

Onderzoeksrapport

Toepasbaarheid Miramap Techniek voor Diktebepaling van Dijkbekleding

Uitgevoerd in opdracht van:

Innovatie Test Centrum van Rijkswaterstaat
Dienst Verkeer en Scheepvaart
Van den Burghweg 1
2628 CS Delft

door:

Miramap B.V.
Pascalweg 23
4104 BE Culemborg

in samenwerking met:

Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen
Kanaalweg 1
4337 PA Middelburg

Vrije Universiteit Amsterdam
Afdeling Hydrologie en Geo-Wetenschappen
De Boelelaan 1085
1081 HV Amsterdam

20 december 2008

Executive Summary

Miramap heeft samen met Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen en de Vrije Universiteit Amsterdam in opdracht van het Innovatie Test Centrum van Rijkswaterstaat de toepasbaarheid van een nieuwe microgolf radiometrie scanner onderzocht om nauwkeurig de dikte van dijkbekleding te kunnen bepalen.

Uit het onderzoek is ondermeer gebleken dat de helderheidstemperatuur kaarten duidelijk verschillende opeenvolgingen van bedekkingen van zowel de oude als nieuwe bekleding laten zien. De L-band observaties zijn gevoelig voor veranderingen in lagen in de ondergrond, waarmee dikte verschillen op centimeterniveau te registreren zijn. Geadviseerd wordt om de dielectrische eigenschappen van de specifieke materialen in een nader onderzoek te meten in het lab van de VU. Op die manier wordt een concrete weergave van de dikte van de steenlaag en van de daaronder liggende kleilaag afgeleid, met de gewenste nauwkeurigheid.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
1. Inleiding	2
1.1 Achtergrond	2
1.2 Miramap Techniek	3
1.3 Hoofdvragen	4
2. Projectuitvoering en Resultaten.....	4
2.1 Projectgebied.....	4
2.2 Resultaten Onderzoek	5
3. Conclusies en Aanbevelingen.....	10
Bijlage 1: Publicaties.....	11

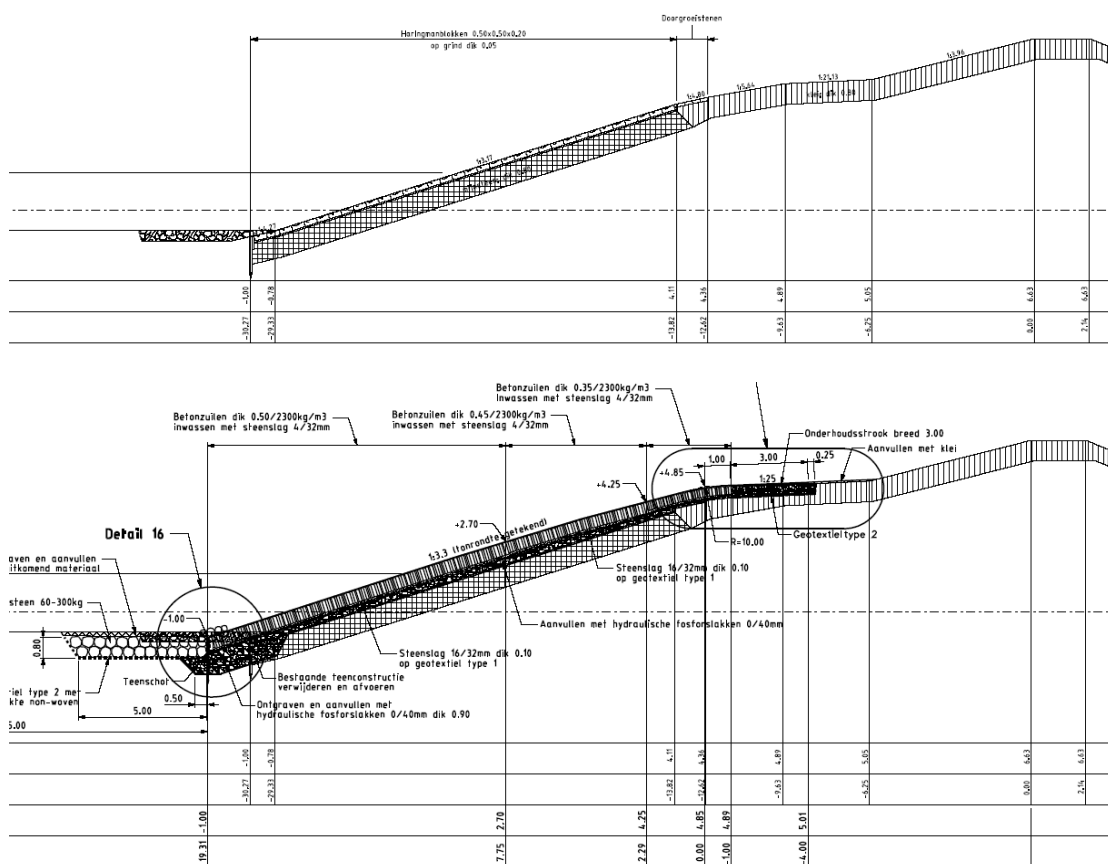
1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Het projectbureau Zeeweringen (www.zeeweringen.nl) renoveert alle onvoldoende getoetste (steen)bekledingen op dijken met een totale lengte van ongeveer 300 kilometer in Zeeland langs de Westerschelde, de Oosterschelde en de Noordzee. Het projectbureau is sinds 10 jaar op zoek naar een methode om de dikte van de bekleding te kunnen bepalen zonder al te veel breekwerk en met een veel grotere zekerheid dan nu het geval is.

Bij het bepalen van de dikte van de bekleding bestaan twee problemen. Het eerste is het verkrijgen van een goed beeld van de dikte van de (natuur)stenen toplaag op de dijk. Dit is bijna onmogelijk zonder hand- en breekwerk. Het probleem is dat deze stenen (basalt, ingegoten basalt, en/of betonzuilen) meestal op een filterlaag van puin of steenslag liggen, wat dus nagenoeg van hetzelfde materiaal is. Het tweede is het verkrijgen van een goed beeld van de dikte van de kleilaag onder de stenen toplaag. Ook de kleilaag speelt een belangrijke rol in het proces van de dijkveiligheid. Figuur 1 geeft een voorbeeld van de opbouw van een niet-gerenoveerde dijk met oude bekleding (boven), en van een wel gerenoveerde dijk met nieuwe bekleding (onder).

Figuur 1 – Opbouw van een oude en nieuwe dijk



Tijdens de uitvoering van het aanbrengen van dijkbekleding blijkt dat de aangenomen, steekproefsgewijs gemeten, dikte vaak niet klopt met alle gevolgen (tijd en geld) vandien. Het projectbureau Zeeweringen heeft al ervaring met ondermeer valgewichtdeflectie (VGD) metingen en radarmetingen. De laatste techniek bleek geschikt voor het zoeken naar holle ruimtes onder de dijkbekleding. Het probleem bij alle meetmethodes tot nu toe is echter het zoute milieu waarin gewerkt wordt. Het projectbureau is dus nog steeds op zoek naar een methode om de dikte van de bekleding te kunnen bepalen zonder al te veel breekwerk en met een veel grotere zekerheid dan nu het geval is.

1.2 Miramap Techniek

Het gebruik van passieve microgolven radiometers voor wetenschappelijke doeleinden is de laatste jaren sterk in opkomst. Zo worden er in de wetenschap radiometers gebruikt om op verschillende schalen bodemvocht, sneeuw en ijsdikte, neerslag, vegetatie dynamiek, windsnelheid en richting, water kwaliteit en temperatuur te meten. In de industrie wordt er nog op een beperkte schaal gebruik van gemaakt. Dit komt met name door de onbekendheid van deze technologie.

Miramap (www.miramap.com) heeft met ondersteuning van de Business Incubator van de European Space Agency in Noordwijk, speciaal voor water- en waterkeringenbeheerders in Nederland, een passieve microgolf scanner ontwikkeld die vanuit een vliegtuig de droogtevariaties in de grond nauwkeurig in beeld brengt. Uit recent onderzoek is ondermeer gebleken dat de techniek een behoorlijke bijdrage kan leveren aan de verbetering van hydrologische modellen en de inspectie van waterkeringen. Het systeem is operationeel en meet contactloos en betrouwbaar de locaties van droge en natte plekken. Gekwantificeerde bodemvochtkaarten en grondwaterkaarten correleren zeer goed met in-situ metingen en de scanner heeft nauwelijks een bias.

Passieve microgolven radiometers zijn vergelijkbaar met thermisch infrarood sensoren alleen meten passieve microgolven radiometers de emitterende energie in het millimeter tot decimeter microgolven bereik. Deze energie wordt gemeten in de vorm van helderheidstemperaturen (T_b) en de observatie met de radiometer kan met een coherent (lagen) model beschreven worden volgens (Wilheit, 1978) als:

$$T_{b,p} = \sum_{i=1}^N f_i T_i \quad (1)$$

Waar p de polarizatie aangeeft (Horizontaal of Vertikaal), i beschrijft de betreffende laag aan ($i=1,2,3,\dots$ lagen index), f_i is de absorptie van de electromagnetische energie en T de temperatuur van de betreffende laag. De factor f is een directe functie van bodemeigenschappen en varieert naarmate het vocht, zoutgehalte of het materiaal varieert en is te bepalen met een dielectrisch mixing model zoals het model van Wang en Schmutge.

Om de effecten van bodem op L-band observaties beter in kaart te brengen maken we gebruik van dit model en bestuderen we de gevoeligheid van de sensor op verandering in bodemlagen, en bodemvocht.

Speciaal voor deze proef heeft Miramap een handzame L-band radiometer ontwikkeld die is gemonteerd op een kar, waarmee op een dijk detailmetingen worden uitgevoerd (Figuur 2). Simultaan worden thermische infrarood opnamen gemaakt, zodat de temperatuur T in bovenstaand model nauwkeurig wordt bepaald.

Figuur 2 – L-band en thermische infrarood metingen op de dijk



1.3 Hoofdvragen

Dit project heeft als doel inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van passieve microgolf radiometrie en bijbehorende modellen om de dikte van de steenlaagbekleding en van de daaronder liggende kleilaag in beeld te brengen. Hiertoe zijn de volgende twee deelvragen beantwoord:

1. Is het Miramap systeem in staat om de natuurlijke elektromagnetische straling van het land te meten en deze om te zetten in zogenaamde helderheidstemperatuur kaarten, en wat is het detailniveau?
2. Zo ja, kunnen uit deze helderheidstemperatuur kaarten de dikte van de steenlaag en van de daaronder liggende kleilaag worden afgeleid, en hoe nauwkeurig kan dat?

2. Projectuitvoering en Resultaten

2.1 Projectgebied

De proefmetingen zijn uitgevoerd op 19 november 2008 over twee vakken aan de Oosterschelde aan de zuidkant van de Zeelandbrug (Figuur 3). Daar zijn een stuk bestaande bekleding ter hoogte van dijkpaal 1803 en stuk nieuwe bekleding ter hoogte van dijkpaal 1796 gemeten, van top tot teen bij laag water (Figuur 4). Met deze twee vakken is zo ongeveer het hele scala aan steenbekledingen in Zeeland en bijna heel Nederland te beslaan. Er zit ook verschil in ondergrond, zowel in samenstelling als dikte. De proefgebieden zijn patroonsgewijs ingemeten.

Figuur 3 – Projectlocatie



Figuur 4 – Oude (links) en Nieuwe (rechts) Bekleding



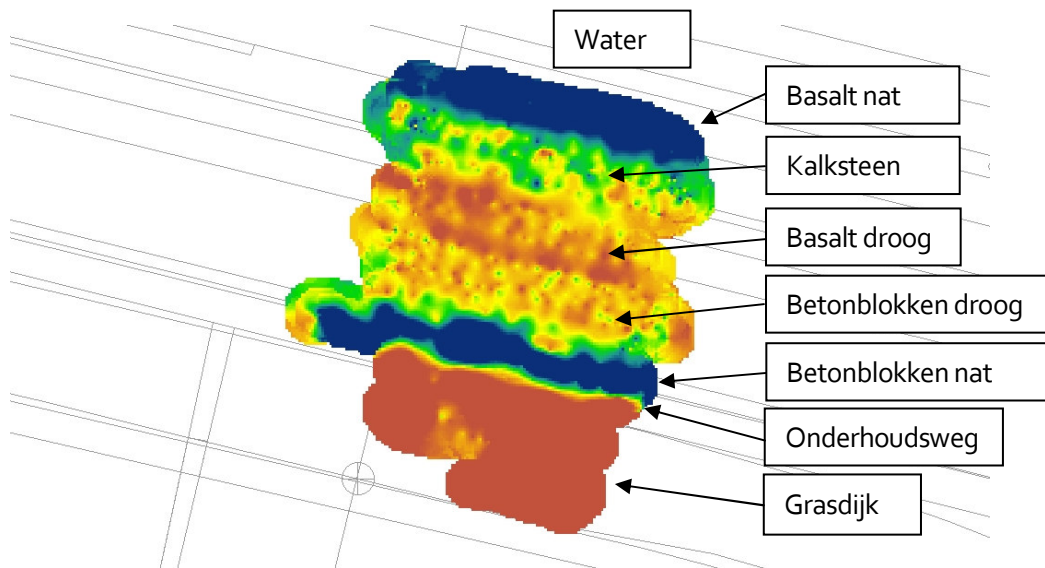
2.2 Resultaten Onderzoek

Op basis van de ingewonnen data zijn de deelvragen van dit onderzoek als volgt beantwoord.

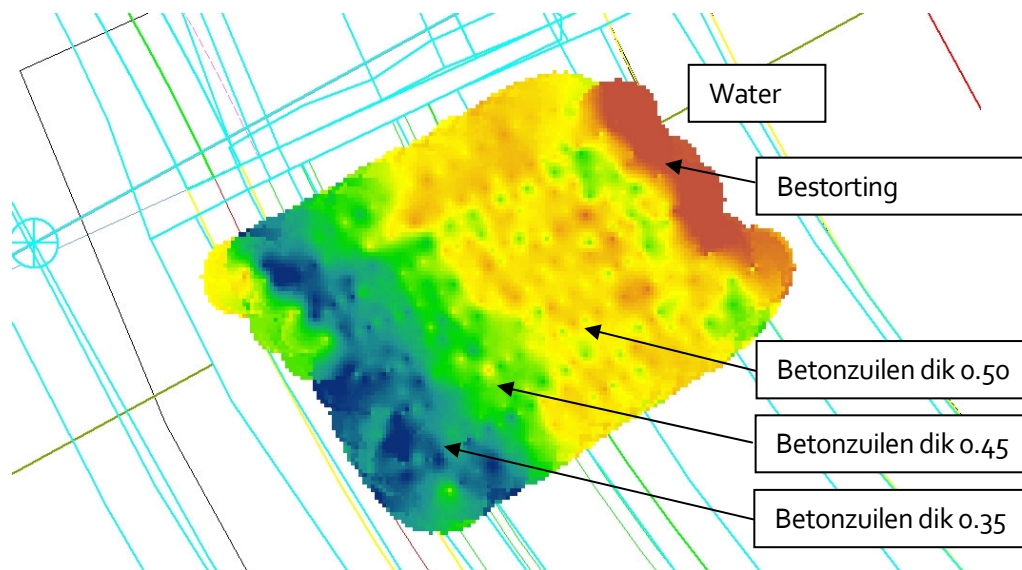
1. Is het Miramap systeem in staat om de natuurlijke elektromagnetische straling van het land te meten en deze om te zetten in zogenaamde helderheidstemperatuur kaarten, en wat is het detailniveau?

Onderstaande Figuren 5, 6 en 7 tonen de geo-gerefereerde helderheidstemperatuur kaarten van respectievelijk de oude bekleding, de nieuwe bekleding, en het traject over de onderhoudsweg tussen beide vakken. Het is een eerste resultaat van wat er met de Miramap techniek te 'zien' valt op verschillende bekledingen. Het detailniveau ligt op een grondpixelgrootte van 20 cm. De lijnenbestanden zijn geografische Digitale Terrein Bestanden van Rijkswaterstaat.

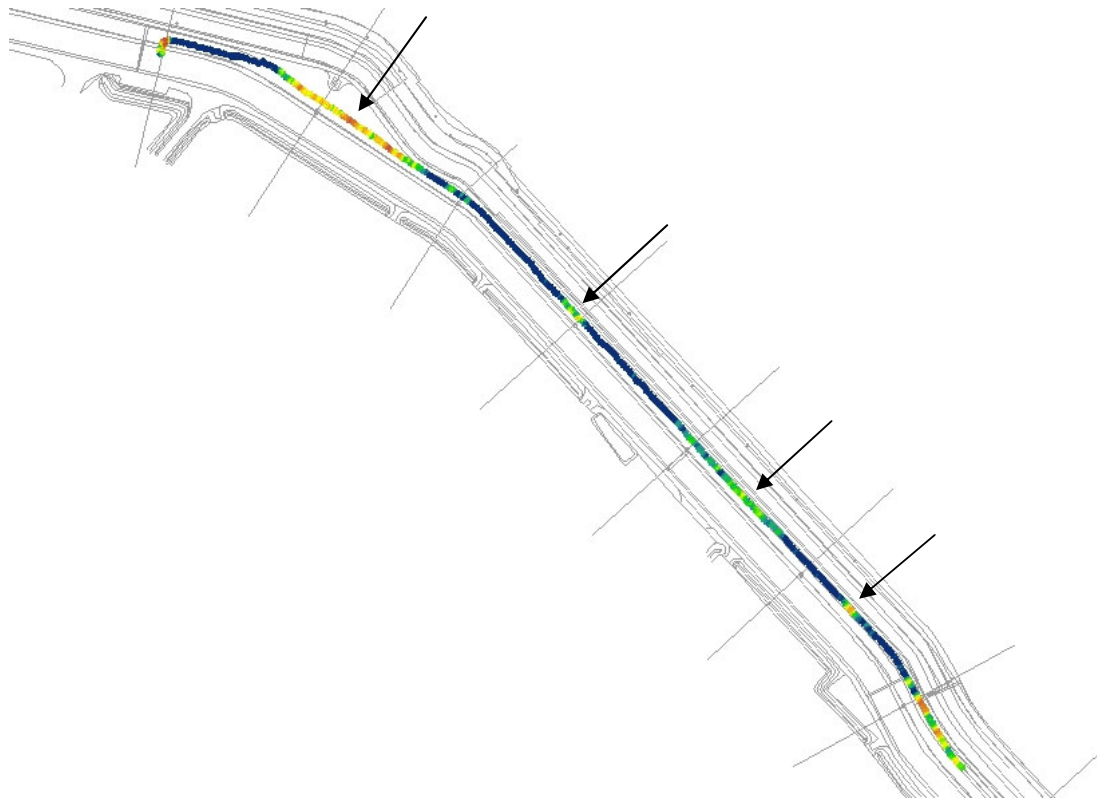
Figuur 5 – Helderheidstemperatuurkaart Oude Bekleding



Figuur 6 – Helderheidstemperatuurkaart Nieuwe Bekleding



Figuur 7 – Helderheidstemperatuurkaart Dijktraject



Bovenstaande helderheidstemperatuur kaarten zijn weergegeven in een kleurcodering tussen 210 K (donkerblauw) en 245 K (rood). In Figuren 5 en 6 zijn duidelijk de verschillende opeenvolgingen te zien. Zo is bij de oude bekleding te zien dat rood de grasdijk is, blauw bovenaan betonblokken met water aan het oppervlak door drainage van de grasdijk, daaronder droge betonblokken, donker oranje zijn de droge basaltblokken, groen het kalksteen en donkerblauw de natte basaltblokken. Bij de nieuwe bekleding zijn de verschillende dikten betonzuilen waar te nemen, daaronder is de bestorting zichtbaar in rood.

De variaties in het dijktraject van Figuur 7 worden veroorzaakt door verschillen in bodemvocht en ondergrond langs de onderhoudsweg. Ter validatie van de L-band observaties is tijdens de metingen een netwerkje van vijf bodemsensoren geplaatst, die ieder gelijktijdig bodemvocht, elektrische conductiviteit en temperatuur hebben gelogd (Figuur 8).

Uit de gemiddelde bodemvochtwaarden uit de veldsensoren en de L-band observaties is de volgende lineaire relatie verkregen:

$$\text{Bodemvocht} = -0.61 * T_B + 171.51 \text{ (S.E.E} = 1 \text{ Vol.\%, n=5 en R2=0.97)} \quad (2)$$

Als je dit toepast op het dijktraject van Figuur 7 krijg je een bodemvocht range tussen de 18 en 58 volume procent. Dat lijkt een hele geloofwaardige range, omdat het verzadigingspunt van klei vaak rond de 50 en 60 procent zit. 18 procent is wel erg droog, maar dat kan wel weer als daar de klei wat zandiger is.

Figuur 8 - Grondsensoren voor gevalideerde data



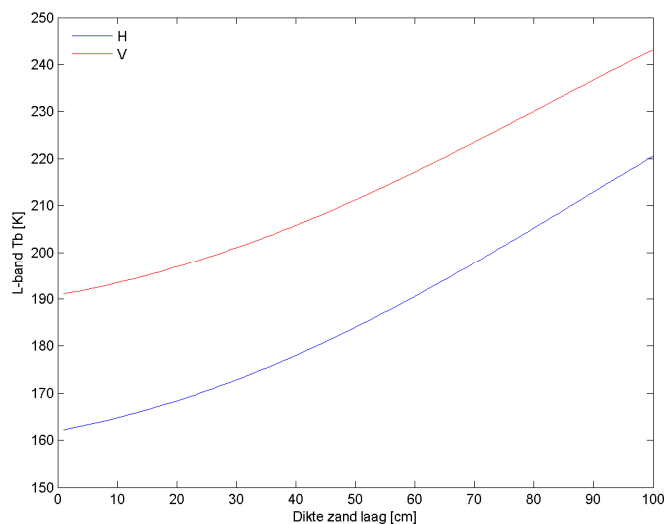
2. Zo ja, kunnen uit deze helderheidstemperatuur kaarten de dikte van de steenlaag en van de daaronder liggende kleilaag worden afgeleid, en hoe nauwkeurig kan dat?

Om de effecten van bodem op L-band observaties beter in kaart te brengen maken we gebruik van het coherent (lagen) model en bestuderen we de gevoeligheid van de sensor op verandering in bodemlagen, en bodemvocht. Hiertoe zijn twee simulaties uitgevoerd.

Simulatie 1: we beschrijven een 2 m dik profiel opgedeeld in 200 lagen. De temperatuur, uit de thermische infraroodcamera, is gelijk gezet over het gehele profiel ($T = 283$ K). Verder verdelen we het profiel in 50 cm betonzuilen (50 lagen) aan de top gevolgd door een variërende zandlaag en een kleilaag daaronder. De zandlaag laten we dan variëren van 0 cm tot 100 cm, en de kleilaag daaronder van 150 tot 50 cm. Overigens zou het meer realistisch zijn om de steenslaglaag te laten variëren van 6 tot 10 cm, de kleilaag daaronder tot 144 cm.

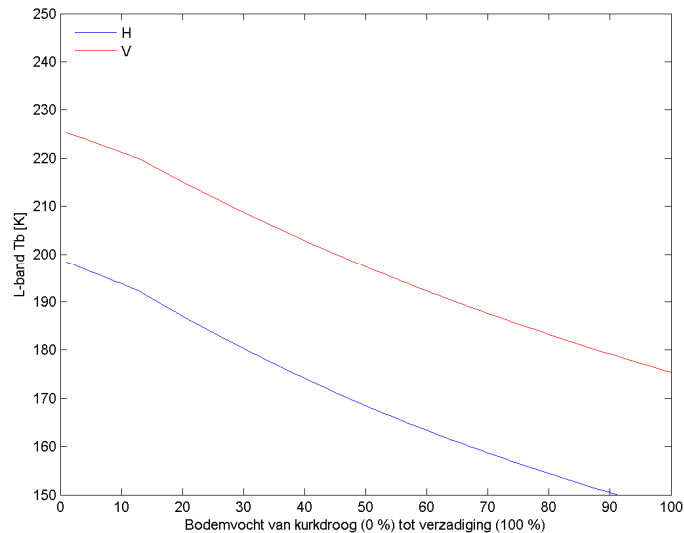
Uit deze simpele studie blijkt direct dat L-band observaties gevoelig zijn voor veranderingen in lagen in de ondergrond (Figuur 9). Met Miramaps instrumenten nauwkeurigheid van 0,5 K is het in dit geval mogelijk om dikte verschillen in het zand pakket van +/- 2,5 cm te registreren.

Figuur 9 – Simulatie L-band observaties versus Laagdikte



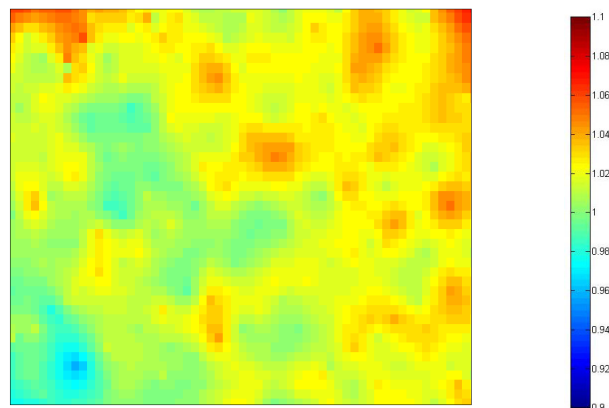
Simulatie 2: we beschrijven een 2 m dik profiel opgedeeld in 200 lagen. De temperatuur is gelijk gezet over het gehele profiel ($T = 283 \text{ K}$). Verder verdelen we het profiel in 50 cm beton (50 lagen) aan de top gevolgd door 10 cm zand (10 lagen) en een 140 cm dikke kleilaag. Nu laten we het profiel geleidelijk toenemen van kurkdroog naar verzadiging. Figuur 10 geeft de gevoeligheid van L-band observaties voor bodemvocht weer.

Figuur 10 – Simulatie L-band observaties versus Bodemvocht



Door de ratio te gebruiken tussen horizontale en verticale polarisatie worden de effecten door verschillen in temperatuur geëlimineerd. In Figuur 11 wordt ingezoomd op interne structuren. Dit ligt met name aan emissiviteitsverschillen wat vocht kan zijn of een verschil in laag dikte. Duidelijk is in ieder geval dat de L-band radiometer gevoelig genoeg is om verschillen onder de betonblokken waar te nemen. Dit is ook in lijn met de theorie.

Figuur 11 – Interne structuren onder de betonzuilen



Extra informatie over de dielectrische constanten van de verschillende materialen, en een meer realistische opbouw van de grondlagen voor de simulaties moet een verklaring van dit soort patronen opleveren. De dielectrische constanten zijn in een nader onderzoek te meten in het lab van de VU. Op basis van enkele geschatte waarden uit de literatuur komen we uit op +/- 1 graad verschil voor 1 cm verschil in de steenslag laag, onder droge condities.

3. Conclusies en Aanbevelingen

Miramap, de Vrije Universiteit Amsterdam en Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen hebben in opdracht van het Innovatie Test Centrum van Rijkswaterstaat de toepasbaarheid van passieve microgolf radiometrie voor inspectie waterkeringen onderzocht. Hiertoe zijn proefmetingen uitgevoerd op 19 november 2008 over twee vakken aan de Oosterschelde aan de zuidkant van de Zeelandbrug, welke representatief zijn voor bijna alle steenbekledingen in heel Nederland.

In de geo-gerefereerde helderheidstemperatuur kaarten zijn duidelijk de verschillende opeenvolgingen van bedekkingen van zowel de oude als nieuwe bekleding te zien. Metingen over een onderhoudsweg op de dijk levert een bodemvocht range tussen de 18 (droog, zand) en 58 (verzadigd klei) volume procent.

Om de effecten van bodem op L-band observaties beter in kaart te brengen maken we gebruik van het coherent (lagen) model en bestuderen we de gevoeligheid van de sensor op verandering in bodemlagen, en bodemvocht. Hiertoe zijn twee simulaties uitgevoerd. Er blijkt direct dat L-band observaties gevoelig zijn voor veranderingen in lagen in de ondergrond. Met Miramaps instrumenten nauwkeurigheid van 0,5 K is het in dit geval mogelijk om dikte verschillen van +/- 2,5 cm te registreren.

Door de ratio te gebruiken tussen horizontale en verticale polarisatie worden de effecten door verschillen in temperatuur geëlimineerd, en de nauwkeurigheid verbeterd. Extra informatie over de dielectrische constanten van de verschillende materialen, en een meer realistische opbouw van de grondlagen voor de simulaties moet een verklaring van dit soort patronen opleveren. Voorgesteld wordt om de dielectrische eigenschappen van de specifieke materialen in een nader onderzoek te meten in het lab van de VU, waarna een concrete weergave van de dikte van de steenlaag en van de daaronder liggende zand- en kleilaag wordt afgeleid, met de gewenste nauwkeurigheid. De projectpartners stellen hiervoor graag een projectvoorstel op.

#

Bijlage 1: Publicaties

- Bellerby, T.J., Taberner, M. and Wilmshurst, A., 1999. Passive microwave retrieval of ocean surface windspeeds for British coastal waters. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2578-2584.
- Chang, A.T.C., Foster, J.L., Owe, M., Hall, D.K. and Rango, A., 1985. Passive and Active Microwave Studies of Wet Snowpack Properties. *Nordic Hydrology*, 16(2): 57-66.
- De Jeu, R. et al., 2008. Global Soil Moisture Patterns Observed by Space Borne Microwave Radiometers and Scatterometers. *Surveys in Geophysics*, In Press.
- Hilburn, K.A. and Wentz, F.J., 2008. Intercalibrated passive microwave rain products from the unified microwave ocean retrieval algorithm (UMORA). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(3): 778-794.
- Holmes, T.R.H., De Jeu, R.A.M., Owe, M. and Dolman, A.J., 2008. Land Surface Temperatures from Ka-Band (37 GHz) Passive Microwave Observations. *Journal of Geophysical Research*, In Press.
- Le Vine, D.A., Lagerloef, G.S.E., Colomb, F.R., Yueh, S.H. and Pellerano, F.A., 2007. Aquarius: An instrument to monitor sea surface salinity from space. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(7): 2040-2050.
- Njoku, E.G. and Chan, S.K., 2006. Vegetation and surface roughness effects on AMSR-E land observations. *Remote Sensing of Environment*, 100(2): 190-199.
- Shutko, A.M., 1982. Microwave radiometry of lands under natural and artificial moistening, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-20, 18-26.
- Shutko, A.M., 1986. *Microwave Radiometry of Water Surface and Grounds*, Nauka/Science Publ. House, Moscow (In Russian). English translation is available: FTD-ID (RS) T-0584-89, Microfiche NR: FTD 89C-000798 L, 1989.
- Shutko, A.M., 1987. Remote sensing of waters and land via microwave radiometry (The principles of method, problems feasible for solving, economic use). *Proc. Study Week on Remote Sensing and Its Impact on Developing Countries*, Pontifical Academy of Sciences, Vatican City, 413-441.
- Shutko, A.M., 1992. Soil-vegetation characteristics at microwave wavelengths, Chapter 5, *TERRA-1: Understanding the Terrestrial Environment. The Role of the Earth Observations from Space*, Taylor & Francis, London-Washington D.C., 53-66.
- Shutko, A.M., 1997. Remote sensing of soil moisture and moisture related parameters by means of microwave radiometry: instruments, data, and examples of application in hydrology, *NATO ASI Series, Series I: Global Environmental Change*, vol.46, *Land Surface Processes in Hydrology, Trials and Tribulations of Modeling and Measuring*, Ed. by S.Sorooshian, H.V.Gupta, J.C.Rodda, Springer, 263-273.
- Wang, J.R. and Schmugge, T.J., 1980. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content. *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.*, 18: 288-295.
- Wilheit, T.T., 1978. Radiative Transfer in a Plane Stratified Dielectric. *IEEE-Trans.-Geos.-Electr.*, 16(2) 1978: 138-143.