

De meerwaarde van intelligente walssystemen

Rudi Dekkers
InfraLinQ / KWS Infra

Anne Koudstaal
InfraLinQ / KWS Infra

Samenvatting

De verdichtingsgraad is een belangrijke eis voor wegebouwmaterialen of het nu gaat om zand, fundering of asfalt. De controles hierop worden meestal nog op traditionele wijze uitgevoerd. De bepaling van de dichtheid van de diverse materialen en berekening van de verdichtingsgraad vindt plaats volgens de in de Standaard RAW Bepalingen vermelde proeven. De metingen worden steekproefsgewijs uitgevoerd en getoetst aan de in de Standaard RAW Bepalingen gestelde eisen.

Met de nieuwe contractvormen doen ook andere eisen hun intrede. In grote wegebouwprojecten worden onder andere eisen gesteld aan de draagkracht van de gerealiseerde verhardingsconstructie, waarmee wordt getoetst of de constructie voldoet aan het ontwerp. Draagkracht en verdichting zijn echter totaal verschillende parameters en de vraag is of de traditionele verdichtingscontrole nog de standaard moet zijn in de toekomst.

Deze bijdrage geeft een overzicht van de door KWS Infra uitgevoerde testen met het door Trimble geleverde intelligente walssysteem. Door de koppeling van het systeem met RTK-GPS en de wals uit te rusten met een verdichtingssensor is het mogelijk om een oppervlakte-dekkende verdichting / draagkracht controle uit te voeren. Hierdoor sluit de kwaliteitscontrole beter aan bij de uiteindelijke toetsing en de ontwerpparameter (draagkracht) waarmee gedimensioneerd wordt. Daarnaast biedt de oppervlakte-dekkende controle veel meer inzicht in de kwaliteit en de risico's ten opzichte van de steekproefsgewijze verdichtingscontrole.

Steekwoorden

Verdichtingsgraad, verdichtingssensor, CMV-waarde, oppervlakte-dekkende controle, draagkracht

1. Inleiding

In nieuwe contractvormen, zoals DBFM, worden andere eisen gesteld aan het gerealiseerde werk dan in RAW-bestekken. Belangrijk verschil is dat in RAW-bestekken nog volgens traditionele toetsingsmethoden wordt gewerkt. Deze zijn er voornamelijk op gericht dat de betreffende constructielagen een optimale dichtheid bereiken, uitgedrukt in een verdichtingsgraad. Steeds vaker wordt voor een meer functionele benadering gekozen. De aannemer maakt het verhardingsontwerp en na realisatie wordt door uitvoering van valgewichtdeflectiemetingen (VGD-metingen) de draagkracht van de verhardingsconstructie vastgesteld en getoetst aan de uitgangspunten van het ontwerp. In het kader van deze functionele benadering is het meer van belang om goed inzichtelijk te hebben wat de toename van draagkracht is gedurende het uitvoeringsproces. Hierin heeft het de voorkeur om per constructielag (zandbed, fundering en asfaltconstructie), de stijfheid te meten en te toetsen aan de uitgangspunten van het ontwerp. De ontwikkeling van hulpmiddelen op funderings- en asfaltwalsen staat ook niet stil. Vrijwel alle walsleveranciers zijn hiermee bezig. KWS Infra heeft vanaf eind 2011, in samenwerking met Sitech-NL, testen uitgevoerd met het CCS900-systeem van Trimble. In eerste instantie op twee asfaltwalsen, als real-time controlemiddel om de “verdichtings”inspanning tijdens uitvoering te kunnen volgen. Dit onderzoek is uitgevoerd parallel aan het ASPARi-onderzoek. Vervolgens zijn vanaf 2013 diverse testen gedaan met het Trimble-systeem op een funderingswals. Deze bijdrage beschrijft de bevindingen van de uitgevoerde onderzoeken tot nu toe.

2. “Verdichtings”controle systeem

Het gebruikte CCS900-systeem van Trimble is een universeel “verdichtings”controle systeem welke op elke wals kan worden opgebouwd, zowel op funderings- als asfaltwalsen. Het systeem is als basisuitrusting opgebouwd uit een GPS-ontvanger, een control box, waarop de walsmachinist de walsbewegingen en “verdichting” kan volgen en een modem waarmee de gelogde walsdata continue wordt verzonden naar een externe server. Op de funderingswals wordt naast de bovenstaande basisuitrusting een verdichtingssensor aangebracht, welke bij dynamisch verdichten de respons/stijfheid meet, uitgedrukt in de Compaction Meter Value (CMV-waarde). Tijdens de proeven is gebruik gemaakt van twee Trimble softwarepakketten, namelijk SiteVision Office en VisionLink. De walsdata wordt in deze software geïmporteerd. Diverse parameters kunnen worden gevisualiseerd in een kleurenplot. Bij de proeven is het meest gewerkt met informatie van:

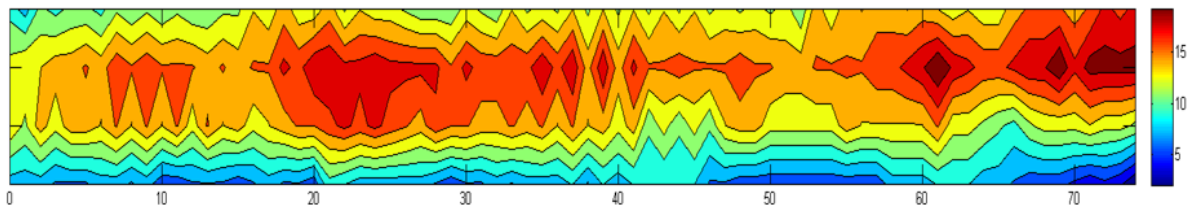
- Walsgangen → Voor de asfaltwals is deze informatie vooralsnog de best bruikbare informatie. Gebleken is dat de verdichtingssensor op de asfalt tandemwals geen bruikbare informatie oplevert van de verdichting/stijfheid van de asfaltlaag welke wordt aangelegd. Door de dieptewerking van de wals tijdens dynamische verdichting komt vooral informatie beschikbaar over de onderliggende fundering, zandbed en ondergrond. De meetwaarde heeft betrekking op alle onderliggende constructielagen.
- CMV-waarde / walsgangen → Op de funderingswals is zowel de informatie van de walsgangen als de CMV-waarde goed bruikbaar als real-time terugkoppeling tijdens het verdichtingsproces.

Het systeem maakt gebruik van RTK-GPS. Zonder basisstation maar met een correctiesignaal van het mobiele netwerk kan een nauwkeurigheid worden bereikt van ca. 2 cm. Voldoende nauwkeurig om de walsdata in kaart te brengen en voor het terugzoeken van GPS-coördinaten voor aanvullend onderzoek.

3. Toepassing controlesysteem op asfalt

3.1. Ervaringen ASPARI

In het ASPARi-project met Universiteit Twente, waarin KWS Infra participeert, is onder andere gebleken dat de uitgevoerde walsgangen doorgaans ongelijkmatig over het wegpoppervlak zijn verdeeld. Niet zo vreemd omdat de walsmachinist weliswaar in een vast walspatroon de walsgangen uitvoert, maar door verplaatsing van de “asfaltverwerkingstrein” in lengterichting van de weg, verspringt het begin en eindpunt van de walsgang voortdurend. Wanneer wordt uitgegaan van bijvoorbeeld acht walsgangen per wals, zal de walsmachinist niet in staat zijn om te onthouden waar het start- en eindpunt van elke walsgang geweest is. In onderstaande figuur wordt een voorbeeld gegeven van een walsplot waarop het totaal aantal walsgangen van twee asfaltwalsen wordt weergegeven. De onregelmatigheid van het walspatroon is hierop goed te zien.



Om de walsmachinist ondersteuning te bieden tijdens het verdichtingsproces is de inzet van een hulpmiddel hierbij onontbeerlijk. Real-time registratie van de walsgangen met een walssysteem kan hierbij uitkomst bieden.

3.2. Testperiode walssysteem op asfaltwalsen

Het Trimble-systeem is in eerste instantie uitgetest op een tandemwals en een drieroller van een asfaltset. Op beide walsen werd daarbij ook een infrarood thermometer voor en achter op de wals gemonteerd. Dit omdat de infraroodthermometer rechtstreeks op het asfalt moet meten en niet op de waterfilm achter de gepaseerde walsrol. Wanneer de wals in voorwaartse richting rijdt, wordt de voorste IR-thermometer uitgelezen. Bij een achterwaartse walsbeweging schakelt het systeem over op de achterste IR-thermometer. Vooral het real-time inzicht in uitgevoerde walsgangen tijdens het verdichtingsproces is als zeer positief ervaren. Op de tandemwals was aanvankelijk ook een verdichtingssensor aangebracht om bij dynamische verdichting de stijfheid (CMV-waarde = Compaction Meter Value) van het asfalt in kaart te brengen. Zoals al werd verwacht was dit geen succes, om de volgende redenen:

- Een asfaltlaag is relatief dun. Bij dynamische verdichting van de asfaltwals is de dieptewerking van de wals vele malen groter dan de laagdikte van de asfaltlaag welke wordt aangebracht. De gemeten CMV-waarde bestaat voor een belangrijk deel uit de draagkracht van de onderliggende constructie.
- De stijfheid van asfalt is afhankelijk van de temperatuur. Door de afkoeling van het asfalt tijdens het verdichtingsproces zal de stijfheid voortdurend veranderen/toenemen.
- De tandemwals kan alleen de CMV-waarde meten bij ingeschakeld trilmechanisme. In Nederland worden meer en meer steenskelet mengsels verwerkt (SMA, ZOAB, TweelaagsZOAB, etc.) waarop niet mag worden getrild en er dus ook geen informatie van de stijfheid/draagkracht beschikbaar komt uit het walssysteem.

4. Toepassing controle systeem op constructielagen onderbouw

4.1. Inleiding

Uit het onderzoek met het Trimble-systeem op de asfaltwalsen is gebleken dat het meten van de stijfheid met de verdichtingssensor op asfalt, niet blijkt te werken vanwege de in hoofdstuk 3 genoemde redenen. Wel is hierdoor het idee ontstaan om de verdichtingssensor op een funderingswals te bouwen. Dit omdat een funderingswals doorgaans wel dynamisch verdicht (behoudens de eventueel laatste statische walsgangen), waarbij dus wel walsinformatie in de vorm van CMV-waarden beschikbaar komen.

Doel van het vervolgonderzoek was om de oppervlakte-dekkende “verdichtings”controle van het walssysteem te combineren met dichtheidsmetingen, maar vooral ook andersoortige controlemethodieken, gericht op het meten van stijfheden.

Inmiddels heeft InfralinQ / KWS Infra diverse werken uitgevoerd met de “intelligente funderingswals”. Zo is ervaring opgedaan op de Haak om Leeuwarden, Schiphol en op de Omliegging A9 bij Badhoevebogen. Per project staan hieronder de belangrijkste bevindingen beschreven.

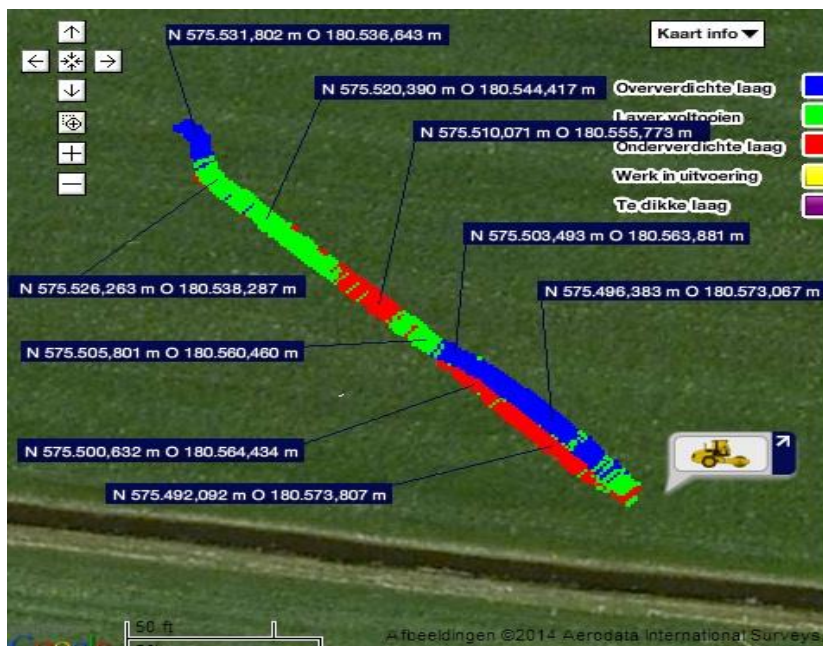
4.2. Haak om Leeuwarden Zuid

In het voorjaar van 2014 is het testen met de wals op de Haak om Leeuwarden Zuid begonnen. Om de walsmachinist ervaring te laten opdoen met het controlesysteem op de funderingswals, heeft deze na een korte instructie een aantal dagen het systeem gebruikt. In eerste instantie is met de funderingswals op de zandlagen gemeten. Tijdens deze periode heeft InfralinQ op afstand mee kunnen kijken naar de vastlegging van het verdichtingsproces en de geregistreerde CMV-waarden. Voor de eerste controle is er voor gekozen om naast de uitvoering van nucleaire dichtheidsmetingen ook metingen uit te voeren met een Dynamic Cone Penetrometer (DCP-Panda2). Dit in de veronderstelling dat de dieptewerking van de wals, waaruit de CMV-waarde wordt afgeleid, beter aansluit bij een sondering op diepte, dan alleen een dichtheidsmeting in de bovenste 25 à 30 cm van het zandpakket.

Hierbij is de volgende werkwijze gevolgd:

- Oppervlakte-dekkende registratie van de CMV-waarde
- Categoriseren van de CMV-waarde (in dat stadium nog dimensieloos) met drie kleurstellingen: rood → slechtere CMV-waarde; groen → gemiddelde CMV-waarde; blauw → hogere CMV-waarde
- Per categorie zijn van drie locaties de GPS-coördinaten gekozen
- In het veld zijn de GPS-coördinaten uitgezet
- Op de betreffende locaties zijn nucleaire dichtheidsmetingen en DCP-metingen uitgevoerd

In onderstaande figuur wordt een voorbeeld gegeven van de kleuren categorisering en de gekozen GPS-coördinaten. Door de oppervlakte-dekkende registratie ontstaat meer inzicht in het bereikte resultaat van het verdichtingsproces.



Er kan gericht gecontroleerd worden op zwakke plekken in de constructie. Met het uitvoeren van de testen is getracht om correlatie te vinden tussen de door de wals gemeten CMV-waarde en de resultaten van de diverse uitgevoerde controlemetingen. Wanneer meer inzicht wordt verkregen in de CMV-waarde, dan krijgt de walsmachinist namelijk een real-time controle systeem in handen om naar

een optimale verdichting (stijfheid) toe te werken. Deze eerste test, uitgevoerd op zand, liet een duidelijk verband zien tussen de CMV-waarde van de wals, de DCP-waarden en de verdichtingsgraad. Op basis van deze resultaten is een tweede proef gestart op de “Haak om Leeuwarden Noord”.

4.3. Proefvak zandverdichting Haak om Leeuwarden Noord

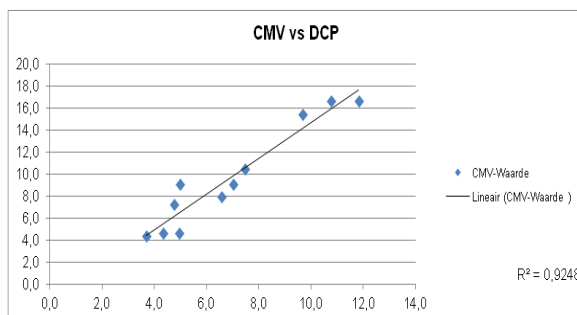
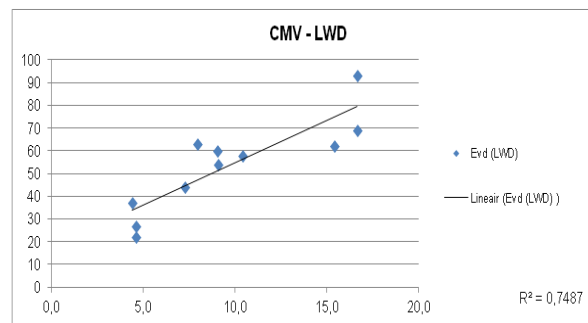
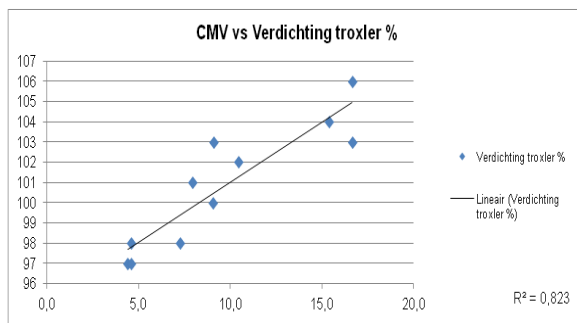
Het proefvak op de Haak Noord betrof een proefvak van circa 200 meter lang en 15 meter breed. Het proefvak bestond uit zand voor zandbed, aangebracht in een laagdikte van totaal 60 cm, rechtstreeks op de ondergrond. Met behulp van de funderingswals is het proefvak op verschillende manieren verdicht. In het verdichtingproces is gevarieerd in het aantal walsovergangen en in de snelheid van de wals. Zo hebben bepaalde delen van het traject maar één enkele walsovergang gehad en op andere delen zijn meerdere walsovergangen uitgevoerd. Met de wals zijn 4 banen van ongeveer 100 m lang trillend verdicht en geregistreerd. Een overzicht hiervan wordt gegeven in onderstaande figuur.



Om te bepalen in hoeverre de geregistreerde CMV-waarden correleren met de gebruikelijke controlemethoden, zijn er diverse meetmethoden toegepast om de verdichting/stijfheid van de zandbaan te meten. De locaties van de metingen zijn met behulp van een GPS-handheld vastgelegd. De volgende metingen zijn achtereenvolgens uitgevoerd:

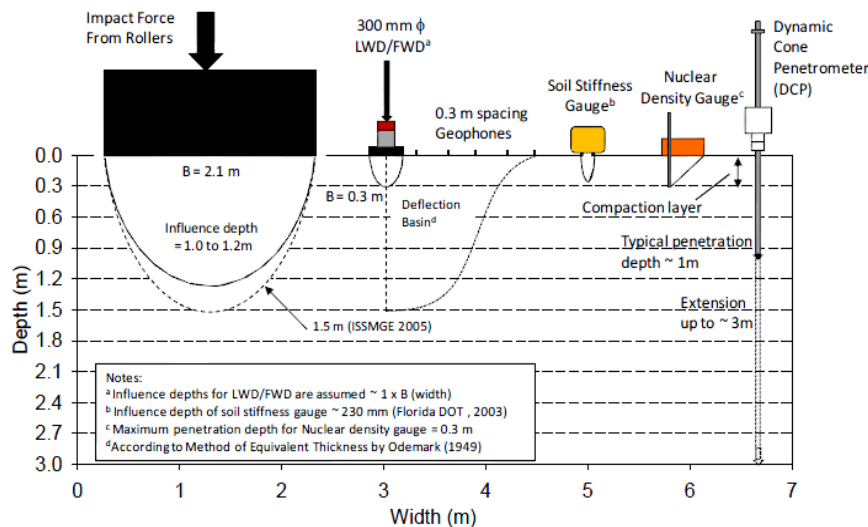
1. CMV-waarde van de Wals (Trimble)
2. Nucleaire meting (Troxler)
3. LWD - Lichtgewicht valgewichtdeflectiemeting (Prima 100)
4. DCP - Dynamische slagsondering (Panda 2)

Gebleken is dat de correlatie tussen de resultaten van de verschillende meetmethoden en de CMV-waarde van de wals sterk afhankelijk is van de walssnelheid. Dit is een logische conclusie want hoe langzamer de wals rijdt hoe beter deze de respons meet van de ondergrond. Bij een rijdsnelheid van 2 km/h geven alle meetapparaten een goede correlatie ten opzichte van de CMV-waarde. Hieruit kunnen we concluderen dat de CMV-waarde van de wals een goede indicatie geeft van de draagkracht van zandbed en ondergrond in het proefvak.



In afwijking van eerdere (buitenlandse) onderzoeken correleert in deze proefvakken de met de Troxler gemeten verdichtingsgraad ook goed met de CMV-waarde. Dit lag niet in de verwachting aangezien verdichting en stijfheid twee verschillende eigenschappen zijn. Als het proefvak volgens de traditionele controlemethode (op basis van verdichting) gekeurd zou moeten worden dan voldoet het proefvak ruim aan de gestelde eisen. Op het proefvak zijn 34 nucleaire metingen uitgevoerd en deze laten gemiddeld een verdichting van 101 % zien. De laagste waarde die gevonden is op het proefvak bedraagt 95 % en de hoogste waarde 106 %. Kijken we naar de gevonden CMV, DCP en LWD waarden dan zien we in draagkracht veel grotere verschillen. Zo zien we bij de DCP een hoogste waarde van 11,8 MPa en een laagste waarde van 2,5 MPa. Dit betekent dat de draagkracht van de ondergrond op de plek waar 2,5 MPa is gemeten vele malen slechter is dan de plek waar 11,8 MPa gemeten is, terwijl de verdichtingsgraad aan de gestelde eisen voldoet. Vanuit het oogpunt van kwaliteit moeten we ons afvragen of zulke grote verschillen gewenst zijn en of de bandbreedte voor de verdichtingseisen voor zand, volgens de Standaard RAW Bepalingen, niet scherper moeten worden gesteld.

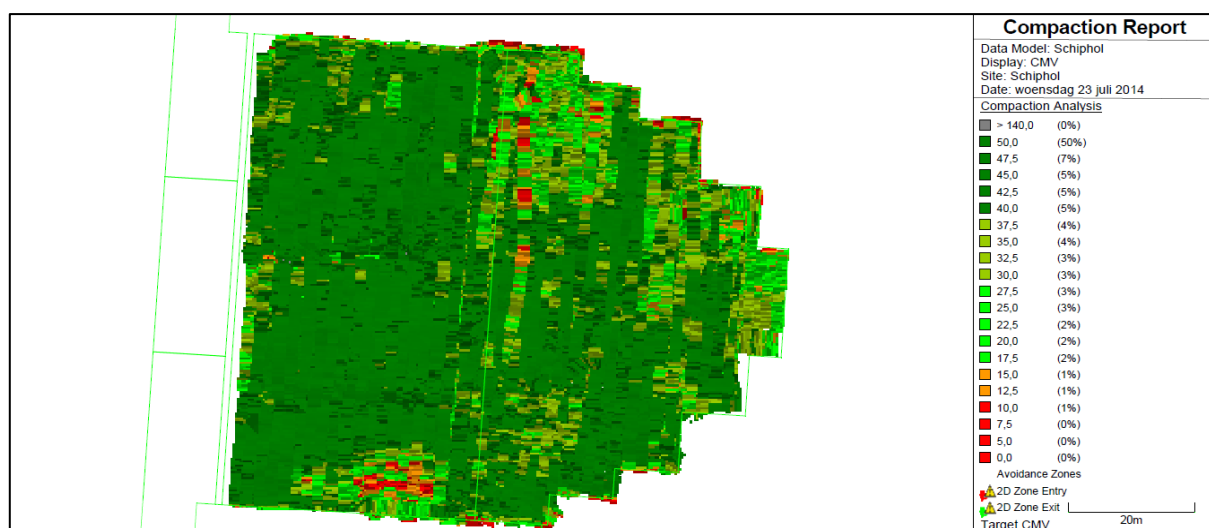
Een andere conclusie die uit de bovenstaande grafieken te trekken is, is dat de CMV-waarde een betere correlatie vertoont met de DCP dan met de LWD. Dit moet waarschijnlijk worden gezocht in de dieptewerking van de apparaten, zoals weergegeven in onderstaande figuur.



De dieptewerking van de LWD en de nucleaire dichtheidsmeter bedraagt ongeveer 30 cm. De dieptewerking van de wals bedraagt ongeveer 1 à 1,2 m en de DCP afhankelijk van de toegepaste meetdiepte (tot 3 meter). Voor het proefvak zijn alle metingen met de DCP tussen 50 en 60 cm diep verricht. De verwachting is dat de extra dieptewerking één van de redenen is waarom de DCP een betere correlatie laat zien dan de LWD.

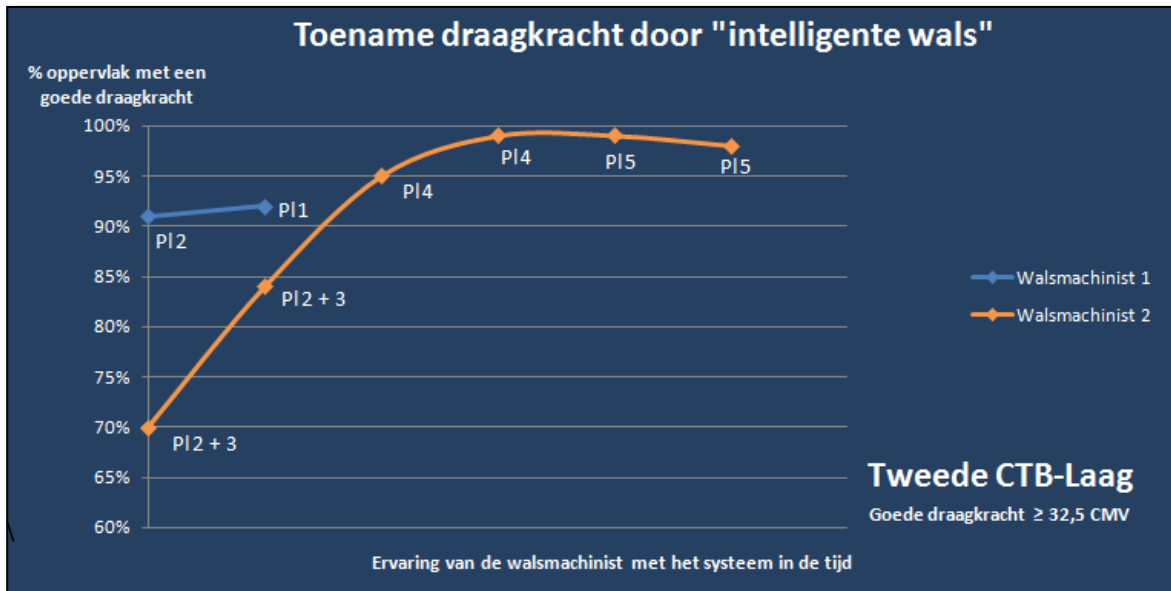
4.4. Schiphol

Na de ervaringen opgedaan op de Haak van Leeuwarden is de “intelligente wals” ingezet op luchthaven Schiphol. Hierbij is de wals ingezet bij de aanleg van de fundatie van vijf nieuwe vliegtuigplatforms. De inzet van deze technische innovatie had als doel om de draagkracht op het project “real-time” inzichtelijk te maken en indien mogelijk te vergroten.



Figuur 1: Een rapportage geregistreerd door de wals van één van de opstelplatforms. De CMV-waarde / draagkracht wordt hier door verschillende kleuren weergegeven. Dit is ook mogelijk voor het aantal walsovergangen.

In de onderstaande grafiek is de toename in draagkracht zichtbaar gemaakt door de intelligente wals. In de grafiek is de volgorde van werken ten opzichte van het percentage oppervlak met een goede draagkracht (CMV-waarde) per walsdag uitgezet. Wat duidelijk waarneembaar is dat, naarmate de walsmachinist meer bekend wordt met het systeem en meer gaat sturen op het systeem, de CMV-waarde van de platforms constanter wordt en de waarde aanzienlijk toeneemt. De CMV-waarde en de draagkracht hebben een sterke overeenkomst waardoor het mogelijk is om te zeggen dat de kwaliteit van de platforms aanzienlijk is toegenomen door de inzet van de “intelligente wals”.



Figuur 2: Het % oppervlak met een goede draagkracht (CMV-waarde) per platform ten opzichte van de chronologische volgorde van de aanleg van de platforms (PI X).

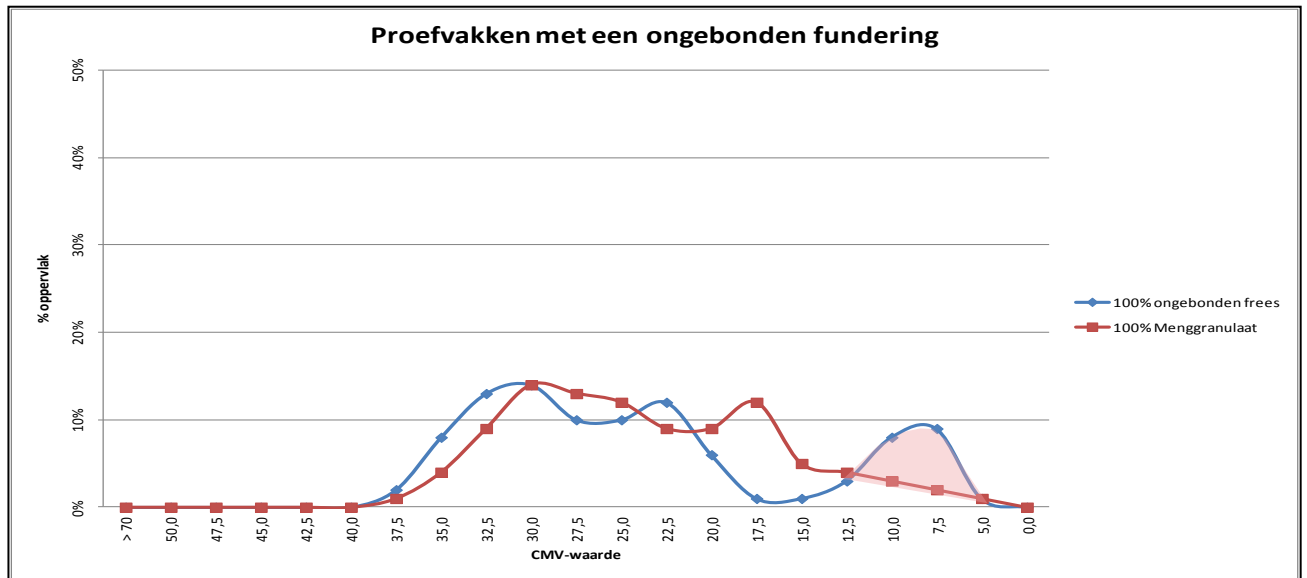
4.5. Omlegging A9 Badhoevebogen

Na de positieve resultaten op de Haak om Leeuwarden en Schiphol, is de “intelligente wals” ingezet op het project Omlegging A9 Badhoevedorp. Hierbij is de wals ingezet voor de aanleg van vijf proefvakken met verschillende funderingsmaterialen. In deze notitie wordt verder ingegaan op twee van de vijf proefvakken. Dit betreft een fundatie bestaande uit 100% ongebonden freesasfalt en een fundatie bestaande uit 100% menggranulaat.

	100% ongebonden freesasfalt Vak 1	100% Menggranulaat Vak 2
Gemiddelde CMV-waarde	23,8	23,6
CMV klassen (met in de kolommen het percentage van het oppervlak per CMV-klasse):		
> 70	0%	0%
50 - 40	0%	0%
40 - 30	37%	28%
30 - 20	38%	43%
20 - 10	13%	24%
0 - 10	10%	3%

Tabel 1: De draagkracht plus de verdeling van de draagkracht (per proefvak) gemeten met de ‘intelligente wals’

De “intelligente wals” laat op vak 1 (100% ongebonden freesasfalt) gemiddeld de hoogste draagkracht zien. Vak 2 (100% menggranulaat) valt iets lager uit dan vak 1 maar laat daarentegen minder grote spreiding zien. Deze spreiding zegt iets over de homogeniteit van de draagkracht die gerealiseerd is. Hoe groter de spreiding hoe meer risico op de aanwezigheid van “te zwakke” en “te sterke” plekken in het funderingsmateriaal. Ca. 10% van het proefvak met 100% ongebonden freesasfalt heeft een CMV-waarde tussen de 0 – 10. Deze draagkracht is naar verwachting onvoldoende (< 400 MPa) en moet zoveel mogelijk worden vermeden.

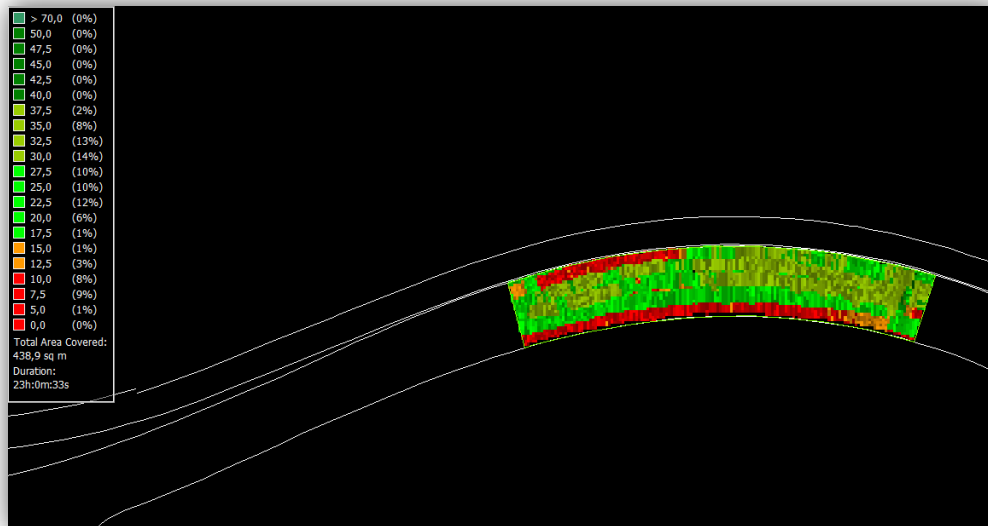


Figuur 3. De CMV-verdeling voor de ongebonden proefvakken.

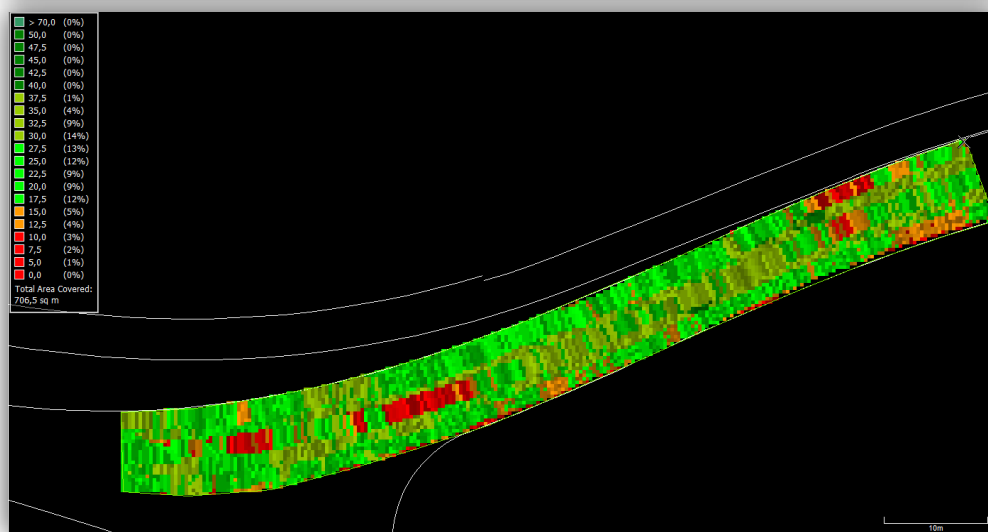
In de bovenstaande grafiek staat de verdeling van de CMV-waarde ten opzichte van het gemeten oppervlak weergegeven. Dit is een grafische weergave van de verdeling zoals vermeld staat in tabel 1. Om figuur 3 toe te lichten, staat hieronder een voorbeeld weergegeven:

Wanneer de wals bijvoorbeeld 1000 m² verdicht en overal een CMV waarde van 40 wordt gemeten, dan zou 100% van het oppervlak een CMV-waarde van 40 hebben.

In de praktijk komt dit niet voor, maar zie je een duidelijke variatie. De variatie loopt in dit geval tot een CMV-waarde van 40. Voor een AGRAC fundatie ligt deze waarde bijvoorbeeld veel hoger. Het mooiste is wanneer er een duidelijke piek zichtbaar is. De draagkracht is het best wanneer de piek zichtbaar is op een locatie met een zo hoog mogelijke CMV-waarde. Daarnaast geldt, hoe hoger de piek, hoe minder de spreiding en hoe gunster dit is. In figuur 3 is te zien dat de fundering van ongebonden freesasfalt en het vak met het menggranulaat redelijk goed overeenkomen. Vooral tussen de 40 – 20 CMV laat de verdeling sterke overeenkomst zien. Het probleem van het ongebonden freesasfalt is dat de samenhang van het materiaal minder goed is. Dit is duidelijk waarneembaar in het segment tussen de 0 – 12,5 CMV. Het ongebonden freesasfalt wordt weggedrukt aan de zijkanten van het proefvak omdat het materiaal onvoldoende samenhang heeft. Dit is de met lichtrood aangegeven piek die te zien is in dit segment. Op basis van de data verkregen door de “intelligente wals” is het mogelijk om een betere risico inschatting te maken voor de toegepaste fundatiematerialen. Daarnaast is het mogelijk om de kwaliteitsverbeteringen aantoonbaar te maken.



Figuur 4. De CMV-verdeling van vak 1 (100% ongebonden freesasfalt)



Figuur 5. De CMV-verdeling van vak 2 (100% menggranulaat)

5. Bevindingen

De inzet van intelligente walssystemen hebben een grote meerwaarde voor de kwaliteitsbeheersing van wegenbouwprojecten, en geven veel meer inzicht dan alleen de traditionele steekproefsgewijze verdichtingcontrole.

Door de inzet van de “intelligente (fundatie) wals” is de walsmachinist in staat om real-time en oppervlakedekkend te volgen wat de draagkracht van de onderbouw is. Hierdoor is het mogelijk voor de walsmachinist om te sturen op draagkracht, waardoor de kwaliteit van de fundering verbetert. Daarnaast biedt het systeem de mogelijkheid om zwakkere plekken in de fundering vroegtijdig te detecteren, waardoor de kans op faalkosten in de afbouw van de wegconstructie aanzienlijk minder wordt.

Het bouwen van een kwalitatief goede wegconstructie begint bij de basis en dit betreft het zandpakket en de fundatie van de wegconstructie.

KWS Infra is van mening dat de traditionele verdichtingscontroles alleen, niet meer passen binnen het functionele kader van de nieuwe contracten. Het uiteindelijke en gezamenlijke doel is niet alleen dat de constructielagen optimaal verdicht zijn, maar ook dat de wegconstructie voldoende draagkrachtig bezit. De intelligente funderingswals maakt het mogelijk om dit al tijdens het verdichtingsproces van de onderbouw in kaart te brengen.