot een frequentie die de som is van de onderlinge frequenties. Hoewel iedere bron afzonderlijk netjes buiten de verboden frequentieband uitzendt, hoeft de mengfrequentie dat niet te doen. Alhoewel mengfrequenties in de astronomische band ook wettelijk verboden zijn, kunnen de metingen op deze manier toch verstoord worden. In het protocol wordt beschreven hoe van te voren kan worden ingeschat of er sprake kan zijn van een storingsbron en hoe daarmee om te gaan.

1.6 Opbouw van dit inspectieprotocol

Het inspectieproces van waterkeringen bestaat uit vier deelprocessen die successievelijk worden doorlopen, te weten:

- Waarnemen inclusief kalibreren;
- Diagnosticeren;
- Prognosticeren;
- Operationaliseren.

Waarnemen inclusief kalibreren is het eerste deelproces binnen het inspectieproces. Het waarnemen vindt in dit geval plaats vanuit een van tevoren gesteld doel: de detectie van holle ruimten. Na waarnemen volgt het deelproces diagnosticeren, waarbij er via bewerking waarde wordt toegekend aan de vastgelegde gegevens. De waarde is gekoppeld aan een vooraf gesteld doel, dat getoetst kan worden. In geval dat er holle ruimten zijn gemeten in de waterkering, kan via bewerking van de meetgegevens worden getoetst of de holle ruimten voldoen aan de eisen. Het bewerken, toetsen en verwerken van de waarnemingen resulteren in een diagnose van de staat of toestand van de bekleding.

Voordat op basis van de gestelde diagnose wordt overgegaan tot handelen (herstelwerkzaamheden) aan de waterkering, kan het van belang zijn om inzicht te hebben in de ontwikkeling van de gesignaleerde staat van de waterkering in de toekomst. In het deelproces prognosticeren worden bewerkingen uitgevoerd die leiden tot een uitspraak over de verwachte toestand van de waterkering. In het deelproces operationaliseren tenslotte worden maatregelen gedefinieerd en gepland. Maatregelen worden uitgewerkt, voorbereid en gereed gemaakt voor uitvoering. De middelen die nodig zijn om de maatregelen uit te voeren worden beschikbaar gesteld en ingezet. Ten slotte wordt de oplevering van de uitgevoerde herstelwerkzaamheden vastgelegd en teruggekoppeld. Op basis van waarnemingen wordt getoetst of de uitgevoerde werkzaamheden, de toestand van de waterkering binnen de veiligheidsnormen hebben gebracht.

Dit inspectieprotocol richt zich met name op de eerste twee deelprocessen, namelijk het waarnemen en het diagnosticeren. Hoofdstuk 2 beschrijft het protocol dat is opgebouwd voor het aanleggen van kalibratievakken in de nieuwe bekleding, het uitvoeren van de kalibratiemetingen, en het opstellen van het diktemodel. Het uitvoeren van de MIRA metingen over een dijkvak wordt beschreven in Hoofdstuk 3. Het uitvoeren van boringen en het opmeten van boorkernen wordt beschreven in Hoofdstuk 4, waarna in Hoofdstuk 5 de stappen zijn uitgewerkt om te komen tot de diagnose goedkeur/afkeur.

2 Protocol voor kalibratie en bepalen diktemodel

Om de waarnemingen betekenis te kunnen geven, worden kunstmatige gruisophopingen van verschillende dikte in de bekleding aangelegd en gemeten om van de ruwe waarneming naar een schatting van de holle ruimte in de bekleding te komen. Hieronder volgt eerst het protocol voor het aanleggen van de kalibratievakken, daarna van het meten van de kalibratievakken en tenslotte van het opstellen van het diktemodel.

2.1 Protocol voor het aanleggen van kalibratievakken

Uitgangspunt is dat bij ieder dijkversterkingsproject waar een overlaging met vol en zat gepenetreerde breuksteen wordt uitgevoerd, per homogeen dijkvak zes kunstmatige gruisophopingen worden aangelegd, die worden gebruikt voor de kalibratie van de MIRA data. Een dijkvak wordt homogeen verondersteld als:

- De dikte van de toegepaste overlaging constant is;
- Er één steensoort-asfaltmengsel wordt toegepast;
- Er geen grote verschillen in de onderliggende bekleding aanwezig zijn.

Figuur 4: Aanleg kalibratievakken



Richtlijnen kalibratievakken:

- Drie kunstmatige gruisophopingen met dikten van: 3 cm, 6 cm en 10 cm, elk in duplo uitgevoerd. In totaal zes vakken dus;
- Iedere gruisophoping is ten minste 1x1 m² groot;
- De gruisophopingen liggen op een onderlinge afstand van ca 5 m.

Het is hierbij belangrijk dat:

- De kalibratievakken pas worden aangelegd na de aanlooperperiode, als de aannemer de procesvoering beheerst.

- Kalibratievakken worden boven de golfklapzone op het talud aangelegd, zodat ze in de dijkbekleding mogen achterblijven.
- Kalibratievakken mogen niet gemaakt worden binnen een straal van 2000 meter van een zendmast met een specifieke zendercombinatie die storing in het L-band bereik kan veroorzaken. Voor een toelichting en de procedure hoe dit kan worden gecontroleerd wordt verwezen naar Bijlage 1 van dit document.

Benodigdheden voor aanleg van de kalibratievakken:

- Filterdoek: 6 stroken van ca. 1,2 x 2,5 m²;
- Steenslag 8/11 mm met een deeltjesdichtheid van ten minste 2650 kg/m². Minimaal $2 \times (30 + 60 + 100) = 320$ liter;
- Stabiël liggende houten regels van 30, 60 en 100 mm hoogte en een lengte van 1,1 m;
- Rei van ca. 1,2 m lengte.

Stappen voor iedere kunstmatige gruisophoping:

- Verwijder handmatig de breuksteen over een oppervlakte van ca. 1,5 x 1,5 m²;
- Verwijder eventueel gruis van de onderliggende laag;
- Meet de vier hoeken van het vrijgemaakte deel in met een plaatsbepalingssysteem met een nauwkeurigheid op centimeterniveau met RTK-GNSS;
- Leg een strook filterdoek op de bodem van de open plekken. Dit doek moet later naar boven toe dicht geslagen kunnen worden over de aangebrachte laag steenslag;
- Leg twee regels van de gewenste dikte (3, 6 of 10 cm) van ongeveer 1,0 m lengte op ca. 1,0 m afstand van elkaar en evenwijdig aan elkaar op het filterdoek;
- Breng steenslag 8/11 mm aan tussen de latten en strijk dit materiaal met een rei af, gelijk met de bovenkant van de beide regels. Zorg er daarbij voor dat het filterdoek aan de lage zijde nog ten minste 1,2 m uitsteekt;
- Verwijder, de beide regels en sla het filterdoek terug over de laag steenslag. De vouw zit nu aan de lage zijde van het talud, zodat de steenslag niet kan weg spoelen;
- Leg nu de verwijderde breuksteen weer op het filterdoek zonder de aangebrachte kunstmatige gruisophoping ernstig te deformeren;
- Registreer de dikte van de kunstmatige gruisophopingen met hun bijbehorende coördinaten;
- Nadat de nieuwe bekleding is aangebracht, zet de hoekpunten van de vakken uit met RTK-GNSS en markeer de vakken met witte verf.

2.2 Protocol voor MIRA metingen over kalibratievakken

Nadat de kalibratievakken zijn aangebracht, en de breuksteen is geopenetreerd met gietasfalt kunnen de MIRA waarnemingen starten.

Richtlijnen MIRA metingen:

- Ieder project beginnen met een meetsessie over de kalibratievakken;
- Gebruik voor ieder homogeen dijkvak dezelfde MIRA sensor voor kalibratie en metingen bekleding;

- Sensor onder een hoek van ongeveer 45 graden ten opzichte van het kalibratievak richten;
- Sensor ongeveer een meter boven de bekleding inzetten;
- Sensor op ongeveer een meter van het centrum van het kalibratievak positioneren, zodat het midden van de sensor footprint is gericht naar het midden van het kalibratievak;
- De metingen mogen niet eerder dan zeven dagen na aanbrengen van het gietasfalt worden uitgevoerd in verband met het afkoelen van de bekleding tot normale waarden;
- Het oppervlak van de bekleding moet droog zijn, er mogen geen plassen op de bekleding staan. Omdat gietasfalt nauwelijks poriën bevat en dus nauwelijks water kan bevatten, is een visuele beoordeling van het oppervlak voldoende. Als vuistregel wordt gehanteerd: in de zomer twee dagen na regenval en in de winter drie dagen na regenval, uiteraard afhankelijk van de klimatologische omstandigheden.

Benodigheden voor het meten van de kalibratievakken:

- Mobiele L-band passieve microgolven radiometer (MIRA sensor);
- Horizontaal en verticaal gepolariseerde helderheidstemperaturen;
- Gekoppeld aan nauwkeurige plaatsbepaling op centimeterniveau (RTK-GNSS);
- Gekoppeld aan nauwkeurige hoekmeter (IMU) op gradenniveau om data bij misrichten bij dataverwerking te kunnen elimineren;
- Dataopslag;
- Stroomvoorziening.

Stappen voor het meten van de kalibratievakken:

- Zet de MIRA sensor aan en wacht 5 minuten totdat deze is geïnitieerd;
- Zet het systeem uit;
- Zet het systeem aan en wacht totdat deze is geïnitieerd;
- Meet de kalibratievakken in de richting waarop de hele dijkbekleding wordt ingemeten, in twee polarisaties Tbh en Tbv parallel aan het talud. Iedere polarisatie wordt uit stilstand gemeten gedurende tenminste één minuut;
- Zet het systeem uit en download de data.

2.3 Protocol voor het opstellen van het diktemodel

Nadat de MIRA metingen op de kalibratievakken zijn uitgevoerd, kunnen de MIRA data worden omgezet naar het diktemodel. Hiervoor worden de volgende stappen uitgevoerd.

- Bepaal voor de zes kalibratievakken gemiddelde waarden van Tbh, Tbv en MPDI. Bepaal dit eveneens voor twee afgebakende vakken op de dijkbekleding waar geen kunstmatige gruisophoping is aangebracht. Deze blanco vakken worden als dikte = 0 gebruikt in de verdere analyse. Deze waarden worden ingevuld de volgende tabel.

Gruisophoping	Dikte (cm)	Tbh (K)	Tbv (K)	MPDI
Blanco – positie 1	0			
Blanco – positie 2	0			
Kal A – positie 1	3			
Kal A – positie 2	3			
Kal B – positie 1	6			
Kal B – positie 2	6			
Kal C – positie 1	10			
Kal C – positie 2	10			

De MPDI (Microwave Polarization Difference Index) is gedefinieerd volgens onderstaande formule:

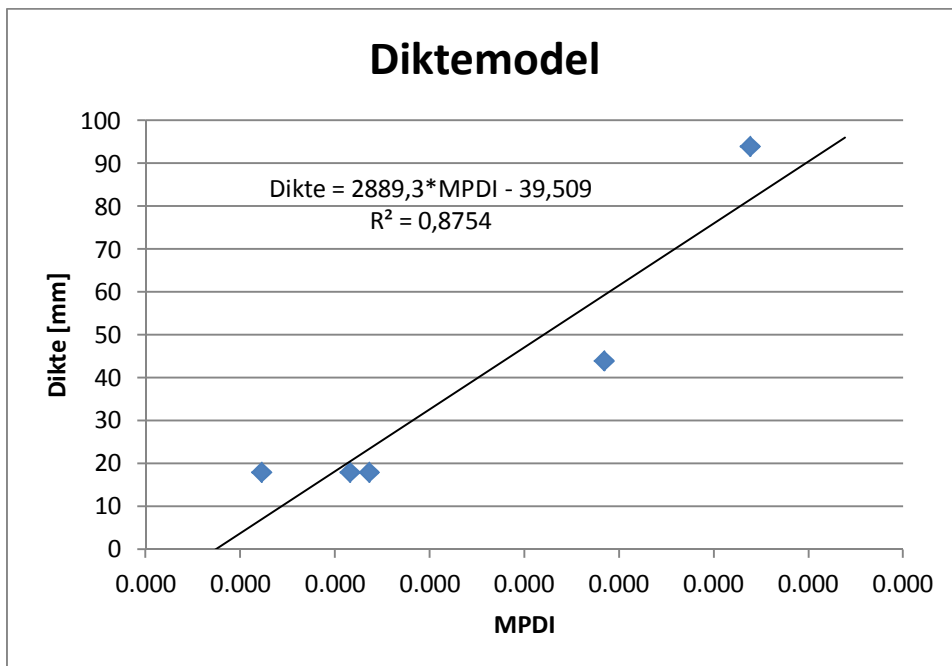
$$MPDI = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{T_{bv} + T_{bh}}$$

- Zet de MPDI waarden uit tegen de dikte gruisophoping, dit kan bijvoorbeeld in een Excel spreadsheet. Daaruit kan een lineair verband worden afgeleid tussen MPDI en dikte gruisophoping als:

$$Dikte\ gruisophoping = \alpha * MPDI$$

Dit is het diktemodel.

Figuur 5: Voorbeeld van een grafiek op basis van de tabel voor het opstellen van het diktemodel. Data afkomstig uit onderzoek Wieringermeerdijk.



- Maak op basis van de metingen van de kalibratievakken een schatting van de nauwkeurigheid waarmee de dikte van de gruisophoping bepaald kan worden. We noemen deze nauwkeurigheid *sigma-dikte*. De waarde van de *sigma-dikte* kan worden afgeleid als de standaardafwijking van de verschillen tussen de gemodelleerde dikte en de werkelijke dikte. In de grafiek van Figuur 5 komt de *sigma-dikte* uit op 11 mm.

3 Protocol voor de gebiedsdekkende MIRA metingen

Nadat de kalibratieprocedure is afgerond, kunnen de gebiedsdekkende MIRA metingen worden uitgevoerd.

3.1 Protocol voor gebiedsdekkende MIRA metingen

Richtlijnen MIRA metingen:

- Gebruik voor iedere homogene dijkbekleding dezelfde MIRA sensor voor kalibratie en metingen bekleding;
- De metingen moeten worden uitgevoerd in aangrenzende lengteraaian;
- Lengteraaian allemaal in dezelfde richting over de dijk uitvoeren;
- Bij aanwezigheid van een zendmast die met een specifieke zendercombinatie storing in het L-band bereik kan veroorzaken altijd van de mast vandaan gericht meten. Voor een toelichting en de procedure hoe dit kan worden gecontroleerd wordt verwezen naar Bijlage 1 van dit document;
- De metingen moeten ten minste 95% dekkend worden uitgevoerd voor een resolutie van 1x1 m²;
- Sensor onder een hoek van ongeveer 45 graden ten opzichte van de dijkbekleding richten;
- Sensor ongeveer een meter boven de bekleding inzetten;
- De metingen mogen niet eerder dan zeven dagen na aanbrengen van het gietasfalt worden uitgevoerd in verband met het afkoelen van de bekleding tot normale waarden;
- Het oppervlak van de bekleding moet droog zijn, er mogen geen plassen op de bekleding staan. Omdat gietasfalt nauwelijks poriën bevat en dus nauwelijks water kan bevatten, is een visuele beoordeling van het oppervlak voldoende. De verwachting is dat het oppervlak in de zomer twee dagen na regenval droog is en in de winter drie dagen na regenval, uiteraard afhankelijk van de klimatologische omstandigheden.

Benodigheden voor het meten van de dijkvakken:

- Mobiele L-band passieve microgolven radiometer (MIRA sensor);
- Horizontaal en verticaal gepolariseerde helderheidstemperaturen;
- Gekoppeld aan nauwkeurige plaatsbepaling op centimeterniveau (RTK-GNSS);
- Gekoppeld aan nauwkeurige hoekmeter (IMU) op gradenniveau om data bij misrichten bij dataverwerking te kunnen elimineren;
- Dataopslag;
- Stroomvoorziening.

Stappen voor de MIRA metingen:

- Zet de MIRA sensor aan en wacht 5 minuten totdat deze is geïnitieerd;
- Zet het systeem uit;
- Zet het systeem aan en wacht totdat deze is geïnitieerd;
- Meet een referentievlak, bijvoorbeeld een stuk dijkbekleding, dat vooraf wordt afgebakend;

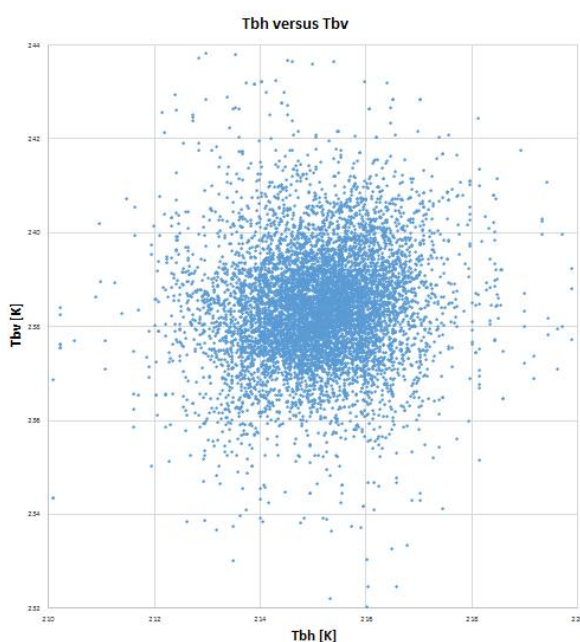
- Meet de eerste raai en ga terug naar het begin van de tweede raai. Meet eventueel, in overleg met de opdrachtgever, het referentievlak;
- Meet de tweede raai en terug naar het begin van de derde raai. Meet eventueel, in overleg met de opdrachtgever, het referentievlak. Alle metingen worden dus in dezelfde meetrichting uitgevoerd;
- Herhaal dit totdat alle raaien zijn ingemeten;
- Meet het referentievlak;
- Herhaal de vorige stappen voor de andere polarisatie, indien de MIRA sensor enkel gepolariseerd is;
- Zet het systeem uit en download de data.

3.2 Protocol voor het maken van grijswaardekaarten

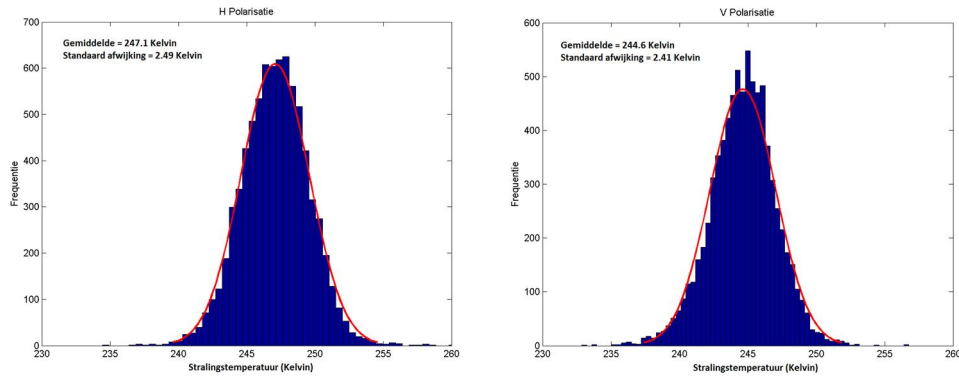
Nadat de MIRA metingen van het dijkvak zijn uitgevoerd, kunnen de data worden omgezet naar grijswaardekaarten die aangeven op welke plekken holle ruimten zijn aangetroffen. Hiervoor worden de volgende stappen uitgevoerd.

- Combineer de MIRA data met de positie- en hoekdata;
- Elimineer de misgerichte metingen (> 10 graden off) en controleer de oppervlakte dekking van de metingen;
- Controleer de metingen van het referentievlak op onregelmatigheden;
- Controleer op normaal gedrag van de metingen door het maken van een scatterplot ruwe data T_{bh} tegenover T_{bv} (Figuur 6), en een verdelingshistogram van ruwe data T_{bh} en T_{bv} (Figuur 7). Bepaal de standaardafwijking van de metingen.

Figuur 6: Voorbeeld van een scatterplot T_{bh} tegenover T_{bv} . Data afkomstig uit onderzoek Wieringermeerdijk.



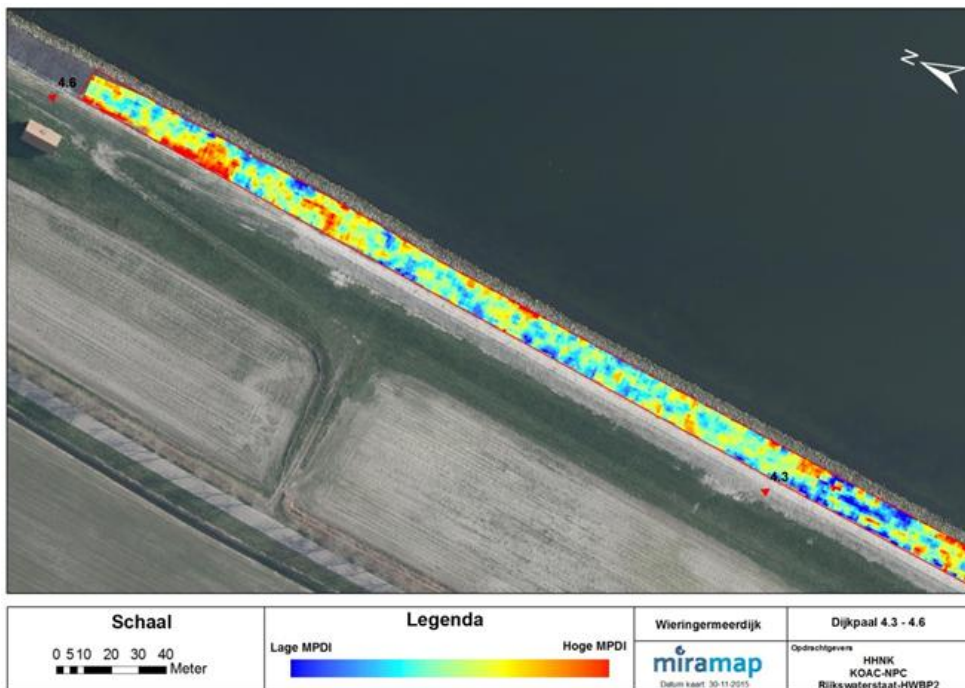
Figuur 7: Voorbeeld van een verdelingshistogram T_{bh} en T_{bv} . Data afkomstig uit onderzoek Wieringermeerdijk.



- Zet de meetwaarden voor T_{bh} en T_{bv} om naar dekkende kaart met 1x1 m2 grid d.m.v. interpolatie;
- Bereken uit de T_{bh} en T_{bv} kaarten een dekkende MPDI kaart met 1x1 m2 grid. De MPDI was gedefinieerd volgens formule:

$$MPDI = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{T_{bv} + T_{bh}}$$

Figuur 8: Voorbeeld van een MPDI kaart. Data afkomstig uit onderzoek Wieringermeerdijk.



- Zet de MPDI kaart om naar een grijswaardekaart die de dikte aangeeft van de veronderstelde gruisophoppingen, met behulp van het diktemodel van paragraaf 2.3. De dikte van de gruisophoppingen was berekend als:

$$Dikte\ gruisophopping = \alpha * MPDI$$

Voor de interpretatie van de grijswaardekaart is het belangrijk te beseffen dat de meetmethode een onnauwkeurigheid in de diktebepaling kent van *sigma-dikte*. De waarde hiervan was afgeschat in paragraaf 2.3.

De grijswaardekaart bevat uiteindelijk drie klassen van gebieden/vlekken op basis van de geschatte dikte van de gruisophoppingen met de volgende klassegrenzen:

- Wit: 0 tot 2 cm gruisophopping;
- Grijs: 2 tot $2 + 2 * \sigma$ cm gruisophopping;
- Zwart: $\geq 2 + 2 * \sigma$ cm gruisophopping.

Figuur 9: Voorbeeld van een grijswaardekaart. Data afkomstig uit onderzoek Wieringermeerdijk.



De betekenis van 'Wit' is dat er geen afwijkingen in deze gebieden worden verwacht. 'Zwart' betekent dat deze gebieden uit afwijkingen in de bekleding zouden moeten bestaan. De status van 'Grijs' is dat er op voorhand nog niet voldoende duidelijkheid te

geven is over de status van de bekleding. De precieze interpretatie van de status van de bekleding volgt uit inzet de controleboringen (hoofdstuk 4 en 5).

De grenswaarde voor Wit is vastgesteld op basis van de maximaal toelaatbare waarde voor een gruisophoping: 2 cm

Verder zijn de klassegrenzen zodanig vastgesteld dat (1) witte vlekken geïnterpreteerd kunnen worden als zeker van voldoende kwaliteit, met maximaal 5% kans op de aanwezigheid van bezwaarlijke gruisophopingen die door de inspectiemethode heen zijn geglipt, en (2) dat zwarte vlekken afgekeurd kunnen worden met een betrouwbaarheid van minstens 95%. Anders gezegd: de keuze van de klassegrenzen leidt idealiter tot een kans van op vals-negatieven van kleiner of gelijk aan 5%, en een kans op vals-positieven van eveneens kleiner of gelijk aan vijf procent. Indien de resultaten aangeven dat deze kansen overschreden worden, dan moeten de klassegrenzen aangepast worden.

Vals-negatieven zijn punten waar geen afwijking in de bekleding is verondersteld, maar toch aanwezig zijn. Vals-positieven zijn punten waar wel een afwijking in de bekleding is verondersteld, maar niet aangetoond zijn.

Tenslotte is het van belang dat variaties in de MPDI en grijswaardekaart kunnen optreden door veranderingen in materiaal, bijvoorbeeld kalksteen in plaats van basalt. Dit wordt opgevangen door te werken met aparte kalibratievakken en een apart diktemodel per homogeen dijkvak, zoals beschreven in paragraaf 2.1.

4 Protocol voor controleboringen en analyseren grijswaardekaart

Nadat de grijswaardekaart van een dijkvak is gemaakt, kunnen locaties voor controleboringen gericht worden geselecteerd.

In de toepassing van het inspectieprotocol is het nodig om op basis van de grijswaardekaart gericht controleboringen uit te voeren. Dit is nodig om in de grijze gebieden vast te kunnen stellen wat de precieze status van de bekleding is. Het resultaat van de controleboring wordt in hoofdstuk 5 van dit protocol gebruikt om de grijze vlekken goed of af te keuren.

In het onderzoek op de Wieringermeerdijk is de toepasbaarheid van de MIRA methode voor de inspectie van vol en zat gepenetreerde breuksteen vastgesteld. Omdat de betrouwbaarheid van de uitspraken nog niet is vastgesteld onder praktijkomstandigheden, worden, wanneer dit protocol voor de eerste maal operationeel wordt ingezet, eerst controleboringen uitgevoerd met een dichtheid van 1 per 100 m², in met name witte en zwarte vlekken. In een aantal stappen zullen eventueel aanpassingen in de klassegrenzen wit-grijs en grijs-zwart uitgevoerd worden en zal vervolgens de betrouwbaarheid van de inspectiemethode vastgesteld worden. Het is nodig de betrouwbaarheid aan te kunnen geven, enerzijds naar beheerders toe ('je ziet geen bezwaarlijke defecten over het hoofd') en anderzijds naar aannemers ('het afkeuren is betrouwbaar verlopen'). Bij bewezen betrouwbaarheid kan het aantal controleboringen in met name de witte vlekken fors teruggebracht worden.

Het aanpassen van de klassegrenzen wordt in dit protocol op een statistisch verantwoorde wijze aangepakt. Omdat we streven naar een betrouwbaarheid van 95% betekent dit dat slechts 5% van de controleboringen verkeerd geïnterpreteerd mag worden. Uitgangspunt/nulhypothese is dus dat controleboringen in niet meer dan vijf procent van de boringen een verschil laten zien tussen het boorresultaat en de verwachting op basis van de grijswaardenkaart ($p = 0,05$ of kleiner). Oftewel: het aantal vals-negatieven (een controleboring laat een afwijking zien in een witte vlek) en het aantal vals-positieven (een controleboring in een zwarte vlek laat geen afwijking zien) zouden gemiddeld genomen 1/20 van het aantal controleboringen in witte respectievelijk zwarte vlekken kunnen bedragen, zijnde de verwachtingswaarde.

Om op een statistisch significante manier uitspraken te kunnen doen of deze betrouwbaarheid wel of niet gerealiseerd is, is een bepaald minimum aantal controleboringen nodig in de witte en zwarte vlekken. De vraag is bij welke aantallen boven dit 1/20e deel vals-negatieven of vals-positieven de nulhypothese verworpen moet worden, d.w.z. welke aantallen wijken significant (met meer dan 95% betrouwbaarheid) af van de verwachtingswaarde. Hiervoor is op basis van de Poissonverdeling de volgende tabel opgesteld.

Aantal vals-negatieven resp. vals-positieven	Minimum aantal controleboringen nodig om de kans op voorkomen van vals-negatieven en vals-positieven als kleiner of gelijk 5% in te schatten
4	40
5	53
6	66
7	80
8	93
9	108

Bijvoorbeeld: een aantal van 4 gevonden vals-negatieven resp. vals-positieven duidt op een bevestiging van de nulhypothese (kans op voorkomen vals-negatieven resp. vals-positieven is 5% of minder) als het aantal controleboringen in witte resp. zwarte vlekken gelijk is aan 40 of meer.

Omdat verwacht mag worden dat het oppervlak aan witte vlekken veel groter is dan dat van zwarte vlekken en er dus veel meer controleboringen zullen plaatsvinden in witte gebieden dan in zwarte, wordt in de eerste stap de juiste waarde van de klassegrens wit-grijs vastgesteld en wordt gekeken naar de betrouwbaarheid waarmee witte vlekken beoordeeld kunnen worden als zijnde vrij van afwijkingen in de bekleding. In de tweede stap wordt de juiste waarde van de klassegrens grijs-zwart vastgesteld en wordt gekeken naar de betrouwbaarheid waarmee zwarte vlekken beoordeeld kunnen worden als zijnde afwijkingen in de bekleding. Voor stap 1 is het naar verwachting nodig om een dijkstrekking van 1 km lengte te inspecteren. De benodigde lengte voor het uitvoeren van stap 2 hangt af van de mate waarin zwarte vlekken voorkomen in de grijswaarde kaarten.

Stap 1: instellen grens wit-grijs en bepalen van betrouwbaarheid

Stap 1A

- Een eerste strekking van ten minste 500 m te inspecteren dijkstrekking met ten minste 40 controleboringen in witte vlekken wordt uitgevoerd;
- boorlocaties voor controleboringen worden vastgesteld;
- controleboringen worden uitgevoerd;
- analyse van het resultaat op het vóórkomen van vals-negatieven
- indien nodig wordt de klassegrens wit-grijs aangepast

Bij het vaststellen van de posities van de boorlocaties worden de volgende acties uitgevoerd.

- Zoek in de grijswaardekaart naar geclusterde grijze en zwarte vlekken; boorlocaties worden ten minste 1,5 m van de rand van de vlekken gesitueerd, om randeffecten als gevolg van de resolutie uit te sluiten. Dit impliceert dat vlekken minimaal 3x3 m² groot moeten zijn om er een controleboring te plaatsen;
- Verdeel de controleboringen als volgt:
 - In de witte vlekken: random verdeling met gemiddeld 1 controleboring per 100 m²;
 - In het centrum van elke grijze vlek (minimaal 3x3 m²) wordt een controleboring uitgevoerd, tenzij de grijze vlek verbonden is met een zwarte vlek;

- In het centrum van elke zwarte vlek (minimaal 3x3 m2) wordt een controleboring uitgevoerd.

Bij het uitzetten van de boorlocaties en uitvoeren van boringen op de dijk worden de volgende stappen uitgevoerd.

- Zet de geselecteerde punten uit op het dijkvak met behulp van RTK-GNSS en markeer deze met verf door een stip op de boorlocatie en een cirkel erom heen en het betreffende boorkernnummer erbij;
- Voer de boringen uit (Ø 200 mm) tot bovenkant oude bekleding, geotextiel of eventueel tot onderkant oude bekleding; zoveel als mogelijk haaks op de taludhelling;
- Nadat de boormeester een begin heeft gemaakt met de boring en er een volledige groef is ontstaan, wordt er op de bovenzijde van de bekleding met vetkrijt een markering aangebracht op de rand van de kern en het gat, daarbij wordt tevens een beginpositie (bovenste meetlijn) voor de later uit te voeren metingen aangebracht. Vanwege het natte oppervlak moet dit zorgvuldig gebeuren om afspoelen tijdens het verder boren te voorkomen;
- LET OP: Boorkernen van gietasfalt of gepenetreerde breuksteen vervormen door het hoge bitumengehalte zeer gemakkelijk en relatief snel. De kernen mogen daarom niet op oneffen ondergrond of in de zon bewaard worden;
- Metingen moeten direct na het boren worden uitgevoerd. Voor het protocol van het meten aan boorkernen wordt verwezen naar Bijlage 2 van dit document;

Nadat de meetresultaten van de eerste dijkstrekking met ten minste 40 controleboringen in witte vlekken beschikbaar zijn, worden de volgende analyse stappen uitgevoerd.

- Maak een Excel-tabel van de boorlocaties, de vastgestelde diktewaarden gruisophoping, de vastgestelde grijswaarden en de resultaten van de controleboringen zoals aangegeven in onderstaande tabel;

Boorlocatie			Bepaalde dikte gruisophoping (mm)	Grijswaarde (wit-grijs-zwart)	Boorresultaat (goedgekeurd/afgekeurd)	Vals-negatief?/vals-positief?
nr	x-coord	y-coord				

Vul de kolom 'grijswaarde' en de laatste kolom op basis van een automatisch algoritme waarmee uit de bepaalde waarde van de dikte gruisophoping en de aangehouden klassegrenzen de grijswaarde c.q. de waarde vals-positief/vals-negatief wordt berekend. Dit

maakt het later eenvoudig mogelijk om bij aangepaste klassegrenzen opnieuw het aantal vals-positieven resp. vals-negatieven te berekenen.

- Bepaal in de tabel het aantal vals-negatieven;
- Bepaal of het aantal gevonden vals-negatieven past bij de nulhypothese, dus of de kans op het vinden hiervan als kleiner of gelijk aan 5% kan worden ingeschat. Dit is zo als er maximaal 4 vals-negatieven zijn bij een aantal van 40-52 controleboringen in witte vlekken. Bij aantallen tussen 53 en 65 mogen er maximaal 5 vals-negatieven aanwezig zijn.
- Indien het aantal vals-negatieven te groot is: verlaag de waarde van de klassegrens wit-grijs totdat het aantal vals-negatieven weer past bij de nulhypothese. Hierbij kunnen eventueel ook negatieve waarden voor dikte gruisophoping als klassegrens aangehouden worden. Dit lijkt fysisch niet zinvol, maar door onvolkomenheden in de bepaling van het diktemodel kan dit wel relevant zijn.
- Indien het aantal vals-negatieven past bij de nulhypothese wordt de klassegrens wit-grijs niet aangepast. In dat geval hoeft stap 1B ook niet uitgevoerd te worden en kan direct de betrouwbaarheid bepaald worden van het inspectieprotocol in het beoordelen van witte vlekken als zijnde vrij van afwijkingen in de bekleding.

Stap 1B:

- Inspecteer een volgende strekking van ten minste 4000 m² met ten minste 40 nieuwe controleboringen in witte vlekken.
- boorlocaties voor de nieuwe controleboringen worden als in stap 1A vastgesteld;
- nieuwe controleboringen worden uitgevoerd als in stap 1A;
- analyse van het resultaat op het vóórkomen van vals-negatieven als in stap 1A

In de analyse van het resultaat wordt de tabel met de resultaten van de controleboringen aangevuld met de informatie van de nieuwe controleboringen.

Stap 1C:

- Het percentage vals-negatieven wordt vastgesteld door het aantal gevonden vals-negatieven te delen door het aantal controleboringen in witte vlekken. Hiervoor wordt alleen de informatie uit de laatst uitgevoerde stap gebruikt. De betrouwbaarheid is 100 min dit percentage.
- Op basis van het verkregen resultaat wordt het aantal in het vervolg aan te houden controleboringen teruggebracht in overleg met de opdrachtgever.

Stap 2: instellen grens grijs-zwart en bepalen betrouwbaarheid

Stap 2 kan vrijwel identiek aan stap 1 uitgevoerd worden, met dien verstande dat:

- Het gaat om de vals-positieven, resp. zwarte vlekken in plaats van de vals-negatieven resp. witte vlekken;
- Er aanzienlijk grotere dijkstrekkingen geïnspecteerd zullen moeten worden om tot het benodigde minimum aantal van 40 boringen in zwarte vlekken te komen;

- Bij een te groot aantal vals-positieven in stap 2A de klassegrens grijs-zwart verhoogd moet worden in plaats van verlaagd.

5 Protocol voor het diagnosticeren van de bekleding

Nadat alle waarnemingen zijn uitgevoerd en de grijswaardekaarten op betrouwbaarheid zijn getoetst volgt het deelproces diagnosticeren, waarbij er via bewerking waarde wordt toegekend aan de vastgelegde gegevens. Om tot een oordeel te komen over het wel/niet voldoen van de bekleding, worden de verkregen grijswaardekaarten omgezet naar een kaart met twee klassen:

- Groen: Goed, geen afwijking in de bekleding.
- Rood: Afkeur

De grijswaardekaarten worden verwerkt volgens onderstaand protocol.

- Witte vlekken worden groen, tenzij eventuele controleboringen een negatief oordeel geven (vals-negatieven). De resultaten hiervan geven aan of de bekleding ter plekke wel of niet voldoet. Bij afkeur wordt de witte vlek over de lengte van 50 meter dijkstrekking rood gekleurd.
- Grijsze vlekken worden groen indien de boring positief is, en rood indien dit negatief is. Indien in de grijsze vlek een zwarte vlek aanwezig is neemt de grijsze vlek de kleur aan die aan de zwarte vlek is gegeven.
- Zwarte vlekken worden rood, tenzij eventuele boringen tot een positief oordeel komen (vals-positieven). In dat geval wordt de vlek groen gekleurd.

Zoals eerder is aangegeven gaat dit inspectieprotocol verder niet in op bewerkingen die leiden tot een uitspraak over de (rest)levensduur van de waterkering, omdat dit inspectieprotocol bedoeld is als opleveringscontrole van nieuw aangelegde bekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen. Op basis van de rood/groen-kaart worden de “rode vlekken” in de bekleding afgekeurd. De aannemer wordt na afkeuring van een dijkvak in de gelegenheid gesteld om het afgekeurde vak te verbeteren. Na gereed melding van deze verbeteringen kan een tweede inspectie worden uitgevoerd om de kwaliteit van het herstelde dijkvak te controleren.

6 Resulterende informatie

Na uitvoering van het inspectieprotocol komt de volgende informatie beschikbaar:

- GIS kaart van Tbh, Tbv en MPDI, zowel meetpunten als geïnterpoleerd;
- wit-grijs-zwart kaart in GIS format met daarin de positie van de controleboringen;
- de tabel met het resultaat van de controleboringen;
- rood-groen kaart in GIS format.

Bijlage 1 – Protocol voor het controleren zendmast

Voordat een kalibratievak wordt aangelegd of een MIRA meting wordt uitgevoerd kan worden ingeschat of er sprake kan zijn van samengestelde storingsbronnen. Hiervoor worden de volgende stappen uitgevoerd.

- Ga naar www.antenneregister.nl om te kijken te kijken of er op locatie een zendmast staat met een zendercombinatie die tot een n^e orde mengfrequentie kan leiden tussen 1400-1427 MHz. Gebruik hiervoor bijvoorbeeld het programma IM of contacteer Agentschap Telecom, die dat kunnen doorrekenen;
- Kalibratievakken mogen niet gemaakt worden binnen een straal van 2000 meter (*) van een zendmast met een mogelijke mengfrequentie in het 1400-1427 MHz gebied;
- MIRA metingen moeten bij aanwezigheid van een zendmast altijd van de mast vandaan gericht worden uitgevoerd.

Figuur 10: Zendmast bij Wieringermeerdijk



(*) Onderzoek op de Wieringermeerdijk heeft aangetoond dat nabij de mast het effect sterker is dan verder weg van de mast. Op 500 meter van de mast was de gemeten sterkte van het samengestelde signaal -65 dBm. Een kilometer verderop op 1500 meter van de mast was het met 10 dBm afgenomen. Een extra veiligheidsbuffer van 500 meter resulteert in een straal van 2000 meter.

Bijlage 2 – Protocol voor het meten van boorkernen

In verband met de instabiliteit van boorkernen uit dijkbekledingen van gepenetreerde breuksteen, worden de metingen aan de boorkernen direct na het boren uitgevoerd. Omdat de meetomstandigheden in het veld echter vaak niet optimaal zijn, moeten hiervoor robuuste methoden worden gebruikt, die niet of nauwelijks beïnvloed worden door de omstandigheden waaronder gemeten moet worden (weer en wind). Het percentage holle ruimte in een proefstuk wordt in het laboratorium veelal bepaald door opmeting van het proefstuk en bepaling van het volume vaste stof in het proefstuk door onder en boven water wegen. Dit vergt voor deze grote cilinders echter een grote bak met water en een balans die stabiel en waterpas moet staan. Omdat bij metingen in het veld regelmatig verplaatst moet worden is dit geen bruikbare methode. Daarom wordt onderstaand een methode beschreven, die redelijk aansluit bij de beoordeling van boorkernen volgens het bestek maar die minder subjectief is ten aanzien het bepalen van de vullingsgraad van de holle ruimte in het steenskelet en die het bepalen van de dikte van een eventuele gruisophoping mogelijk maakt.

Citaat uit bestek Wieringermeerdijk

01 Boorkernen worden gebruikt om zowel de laagdikte te controleren als ook om na te gaan of er holten in of onder de met gietasfalt gepenetreerde laag aanwezig zijn. Het boren van kernen, ook eventuele noodzakelijke extra kernen tijdens de opleveringscontrole, geschiedt op kosten van de aannemer. Deze kosten opnemen onder bestek post 91.

Het boren en controleren als volgt uitvoeren:

- 1) Boorcilinder met diameter 200 mm uit de bekleding nemen over de volledige hoogte tot aan het geotextiel dan wel bestaande bekleding.*
- 2) De hoogte van de cilinder op 8 gelijkmatig over de rand verdeelde punten meten. Hiervan wordt het maximum bepaald. Dit maximum wordt getoetst aan de minimaal vereiste laagdikte (1,5 Dn50)*
- 3) Hierna wordt de tweede meting uitgevoerd om de gevulde laagdikte (het deel van de boorkern dat gevuld is met gietasfalt) te bepalen door op 8 gelijkmatig over de rand verdeelde punten de dikte vast te stellen. Hiervan wordt het maximum bepaald. Dit maximum wordt getoetst aan de minimaal vereiste laagdikte (2/3 x 1,5 Dn50).*
- 4) Visueel wordt beoordeeld of over de volledige hoogte gietasfalt in de bekleding aanwezig is. Gesteld wordt dat de holle ruimte van het onderste 2/3 deel van de kern voor ten minste 90% moet zijn gevuld met gietasfalt en dat er onderin het boorgat geen losliggend materiaal mag worden aangetroffen.*
- 5) Wanneer bij punt 4) met onvoldoende zekerheid kan worden vastgesteld dat het onderste 2/3 deel van de kern voor ten minste 90% gevuld is, worden de vervolgstappen 6 t/m 9 ingezet.*
- 6) De kern wordt gezaagd op het in punt 3) bepaalde grensvlak. Alleen het gietasfalt gevulde deel van de kern wordt nader onderzocht volgens de stappen 7 t/m 9.*
- 7) De cilinder wordt onder en boven water gewogen, waarmee de holle ruimte wordt bepaald.*
- 8) Het materiaal wordt verwarmd en behandeld met methyleenchloride. De boorkern wordt hierin opgelost, waarna de breuksteen wordt afgezonderd en gewogen. Hieruit wordt de verhouding tussen de breuksteen en het gietasfalt bepaald.*
- 9) Op basis van de hoeveelheid gietasfalt die hieruit vrij komt en de dichtheid van de steen en het gietasfalt, wordt vastgelegd wat het percentage holle ruimte tussen de stenen is geweest en hoeveel procent is gevuld met gietasfalt. Getoetst wordt of ten minste 90% van de holten tussen de breuksteen is gevuld met gietasfalt.*

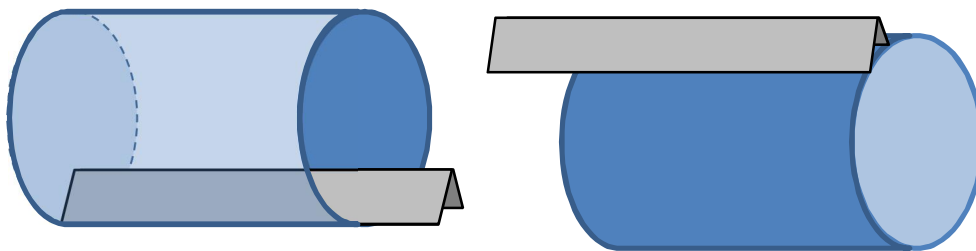
02 Het herstel van de boorkernen dient te geschieden conform artikel 52.54.05 lid 03 van de Standaard 2010.

Benodigdheden:

- Balans (weegbereik tot minimaal 50 kg, nauwkeurigheid $\pm 0,2$ kg);
- Maatcilinder met inwendige diameter D_i van ca. 250 mm voorzien van een maatverdeling in mm en voorzien van een inrichting om boorkernen beheerst te laten zakken;
- Vochtige doek

Uitvoering:

- 1) Verwijder de kern uit het gat; en schrijf (onuitwisbaar) het boorkernnummer erop
- 2) Verwijder eventueel het resterende boorwater met een spons uit het boorgat;
 - Maak foto's van het boorgat en van de boorkern (totaal 11 foto's per boorlocatie);
 - vier "zijwanden" van het boorgat (steeds 90° verdraaid);
 - de bodem van het gat;
 - vier "zijaanzichten" van de kern (steeds 90° verdraaid en corresponderend met de foto's van de zijwanden van het gat);
 - boven- en onderkant van de kern;
- 3) Verwijder alle losse delen (breuksteen en eventueel gruis) onderuit het boorgat. Doe deze in een stevige plastic zak of emmer, voorzien van het boorkernnummer;
- 4) Meet de diepte van het boorgat van de bovenzijde van de oude bekleding tot de bovenrand van de nieuwe bekleding op de acht gemarkeerde plaatsen (Lg1 t/m Lg8). Om de meting evenwijdig aan de as van de kern c.q. het boorgat uit te voeren kan een hoeklijn op de kern worden gelegd of in het gat worden gezet. Door dit bij de meetposities te doen kan de lengte van de kern c.q. de diepte van het gat beter worden bepaald en is de vergelijking van deze waarden per meetpositie beter uitvoerbaar. Men moet nl. rekening houden met soms steile gradiënten in zowel het boven- en ondervlak van het gat c.q. de kern. Kleine hoekafwijkingen kunnen dan al tot grote meetfouten leiden.



Links hoeklijn in boorgat rechts hoeklijn op de kern. In beide gevallen moeten de randen van de hoeklijn tegen de wand liggen om evenwijdig aan de as-richting te liggen;

- 5) Meet de lengte van (het samenhangende deel van) de boorkern op de acht gemarkeerde posities (Lk1 t/m Lk8);

Figuur 11: Meting van een boorkern



- 6) Bereken de gemiddelde lengte van de kern op basis van de 8 lengtemetingen (L_{k1} t/m L_{k8}) direct na het boren (L_{kg} in mm);
- 7) Bereken de gemiddelde diepte van het boorgat op basis van de 8 dieptemetingen (L_{b1} t/m L_{b8}) (na verwijderen losse delen) (L_{bg} in mm);
- 8) Bereken de gemiddelde dikte van de gruisophoping (Hgruis in mm) als: $L_{bg} - L_{kg}$;

Toetsing:

- 9) Toets of $H_{gruis} \leq 2$ cm. Zo niet: Afkeur
- 10) Schat het percentage holle ruimte in het samenhangende onderste 2/3- deel van de kern. Als dit groter dan 4% geschat wordt, dan afkeur of kern onderzoeken in een onafhankelijk laboratorium, zoals omschreven in citaat uit het bestek Wieringermeerdijk, stappen 6 t/m 9.

#