



**Duurzame funderingen door in situ recycling
met schuimbitumenttechnologie**

PART VI:

Syntheserapport

Proefvakken

All rights reserved FOAM-Team



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

**AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN**



Vlaanderen
is ondernemen

Project “Duurzame funderingen door in-situ recycling met schuimbitumenttechnologie”
“FOAM-project”

Title report: PART VI: Syntheserapport Proefvakken

Version and date: 03-02-2023 v.1

Status report: Final

Project Coördinator : Wim Van den bergh; wim.vandenbergh@uantwerpen.be ; +32 486 79 86 86

Reporting : Karolien Couscheir; karolien.couscheir@uantwerpen.be

Project funded by VLAIO – Flemish Government (Grant HBC.2020.2094) and in collaboration with industry

Project Team Partners: UAntwerpen, BRRC and Odisee

Project Sector Partners: Agentschap Wegen en Verkeer, stad Antwerpen, North Sea Port, Lareco, COPRO, Topcon, VlaWeBo, Cementbouw, Ingevity, BESIX, Viabuild, Colas, Willemen Infra, DIBEC, Wirtgen Group, De Bruycker-kemp, Bomag

1	Inleiding.....	6
1.1	Projectbeschrijving	6
1.2	Proefvakken.....	6
1.2.1	Doelstelling van de proefvakken	6
1.2.2	Randvoorwaarden en zoektocht naar geschikte proefvakken.....	6
1.2.3	Near situ versus in situ.....	7
2	Proefvak Viabuild.....	8
2.1	Introductie proefvak 1.....	8
2.1.1	Beschrijving.....	8
2.1.2	Projectteam.....	8
2.1.3	Methode en gebruikt materieel: uitvoering.....	9
2.1.4	Verschillende secties	9
2.1.5	Fasering uitvoering	10
2.2	Structuur wegverharding proefvak 1	10
2.3	Mengselontwerp proefvak 1	11
2.4	Onderfundering proefvak 1	11
2.5	Uitvoering proefvak 1	13
2.5.1	Productie BSM	13
2.5.2	Transport BSM.....	14
2.5.3	Sprediden BSM.....	15
2.5.4	Verdichten BSM.....	17
2.5.5	Asfalteren	18
2.6	Bepalen watergehalte BSM.....	19
2.7	Laagdiktemeting MIT-SCAN.....	19
2.8	Nucleaire dichtheidsmetingen.....	20
2.9	Proefstukken gemaakt uit gesampled materiaal.....	22
2.9.1	Nemen van samples.....	22
2.9.2	Proctor op gesampled materiaal	22
	ITS op gesampled materiaal.....	22
2.9.3	Triaxiaal proeven op gesampeld materiaal	23
2.9.4	Cyclische triaxiaalproeven op gesampeld materiaal.....	23
2.10	Boorkernen	24
2.10.1	Het boren van kernen	24
2.10.2	Diktemetingen boorkernen	25

2.11	Valgewichtmetingen	26
2.12	Radarmetingen.....	30
3	Proefvak Lareco	31
3.1	Introductie proefvak 2.....	31
3.1.1	Beschrijving.....	31
3.1.2	Projectteam.....	31
3.1.3	Methode en gebruikt materieel: uitvoering	32
3.1.4	Fasering uitvoering	32
3.2	Structuur wegverharding proefvak 2	32
3.3	Mengselontwerp proefvak 2	33
3.4	Onderfundering proefvak 2	33
3.5	Uitvoering proefvak 2	34
3.5.1	Productie BSM	34
3.5.2	Transport BSM.....	35
3.5.3	Spreiden BSM.....	36
3.5.4	Verdichten BSM.....	37
3.5.5	Probleem met klei in de onderfundering.....	38
3.5.6	Asfalteren	40
3.6	Bepalen watergehalte BSM.....	40
3.7	Laagdiktemeting MIT-SCAN.....	41
3.8	Nucleaire dichtheidsmetingen.....	43
3.9	Proefstukken gemaakt uit gesampled materiaal	44
3.9.1	Proctor op gesampled materiaal	44
	ITS op gesampled materiaal.....	44
3.9.2	Triaxiaalproeven op gesampled materiaal	45
3.10	Boorkernen	45
3.10.1	Het boren van kernen	45
3.10.2	Diktemetingen boorkernen	46
3.11	Valgewichtmetingen op asfalt toplaag	47
4	Conclusies.....	49
4.1	Uitvoering.....	49
4.1.1	Productie BSM	49
4.1.2	Spreiden BSM met asfaltspreidmachine.	49
4.1.3	Verdichting.....	50

4.2	Handhaven dikte	50
4.3	Handhaven dichtheid	50
4.4	FWD-metingen.....	50
4.5	ITS- en ITSr metingen op gesampled materiaal	50
4.6	Radarmetingen.....	51
5	Aanbevelingen.....	52
5.1	Productie met KMA240i	52
5.2	Spreaden en verdichten van BSM	53
6	Annex.....	54
6.1	Annex A : Rapport radarmetingen Odisee.....	54
6.2	Annex B: Rapport radarmetingen OCW	55

1 Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

Het Tetra project HBC.2020.2094 “Duurzame funderingen door in-situ recycling met schuimbitumenttechnologie” – kortweg “FOAM-project” genoemd – heeft als globaal doel het technisch, economisch en ecologisch aftoetsen van de schuimbitumenttechnologie voor funderingen opdat het innovatief gebruik ervan leidt tot een duurzamere funderingslaag en die vervolgens te verspreiden voor verdere implementatie. Het project startte op november 2020 werd gefinaliseerd op 31 oktober 2022. Het project werd uitgevoerd door de Universiteit Antwerpen, het Onderzoekscentrum voor de Wegenbouw en Odisee hogeschool en gefinancierd door VLAIO.

Om duurzame wegstructuren te bekomen dient niet enkel aandacht besteed te worden aan de asfaltverharding, ook de fundering speelt hierbij een doorslaggevende rol. Bitumen Stabilized Material “BSM” is een materiaal waarbij de granulaten – in dit project 100 % asfaltgranulaat – bij elkaar gehouden worden door maximum 3 % schuimbitumen of bitumenemulsie. In het FOAM-project werd het gebruik van BSM als funderingsmateriaal getest, en onderzocht wat de impact is op structureel, ecologisch en economisch vlak. Het project resulteerde in een methode voor mengselontwerp en structureel wegontwerp met BSM die door middel van de aanleg van proefvakken werden gedemonstreerd. Deze proefvakken worden verder opgevolgd door een monitoringcampagne.

De rapportage van het FOAM-project bestaat uit 6 rapporten.

- PART I: Managementrapport FOAM-project
- PART II: Market Potential for BSM in Flanders
- PART III: Mix design of BSM
- PART IV: Structural design of pavements with BSM
- PART V: Sustainability Assessment of pavements with BSM
- **PART VI: Synthese rapport proefvakken**

In dit rapport “Synthese-rapport proefvakken” worden de aanleg en monitoring van de proefvakken met BSM beschreven.

1.2 Proefvakken

1.2.1 Doelstelling van de proefvakken

Het project is opgebouwd als kennisopbouw rond twee (oorspronkelijk drie) demonstratieve proefvakken. Als voorbereiding van deze proefvakken worden subcommissies opgericht en nadien worden de resultaten telkens besproken in de ruimere gebruikerscommissie. Hierdoor is er tijdens het project reeds kennisdoorstroming en tijdens de demonstraties wordt tevens het publiek uitgenodigd. Van elk proefvak wordt de technische impact van deze innovatieve technologie op gebied van mengselontwerp, mechanische eigenschappen en controlemogelijkheden bepaald.

1.2.2 Randvoorwaarden en zoektocht naar geschikte proefvakken

Om deze technologie goed te kunnen demonstreren is het belangrijk om over een geschikte locatie te beschikken. Vooraf werden enkele randvoorwaarden voor de proefvakken gedefinieerd. De onderzoeksgroep ging op zoek naar:

- Bestaande weg die volledig gerenoveerd moest worden

- Zonder riooldeksels in de weg om de in situ techniek te kunnen demonstreren
- Een weg met voldoende lengte (liefst >400m)
- Gelijke verkeersbelasting over de volledige lengte van het proefvak
- Een locatie waar het afwerkniveau tot 6cm hoger kan liggen dan het huidige
- Uitvoeringen vóór oktober 2022

Verschillende wegbeheerders toonde interesse in deze technologie. Een eerste proefvak werd snel na het uitsturen van de oproep vastgelegd. Een uitvoering van een nieuwe weg op een nieuwe site van Viabuild. Er was geen bestaande weg aanwezig om eventueel de in situ techniek te demonstreren dus het eerste proefvak zou een near situ uitvoering worden met de KMA-installatie van Wirtgen.

De zoektocht naar andere proefvakken ging verder. Verschillende lokale en gewestelijke besturen toonde interesse om de techniek op hun grondgebied te testen. Acht potentiële proefvakken werden vooraf geïnspecteerd door OCW. Op sommige locaties werden proefboringen (zie Figuur 1) gedaan om de bestaande toestand in kaart te brengen.



Figuur 1: uitvoeren van proefboringen

Gezien de focus ondertussen gericht was op de in situ techniek zijn er verschillende potentiële proefvakken weggevallen. De aanwezigheid van riooldeksels maakt het onmogelijk om deze techniek in te zetten. De overgebleven locaties waar de techniek eventueel had kunnen ingezet worden (lokale wegen zonder riooldeksels) zijn omwille van verschillende redenen alsnog niet kunnen doorgaan.

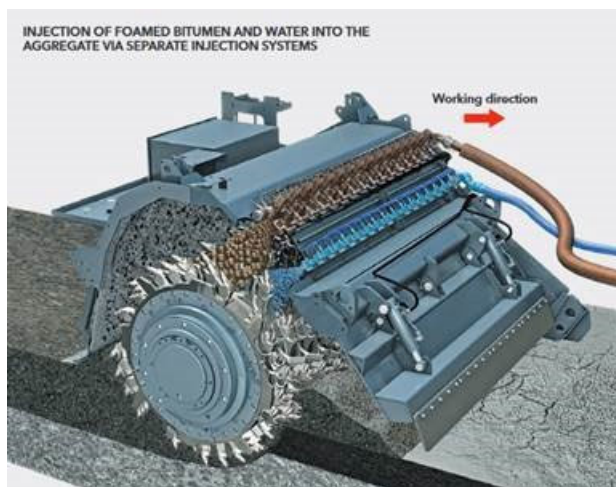
Ondertussen werd het eerste proefvak bij Viabuild uitgevoerd. Tijdens het bezoek aan de uitvoering, uitte de firma Lareco uit Bornem zijn interesse in deze techniek. Zij wenste dezelfde techniek in te zetten bij de heraanleg van hun eigen bedrijfsterrein. Een derde proefvak met de in situ techniek is niet meer tot stand kunnen komen.

1.2.3 Near situ versus in situ

Er zijn 2 manieren waarop BSM kan aangelegd worden: near situ en in situ. Deze technieken staan beschreven in het eindrapport “Part II: Market Potential for BSM in Flanders”, maar de basisprincipes worden hieronder kort weergegeven:

Bij de in situ techniek wordt er doorgaans gestart vanuit een bestaande asfaltverharding die einde levensduur is en wordt afgefreesd. In plaats van alle materiaal te transporteren naar een asfaltcentrale en nieuw materiaal terug naar de werf te brengen wordt er ter plaatse, onmiddellijk bij affrezen,

bitumenemulsie of schuimbitumen, water en een kleine hoeveelheid cement mee aan de granulaten toegevoegd (zie Figuur 2) en wordt er BSM gevormd. Deze dient achteraf enkel verdicht te worden.



Figuur 2: in situ recycling

Bij de near situ techniek wordt de BSM geproduceerd in een mobiele productie-unit (zoals bv de KMA240i van Wirtgen, zie 2.1.3). Deze unit staat bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de aan te leggen weg om transportafstanden te reduceren. Het asfaltgranulaat dat gebruikt wordt voor de aanmaak van de BSM kan afkomstig zijn van het affrezen van de bestaande asfaltverharding of kan van een andere werf komen.

2 Proefvak Viabuild

2.1 Introductie proefvak 1

2.1.1 Beschrijving

Het eerste proefvak dat aangelegd werd in het kader van het FOAM-project was een proefvak op de site van Viabuild (Vilvoordse steenweg 126, Neder-Over-Heembeek). Viabuild heeft een nieuwe site gekocht waar een betoncentrale op gebouwd wordt; het proefvak is de toegangsweg voor vrachtwagens om granulaten aan te leveren aan deze betoncentrale.

Het verwachte verkeer bedraagt 11.000 geladen vrachtwagens per jaar. Er is in overleg voor gekozen dit proefvak als bouwklasse B6 te ontwerpen.

De aanleg heeft plaats gevonden op donderdag 9 en vrijdag 10 juni. Het is een belangrijke opmerking dat het de dag voor de aanleg van het proefvak zwaar geregend heeft waardoor het asfaltgranulaat volledig doorweekt was. Ook de onderfundering is hierdoor beïnvloed geweest. Tijdens de aanleg zelf bleef het droog en zonnig.

Op vrijdag 10 juni werd de gebruikersgroep van het FOAM-project uitgenodigd om de productie van de BSM en de aanleg van de BSM-funderingslaag mee op te volgen.

2.1.2 Projectteam

Viabuild was zowel de bouwheer als de uitvoerder van alle werken. Viabuild heeft zelf de afgravingen gedaan en de onderfundering geplaatst. Ook het eigenlijke proefvakgedeelte, namelijk het produceren van de BSM en het aanleggen van de funderingslaag met BSM werd door Viabuild uitgevoerd. Na aanleg van de BSM heeft Viabuild de asfaltlaag aangelegd.

De BSM werd geproduceerd met de KMA 240i van Wirtgen. Tijdens de uitvoering van het proefvak kon het onderzoeksteam rekenen op de nodige steun van Loudon International (aanleg) en Wirtgen (productie en aanleg).

Het mengselontwerp is gebeurd door de Universiteit Antwerpen en het OCW. Zij werden hiervoor ondersteund door Wirtgen en Loudon International. Het granulaat dat gebruikt werd was asfaltgranulaat geleverd door Viabuild.

Ook het structureel ontwerp van de wegverharding is gebeurd door de Universiteit Antwerpen en het OCW. Zij werden hiervoor ondersteund door Wirtgen en Loudon International.

Odisee was verantwoordelijk voor het coördineren en tevens uitvoeren van radarmetingen. Het OCW heeft eveneens radarmetingen uitgevoerd.

AWV heeft diktemetingen uitgevoerd met de MIT-SCAN en heeft valgewichtmetingen uitgevoerd.

2.1.3 Methode en gebruikt materieel: uitvoering

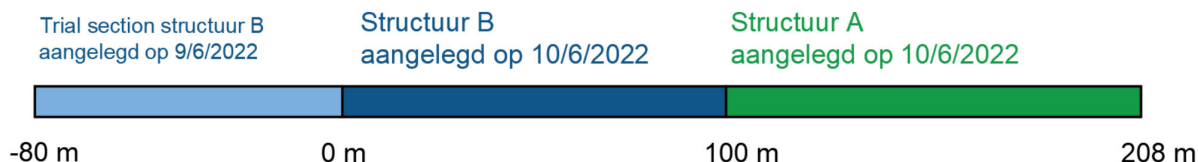
BSM kan aangemaakt worden door in-situ in te frezen of gebruik te maken van een mobiele productie-unit. Aangezien het hier om een volledig nieuwe weg ging is er een mobiele productie-unit gebruikt. Deze productie-unit was de KMA240i van Wirtgen (zie Figuur 3).



Figuur 3: KMA 240i gebruikt tijdens proefvak 1

2.1.4 Verschillende secties

Door de mogelijkheden die BSM biedt op vlak van vlakheid en mechanische eigenschappen, is het mogelijk om een goede wegverharding te verkrijgen met enkel een asfalttoplaag op de BSM-fundering. Om dit te kunnen demonstreren is het proefvak in 2 secties opgesplitst waarbij 2 wegstructuren berekend zijn: één mét asfaltonderlaag (structuur A) en één zonder asfaltonderlaag (structuur B). Deze 2 secties liggen vlak achter elkaar en zullen aan exact dezelfde belasting onderworpen worden. Op deze manier kunnen de 2 secties met elkaar vergeleken worden.

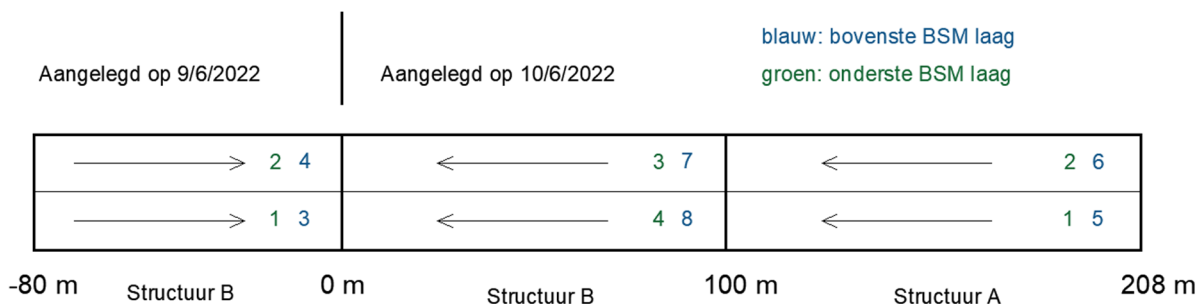


Figuur 4: drie testsecties van proefvak 1

80 m voor de start van sectie B was er nog een gedeelte weg die aangelegd moest worden, maar die op vlak van belasting wijzigt ten opzichte van de eigenlijke 2 proefsecties. Dit gedeelte is ook aangelegd met BSM (z nder onderlaag) de dag voor de aanleg van de eigenlijke proefsecties, zodat er reeds ervaring kon worden opgedaan op vlak van productie en aanleg.

2.1.5 Fasering uitvoering

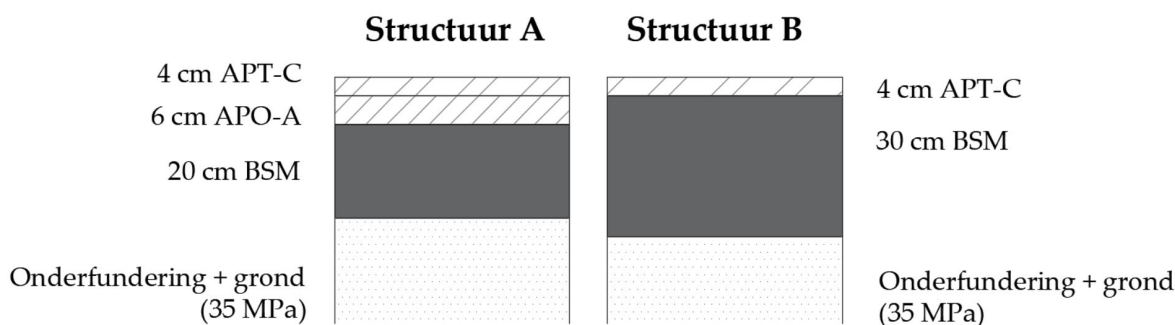
De fasering van de werken – opdeling in rijvakken, rijrichting en volgorde van aanleg – zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: schematische weergave van de aanleg van proefvak 1

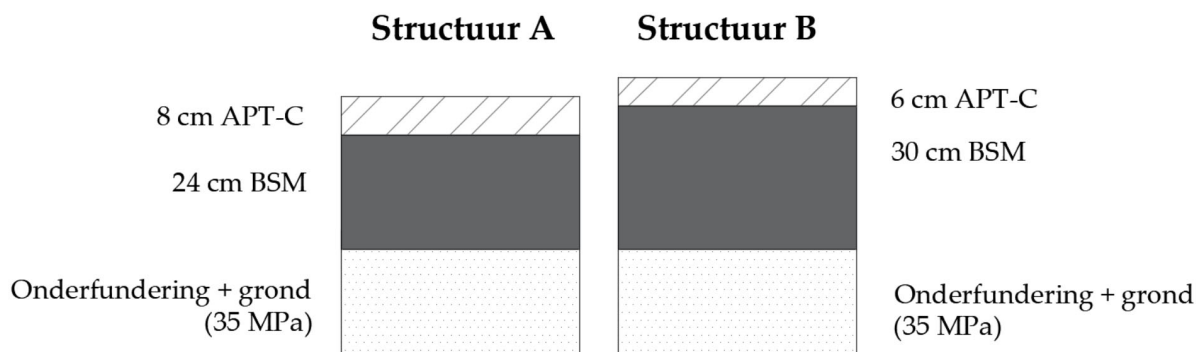
2.2 Structuur wegverharding proefvak 1

De resultaten van het structureel wegontwerp voor proefvak 1 zijn weergegeven in het eindrapport "PART IV: Structural design of pavements with BSM ". De resultaten van dit onderzoek leidden tot de wegstructuur weergegeven Figuur 6.



Figuur 6: wegstructuur proefvak 1 zoals ontworpen

De wegverharding die uiteindelijk is aangelegd door de aannemer is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: wegstructuur proefvak 1 zoals beoogd bij uitvoering

2.3 Mengselontwerp proefvak 1

De resultaten van het mengselontwerp zijn weergegeven in het eindrapport "Part III: Mix design of BSM". De resultaten van dit onderzoek leidden tot de volgende samenstelling van BSM voor gebruik in proefvak 1:

- 100 % gebroken asfaltgranulaat 0/20
- 1 % cement CEM III 42,5
- 2,2 % Bitumen B70/100
- 5,7 % water *

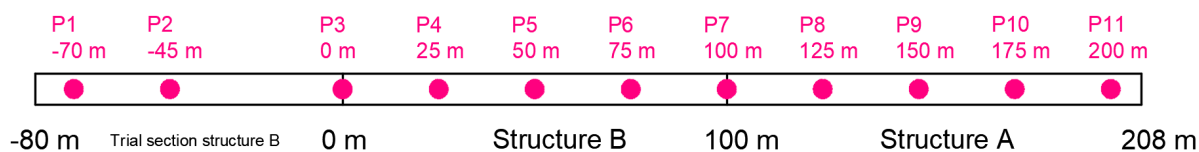
* Er wordt hier reeds opgemerkt dat door de hevige regenval het watergehalte in het asfaltgranulaat veel hoger was dan voorzien, waardoor het beoogde percentage water van 5,7 % (optimum) overschreden werd bij de productie. Dit kan ervoor zorgen dat de beoogde dichtheid niet behaald wordt. Idealiter bevat het asfaltgranulaat 60% tot 70% van het optimum watergehalte voor de productie, zodat tijdens de productie het watergehalte tot het optimum kan bijgestuurd worden.

De beoogde densiteit van de BSM-verharding bedroeg 2030 kg/m³.

2.4 Onderfundering proefvak 1

Oorspronkelijk dacht men de BSM op de oude onderfundering van de bestaande weg langs het kanaal te gaan plaatsen. Door een verandering van positie en niveau is dit niet mogelijk gebleken en moest er daarom een nieuwe onderfundering geplaatst worden. Deze werd uitgevoerd in asfaltpuin de dag voor het aanbrengen van de BSM.

Om de kwaliteit van de onderfundering te controleren werden er plaatproeven uitgevoerd op de locaties aangeduid in Figuur 8.



Figuur 8: locatie meetpunten plaatproeven – proefvak 1



Figuur 9: foto uitvoeren van plaatproeven door het OCW

Er werden eerst enkele statische (met plaat 750 cm²) en dynamische plaatproeven uitgevoerd over de zone van de structuren A en B om een vergelijking te kunnen maken (telkens 3 dynamische rond 1 statische). Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: vergelijking tussen statische en dynamische plaatproeven:

M1 = 39,6 MPa	Evdgem = 41,4 MPa	25R (zone B)
M1 = 18,1 MPa	Evdgem = 20,5 MPa	75L (zone B)
M1 = 26,2 MPa	Evdgem = 32,1 MPa	125R (zone A)
M1 = 11,0 MPa	Evdgem = 19,3 MPa	175L (zone A)

Conclusie is dat hier met een statische M1-waarde van 35 MPa (wat zou moeten bereikt worden volgens het ontwerp) een dynamische Evd-waarde van zo'n 40 MPa overeenkomt.

Daarna, op het einde van de dag, werden elke 25 m op zowel de rechter als de linkerrijstrook dynamische plaatproeven uitgevoerd. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 2, waarbij in het rood alle waarden onder 30 MPa zijn aangeduid, en in het oranje alle waarden tussen 30 en 40 MPa.

Tabel 2: resultaten dynamische plaatproeven 09/06/2022 (MPa)

Cum	L	R
0	11,5	10,0
25	18,4	23,9
50	12,1	28,3
75	21,9	-
100	32,6	31,3
125	12,4	36,4

150	42,5	46,9
175	29,9	42,3
200	58,8	96,6

We zien dat de meeste waarden niet voldoende zijn, daarom werd er door de aannemer de volgende dag nog getracht de kwaliteit van de onderfundering te verbeteren. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: resultaten dynamische plaatproeven 10/06/2022 (MPa)

Cum	L	R
0	20,4	10,8
25	19,3	21,6
50	10,1	21,2
75	41,4	-
100	21,1	9,9
125	10,8	22,6
150	35,4	33,7
175	13,9	24,4
200	53,6	-

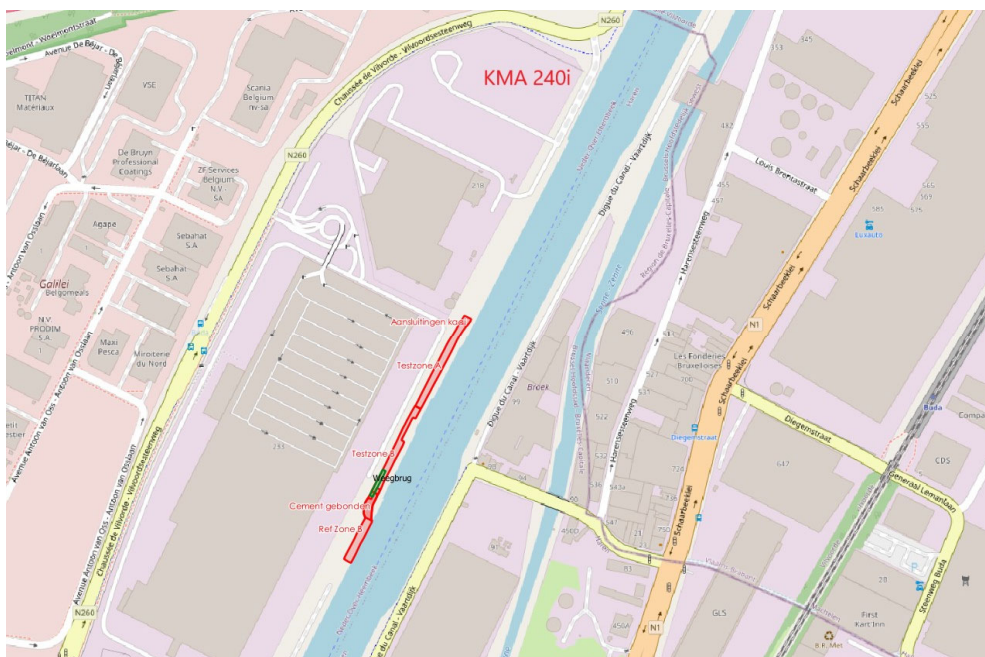
De resultaten lijken eerder verslechterd te zijn.

De onderfundering heeft op het moment van aanbrengen van de BSM dus niet de vereiste draagkracht zoals verondersteld bij het ontwerp.

2.5 Uitvoering proefvak 1

2.5.1 Productie BSM

De productie van de BSM vond plaats op een site van Viabuild op ongeveer 500 m van het proefvak, zoals aangeduid in Figuur 10.



Figuur 10: locatie productie-unit BSM – proefvak 1

De productie set-up is zichtbaar in Figuur 11. De KMA 240i staat centraal. Hiernaast is er een wiellader nodig om asfaltgranulaat aan te voeren in de KMA. De bitumenwagen bleef gedurende de gehele productie aangekoppeld aan de KMA. Het bitumen werd – in de KMA – geschuimd met leidingwater. De cementtoevoer gebeurde met een cementsilo.



Figuur 11: opstelling productie-unit BSM – proefvak 1

Het mengen van de BSM – en hierbij het verspreiden van het schuimbitumen over de granulaten – gebeurt in de KMA.

2.5.2 Transport BSM

Om de BSM te transporteren van de productie-unit naar de spreidmachine op het proefvak, werden 4 vrachtwagens (25 ton) gebruikt, zoals weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: vrachtwagen gebruikt voor transport BSM – proefvak 1

2.5.3 Spreading BSM

Voor de BSM aangelegd wordt moet de ondergrond en de zijanten steeds natgehouden worden om vroegtijdige uitdroging van de BSM te voorkomen. Dit gebeurt nét voor de aanleg (en niet bv. enkele uren ervoor). Het bevochtigen gebeurde met een beerkar (zie Figuur 13)



Figuur 13: bevochtigen van onderfundering met beerkar – proefvak 1

De aanleg van BSM gebeurt met een asfaltspreidmachine, zie Figuur 14. In vergelijking met de aanleg van asfalt is BSM een koud product, de overdikte bij aanleg met de asfaltspreidmachine is groter en de verdichtingsbalk trilt met een hogere amplitude.



Figuur 14: aanleg BSM met asfaltspreidmachine – proefvak 1

Vanaf 20 cm wordt de BSM-laag aangelegd in 2 lagen. Deze aanleg dient op dezelfde dag te gebeuren, zo snel mogelijk na elkaar. De onderste BSM laag moet constant vochtig gehouden worden tot de bovenste BSM-laag aangelegd is.

Bij het storten van de BSM in de hopper treedt er segregatie op zoals zichtbaar in Figuur 15.



Figuur 15: segregatie in de hopper

De grote stenen verzamelen aan de zijkant en de voorkant van de hopper. Wanneer de hopper tijdens een vrachtwagenwissel dichtgeklapt wordt en de machine wordt verder leeggereden voor de volgende vrachtwagen zijn lading in de hopper stort, worden er nesten gevormd in de BSM-laag zoals zichtbaar in Figuur 16.



Figuur 16: vorming van nesten in BSM

2.5.4 Verdichten BSM

BSM is een koud materiaal en kan verdicht worden zolang de BSM nog vochtig is. Het verdichtingsmateriaal is zwaarder dan bij de aanleg van asfalt.

Voor het verdichten van de onderste BSM laag zijn volgende walsen gebruikt:

- Schapenpootwals 13 ton* (trillen)



Figuur 17: schapenpootwals 13t – proefvak 1

* Een kanttekening bij de schapenpoot wals van 13t: indien de laagdikte zo groot is als op dit proefproject dan lijkt de 16t versie beter geschikt te zijn om de verdichting te realiseren.

- Tandemwals 12 ton (trillen)



Figuur 18: tandemwals 12 ton – proefvak 1

Voor het verdichten van de bovenste BSM laag zijn volgende walsen gebruikt:

- Tandemwals 12 ton (trillen)
- Bandenwals 16 ton



Figuur 19: bandenwals 16 ton – proefvak 1

2.5.5 Asfalteren

De asfalttoplaag is aangelegd op woensdag 13 juli.

Het is belangrijk dat de BSM helemaal is uitgedroogd alvorens de BSM wordt afgedekt met een emulsie of met een asfaltlaag.

2.6 Bepalen watergehalte BSM

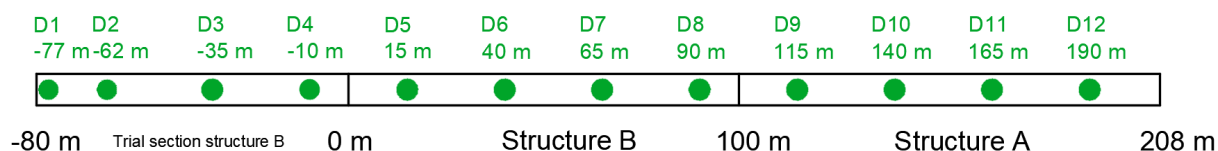
Naast de staalnames voor watergehalte tijdens de uitvoering van de dichtheidsmetingen (zie §2.8) werden er nog enkele tussentijdse stalen genomen tijdens de aanleg van de tweede laag BSM. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4

Tabel 4: watergehaltes tussentijdse stalen proefvak 1

Staal	Tijd	aanlegstrook	BSM-laag	Watergehalte (%)
200 L	13u45	5	2	5.99
150 L	14u10	5	2	6.00
100 L	14u36	5	2	5.31
175 R	14u49	6	2	6.14
125 R	15u00	6	2	5.91
75 L	15u20	8	2	6.05
25 L	15u40	8	2	5.56

2.7 Laagdiktemeting MIT-SCAN

Op de locaties aangeduid in Figuur 20 zijn er, schrankend per rijvak, reflectorplaatjes aangebracht door de aannemer. De plaatjes zijn aangebracht in de twee rijvakken, zowel het zuidoostelijke rijvak (kanaalzijde) als het noordwestelijke rijvak (kant betoncentrale). De locatie van de plaatjes werden bij de aanleg ingemeten met GPS om ze later eenvoudig terug te kunnen vinden.



Figuur 20: locatie meetpunten laagdiktemetingen – proefvak 1

AWV heeft ter plaatse van deze locaties de dikte van de BSM en de asfaltlagen opgemeten met de MIT-SCAN (zie Figuur 21).



Figuur 21: foto uitvoeren laagdiktemetingen proefvak 1 met MIT-SCAN

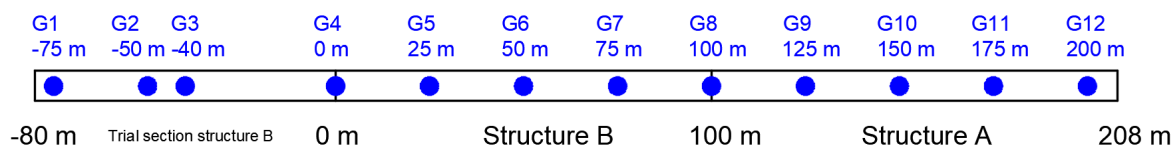
De resultaten van de laagdiktemetingen zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5: resultaten laagdiktemetingen MIT-SCAN – proefvak 1

Meetpunt	Kanaalzijde		Kant betoncentrale	
	BSM laag (mm)	Asfaltlaag (mm)	BSM laag (mm)	Asfaltlaag (mm)
D1	-	-	-	-
D2	-	-	251	68
D3	-	-	279	91
D4	-	-	-	-
D5	272	82	268	-
D6	269	58	277	73
D7	-	-	281	60
D8	309	-	300	54
D9	243	68	231	77
D10	245	58	245	70
D11	241	72	250	71
D12	206	66	175	73

2.8 Nucleaire dichtheidsmetingen

Er zijn nucleaire dichtingsmetingen uitgevoerd op de BSM laag op de locaties G4 tot G12 aangeduid in Figuur 22.



Figuur 22: locatie meetpunten nucleaire dichtheidsmetingen – proefvak 1

Voor deze metingen wordt er eerst een pin geslagen in de BSM waarin dan de nucleaire bron naar beneden kan worden gelaten.



Figuur 23: foto's van inslagen pin en van meting met de nucleaire densiteitsmeter

In elk meetpunt werden er metingen gedaan van de totale natte densiteit van de BSM op 25 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm en 5 cm diepte en werden er monsters genomen over de dikte van de BSM om de watergehaltes daarop te meten (meting van het watergehalte door de densiteitsmeter zelf is onbetrouwbaar). Op één plaats werden er 2 monsters genomen, een op de bovenste 10 cm van de BSM en een op de onderste helft. Dit gaf een verschil van 1% wat dan ook over de andere punten werd verondersteld. Met deze totale natte densiteiten en de watergehaltes kan dan de droge densiteit worden berekend en uiteindelijk de relatieve densiteit ten opzichte van een referentie densiteit van 2.03 ton/m³ zoals bepaald in het mengselontwerp.

In de tabel hieronder wordt de gemiddelde relatieve droge densiteit van de onderste laag gegeven als het gemiddelde van de metingen op 25 cm, 20 cm en 15 cm diepte, die van de bovenste laag als het gemiddelde van de metingen op 10 cm en 5 cm diepte.

De resultaten van de nucleaire dichtheidsmetingen zijn weergegeven in Tabel 6 waarbij het resultaat wordt uitgedrukt als de droge relatieve densiteit ten opzichte van 2.030 ton/m³. De waarden onder 98 % zijn aangeduid in het rood.

Tabel 6: resultaten metingen watergehalte en nucleaire dichtheidsmetingen – proefvak 1

			watergehalte (%)	relatieve densiteit (%)
25 L	0 R	onderste laag	5,1	98,9
		bovenste laag	4,1	94,6
		"	5,6	99,2
		"	4,6	93,9
75 L	50 R	"	5,1	99,8
		"	4,1	98,2
		"	6,0	98,9
		"	5,0	95,5
125 L	100 R	"	6,9	98,4
		"	5,9	96,6
		"	6,5	96,7

175 L	150 R	"	5,5	94,8
		"	6,0	101,3
		"	5,0	99,9
	200 R	"	6,1	98,1
		"	5,1	94,8
		"	5,0	99,6
		"	4,0	99,7

grijs : verondersteld -1% op basis van meting onderste en bovenste laag in 125L

De te behalen relatieve densiteit van 98 à 100 % wordt dus niet overal gehaald, de slechtste resultaten zitten vooral in de bovenste laag.

2.9 Proefstukken gemaakt uit gesampled materiaal

2.9.1 Nemen van samples

Tijdens de aanlag van de proefvakken zijn er samples BSM genomen om proefstukken aan te maken. Het gesampled materiaal werd in afgesloten emmers naar het labo vervoerd en binnen maximum 4 uur werden er proefstukken van gemaakt.

Het materiaal dat EMIB heeft gesampled is genomen aan de KMA. Dit is gebruikt om ITS-, ITSR-, en triaxiaaltesten uit te voeren.

Het materiaal dat OCW heeft gesampled is genomen aan de asfaltspreidmachine. Dit is gebruikt om watergehalte, proctor en cyclische triaxiaaltest uit te voeren.

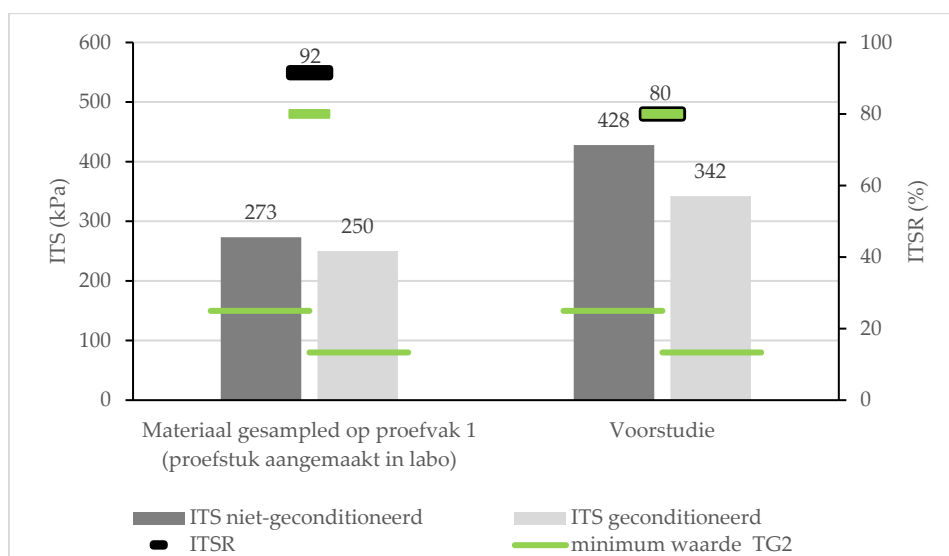
2.9.2 Proctor op gesampled materiaal

Op het genomen monster werd er een watergehalte bepaald en een Gewijzigde Proctor verdichting uitgevoerd door het OCW.

Het watergehalte was 6.5% en er werd een totale natte Gewijzigde Proctor densiteit gehaald van 2.079 t/m³ of dus een droge densiteit van 1.953 t/m³. Dit is lager dan de droge referentiedensiteit van 2.03 t/m³ maar het watergehalte is dan ook hoger dan het optimale watergehalte waarbij die 2.03 t/m³ werd gehaald.

2.9.3 ITS op gesampled materiaal

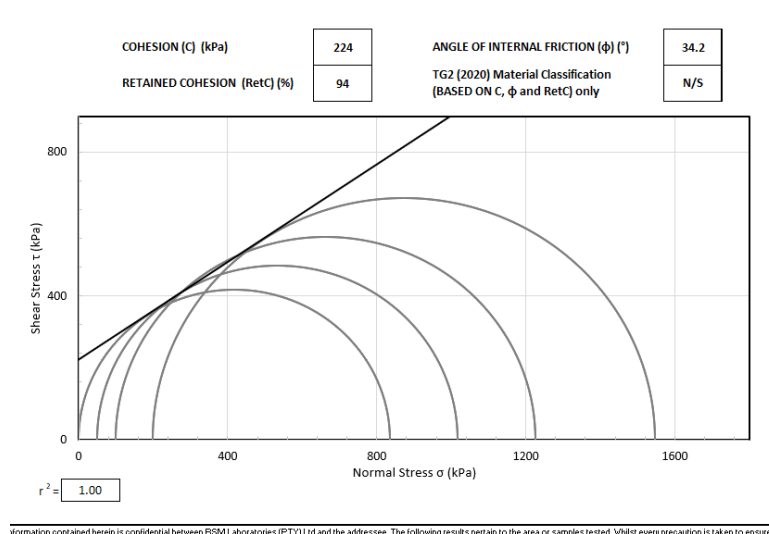
Er zijn proefstukken aangemaakt met gesampled materiaal waarop ITS en ITSR testen uitgevoerd zijn. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 24.



Figuur 24: ITS en ITSR resultaten op gesampled materiaal – proefvak 1

2.9.4 Triaxiaal proeven op gesampled materiaal

Er zijn triaxiaal proeven uitgevoerd op proefstukken vervaardigd uit het gesampled materiaal. De resultaten geven een cohesie van 224 kPa en een wrijvingshoek van $34,2^\circ$ (zie Figuur 25). Ter vergelijking: in de voorstudie werd een cohesie van 279 kPa en een wrijvingshoek van $35,3^\circ$ bekomen.



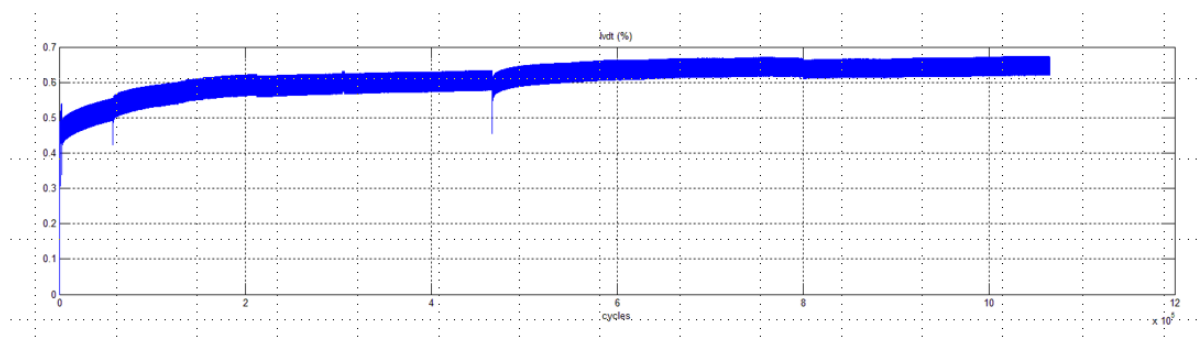
Figuur 25: resultaat triaxiaaltest uitgevoerd op gesampled materiaal – proefvak 1

2.9.5 Cyclische triaxiaalproeven op gesampled materiaal.

Er werd 1 monster gemaakt door het OCW om daarop een cyclische triaxiaalproef uit te voeren.

Hierbij werd er eerst een voorbelasting gegeven van 2500 cycli (σ_3 variërend tussen 0 en 150 kPa en σ_d variërend tussen 0 en 400 kPa) die het mogelijke werfverkeer simuleert, gevolgd door 1 miljoen cycli waarbij σ_3 varieert tussen 0 en 100 kPa en σ_d tussen 0 en 250 kPa.

Het resultaat is weergegeven in de figuur hieronder die de permanente vervorming in compressie geeft in functie van het aantal cycli.



Figuur 26: resultaat cyclische triaxiaalproef op BSM – proefvak 1

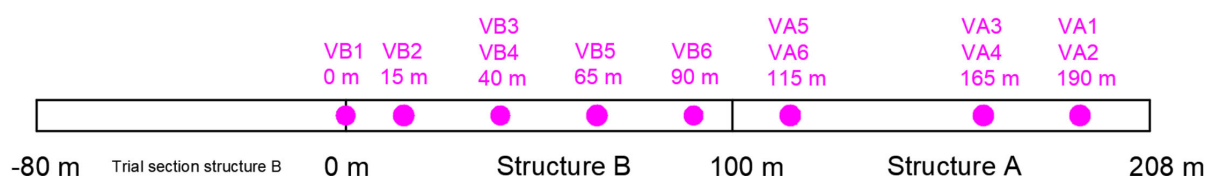
De totale gemeten vervormingen van zo'n 0.3% (de eerste 0.4% wordt niet meegerekend want dit is de vervorming door een niet direct perfect contact tussen de oppervlakte van het monster en de stalen plaat van het toestel) zijn laag in vergelijking met meer traditionele ongebonden funderingsmaterialen. Zo kan dit voor een betonpuin eerder naar 1% gaan en voor mengpuin zelfs naar 2%, zelfs bij iets lagere spanningen.

Tussen de 600.000 en 1 miljoen cycli lijkt de helling van de curve vrij constant te zijn.

2.10 Boorkernen

2.10.1 Het boren van kernen

Per sectie zijn er 6 boorkernen genomen op de locaties aangeduid in Figuur 27. De boorkernen werden genomen op woensdag 21 september 2022.



Figuur 27: locatie boorkernen – proefvak 1



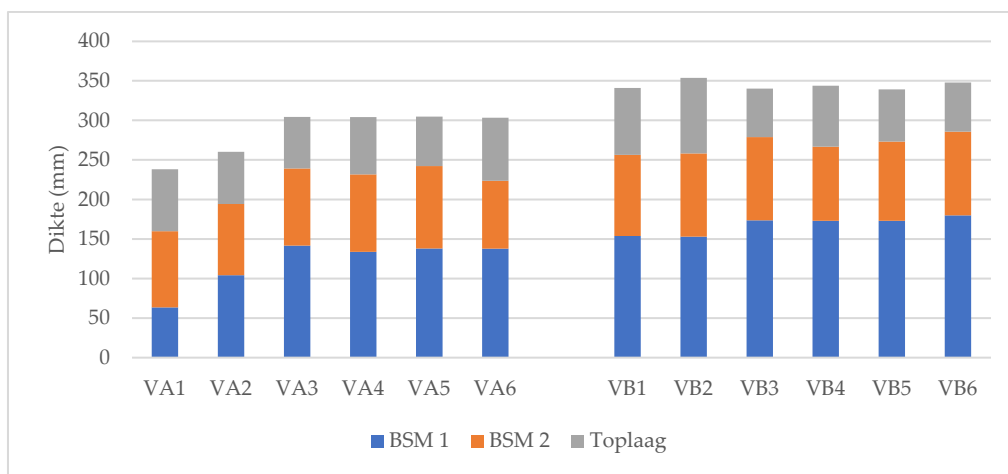
Figuur 28: foto nemen van boorkernen

2.10.2 Diktemetingen boorkernen

De verschillende laagdiktes werden opgemeten. De resultaten worden weergegeven in Tabel 7 en Figuur 29.

Tabel 7: resultaten diktemetingen boorkernen – proefvak 1

Kern	Dikte (mm)			Totale dikte (mm)
	BSM 1	BSM 2	Toplaag	
VA1	63	96	78	238
VA2	104	90	66	260
VA3	142	97	65	304
VA4	134	98	72	304
VA5	138	104	62	305
VA6	138	86	80	303
VB1	154	102	85	341
VB2	153	105	96	354
VB3	174	105	61	340
VB4	173	94	77	344
VB5	173	100	66	339
VB6	180	106	62	348
AVG A	120	95	71	286
Stdev A	31	6	7	29
AVG B	168	102	74	344
Stdev B	11	5	14	3



Figuur 29: resultaten diktemetingen boorkernen – proefvak 1

De totale dikte van de structuur is per structuur redelijk constant. De diktes VA1 en VA2 wijken licht af doordat er een aansluiting diende gemaakt te worden met de bestaande kaai naast de site van SITA.

Figuur 25 laat ook zien dat er meer variatie is in de dikte van de eerste laag BSM. De tweede laag is constanter van dikte.

De opgemeten diktes van de kernen worden vergeleken met de gemeten diktes via de metalen plaatjes (Mittscan). De resultaten worden weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Vergelijking diktes kernen met diktes gemeten met Mittscan voor proefvak 1

	Kern	Dikte kernen (mm)			Mittscan (mm)			Δ dikte mittscan t.o.v. kernen (mm)		
		BSM	Toplaag	Totale dikte	BSM	Toplaag	Totale dikte	Δ BSM	Δ toplaag	Δ totale dikte
Structuur A	VA1	160	78	238	175	74	249	15	-4	11
	VA2	194	66	260	206	66	272	12	0	12
	VA3	239	65	304	241	72	313	2	7	9
	VA4	232	72	304	250	71	321	18	-1	17
	VA5	242	62	305	243	68	311	1	6	6
	VA6	224	80	303	231	77	308	7	-3	5
Structuur B	VB1	256	85	341						
	VB2	258	96	354	272	82	354	14	-14	0
	VB3	279	61	340	269	58	327	-10	-3	-13
	VB4	267	77	344	277	73	350	10	-4	6
	VB5	273	66	339	281	60	341	8	-6	2
	VB6	286	62	348	300	54	354	14	-8	6

Het verschil tussen de metingen met de Mittscan en de diktemetingen op de kernen is groter dan normaal het geval is bij traditionele asfaltwerken. Mogelijks bewegen of vervormen de platen tijdens de aanleg en de verdichting van de BSM-laag. Wanneer een reflectorplaat niet meer horizontaal ligt zal dit leiden tot onnauwkeurige metingen.

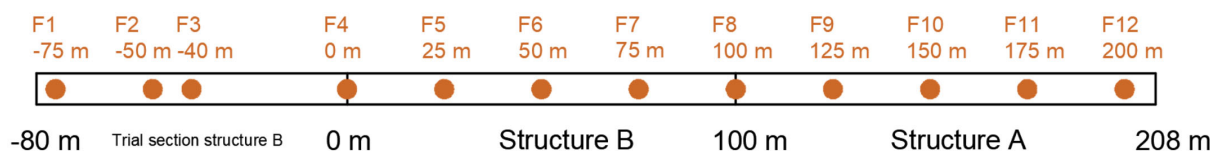
2.11 Valgewichtmetingen

De valgewichtdeflexiometingen werden door AWV uitgevoerd op de BSM zelf en na het aanbrengen van de asfalt toplaag. De metingen zullen ongeveer elke zes maanden herhaald worden om de evolutie in de stijfheid op te volgen. De metingen zullen telkens op exact dezelfde locaties uitgevoerd worden. Hiervoor werden de locaties van de metingen opgemeten met GPS om ze later eenvoudig opnieuw te kunnen uitzetten.



Figuur 30: foto uitvoeren FWD-metingen door AWV

De valgewichtmetingen zijn uitgevoerd op de locaties weergegeven in Figuur 31.



Figuur 31: locatie meetpunten FWD – proefvak 1

Voor elk meetpunt worden bij de val van het valgewicht de verticale vervormingen gemeten op verschillende afstanden van de plaat. Hieronder een voorbeeld hiervan:

\$2

Chainage [m]..... 84

Lane..... 2

Pavement description... ASF

Remarks..... FWD 12

Position of Drop:

Longitude: 0°0'0.0000"E

Latitude: 0°0'0.0000"N

Altitude: 0.0 m

\$3

Sequence: 1/1

No. of drops: 3

Fallheight: 153

Time: 10:41

Drop	D(1)	D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(8)	D(9)	kPa	kN	Air	Sur.	Man.	Pulse time
1	181.0	126.5	97.0	75.6	60.8	49.0	40.3	33.9	29.7	712	50.34	15.1	15.7	16.8	28.75
2	183.7	129.0	99.1	77.8	62.6	50.5	42.1	35.5	32.0	722	51.03	15.1	15.7	16.8	28.50
3	178.0	125.0	95.4	74.2	59.5	47.9	39.5	33.1	29.2	706	49.93	15.2	15.9	16.8	28.50

Figuur 32: voorbeeld van output van een meting met de FWD

Uit die verticale vervormingen kan men nu door een inverse berekening (back-calculation) de stijfheden van de verschillende lagen van de verharding berekenen.

Dit doen we met behulp van de dimensioneringssoftware Alizé® die een module voor een dergelijke back-calculation bevat.

Hierbij dient men eerst de veronderstelde diktes van de verschillende lagen in te geven, de uitgeoefende kracht en de diameter van de plaat (hier 30 cm diameter) evenals de opgemeten vervormingscurve. Ook moeten bij het begin van de berekening initiële waarden van de stijfheden ingegeven worden. Het

programma zal dan iteratief die stijfheden aanpassen zodanig dat de berekende vervormingscurve zo dicht mogelijk bij de opgemeten curve ligt.

Basis data

thick. (m)	Young (MPa)	Nu			
0,05	5000	0,35	1	dependent	
bonded	0,16	12500	0,35	2	free
bonded	0,26	1000	0,2	3	free
bonded	0,2	500	0,25	4	free
bonded	0,3	150	0,35	5	free
bonded	4	75	0,35	6	free
bonded	infinite	1000	0,35	7	free

Ajouter substratum rigide

Single wheel

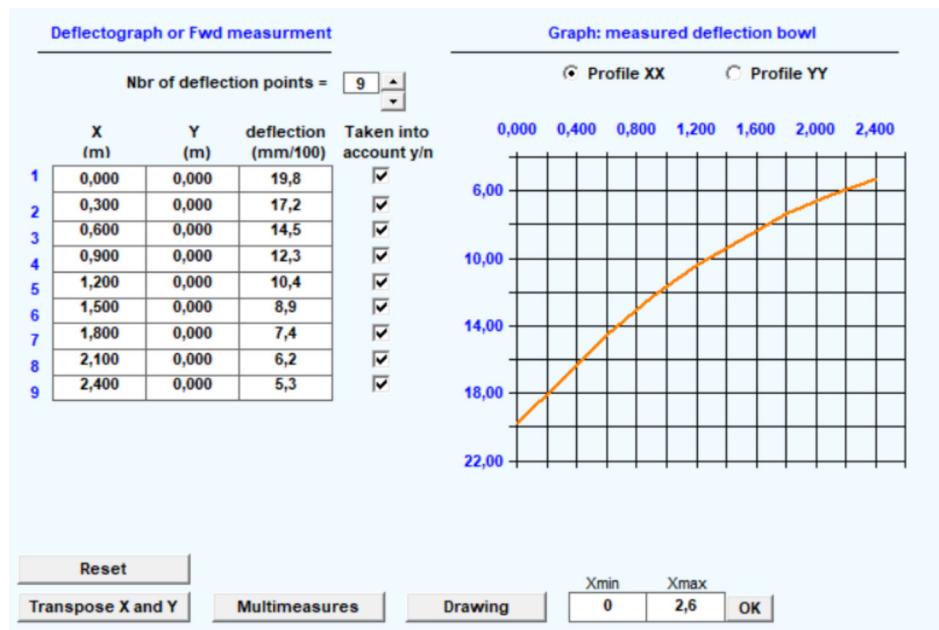
Y(m)
R(m)
X(m)
Foot print area

☒ radius (m) = 0,1500
☐ pressure (MPa) = 1,5279
☒ weight/wheel (MN) = 0,1080

Type of loading ?

☐ french standard dual-wheel
☐ other dual wheel
☒ single wheel or fwd

Figuur 33: voorbeeld van ingave laagdiktes, initiële stijfheden en uitgeoefende kracht in Alizé®



Figuur 34: voorbeeld van ingave vervormingen in Alizé®

Verskillende initiële waarden kunnen andere uitslagen geven, het is kwestie van een (soms groot) aantal berekeningen te doen om er dan de meest plausibele uit te halen. Soms liggen de resultaten ver uit elkaar, soms dicht bij elkaar en soms moet men dan ook eventueel de diktes van de lagen aanpassen of bijkomende lagen invoeren. Men kan ook eventueel de verhouding in stijfheden tussen de verschillende lagen als een constante ingeven.

De resultaten van die back-calculation op de metingen uitgevoerd op 13/06/2022 en 21/09/2022 worden weergegeven in Tabel 9 en Tabel 10.

Tabel 9: resultaten back-calculation van 13/06/2022

structuur B		structuur A	
FWD	Stijfheid BSM	FWD	Stijfheid BSM
	(MPa)		(MPa)
7	530	12	530
8	560	13	860
9	820	14	650
10	975	15*	
	Stijfheid onderfundering		Stijfheid onderfundering
7	100	12	150
8	180	13	260
9	170	14	130
10	140	15*	
(*) geen duidelijke back-calculation mogelijk			

Tabel 10: resultaten back-calculation van 21/09/2022

structuur B		structuur A	
FWD	Stijfheid BSM	FWD	Stijfheid BSM
	(MPa)		(MPa)
7	2800	12	1800
8	2350	13	3150
9	2700	14	2850
10	4300	15	3250
	Stijfheid onderfundering		Stijfheid onderfundering
7	600	12	750
8	1200	13	1350
9	400	14	1300
10	800	15	1400

Als we hiervan gemiddelde waarden berekenen bekomen we:

13/06/2022

E-modulus BSM : 704 MPa

“ onderfundering : 161 MPa

21/09/2022

E-modulus BSM : 2900 MPa

“ onderfundering : 975 MPa

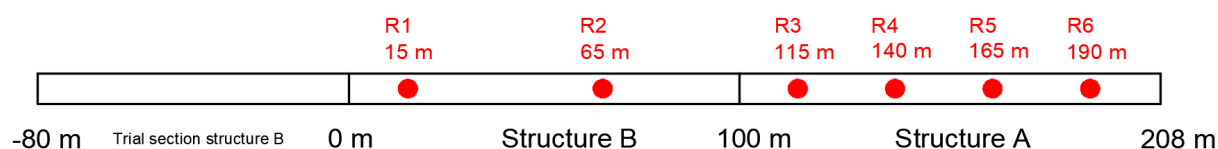
We zien een evolutie in de stijfheid van de BSM zoals te verwachten was volgens de ervaring vanuit Zuid-Afrika.

Bijzonder echter is de stijfheid van de onderfundering bestaande uit asfaltpuin (RAP), deze heeft initieel een vrij lage maar nog 'normale' waarde (we zouden verwachten zo tussen de 200-300 MPa) maar heeft na 3 maanden voor een ongebonden steenslag een zeer hoge waarde van 975 MPa.

2.12 Radarmetingen

Met behulp van een drietal GPR RADAR meettoestellen werd de lagenopbouw van de test-tracks gelegen te Neder-Over-Heembeek niet-destructief in kaart gebracht. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de (i) Cthru GPR contactantenne van IDS GeoRadar (Leica) 2GHz frequentie (Odisee) en de (ii) GSSI Radar luchtantenne 2 GHz en contactantenne met frequenties 900 MHz en 2,6 GHz (OCW). De post-verwerking van de metingen werden enerzijds uitgevoerd met Gred-HD (Odisee) en anderzijds met Radan (OCW).

De radarmetingen zijn uitgevoerd op de locaties aangeduid in Figuur 35.



Figuur 35: locatie meetpunten radarmetingen – proefvak 1

De rapporten van Odisee (Annex A) en OCW (Annex B) zijn terug te vinden in bijlage.

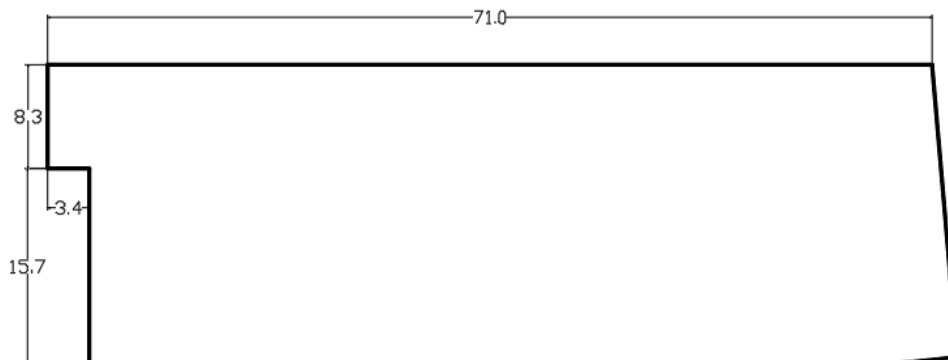
3 Proefvak Lareco

3.1 Introductie proefvak 2

3.1.1 Beschrijving

Het tweede proefvak dat aangelegd werd in het kader van het FOAM-project was een proefvak op de site van Lareco in Bornem (Puursesteenweg 384, Bornem). Het proefvak omvat de renovatie van de bestaande parking/opslagruimte naast de gebouwen van Lareco.

De grootte van het proefvak is weergegeven in Figuur 36



Figuur 36: afmetingen proefvak 2

De bestaande verharding was een elementverharding.

Qua belasting worden er maximaal 2 diepladers per dag verwacht, stockage van 5 ton containers verdeeld over 4 punten, maximum 6 vrachtwagens per dag voor leveringen, sporadisch opslag van cement, wapeningsnetten.... Er is in consensus beslist om uit te gaan van bouwklasse 8 voor dit terrein. De aanleg heeft plaats gevonden op woensdag 24 augustus 2022. Het weer was warm ($\pm 30^{\circ}\text{C}$) droog en zonnig.

3.1.2 Projectteam

Lareco was zowel de bouwheer als de uitvoerder van de grondwerken tot en met onderfundering. Lareco stond tevens in voor de productie van de BSM, het asfaltgranulaat hiervoor is geleverd door Viabuild.

De aanleg van de BSM-fundering en de asfalttoplaag zijn uitgevoerd in onderaanneming door Van Robays.

Om de BSM te produceren werd opnieuw de KMA 240i aangeleverd door Wirtgen. Hiernaast hebben Wirtgen en Loudon International het onderzoeksteam (UAntwerpen, OCW en Odisee) ondersteund.

Het mengselontwerp is gebeurd door de Universiteit Antwerpen en het OCW. Zij werden hiervoor ondersteund door Wirtgen en Loudon International. Het granulaat dat gebruikt werd was asfaltgranulaat geleverd door Viabuild.

Ook het structureel ontwerp van de wegverharding is gebeurd door de Universiteit Antwerpen en het OCW. Zij werden hiervoor ondersteund door Wirtgen en Loudon International.

AWV heeft diktemetingen uitgevoerd met de MIT-SCAN en heeft valgewichtmetingen uitgevoerd.

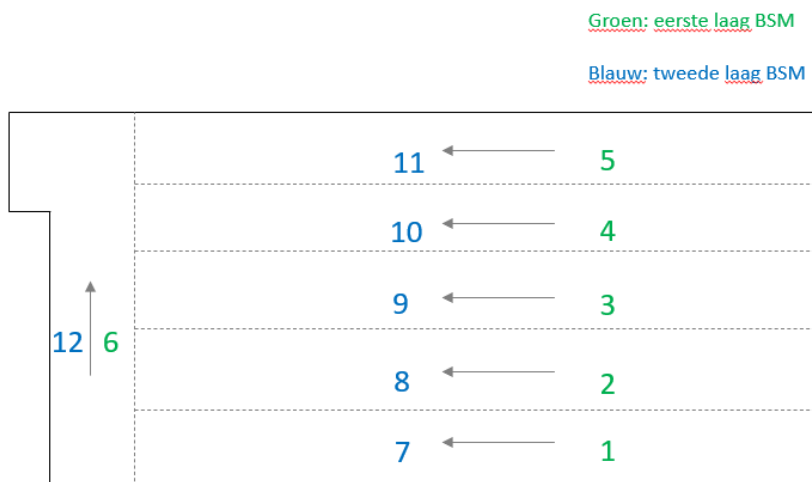
3.1.3 Methode en gebruikt materieel: uitvoering

BSM kan aangemaakt worden door in-situ in te frezen of gebruik te maken van een mobiele productie-unit. Aangezien de bestaande verharding een elementverharding was, kon er niet in-situ gefreesd worden en is er een mobiele productie-unit gebruikt. Deze productie-unit was de KMA240i van Wirtgen (zie Figuur 3).

3.1.4 Fasering uitvoering

De BSM werd aangelegd in twee lagen. Beide lagen werden aangelegd op 24/08/2022

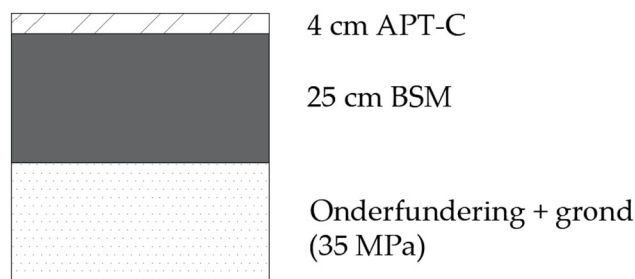
De fasering van de werken – opdeling in rijvakken, rijrichting en volgorde van aanleg – zijn weergegeven in Figuur 37.



Figuur 37: schematische weergave van de aanleg van proefvak 2

3.2 Structuur wegverharding proefvak 2

De resultaten van het structureel wegontwerp voor proefvak 2 zijn weergegeven in het eindrapport "PART IV: Structural design of pavements with BSM ". De resultaten van dit onderzoek leiden tot de wegstructuur weergegeven Figuur 38



Figuur 38: wegstructuur proefvak 2

3.3 Mengselontwerp proefvak 2

De BSM van proefvak 2 is aangemaakt met hetzelfde asfaltgranulaat als proefvak 1. Hierdoor blijft de beoogde mengselsamenstelling van de BSM van proefvak 2 dezelfde als deze van proefvak 1:

- 100 % gebroken asfaltgranulaat 0/20
- 1 % cement CEM III 42,5
- 2,2 % Bitumen B70/100
- 5,7 % water

De beoogde densiteit van de BSM-verharding bedroeg 2030 kg/m³.

De resultaten van het volledige mengselontwerp zijn weergegeven in het eindrapport “Part III: Mix design of BSM “.

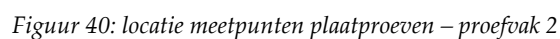
3.4 Onderfundering proefvak 2

De onderfundering werd voorbereid door Lareco. Een foto is weergegeven in Figuur 39.



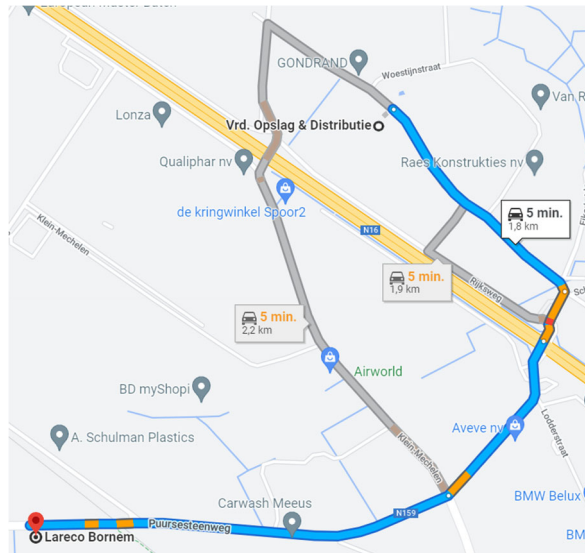
Figuur 39: foto onderfundering proefvak 2

Normec Servaco heeft, in opdracht van Lareco, statische plaatproeven uitgevoerd op de onderfundering. De proeven werden uitgevoerd met een plaat van 750cm². De positionering en de resultaten worden weergegeven in Figuur 40 en Tabel 11.



kant loods		midden		kant burelen	
Plaatproef	M1 (MPa)	FWD	max.deflectie	FWD	max.deflectie
1	193,6	2	77,3	3	75,4
6	40,7	5	49,8	4	37,2
7	30,9	8	96,6	9	35,9
11	57,2	10	31,9		

De productie van de BSM met de KMA240i vond plaats op een site van VRD Logistics (Rijksweg 14, Bornem) op ongeveer 1800 m van het proefvak, zoals aangeduid in Figuur 41.



Figuur 41: locatie productie-unit BSM – proefvak 2

De productie set-up is zichtbaar in Figuur 42. De KMA 240i staat centraal. Hiernaast is er een wiellader nodig om asfaltgranulaat aan te voeren in de KMA. De bitumenwagen bleef gedurende de gehele productie aangekoppeld aan de KMA. Het bitumen werd – in de KMA – geschuimd met leidingwater. De cementtoevoer gebeurde via een cementsilo.



Figuur 42: productie-unit BSM – proefvak 2

3.5.2 Transport BSM

Na productie in de KMA 240 i wordt het BSM via een transportband in de vrachtwagen geladen zoals zichtbaar in Figuur 43.



Figuur 43: vrachtwagen laden met BSM – proefvak 2

De vrachtwagen brengt de BSM naar de site van Lareco en lost de BSM in de asfaltspreidmachine, zoals zichtbaar in Figuur 44.



Figuur 44: vrachtwagen lost BSM in asfaltspreidmachine – proefvak 2

3.5.3 Spreading BSM

The construction of BSM occurs with an asphalt spreader machine, see Figure 45. In comparison with the construction of asphalt, BSM is a cold product, the thickness at construction with the asphalt spreader machine is greater and the compaction roller vibrates with a higher amplitude.



Figuur 45: aanleg BSM met asfaltspreidmachine – proefvak 2

Vanaf 20 cm wordt de BSM-laag aangelegd in 2 lagen. De aanleg dient bij voorkeur op dezelfde dag te gebeuren, zo snel mogelijk na elkaar. De onderste BSM laag moet constant vochtig gehouden worden tot de bovenste BSM-laag aangelegd is. Het bevochtigen gebeurde met een brandslang (zie Figuur 46).



Figuur 46: bevochtigen onderste BSM laag – proefvak 2

3.5.4 Verdichten BSM

BSM is een koud materiaal en kan verdicht worden zolang de BSM nog vochtig is. Op warme zonnige dagen, zoals tijdens de uitvoering van het tweede proefvak, wordt er tijdens de verdichting regelmatig extra bevochtigd (Figuur 47).



Figuur 47: bevochtiging tijdens het verdichten van BSM

Het verdichtingsmateriaal is zwaarder dan bij de aanleg van asfalt.

Voor het verdichten van de onderste BSM laag zijn volgende walsen gebruikt:

- Schapenpootwals 16 ton* (trillen)



Figuur 48: schapenpootwals 16t – proefvak 2

- Tandemwals 12,5 ton (trillen)



Figuur 49: tandemwals 12,5 ton – proefvak 2

Voor het verdichten van de bovenste BSM laag zijn volgende walsen gebruikt:

- Tandemwals 12,5 ton (trillen)
- Bandenwals 8,8 ton

3.5.5 Probleem met klei in de onderfundering

Tijdens het verdichten werd er vastgesteld dat, in één bepaalde zone, de gewenste verdichting niet behaald werd. Tijdens de walsovergangen vervormde de ondergrond om daarna terug te komen tot de initiële toestand (matraseffect). Deze zone werd afgebakend en gemarkeerd zoals zichtbaar op Figuur 50.

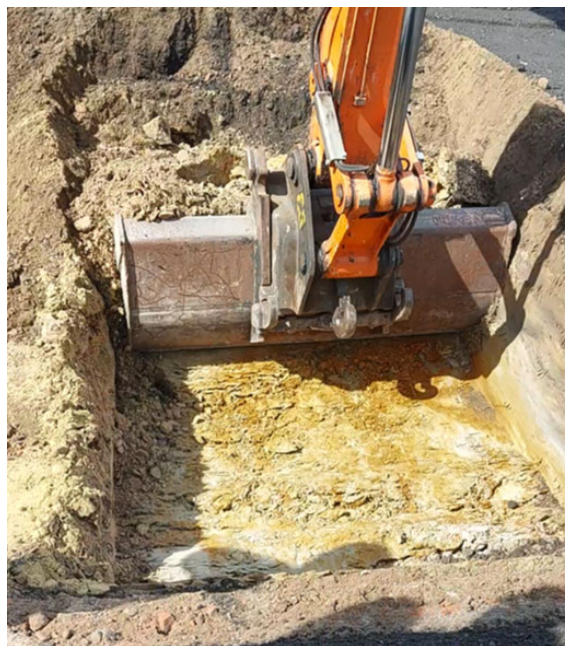


Figuur 50: markering problematische zone proefvak 2

De gemarkeerde zone werd uitgegraven en in de onderfundering werd een zone met klei ontdekt (Figuur 52). Deze werd volledig verwijderd zoals zichtbaar in Figuur 51. Hiervoor was een volledige verwijdering nodig tot op een diepte van ongeveer 80cm.



Figuur 51: foto klei in de onderfundering - proefvak 2



Figuur 52: volledige uitgraving van de klei

De uitgegraven grond werd afgevoerd en het gat werd in verschillende lagen opgevuld met gebroken steenslag 0/40 (Figuur 53) en BSM.



Figuur 53: aanvoer gebroken steenslag in uitgegraven gat

Na het verwijderen van de klei in de onderfundering verliep de verdichting opnieuw zoals gewenst.

3.5.6 Asfalteren

Op maandag 29/08/2022 werd een APT-C asfaltlaag van ongeveer 5cm aangelegd op de BSM-laag. Er werd geen kleeftlaag aangebracht tussen de BSM en het asfalt.



Figuur 54: foto asfaltlaag proefvak 2

3.6 Bepalen watergehalte BSM

Om het watergehalte tijdens de productie te meten is er door EMIB bij de KMA een staal BSM genomen en in een afgesloten plastic zak naar de campus gebracht (2 uur transporttijd). Op de campus is het watergehalte bepaald, het resultaat bedraagt 4,2 %.

Tevens werd er door OCW tijdens de uitvoering regelmatig een tussentijds staal BSM genomen in een afgesloten plastic emmer. De stalen werden ter plaatse gewogen (zie Figuur 55) en nadien verder gedroogd om het watergehalte te bepalen.



Figuur 55: weging van stalen BSM op de werf - proefvak 2

De resultaten van de watergehaltes worden weergegeven in Tabel 12.

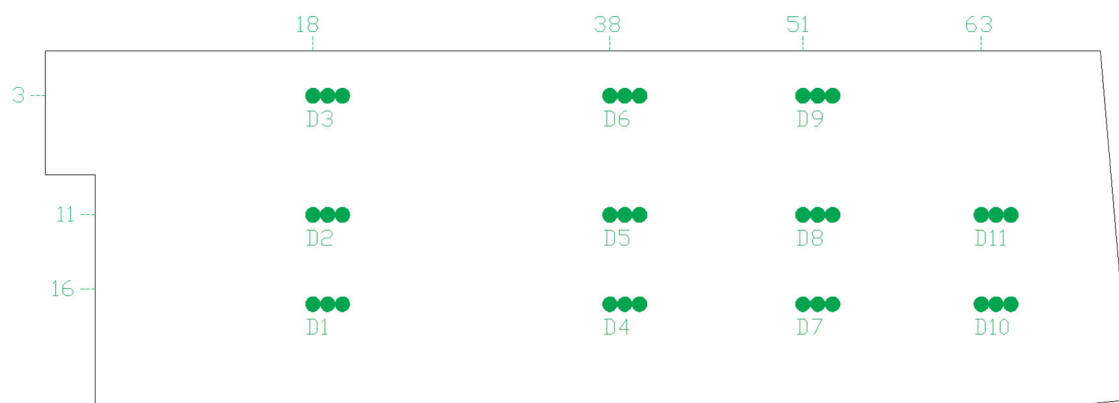
Tabel 12: watergehalte tussentijdse stalen – proefvak 2

staal	Tijd	Aanlegband	BSM-laag	watergehalte (%)
1	9h00	2	1	5.25
2	9h30	3	1	6.22
3	10h30	4	1	5.46
4	11h00	4	1	5.51
5	11h25	5	1	5.45
6	13h25	1	2	6.16
7	14h30	2	2	4.07
8	15h15	3	2	4.49
9	16h10	4	2	4.37

De resultaten tonen een noemenswaardige daling van het watergehalte naar het einde van de dag toe.

3.7 Laagdiktemeting MIT-SCAN

Op de locaties aangeduid in Figuur 56 zijn er reflectorplaatjes aangebracht door de aannemer.



Figuur 56: locatie meetpunten laagdiktemetingen – proefvak 2

AWV heeft ter plaatse van deze locaties de dikte van de BSM en de asfaltlagen opgemeten met de MIT-SCAN (zie Figuur 57).



Figuur 57: foto uitvoeren laagdiktemetingen proefvak 2 met MIT-SCAN

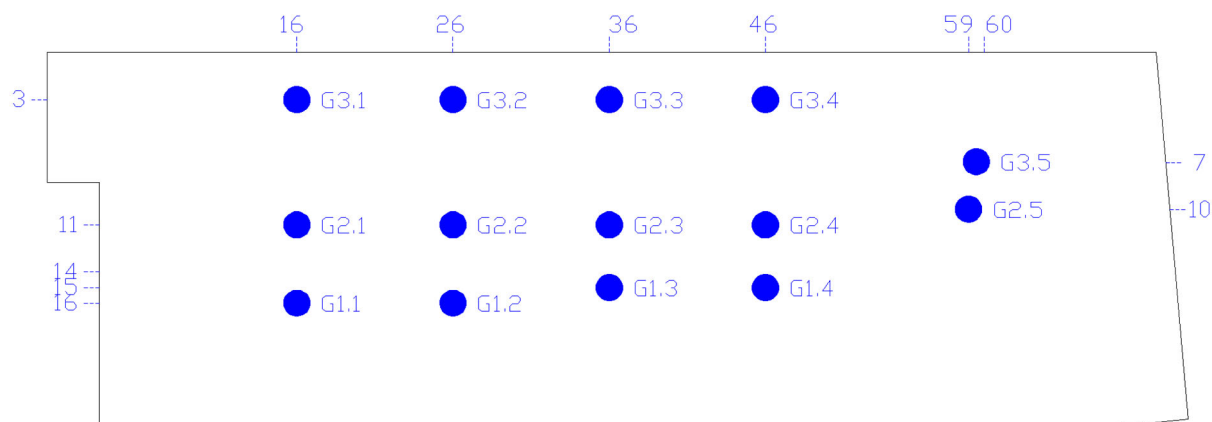
De resultaten van de laagdiktemetingen zijn weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: resultaten laagdiktemetingen MIT SCAN – proefvak 2

Meetpunt	BSM 1 (mm)	BSM 2 (mm)	BSM totaal (mm)	Toplaag (mm)
D1	120	114	234	49
D2	128	102	230	42
D3	137	111	248	46
D4	137	130	267	40
D5	110	121	231	43
D6	128	121	249	60
D7	120	63	183	43
D8	121	105	226	46
D9	130	96	226	50
D10	-	-	218	44
D11	-	-	263	48

3.8 Nucleaire dichtheidsmetingen

Er zijn nucleaire dichtingsmetingen uitgevoerd op donderdag 25 augustus (één dag na aanleg BSM) op de BSM laag op de locaties aangeduid in Figuur 58.



Figuur 58: locatie meetpunten nucleaire dichtheidsmetingen – proefvak 2



Figuur 59: foto uitvoeren nucleaire dichtheidsmetingen – proefvak 2

Hierbij werden opnieuw stalen genomen ter plaatse van de densiteitsmetingen om daarop de watergehaltes te bepalen. Deze watergehaltes en de resultaten van de nucleaire dichtheidsmetingen daarmee berekend worden weergegeven in Tabel 14 waarbij het resultaat wordt uitgedrukt als de droge relatieve densiteit ten opzichte van 2.03 ton/m³.

We zien dat de watergehaltes hier ook overal eerder rond de 4-5% liggen.

Tabel 14: resultaten metingen watergehaltes en nucleaire densiteitsmetingen

Punt	Watergehalte (%)	Verdichtingsgraad (%)
1,1	4,9	103,4
1,2	4,9	101,0
1,3	4,5	102,2
1,4	4,0	100,8
2,1	3,9	100,6
2,2	3,9	97,6
2,3	3,8	98,2
2,4	3,8	97,4
3,1	4,3	102,3
3,2	4,3	101,0
3,3	4,3	101,2
3,4	3,9	100,2
rood : waarde onder 98%		

Over het algemeen is de relatieve verdichtingsgraad ruim voldoende, slechts in 3 punten wordt er geen 100% bereikt. Deze lijken te liggen in de zone waar de grondvervanging is gebeurd.

3.9 Proefstukken gemaakt uit gesampled materiaal

3.9.1 Proctor op gesampled materiaal

Er is door EMIB een gewijzigde proctorproef uitgevoerd op het gesampled materiaal. De resultaten van de proctorproef bedragen

- Natte dichtheid 2.065 kg/m³
- Watergehalte 4,2 %
- Droge dichtheid 1.942 kg/m³

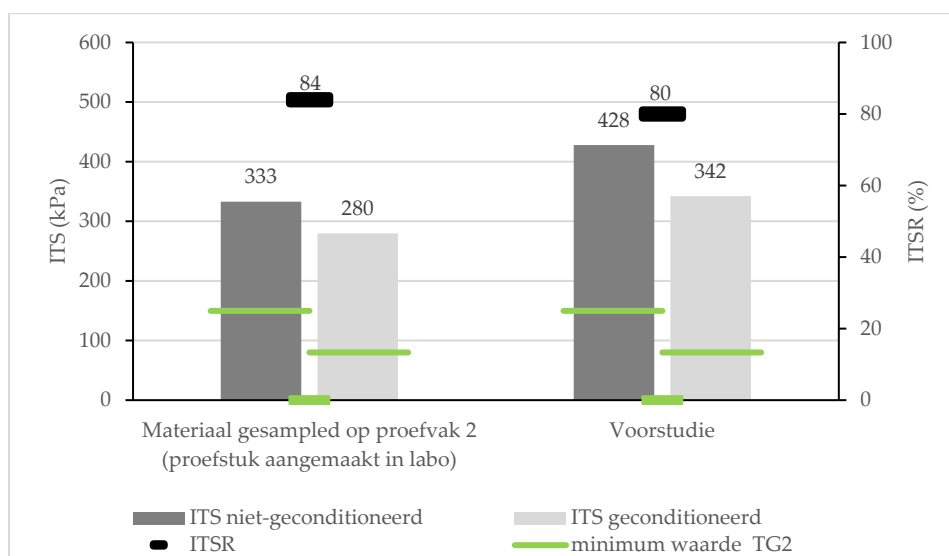
Door het OCW is er tevens een monster genomen waarop een gewijzigde proctorproef is gebeurd. De resultaten hiervan bedragen:

- Natte dichtheid 2.100 kg/m³
- Watergehalte 6,2 %
- Droge dichtheid 1.977 kg/m³

Deze beide resultaten liggen lager dan de referentie gewijzigde Proctor densiteit van 2.03 t/m³ maar hun watergehaltes liggen dan ook respectievelijk lager en hoger dan het optimale watergehalte waarbij die referentiedensiteit werd gemeten.

3.9.2 ITS op gesampled materiaal

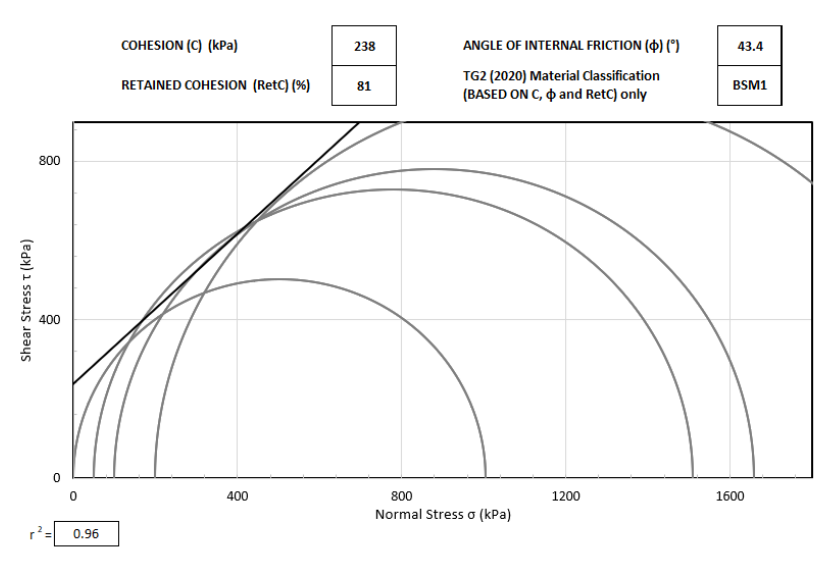
Er zijn proefstukken aangemaakt met gesampled materiaal waarop ITS en ITSR testen uitgevoerd zijn. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 60.



Figuur 60: ITS en ITSR resultaten op gesampled materiaal – proefvak 2

3.9.3 Triaxiaalproeven op gesampled materiaal

Er zijn triaxiaal proeven uitgevoerd op proefstukken vervaardigd uit het gesampled materiaal. De resultaten geven een cohesie van 238 kPa en een wrijvingshoek van $43,4^\circ$ (zie Figuur 61). Ter vergelijking: in de voorstudie werd een cohesie van 279 kPa en een wrijvingshoek van $35,3^\circ$ bekomen.

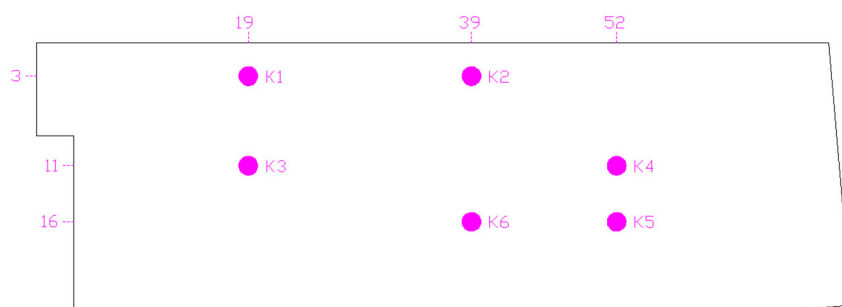


Figuur 61: resultaat triaxiaaltest uitgevoerd op gesampled materiaal – proefvak 2

3.10 Boorkernen

3.10.1 Het boren van kernen

Er zijn 6 boorkernen genomen op de locaties aangeduid in Figuur 62. De boorkernen werden genomen op woensdag 21 september 2022.



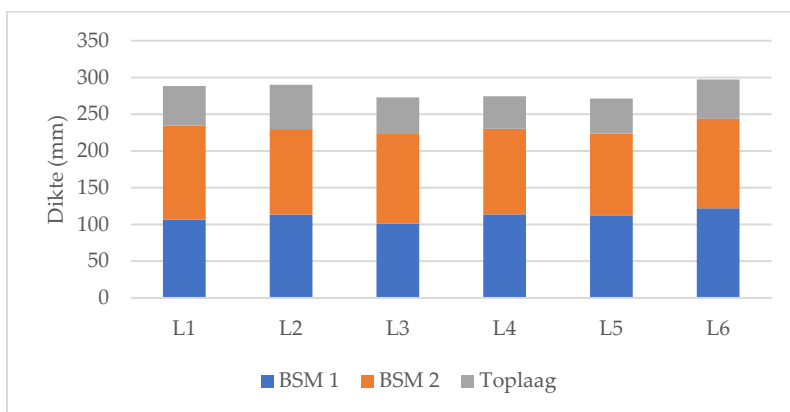
Figuur 62: locatie boorkernen – proefvak 2

3.10.2 Diktemetingen boorkernen

De resultaten van de diktemetingen uitgevoerd op de boorkernen zijn weergegeven in Tabel 15 en Figuur 63.

Tabel 15: resultaten diktemetingen boorkernen – proefvak 2

Meetpunt	BSM 1 (mm)	BSM 2 (mm)	BSM totaal (mm)	Toplaag (mm)
K1	107	128	234	54
K2	114	116	230	60
K3	101	122	223	50
K4	114	117	230	44
K5	112	111	224	48
K6	122	122	244	54
AVG	112	119	282	52
Stdev	7	6	11	6



Figuur 63: resultaten diktemetingen boorkernen – proefvak 2

De resultaten in 13 en 63 tonen een beperkte variatie van de laagdiktes van de verschillende lagen. De opgemeten diktes van de kernen worden vergeleken met de gemeten diktes via de metalen plaatjes (Mittscan). De resultaten worden weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16: vergelijking diktes kernen met diktes gemeten met Mittscan

Kern	Dikte kernen (mm)			Mittscan (mm)			Δ dikte t.o.v. kernen (mm)		
	BSM	Toplaag	Totale dikte	BSM	Toplaag	Totale dikte	Δ BSM	Δ toplaag	Δ totale dikte
L1	234	54	288	233	46	279	-1	-8	-9
L2	230	60	290	249	60	309	19	0	19
L3	223	50	273	230	42	272	7	-8	-1
L4	230	44	274	226	46	272	-4	2	-2
L5	224	48	271	183	43	226	-41	-5	-45
L6	244	54	297	267	54	307	23	0	10

Het verschil tussen de metingen met de Mittscan en de diktemetingen op de kernen is groter dan normaal het geval is bij traditionele asfaltwerken. Voor de asfaltlaag zijn de afwijkingen nog relatief beperkt, maar voor de BSM-laag zijn de verschillen groot. Mogelijks bewegen of vervormen de platen tijdens de aanleg en de verdichting van de BSM-laag. Wanneer een reflectorplaat niet meer horizontaal ligt zal dit leiden tot onnauwkeurige metingen.

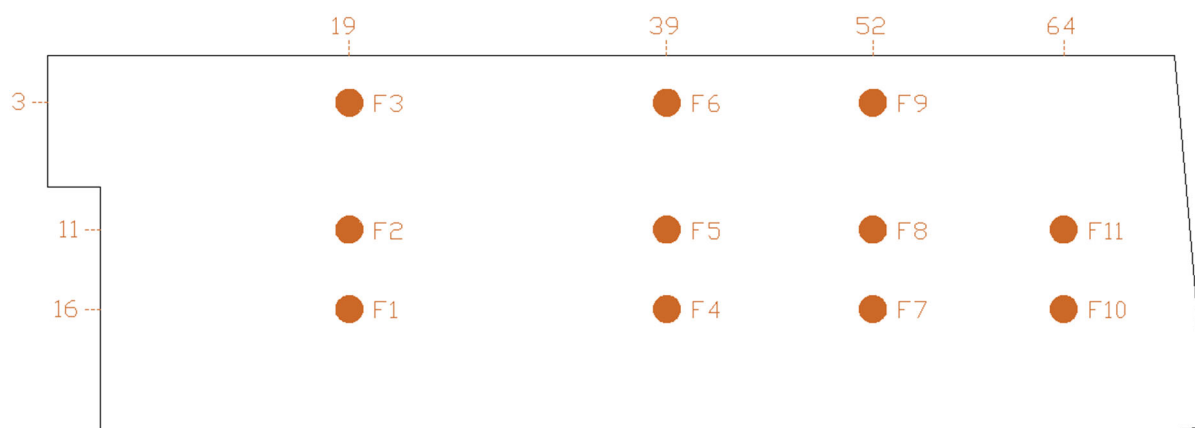
3.11 Valgewichtmetingen op asfalt toplaag

De valgewichtdeflexiometingen werden door AWV uitgevoerd na het aanbrengen van de asfalt toplaag (zie Figuur 64).



Figuur 64: foto uitvoeren valgewichtmetingen door AWV – proefvak 2

De metingen zullen ongeveer elke zes maanden herhaald worden om de evolutie in de stijfheid op te volgen. De metingen zullen telkens op exact dezelfde locaties uitgevoerd worden schematisch voorgesteld in Figuur 65.



Figuur 65: locatie meetpunten FWD – proefvak 2

In Tabel 14 worden de resultaten van de back-calculaties- op de FWD metingen, uitgevoerd op 31/08/2022 weergegeven.

Tabel 17: resultaten back-calculaties op FWD metingen op asfaltverharding 31/08/2022

kant loods		midden		kant burelen	
FWD	Stijfheid BSM	FWD	Stijfheid BSM	FWD	Stijfheid BSM
	(MPa)		(MPa)		(MPa)
1	1900	2	1500	3	1200
4	1650	5	2200	6	1250
7	1450	8	2300	9	1900
FWD	Stijfheid onderfundering	FWD	Stijfheid onderfundering	FWD	Stijfheid onderfundering
1	510	2	590	3	590
4	190	5	330	6	360
7	275	8	330	9	330

Als we hiervan gemiddelde waardes berekenen bekomen we:

E-modulus BSM : 1705 MPa

“ onderfundering : 389 MPa

We zien een stijfheid van de BSM zoals te verwachten was 10 dagen na de aanleg volgens de ervaring vanuit Zuid-Afrika, hoger dan de waarde een dag na de aanleg in het proefvak 1 (704 MPa) en lager dan de waarde na 3 maanden in proefvak 1 (2900 MPa).

De stijfheid van de onderfundering is ook een stijfheid die binnen de ‘normaal te verwachten’ waardes ligt.

4 Conclusies

4.1 Uitvoering

4.1.1 Productie BSM

4.1.1.1 *In situ*

Bij de in situ techniek wordt een bestaande weg in zijn geheel opgefreesd en wordt het asfaltgranulaat (AG) in dezelfde overgang gemengd met water, schuimbitumen of emulsie en een kleine hoeveelheid cement tot BSM. Het BSM-mengsel wordt onmiddellijk verdicht en onder de juiste helling gebracht. Deze techniek is tijdens de uitvoering van dit onderzoeksproject, ondanks de grote interesse van zowel de wegbeheerders als de leveranciers, niet aan bod kunnen komen. De intrinsieke kenmerken van onze Belgische weginfrastructuur, in het bijzonder de aanwezigheid van veel riooldeksels in onze wegen, hebben ertoe geleid dat deze techniek niet is kunnen ingezet worden.

4.1.1.2 *Near situ*

Deze techniek werd ingezet bij de uitvoering van beide proefvakken. De productie van de BSM wordt uitgevoerd aan de hand van een mobiele centrale KMA240i. Deze mobiele centrale wordt op of in de nabijheid van de werf geplaatst. De bestaande weg wordt op een traditionele wijze gefreesd en het AG wordt ter plaatse op de werf opgeslagen. Het AG hoeft niet naar de asfaltcentrale gebracht te worden om daar verwerkt en daarna opnieuw naar de werf getransporteerd te worden. Zo worden er heel wat transportkilometers en CO₂ uitgespaard.

Het BSM-mengsel wordt op een continue manier geproduceerd in de KMA240i. Aan de KMA240i zijn een cementsilo, een watertank en een bitumentankwagen gekoppeld. Een wiellader voert het AG aan. Dit wordt naar een menger gebracht en gemengd met een kleine hoeveelheid cement, water en schuimbitumen. Het productieproces is een koud proces. Enkel het bitumen wordt verwarmd om te kunnen opschuimen. Alle granulaten en toeslagstoffen zijn koud en het uiteindelijke BSM-mengsel is eveneens een koud mengsel.

BSM is een granulair funderingsmateriaal dat gestabiliseerd is met schuimbitumen of emulsie. Bij de productie van granulaire funderingsmaterialen is het watergehalte een belangrijke parameter. Een optimum watergehalte, dat vooraf bepaald wordt in een voorstudie (proctor), is van cruciaal belang om een goede verdichtingsgraad te bekomen. Het AG, dient in de periode tussen opslag en verwerking beschermd te worden tegen overvloedige regen. Wanneer het watergehalte van het AG hoger is dan het optimum bepaald in de voorstudie zal dit een negatieve invloed hebben op de uiteindelijke verwerking van het BSM-mengsel. Het teveel aan water kan niet verwijderd worden in het productieproces.

4.1.2 Spreading BSM met asfaltspredmachine.

BSM wordt aangelegd met een asfaltspredmachine. De asfaltspredmachine maakt het mogelijk om de BSM op een gelijkmatige manier (dikte) te verspreiden en een eerste verdichting mee te geven. Bij de uitvoering van beide proefvakken werd een asfaltspredmachine van het type Vögle Super1800-3i gebruikt. Bij het spreiden van BSM dient rekening gehouden te worden dat:

- De overdikte die nodig is om de gewenste dikte te bekomen na verdichting groter is dan bij asfaltmengsels.
- Segregatie bij het storten van de BSM in de machine is zo goed als onvermijdelijk. De grotere stukken AG rollen naar de buitenkant van de hopper.

- Bij een vrachtwagenwissel zal het dichtklappen van de hopper in combinatie met het verder leegrijden van de machine leiden tot de vorming van nesten.

4.1.3 Verdichting

BSM is een granulair funderingsmateriaal en dient zo verwerkt te worden. Zeker wanneer er dikkere lagen (>10cm) worden aangelegd is het gebruik van specifiek verdichtingsmateriaal voor funderingen aangewezen:

- Schapenpootwals van 16t voor de onderste laag
- Tandemwals 12t voor alle lagen
- Bandenwals 16t voor de top laag

De verdichting kan enkel optimaal verlopen wanneer het watergehalte dicht bij het optimum watergehalte ligt zoals bekomen uit de voorstudie. Wanneer het warm en zonnig is dient er water toegevoegd te worden tijdens de verdichting.

BSM is een koud mengsel en dient niet tegen de tijd (afkoeling) verdicht te worden. In de hier gebruikte mix zit er wel cement als filler dus dient de verdichting wel best binnen de verhardingstijd van die cement te gebeuren.

4.2 Handhaven dikte

Uit de resultaten van de diktemetingen op de geboorde kernen kan besloten worden dat:

- De dikte van de eerste BSM-laag in het eerste proefvak meer variatie toont;
- Er met BSM kan geprofileerd worden net zoals dat het geval is met asfaltmengsels;
- Het mogelijk is om een constante laagdikte aan te houden;
- De resultaten van de Mittscan meting ter plaatse van de reflectorplaatjes op de onderfundering geven afwijkende waarden ten opzichte van de boorkernen.

4.3 Handhaven dichtheid

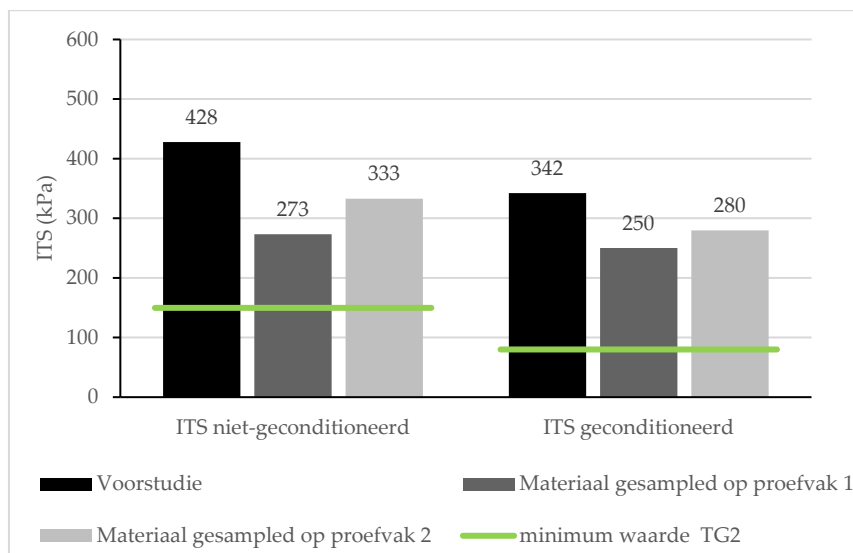
Nucleaire densiteitsmetingen zijn een goede (en ook de enige) manier om de verdichting van een BSM funderingslaag op de werf te kunnen controleren, op voorwaarde dat ook systematisch watergehaltes worden gemeten op monsters genomen tijdens het uitvoeren van die densiteitsmetingen.

4.4 FWD-metingen

De FWD-metingen blijken een goede manier te zijn om de stijfheid van de BSM fundering in te kunnen schatten. Het verder uitvoeren van deze metingen gedurende de komende jaren kan veel nuttige informatie verschaffen over de te gebruiken stijfheden bij het toekomstige ontwerp van wegstructuren met BSM.

4.5 ITS- en ITSR metingen op gesampled materiaal

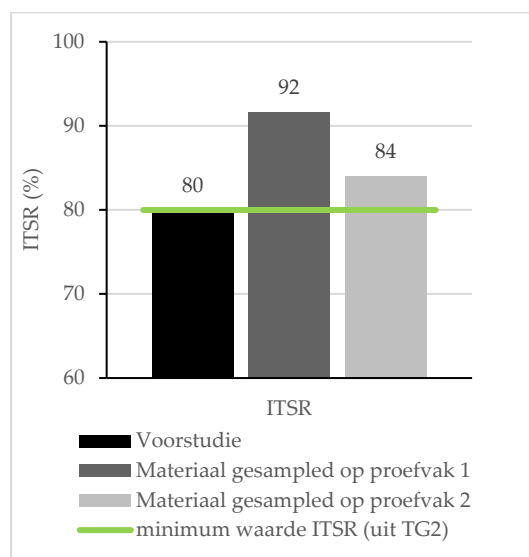
De ITS waarden van de proefstukken gemaakt uit gesampled materiaal zijn weergegeven in Figuur 66.



Figuur 66: resultaten ITS proeven op gesampled materiaal

De ITS waarden waren het hoogst bij de voorstudie, bij proefvak 2 en het laagst bij proefvak 1.

De vergelijking van de ITSR waarden is weergegeven in Figuur 67. De ITSR waarde is het hoogst bij het materiaal van proefvak 1. Dit komt door de lage ITS-waarde van de niet-geconditioneerde proefstukken.



Figuur 67: resultaten ITSR proeven op gesampled materiaal

4.6 Radarmetingen

Na analyse van de meetcampagnes van Odisee en OCW werden volgende vaststellingen opgetekend:

- Met behulp van RADAR technieken is het mogelijk om een duidelijk beeld te krijgen van het dwarsprofiel en langsprofiel van een asfaltweg. De lagenopbouw kan gevisualiseerd worden;
- Afhankelijk van de frequentie en type RADAR kan men een beter/minder beeld bekomen in de diepte:

- Op deze site zijn de hoge frequentie antennes beter geschikt om de dikte van het asfalt en de dikte van asfalt + BSM te bepalen;
- Anderzijds: de onderkant van de onderfundering is beter zichtbaar met de lagere frequentie antenne;
- De uitvoeringsduur van de RADAR-metingen is relatief beperkt en weinig arbeidsintensief;
- RADAR metingen geven een continue digitale reconstructie weer van de wegoopbouw op niet-destructieve wijze, daar waar de klassieke technieken destructief (kernboringen) of niet-destructief (MIT-scan) te werk gaan en slechts een lokale weergave van de lagenopbouw geven;
- Een exacte bepaling van de laagdiktes is niet mogelijk zonder destructieve kalibratie met behulp van bijvoorbeeld kernboringen. Om de laagdikte via RADAR metingen in te schatten dient de voortplantingssnelheid of diëlektrische constante gekend te zijn. Deze parameter is bovendien afhankelijk van temperatuur, vochtgehalte, type materiaal, verdichtingsgraad, ... Dit maakt dat de laagdiktes afgeschat kunnen worden met goede resultaten tot gevolg, vooral als de opbouw homogeen is;
- Indien geen destructieve kalibratie wordt uitgevoerd is inschatting van de laagdiktes relatief onnauwkeurig;
- De reflector plaatjes op de overgang tussen de verschillende lagen kunnen zeer goed en duidelijk gedetecteerd worden met RADAR technieken;
- Voor het opsporen van holtes opsporen zijn RADAR technieken minder geschikt.

5 Aanbevelingen

(Nog verder aan te vullen)

5.1 Voorbereidingen mengselontwerp

- Het BSM-mengselontwerp dient voldoende op voorhand te gebeuren, zodat als in de laatste fase de triaxiaaltest niet aan de eisen voldoet, er voldoende tijd beschikbaar is voor een nieuw mengselontwerp zonder dat dit overhaast dient te gebeuren.
- Het ontwerp slechts op het laatste uitvoeren creëert onnodige druk en ruimte voor fouten.
- Wanneer er met 100 % asfaltgranulaat gewerkt wordt kunnen er als back-up verschillende mengsels geproduceerd te worden met gebroken zand (100%, 90-10%, 80-20%), zodat -indien de triaxiaaltest niet voldoet – er sneller geschakeld kan worden.
- het mengselontwerp dient te gebeuren met het geschikte materieel zoals beschreven staat in *PART III: Mix design of BSM*.
-
-

5.2 Productie met KMA240i

- De KMA240i dient zo kort mogelijk bij de werf opgesteld te worden om maximaal te renderen;
- Het cement wordt bij voorkeur aangevoerd via een cementsilo;
- Het asfaltgranulaat heeft bij voorkeur een watergehalte dat lager ligt dan het optimum zodat dit tijdens de productie kan bijgestuurd worden tot het optimum watergehalte dat bepaald werd in de voorstudie.

- Indien hevige regenval de dagen voor de aanleg dient de berg asfaltgranulaat afgedekt te worden

5.3 Spreiden en verdichten van BSM

- Onderfundering moet helemaal klaar zijn alvorens met de BSM-laag te kunnen starten
 - Vlak
 - Homogeen verdicht
 - Vegetatie en kleivervuiling verwijderd
 - Voorbereiding putdeksels
 - Geen oververzadigde plaatsen met plasvorming
- Om een hoge productie te kunnen halen dienen voldoende vrachtwagens beschikbaar te zijn.
- Het gebruik van een asfaltspreidmachine met zware verdichtingsbalk is aanbevolen;
- Voldoende overdikte ($\pm 30\%$) dient voorzien te worden bij de aanleg om de gewenste dikte over te houden na de verdichting van de BSM;
- BSM dient behandeld te worden als een granulair funderingsmateriaal;
- Voldoende zwaar verdichtingsmateriael wordt aanbevolen om de BSM te verdichten:
 - Schapenpotenwals van 16t;
 - Tandemwals 12t;
 - Bandenwals 16t;
- Vanaf 20 cm totale BSM-laagdikte is het aangewezen om de BSM in twee lagen aan te leggen;
- Bij warm weer is het aanbevolen om de BSM vochtig te houden;
- Voor een tweede laag aangelegd wordt dient de eerste laag eveneens bevochtigd te worden voor een goede hechting te garanderen;
- De dikte dient voldoende gecontroleerd te worden
- De BSM dient afgedekt te worden met een verdunde emulsie SS60 anionic 15 %. Deze coating dient ter bescherming van de BSM-lagen tegen het verkeer en laat gelijktijdig toch toe dat het (verdichtings) water verder kan verdampen. Het oppervlak dient nat gemaakt te worden en de verdunde emulsie dient ingewalst te worden om zo het kleven van de emulsie te voorkomen.

6 Annex

6.1 Annex A : Rapport radarmetingen Odisee



DUBiT

Onderzoekskern Duurzaam (ver)bouwen in Team

Verslag
2022_0822

Vlaio TETRA – FOAM

Radarmetingen proefvak Neder-Over-Heembeek

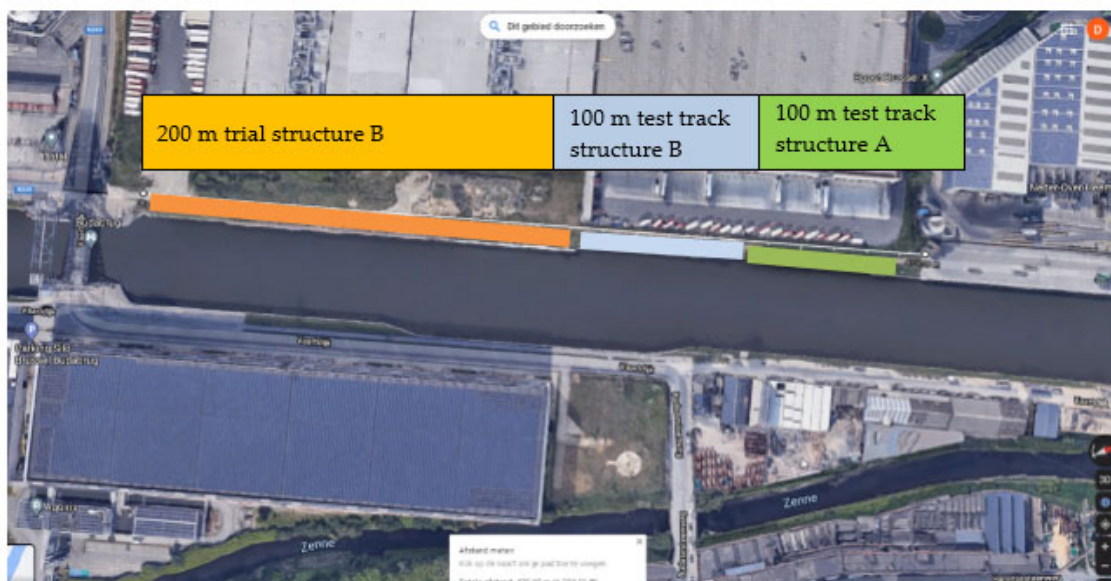
Craeye Bart, dr.ir.

22/08/2022

1 Doel van het in-situ onderzoek

In kader van het Vlaio-TETRA project 'Duurzame funderingen door in situ recycling met schuimbitumenttechnologie' – FOAM, werd een eerste proefvak aangelegd gelegen te Vilvoordsesteenweg 126 te Neder-Over-Heembeek (naast kanaal).

Hierbij werden 2 testzones aangelegd, structuur A en structuur B (Figuur 1.1). Beide structuren hebben een lengte van ongeveer 100 m en een wegbreedte van ongeveer 7 m.



Figuur 1.1: locatie van de verschillende structuren/proefvakken

Na aanleg van het proefvak werden RADAR metingen uitgevoerd op proefvak A en proefvak B: dit zowel door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) als door onderzoekskern DUBiT van Odisee Hogeschool.

De metingen werden uitgevoerd op donderdag 18 augustus 2022. Binnen DUBiT maakt men gebruik van de C-thru radar van IDS GeoRadar.

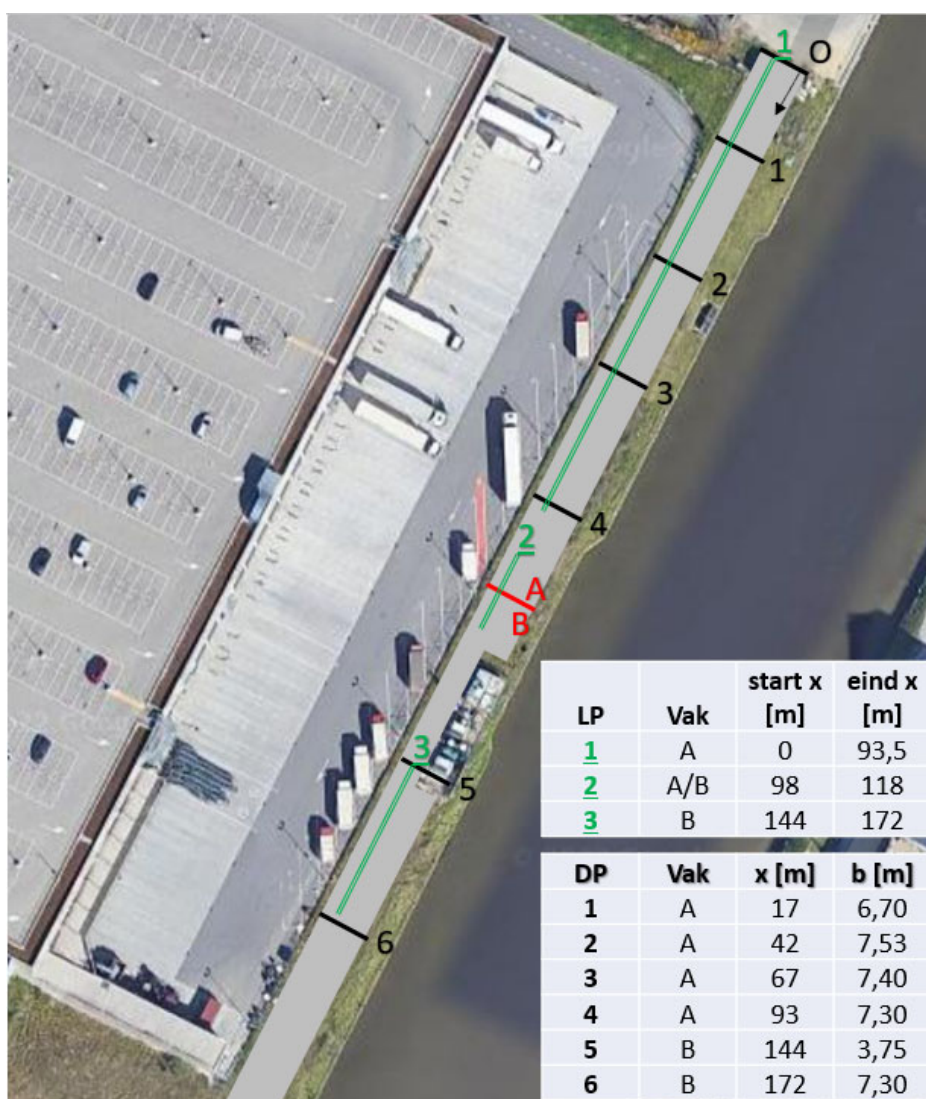
De resultaten van het onderzoek staan weergegeven in dit rapport 2022_0822.

2 Specificatie van het in-situ onderzoek

2.1 Locatie van het in-situ onderzoek

In totaliteit werden voor de RADAR metingen 6 dwarsprofielen en 3 langsprofielen opgemeten. De exacte locaties staan weergegeven in Figuur 2.1.

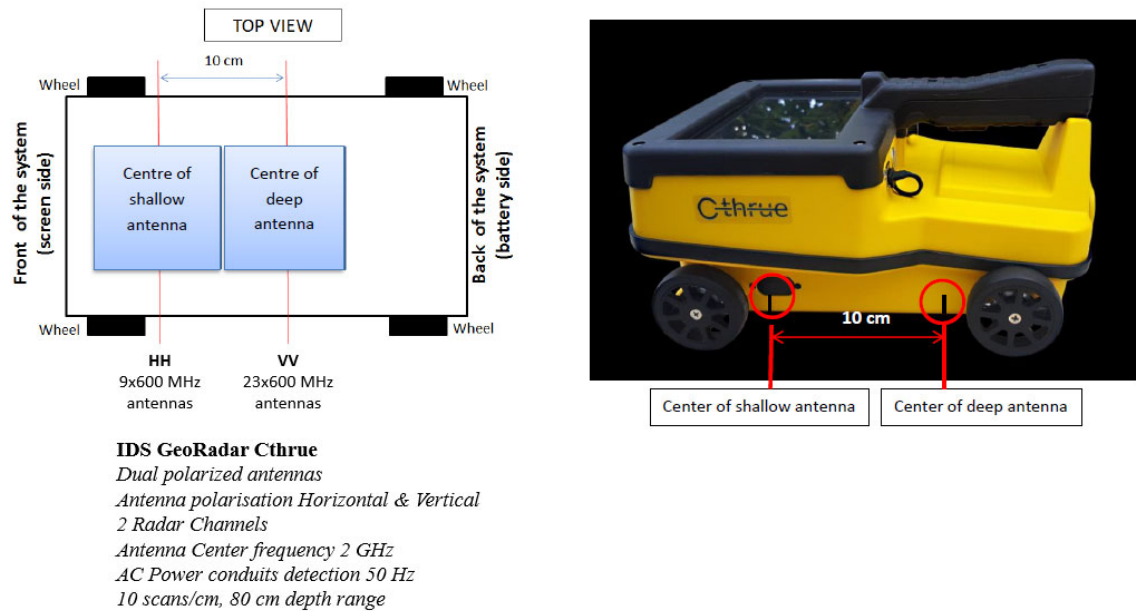
Voor de dwarsprofielen werden de metingen gestart in de richting weg van het kanaal naar het magazijn toe (Figuur 2.3). Voor testvak A werden dwarsprofielen DP1 t.e.m. DP4 opgemeten, voor testvak B dwarsprofielen DP5 en DP6. Er werd één langsprofiel per testvak voorzien aangevuld met een langsprofiel ter hoogte van de overgang tussen testvak A en B (cfr. LP2).



Figuur 2.1: locatie van de meetlocaties

2.2 Specificatie van de gebruikte apparatuur

Voor de metingen werd gebruik gemaakt van de C-thrue radar (IDS GeoRadar). De specificaties staan weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2: Specificaties van C-thrue radar



Figuur 2.3: Opstelling RADAR meting



De ruwe datafiles en bijhorende A-scans en B-scans van de RADAR metingen zijn beschikbaar. Met behulp van softwarepakket Gred-3D kunnen deze datafiles uitgelezen en gevisualiseerd worden. Het betreft 15 datafiles:

- DP1: 175839 – 180044 – 180214 – 180427
- DP2: 181809 – 181913
- DP3: 182411 – 182313
- DP4: 184300
- DP5: 185124 – 185356
- DP6: 190031
- LP1: 191023
- LP2: 175535
- LP3: 174652

3.1 Resultaten van de dwarsprofielen

In onderstaande figuren (Figuur 3.1 t.e.m. Figuur 3.6) staan de B-scans van de dwarsprofielen weergegeven. De x-as is de richting van het dwarsprofiel en is in [m] weergegeven. De y-as is de diepte-as en weergegeven in [ns]. Er worden op meerdere locaties kernboringen uitgevoerd, waarvan de resultaten weergegeven zijn in Tabel 3.1. Om de resultaten van de B-scans in [cm] te kunnen uitdrukken (diktemetingen) is kennis van de voortplantingssnelheid [cm/ns] in asfalt (oftewel de diëlektrische constante) noodzakelijk, welke kunnen afgeschat worden via niet-destructieve (MIT-scan) of destructieve validatie (kernboringen). Er dient opgemerkt te worden dat de diëlektrische constante sterk beïnvloedt wordt door temperatuur, verzadigingsgraad, type materiaal, verdichtingsgraad,...

Vergelijking tussen de kernboringen en de RADAR-beelden leveren volgende afschattingen van de voortplantingssnelheid v en diëlektrische constante ϵ op:

- Ter hoogte van DP1: $v = 10.95 \text{ cm/ns}$ – $\epsilon = 7.51$
- Ter hoogte van DP2: $v = 10.91 \text{ cm/ns}$ – $\epsilon = 7.50$
- Ter hoogte van DP4: $v = 11.68 \text{ cm/ns}$ – $\epsilon = 6.60$
- Ter hoogte van DP5: $v = 11.10 \text{ cm/ns}$ – $\epsilon = 7.31$

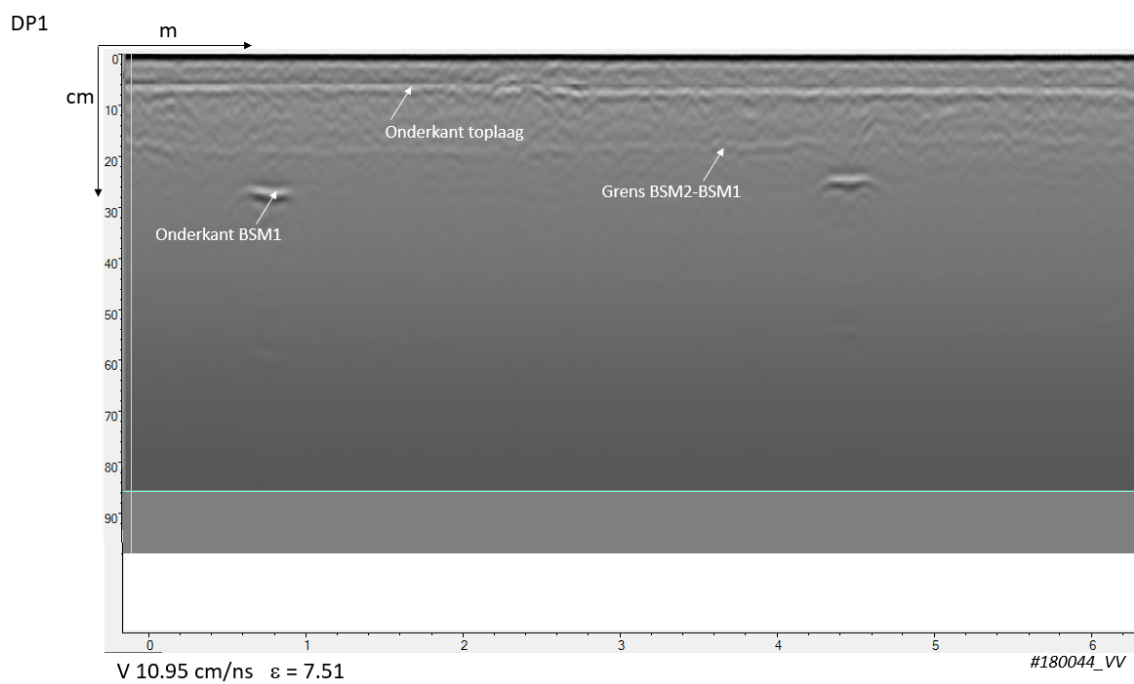
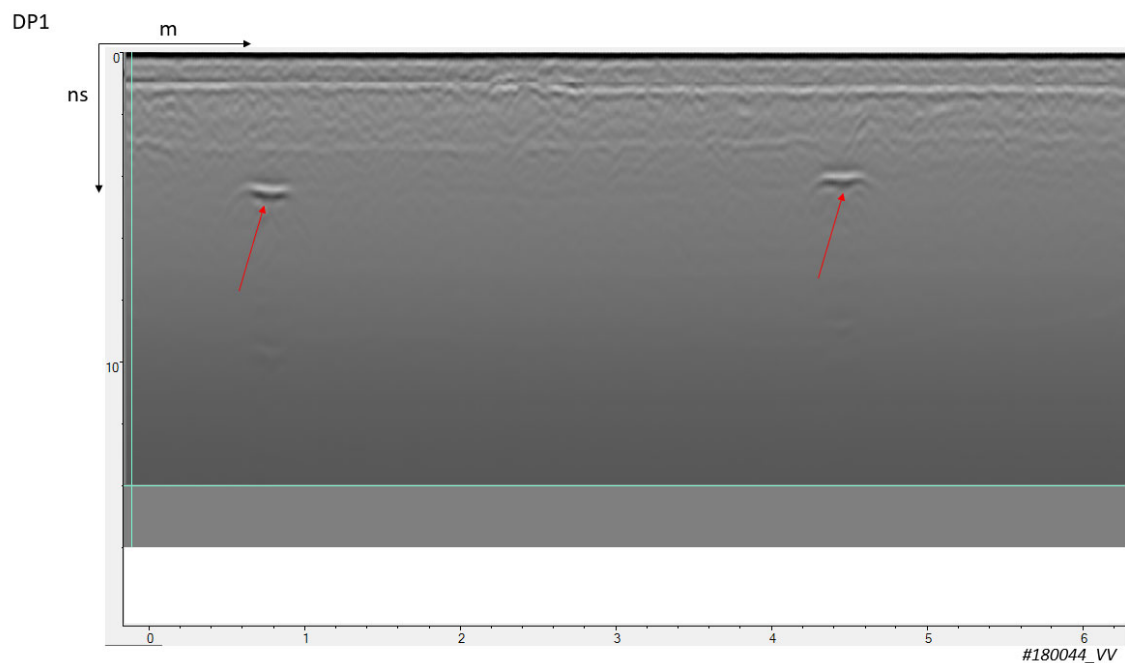
Tabel 3.1: Laagdikte meting via kernboringen OCW

Kern	DP	Toplaag [mm]	BSM2 [mm]	Totaal' [mm]	BSM1 [mm]	Totaal [mm]
A1.1	1	78	96	174	63	237
A1.2	1	66	90	156	104	260
A2.1	2	65	97	162	142	304
A2.2	2	72	98	170	134	304
A4.1	4	62	104	166	138	304
A4.2	4	80	86	166	138	304
A5	5	66	100	166	173	339

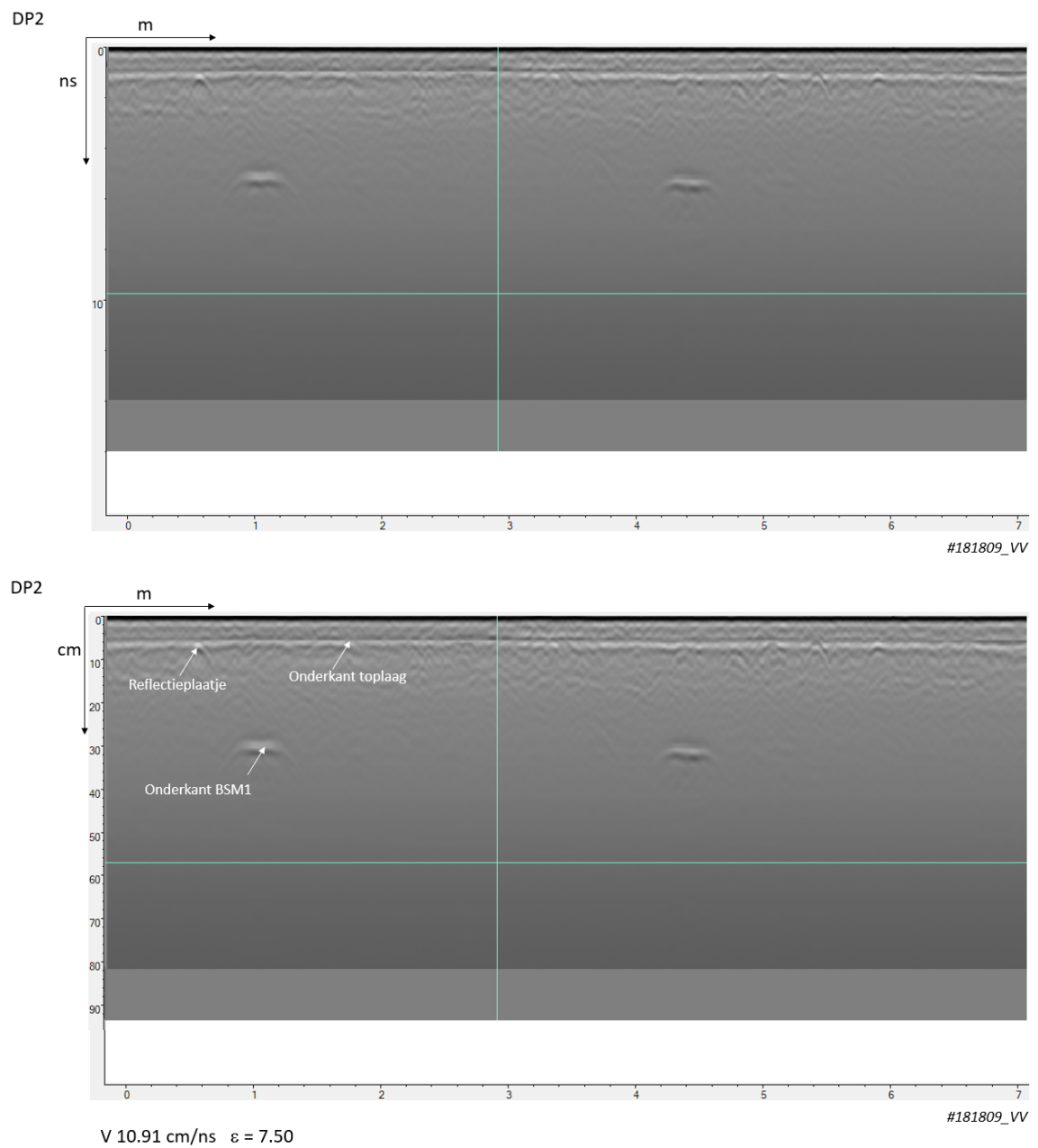
Met behulp van ijkingen en kalibraties (via kernboringen of via MIT-scan resultaten) kan een afschatting gemaakt worden van de laagdiktes.

Er dient opgemerkt te worden dat de grens tussen de toplaag en de daaronder liggende BSM2 laag duidelijk zichtbaar is. De metalen merkplaatjes op deze grenslaag zijn eveneens zichtbaar maar vaak minder opvallend door de zeer duidelijk en prominent aanwezige reflectie tussen toplaag en BSM2.

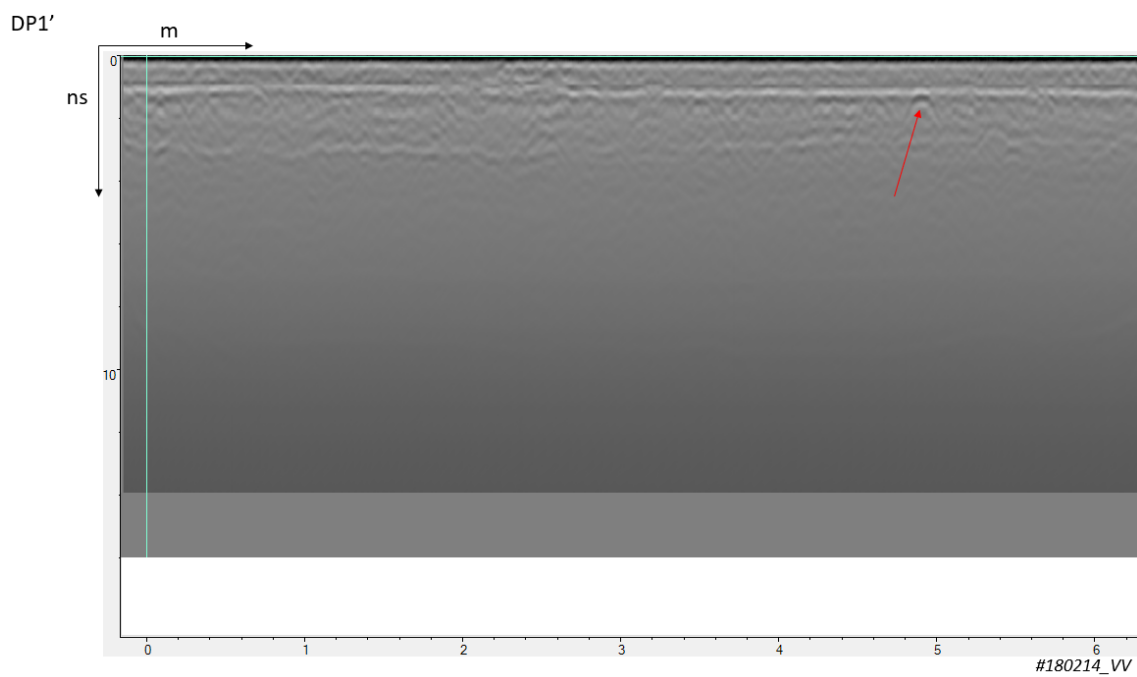
De grens tussen de BSM1 en BSM2 laag is vaak veel minder duidelijk. De onderkant van de BSM1 laag is niet vast te stellen. Anderzijds is er wel een zeer duidelijke reflectie van de daar aanwezige metalen merkplaten.



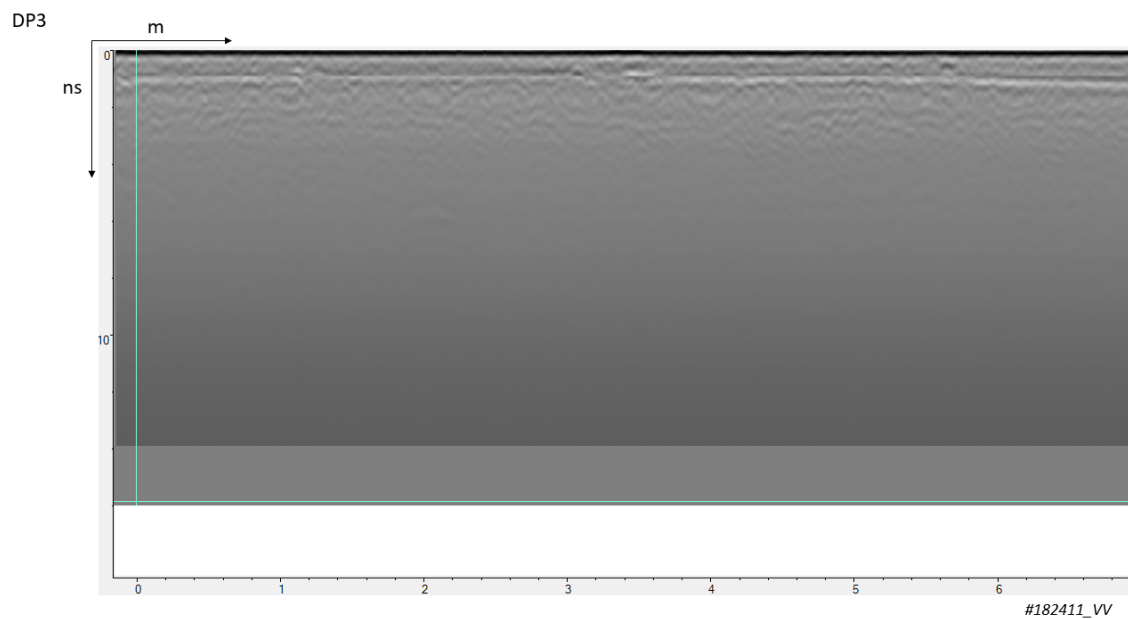
Figuur 3.1: Dwarsprofiel DP1 (testvak A)



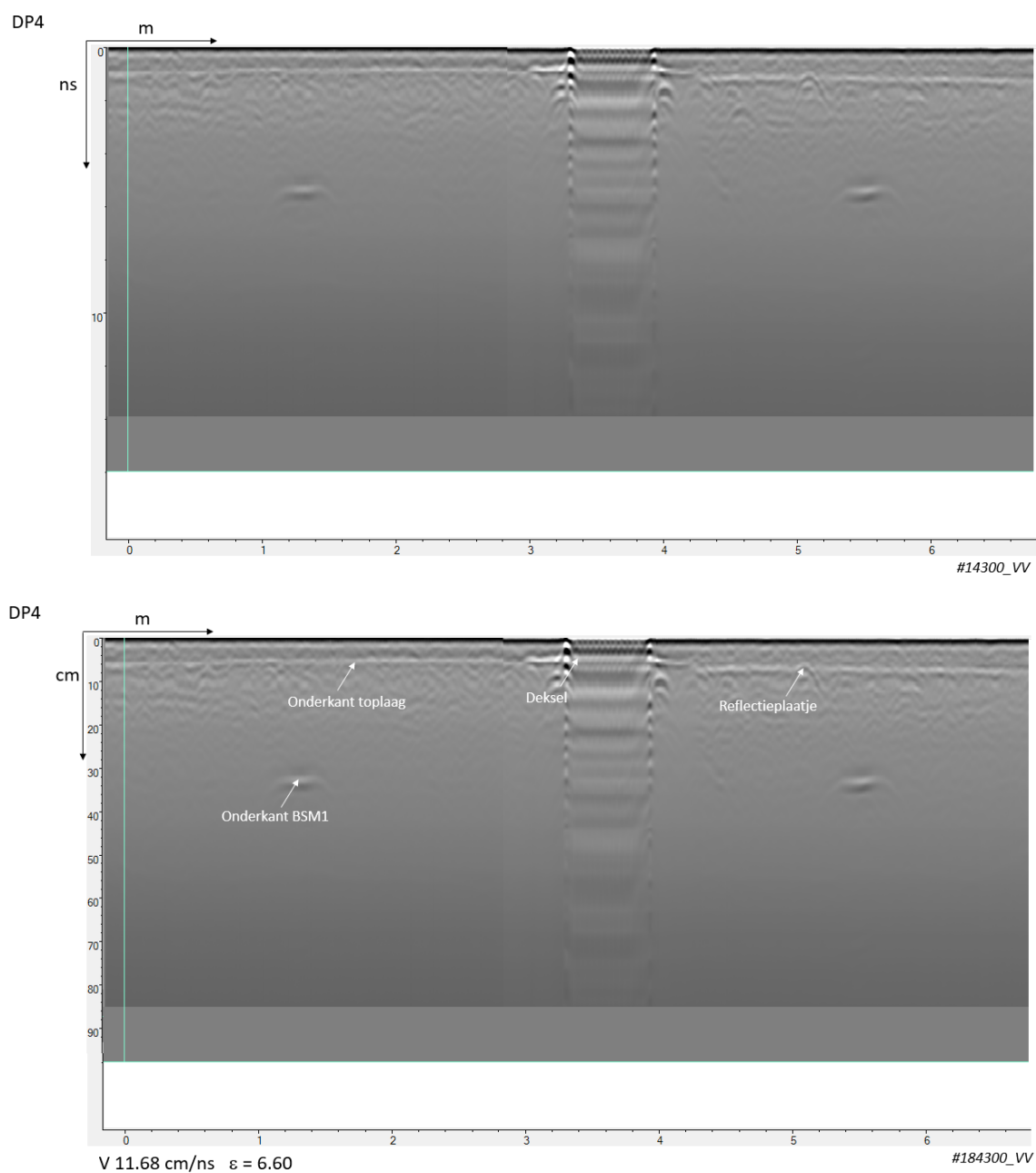
Figuur 3.2: Dwarsprofiel DP2 (testvak A)



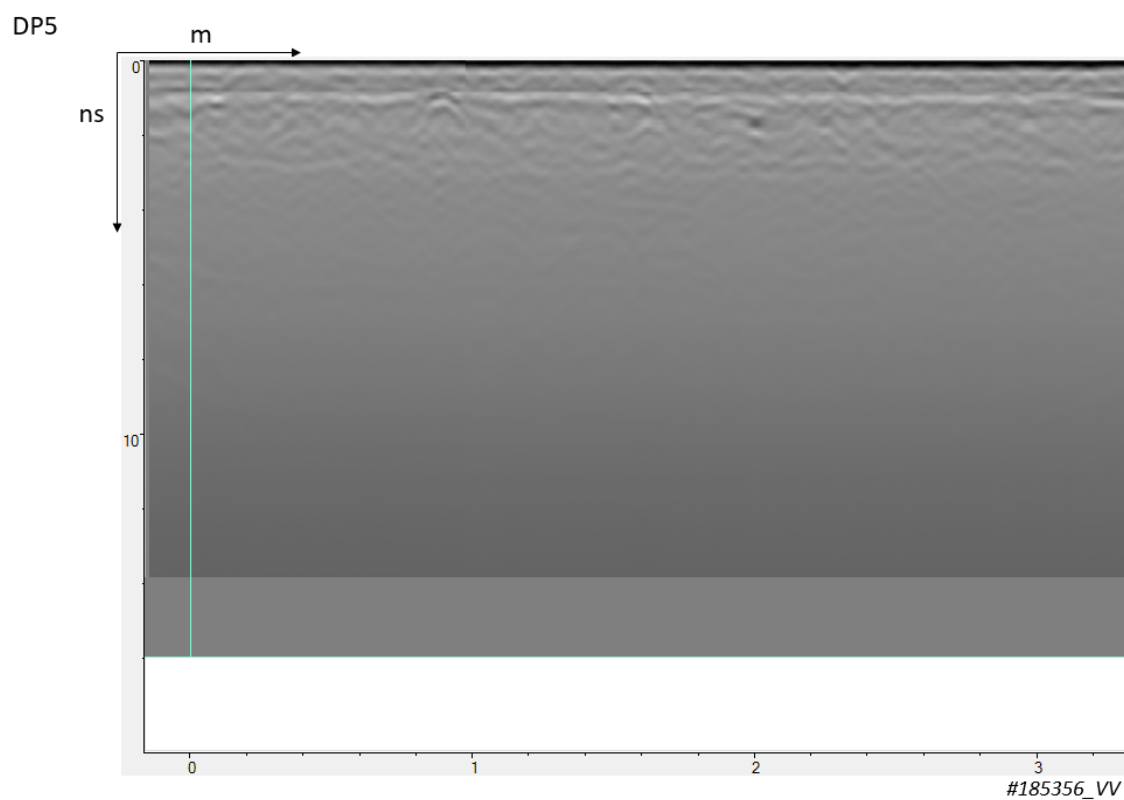
Figuur 3.1': Dwarsprofiel DP1' (testvak A)



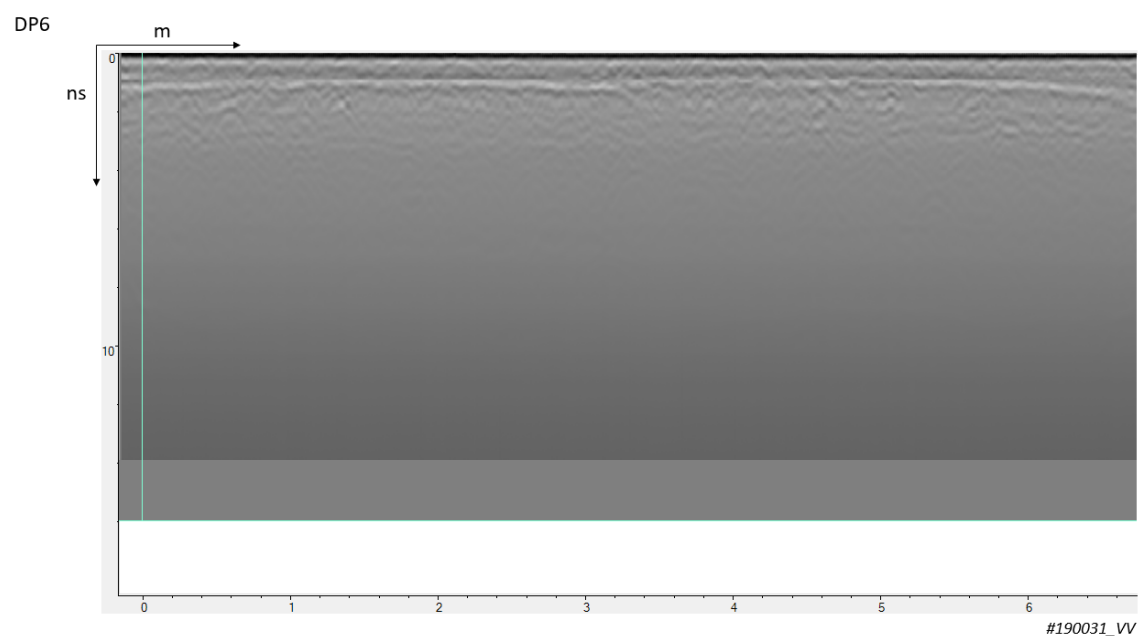
Figuur 3.3: Dwarsprofiel DP3 (testvak A)



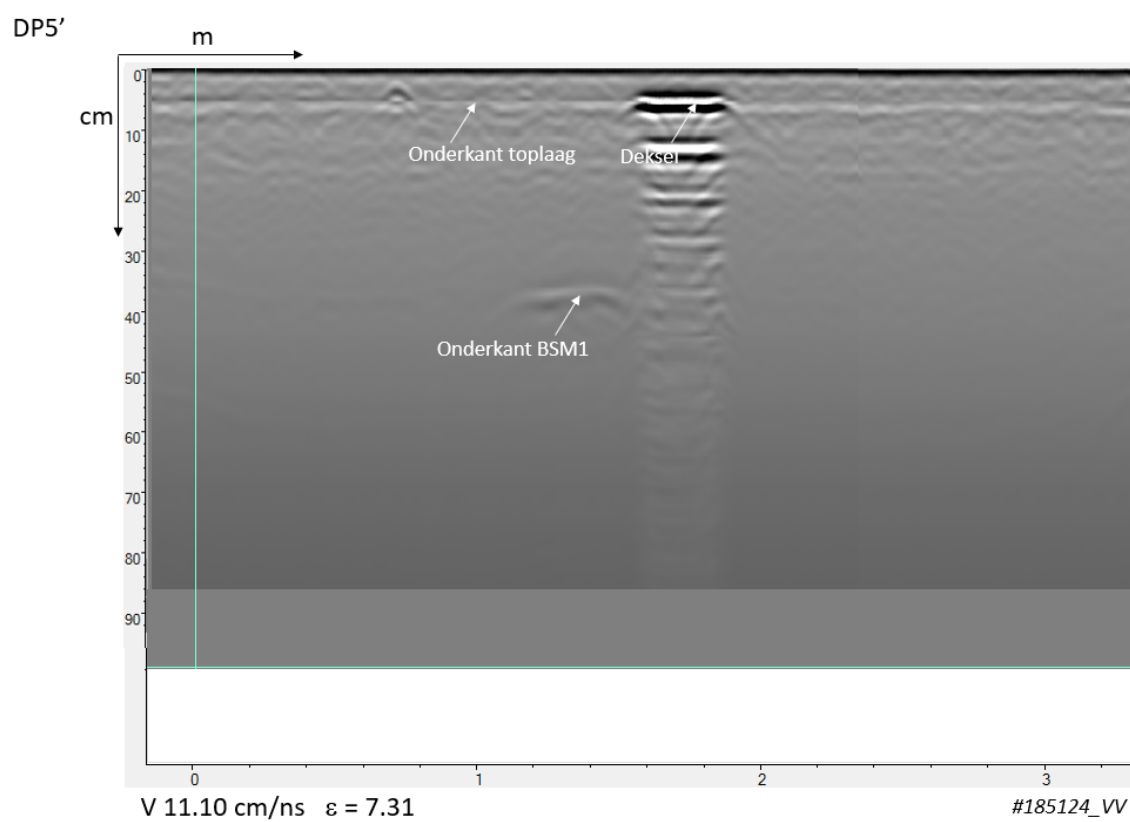
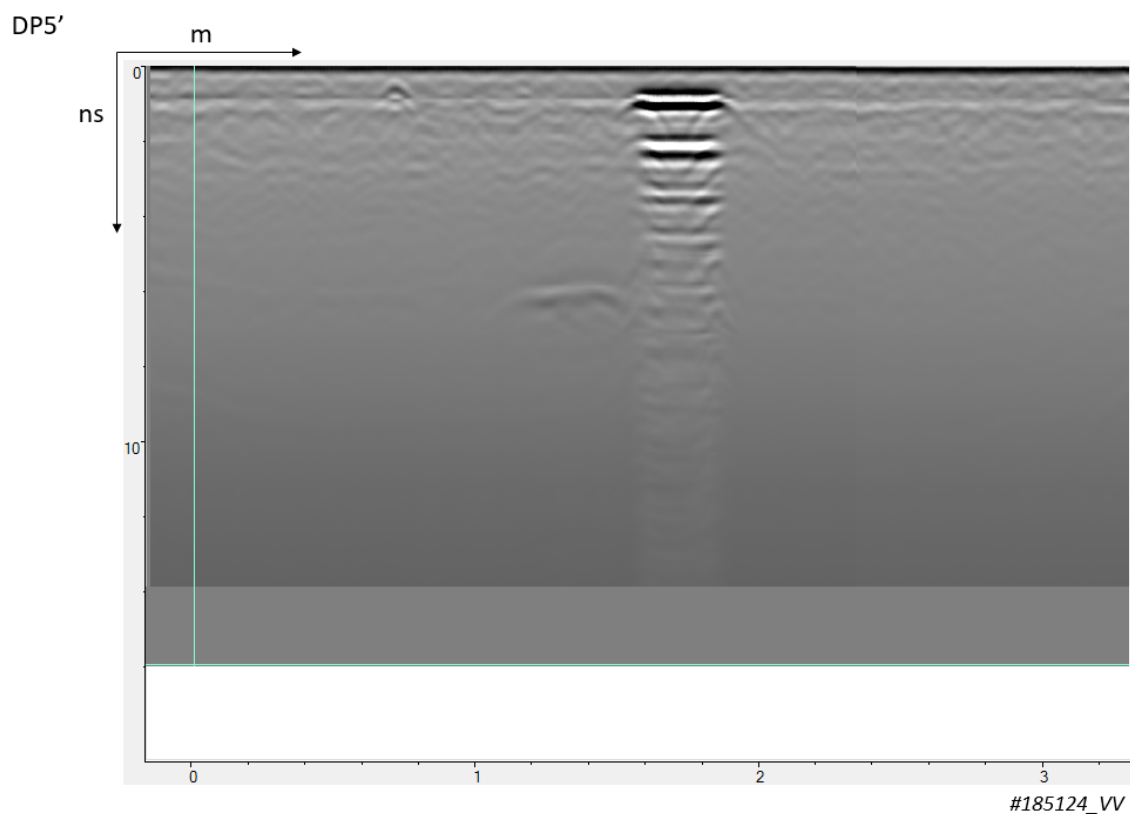
Figuur 3.4: Dwarsprofiel DP4 (testvak A)



Figuur 3.5: Dwarsprofiel DP5 (testvak B)



Figuur 3.6: Dwarsprofiel DP6 (testvak B)

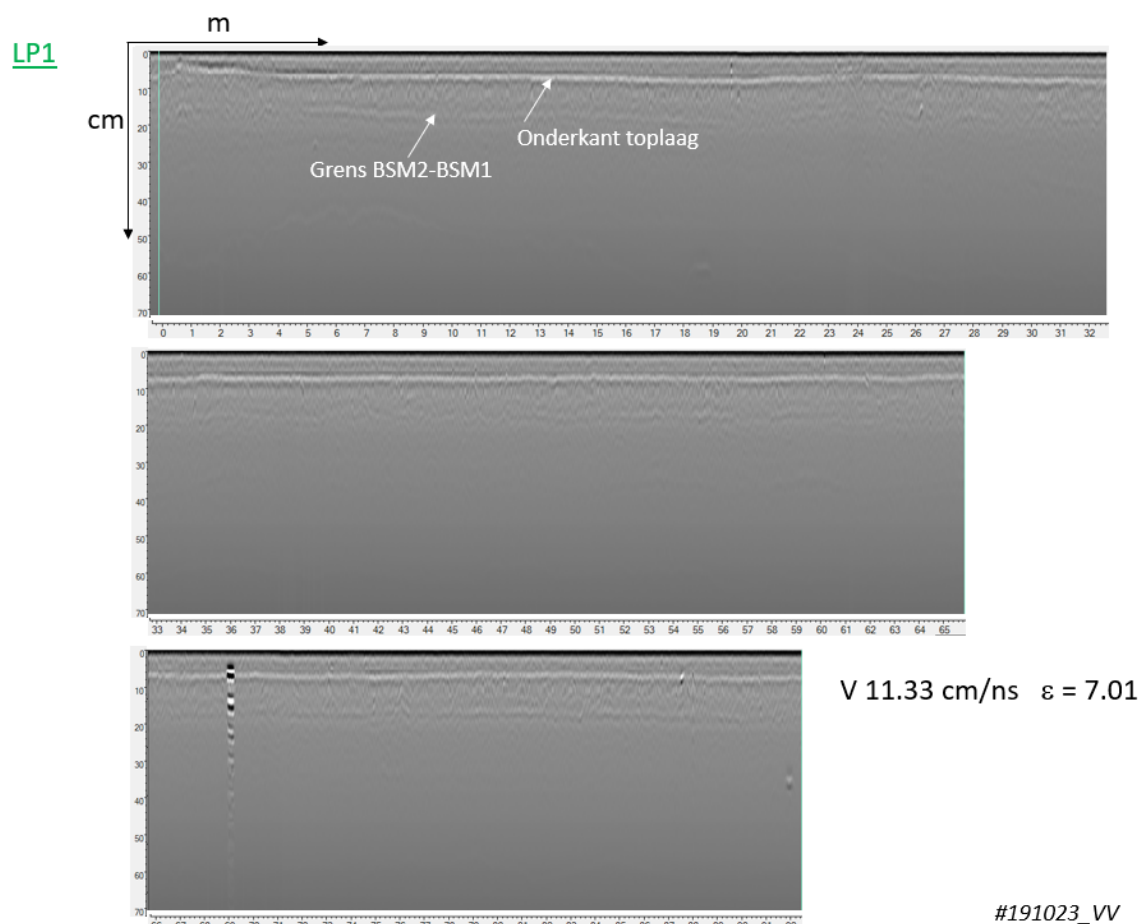


Figuur 3.5': Dwarsprofiel DP5' (testvak B)

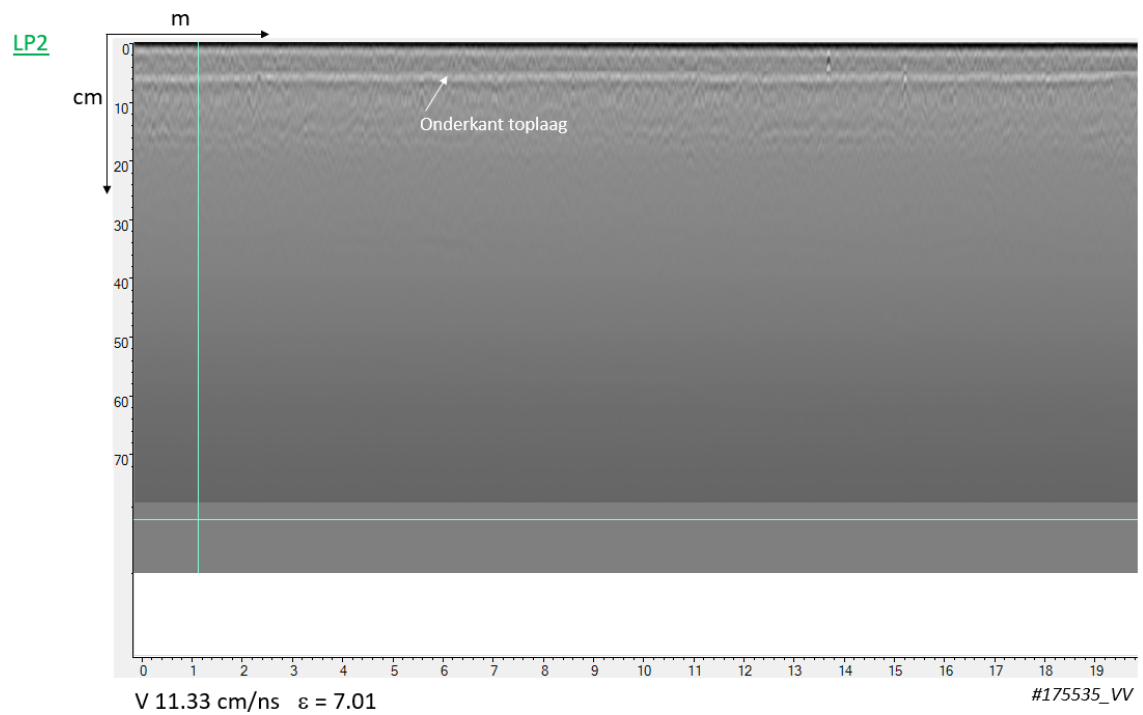
3.2 Resultaten van de langsprofielen

In onderstaande figuren (Figuur 3.7 t.e.m. Figuur 3.9) staan de B-scans van de langsprofielen weergegeven. De x-as is de richting van het profiel (volgens as van de weg) en is in [m] weergegeven. De y-as is de diepte-as en weergegeven in [ns]. Om de dikte in [m] te kunnen weergegeven is kennis van de voortplantingssnelheid in asfalt (oftewel de diëlektrische constante) noodzakelijk. Er werd hiervoor gebruik gemaakt van $v = 11.33 \text{ cm/ns}$, $\epsilon = 7.01$.

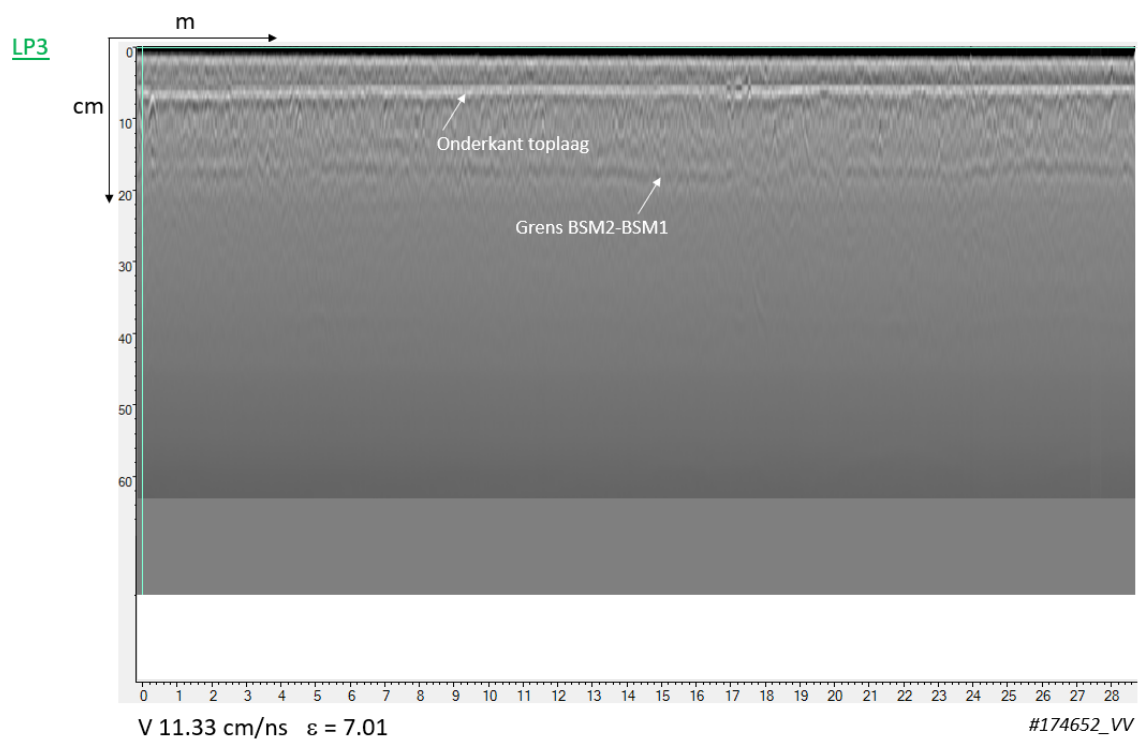
Er dient opgemerkt te worden dat de grens tussen de toplaag en de daaronder liggende BSM2 laag duidelijk zichtbaar is. De grens tussen de BSM2 laag en de onderliggende BSM1 laag is vaak minder duidelijk. De onderkant van de BSM1 laag is niet detecteerbaar.



Figuur 3.7: Langsprofiel LP1 (testvak A)



Figuur 3.8: Langsprofiel LP2 (testvak overgang A/B), overgang op x=10 m



Figuur 3.9: Langsprofiel LP3 (testvak B)

6.2 Annex B: Rapport radarmetingen OCW



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

Geotechniek – Waterafvoer en infiltratietechnieken – Betonwegen

Dossier behandeld door: Colette GREGOIRE – Audrey VAN DER WIELEN
T 02 766 03 19 (Colette) – 02 766 03 87 (Audrey)
E c.gregoire@brrc.be – a.vanderwielen@brrc.be

Onze referentie: Project FOAM/1508

Sterrebeek, 18 oktober 2022

Project FOAM

Radarmetingen te Neder-Over-Heembeek



Postadres

Woluwedal 42 – B-1200 Brussel
T +32 (0)2 775 82 20 – **E** brrc@brrc.be
W www.ocw.be – **BTW** BE 0407.571.927

Kantoren

Fokkersdreef 21	Avenue A. Lavoisier 14
B-1933 Sterrebeek	B-1300 Waver
T +32 (0)2 766 03 00	T +32 (0)10 23 65 00

Locatie van de metingen



Figuur 1 - Locatie van de profielen en metingen.

De metingen werden uitgevoerd op donderdag 14 juli 2022 (één dag na uitvoering) met de 2,6 GHz contactantenne, 900 MHz contactantenne en 2 GHz luchtantenne. Het wegdek werd enkele uren ervoor met water bevochtigd.

Antenne 2,6 GHz

- 1 langs profiel naar de brug toe, midden rijvak – lengte 242 m.
- 2 langse profielen in de andere rijrichting (het profiel werd onderbroken door aanwezigheid van de installatie Envisan; midden rijvak).
- 6 dwarse profielen (vanuit de richting van het kanaal).



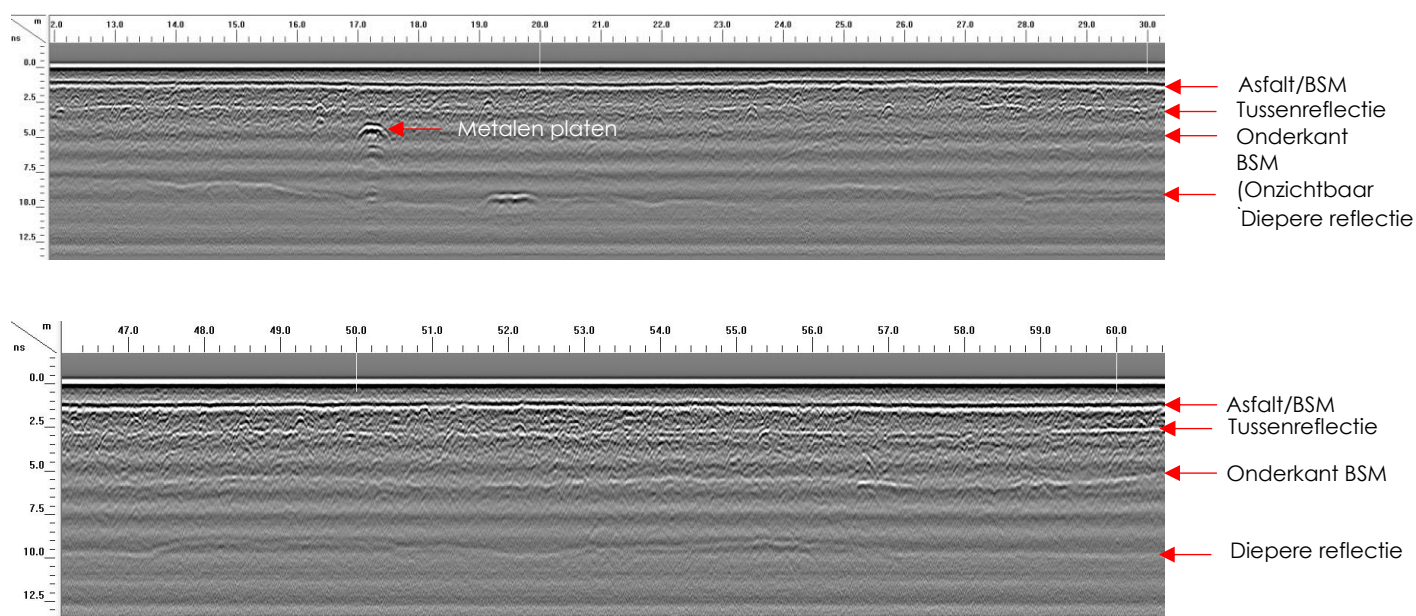
Figuur 2 - Zone waar het profiel werd onderbroken door de installatie Envisan.



Figuur 3 - Contactantenne met GPS.

Verwerking:

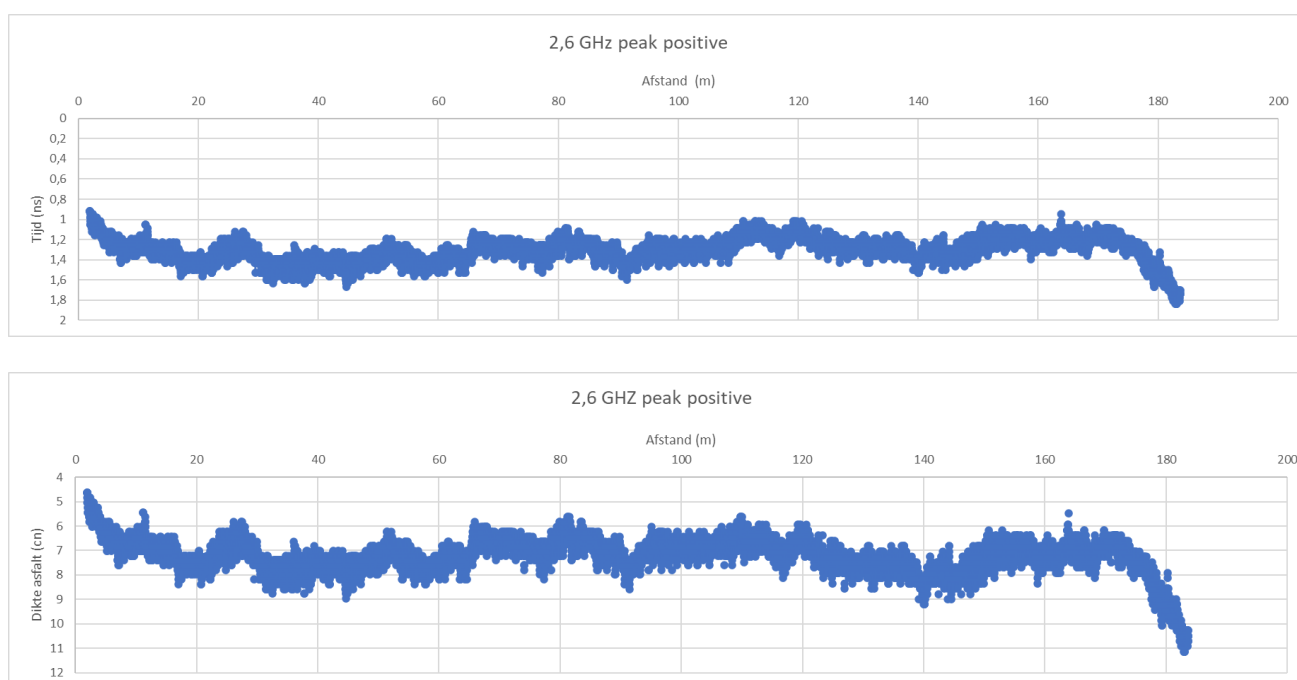
- Time zero (op basis van de golf in lucht).
- FIR filter (2000-3000 MHz).



Figuur 4 - Gedeelte van 2,6 GHz data.

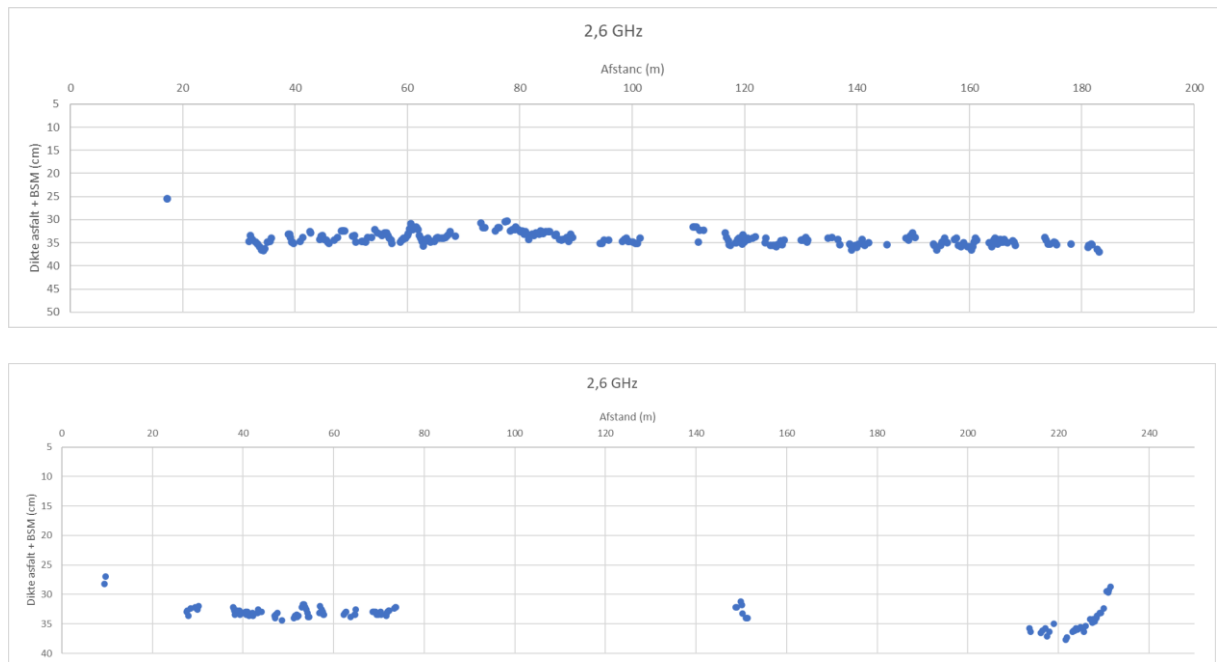
De reflectie asfalt/BSM was goed zichtbaar. De reflectie aan de onderkant van de BSM was met momenten zichtbaar (herkenbaar dankzij de metalen platen) maar op sommige momenten was deze niet heel duidelijk zichtbaar. Een tussenreflectie was zichtbaar rond 2,5 ns. Een diepere reflectie (7,5 ns – 10 ns) was vaker zichtbaar.

De positieve piek werd gekozen voor de picking van de reflectie asfalt/BSM. De figuur hieronder geeft de dikte van asfalt berekend met een geschatte $v=11$ en $12,3$ cm/ns respectievelijk voor delen A en B berekend op basis van de kernboringen. Het tweede profiel werd omgedraaid.

Figuur 5 - 2,6 GHz data; dikte van asfalt met een $v=11$ en $12,3$ cm/ns.

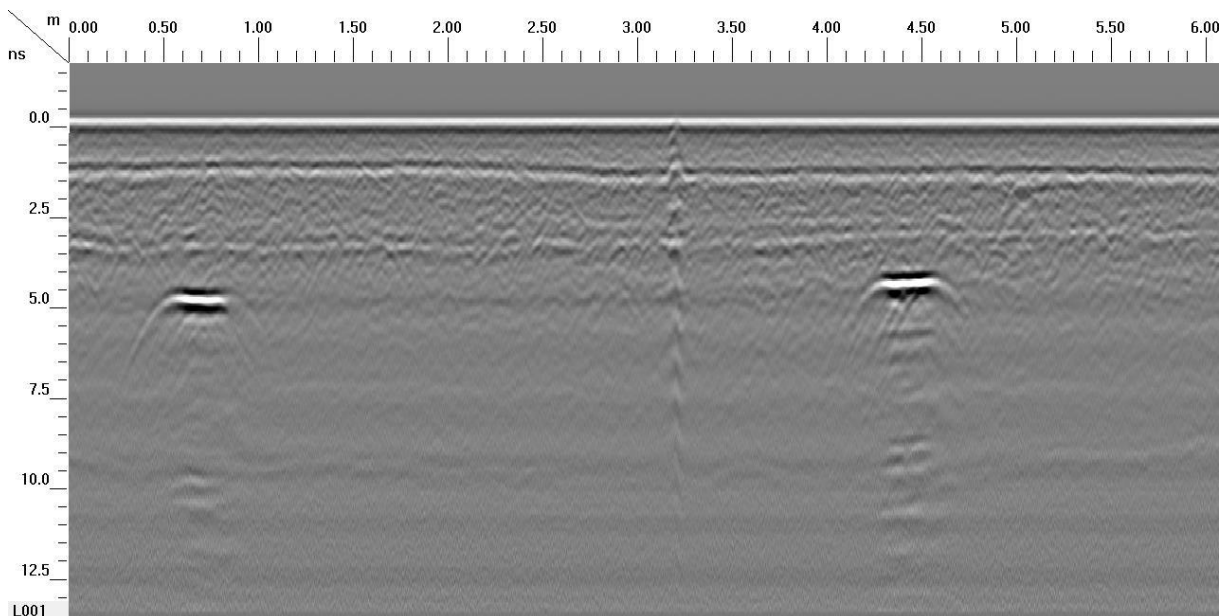
De picking van de reflectie rond 5 ns werd uitgevoerd waar deze goed zichtbaar was. De dikte was berekend met een geschatte $v=12,1$ en $11,1$ cm/ns respectievelijk voor delen A en B

(gemiddelde waarde voor het asfalt + BSM gebaseerd op de kernboringen).

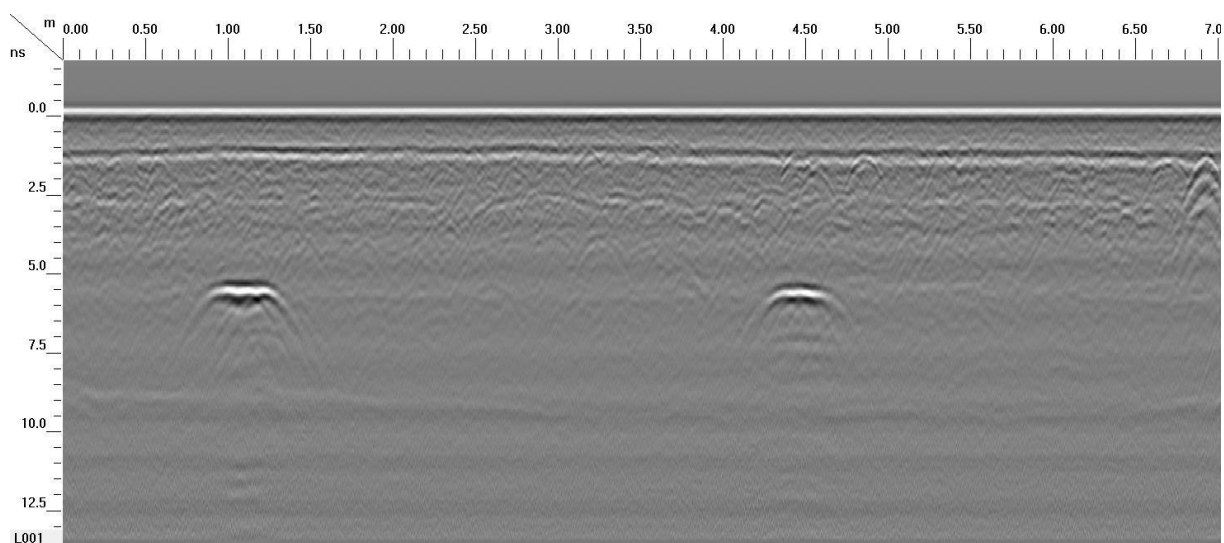


Figuur 6 - 2,6 GHz data; dikte asfalt + BSM met een $v=12,1$ en $11,1$ cm/ns.

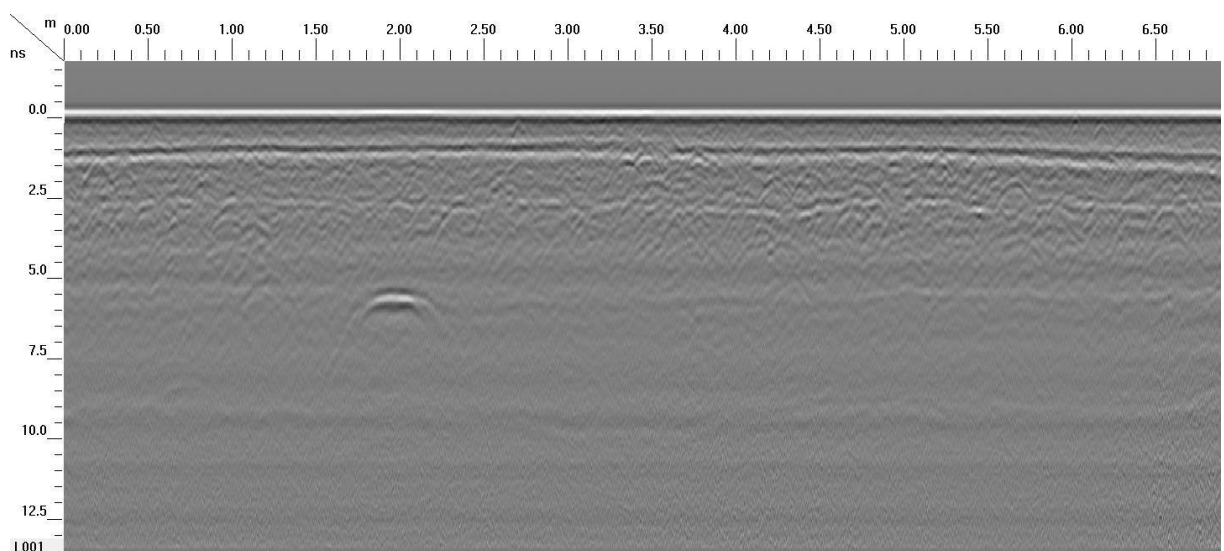
De figuren hieronder geven de dwarse profielen ter hoogte van de metalen platen. De metalen platen liggen ongeveer aan 5 ns. Ze waren nuttig om de reflectie aan de onderkant van BSM te herkennen.



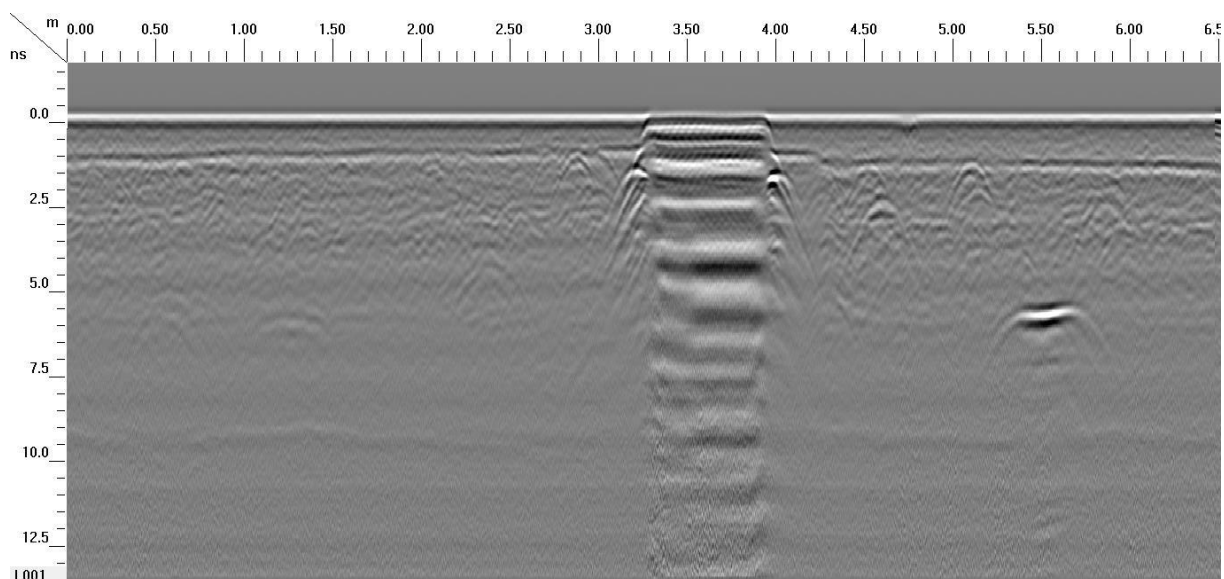
Figuur 7 - Testvak A, dwarse profiel 1, +/- 17 m.



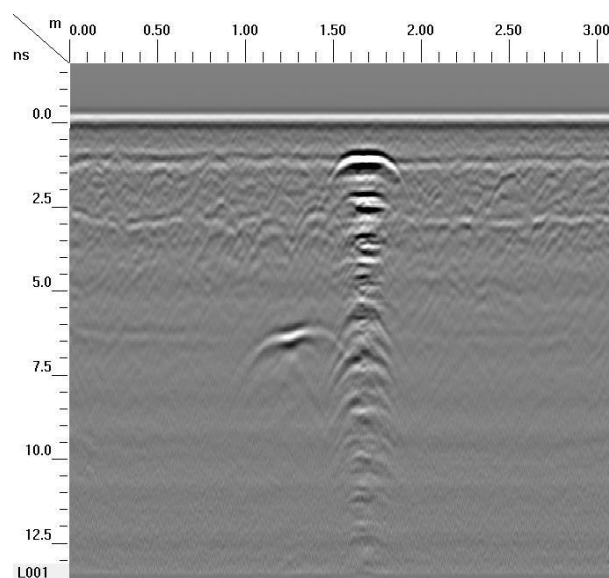
Figuur 8 - Testvak A, dwarse profiel 2, +/- 42 m.



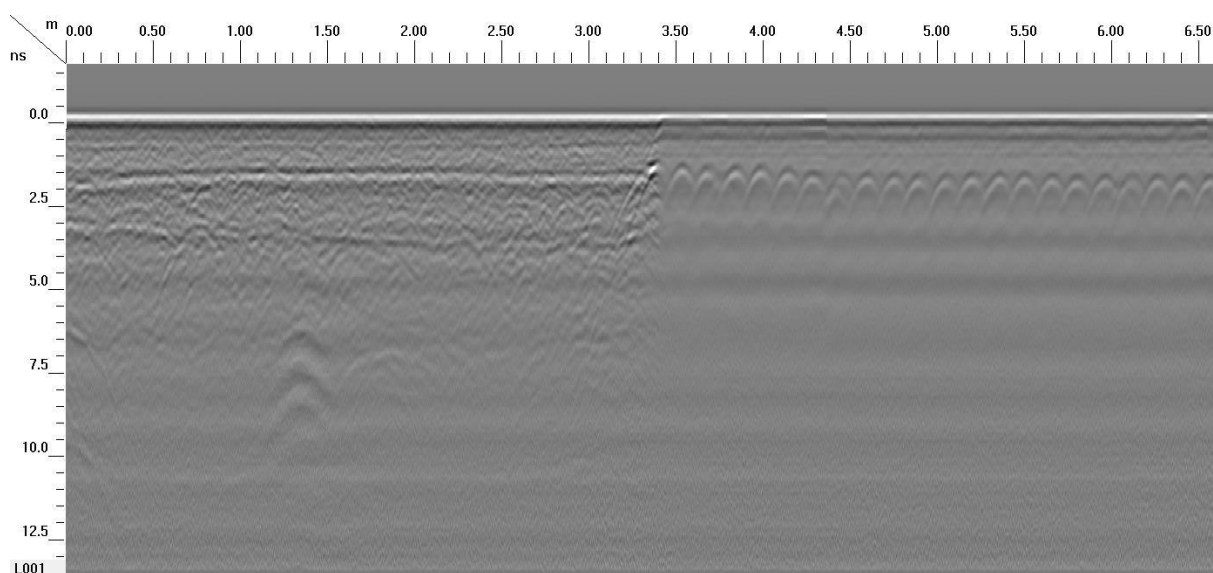
Figuur 9 - Testvak 1, dwarse profiel 3, +/- 67 m.



Figuur 10 - Testvak A, dwarse profiel 4, +/- 93 m.



Figuur 11- Testvak B, dwarse profiel 5, +/- 144 m.



Figuur 12 - Testvak B, dwarse profiel 6, +/- 194 m.

In tabel 1 worden de voorplantingstijden weergegeven van de reflecties op de metalen platen.

Tabel 1 – Heen en terug tijd van de reflecties op metalen platen.

	Metalen plaat (peak positive)	Metalen plaat (peak positive)
Transv 1 (A)	4,78 ns	4,32 ns
Transv 2 (A)	5,56 ns	5,63 ns
Transv 3 (A)	5,66	
Transv 4 (A)	5,96 ns ?	5,70 ns
Transv 5 (B)	6,35	

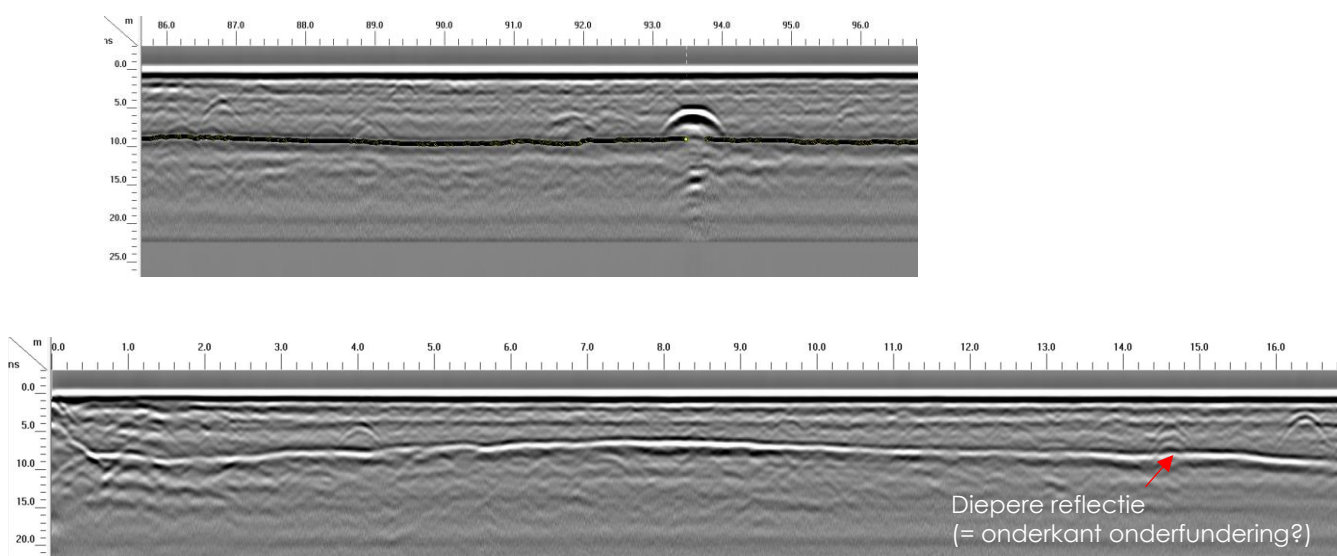
Antenne 900 MHz

- 1 langs profiel naar de brug toe, midden rijvak – lengte 242 m.
- 1 langs profiel andere richting (in 2 keer, onderbroken t.h.v. asfalt); midden rijvak.

De reflectie op asfalt was verborgen door de directe golf. De reflectie aan de onderkant van de BSM was eveneens niet echt goed zichtbaar. De diepere reflectie rond 10 ns was sterker aanwezig. Het komt waarschijnlijk overeen met de onderkant van de onderfundering.

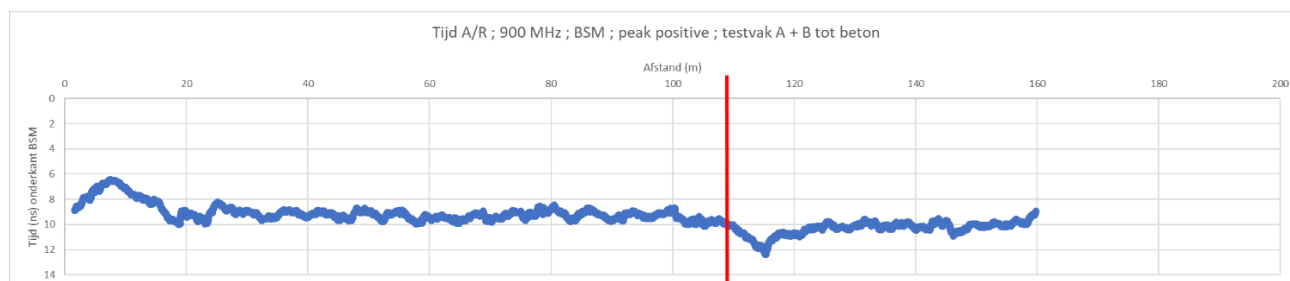
Verwerking:

- Time zero (op basis van de directe golf).
- FIR filter (100-1800 MHz).



Figuur 13 - Voorbeeld van 900 MHz data (Testvak A).

De volgende figuur geeft de heen en terug tijd van de sterke diepe reflectie (positive peak). Een snelheid van 11 cm/ns (gemiddelde waarde voor de 3 lagen) werd gekozen voor de diepte (zie figuren 17 en 18).



Figuur 14 - 900 MHz data; heen en terug tijd van de diepere reflectie.

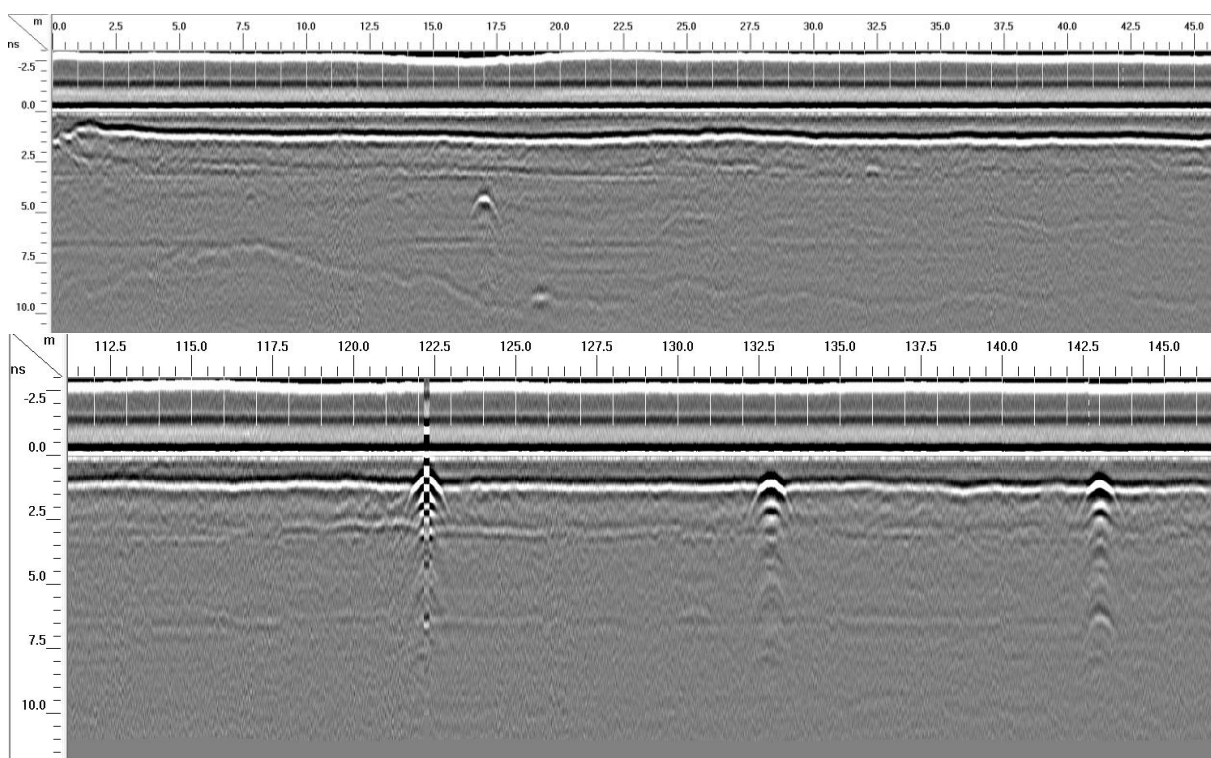
Luchtantenne 2 GHz

Twee profielen werden uitgevoerd met de 2 GHz luchtantenne. Het tweede profiel werd omgedraaid tijdens de verwerking (reverse).



Figuur 15 - Luchtantenne (kalibratie procedure).

Voor het tweede profiel hebben we het traject moeten omleiden om de installatie te mijden (zie figuur 2). De metingen tussen 155,6 en 113,35 m (na reverse) zijn niet representatief aan die kant.



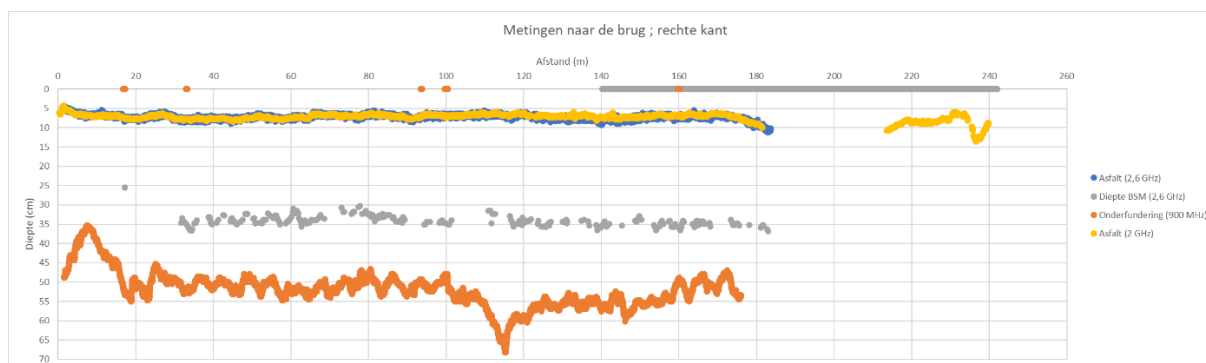
Figuur 16 - Lijn naar de brug met de 2GHz luchtantenne.

De software Radan voert een picking van de reflectie uit en geeft automatisch de snelheid van de eerste laag en de dikte. Het is gebaseerd op de reflectie op het oppervlak. De gemiddelde snelheid (voor de 2 profielen) weergegeven door Radan is 12,2 cm/ns. Die snelheid kan wel beïnvloed worden door het feit dat het oppervlak vochtig was. Op basis van de kernboringen werden de snelheden voor delen A en B berekend. De waarden zijn respectievelijk 10,4 en 11,1 cm/ns, iets kleiner dan de waarde gegeven door Radan.

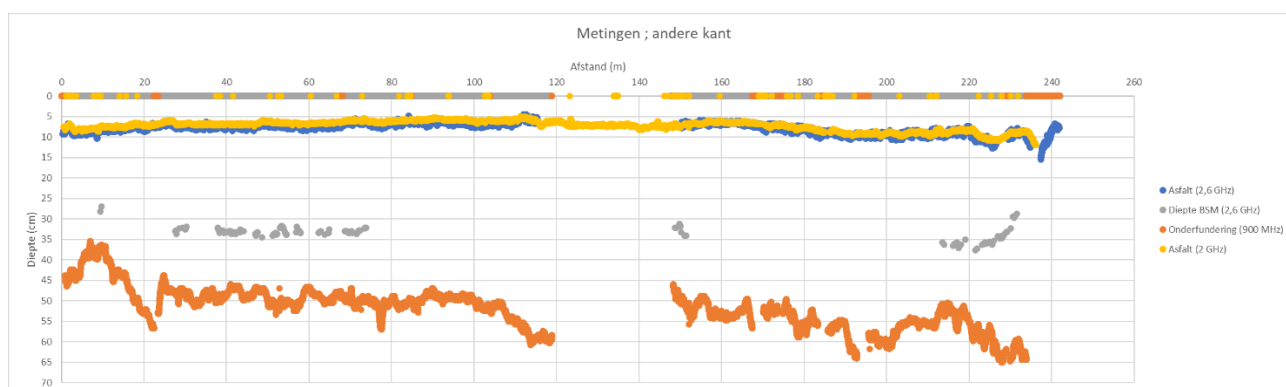
Figuren

De volgende figuren geven de onderkant van asfalt, BSM en van de diepere reflectie **met snelheden gebaseerd op de kernboringen (1 gemiddelde waarde per laag en zone)**.

De data van de 2,6 GHz en 2 GHz zijn vergelijkbaar met elkaar.



Figuur 17 - Diepte van de verschillende reflecties op basis van ingeschatte snelheden.



Figuur 18 - Diepte van de verschillende reflecties op basis van ingeschatte snelheden.

Conclusie

Op deze site zijn de hoge frequenties antennes beter geschikt om de dikte van het asfalt en de dikte van asfalt + BSM te bepalen. De onderkant van de (vermoedelijke) onderfundering is goed zichtbaar op de 900 MHz data.

De diktes die werden weergegeven zijn gebaseerd op de kernboringen (1 gemiddelde waarde per laag en per zone).