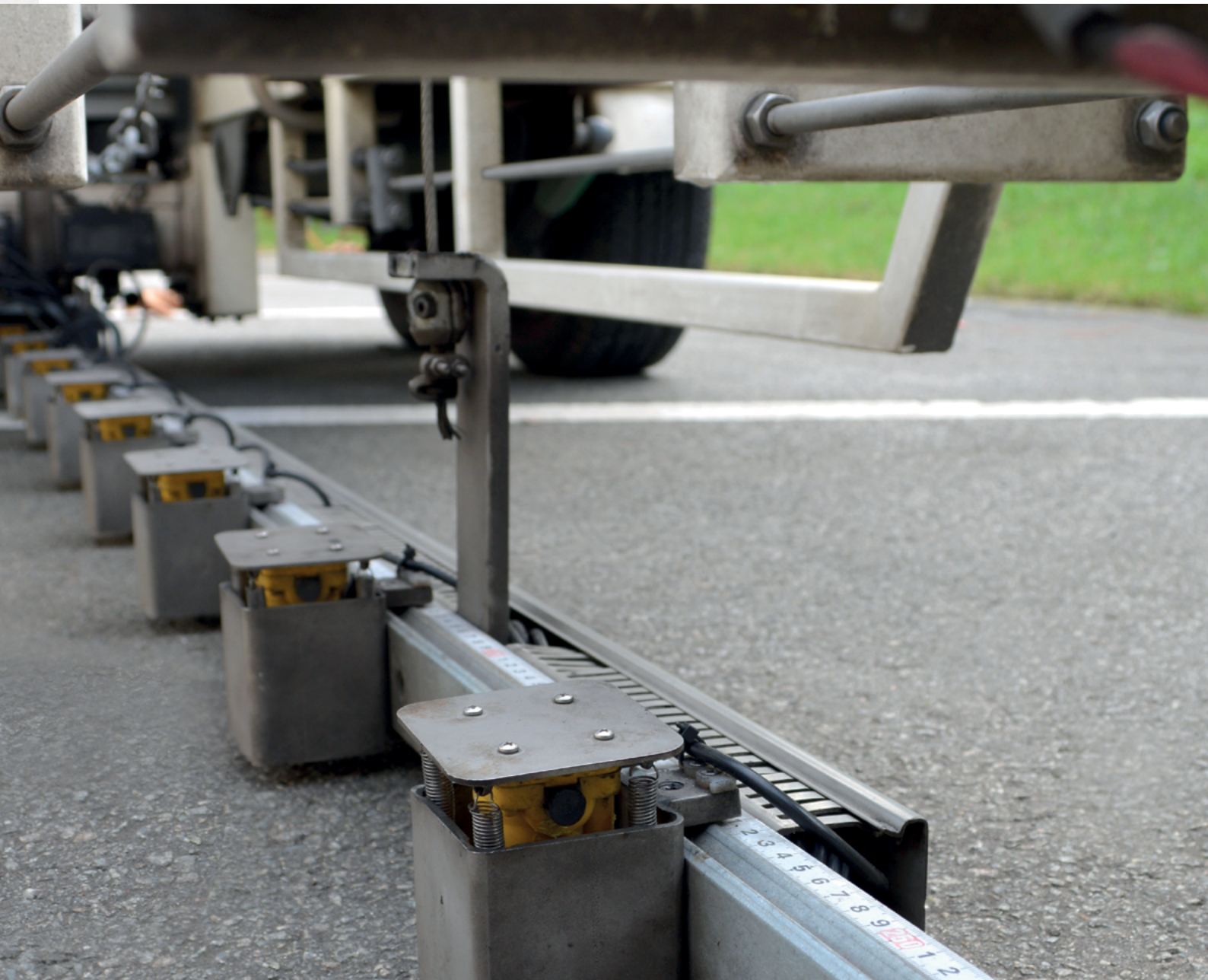




Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen



4

Instrumenten voor wegbeheerders

FWD

Meting van structurele kenmerken van wegen

Sinds 1952 staat het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) als onpartijdig onderzoekscentrum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. Duurzame ontwikkeling door innovatie is de leidraad voor alle activiteiten in het Centrum. Het OCW deelt zijn kennis met professionals uit de wegenbranche onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchverslagen, meetmethoden, informatiebladen, OCW Mededelingen en Dossiers, activiteitenverslag). Onze publicaties worden in het binnen- en buitenland op ruime schaal verspreid bij centra voor wetenschappelijk onderzoek, universiteiten, openbare instellingen en internationale instituten. Meer informatie over onze publicaties en activiteiten: www.ocw.be

Bericht aan de lezer

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is opgesteld, zijn onvolkomenheden nooit uit te sluiten. Het OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verzamelde en verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld. Deze publicatie bevat een reeks steekkaarten die de wegbeheerders uitvoerig informeren over verschillende diagnostische tools en -methoden die tot objectieve en rationele onderhouds- en/of versterkingsmaatregelen kunnen leiden.

Instrumenten voor wegbeheerders (voor een objectieve en rationele totaalaanpak van wegbeheer). Steekkaart 4 FWD – Meting van structurele kenmerken van wegen / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. Brussel : OCW, 2019, 14 blz. (Synthese ; SN 48-Steekkaart 4 – rev. 1).

Wettelijk depot: D/2019/0690/4

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Verantwoordelijke uitgever: Annick De Swaef, Woluwedal 42, 1200 Brussel.

Instrumenten voor wegbeheerders
(voor een objectieve en rationele totaalaanpak van wegbeheer)
Synthese SN 48 – rev. 1

Steekkaart 4 – **FWD** Meting van structurele kenmerken van wegen

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Brussel
2019



✓ TOOL

✓ PROJECTNIVEAU

✓ NETWERKNIVEAU

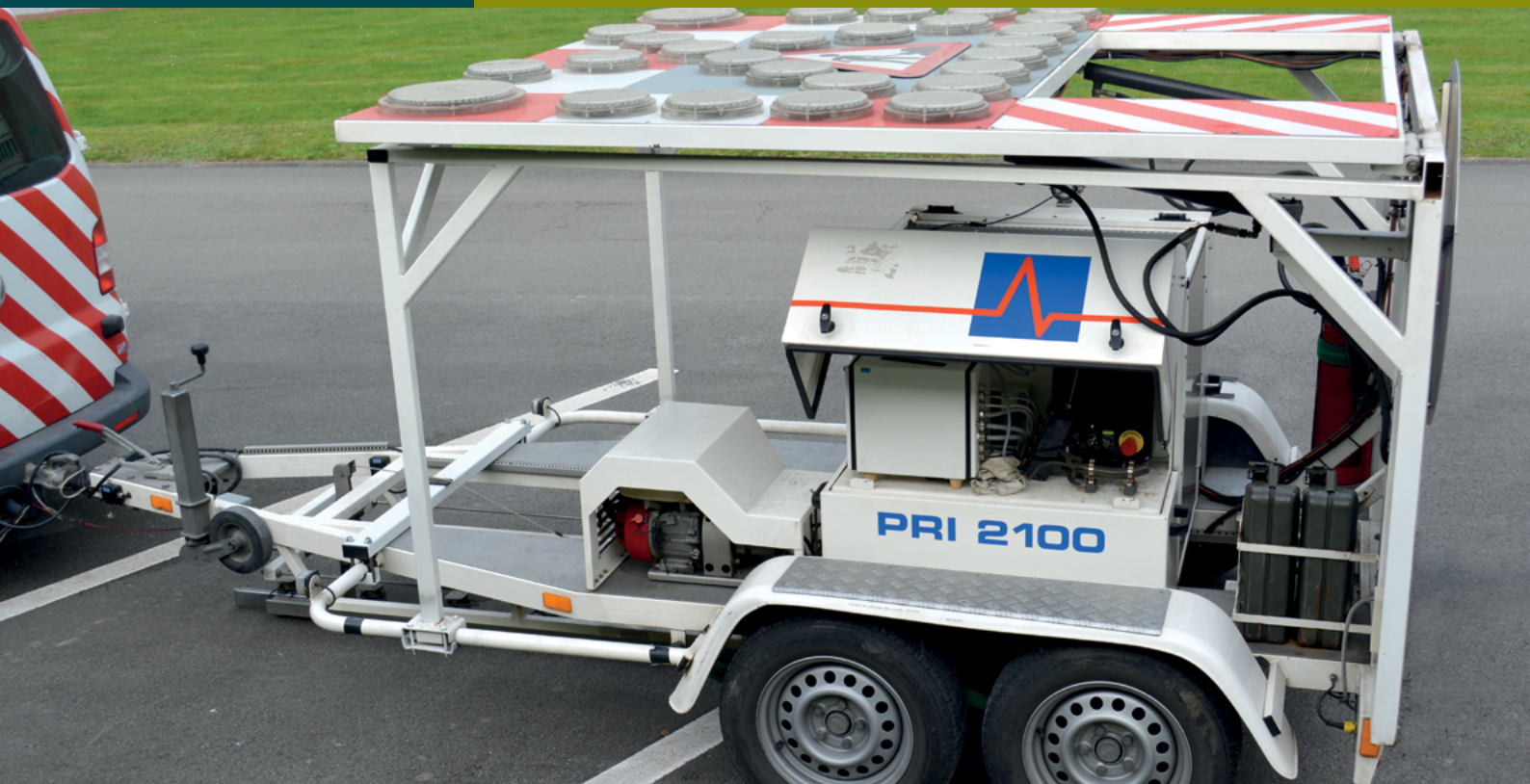
WEGOPPERVLAK

✓ WEGOPBOUW

DOE-HET-ZELF

Contact

Alain Van Buylaere: +32 10 23 65 42;
a.vanbuylaere@brrc.be



4 | FWD

Meting van structurele kenmerken van wegen

Doel

Onder druk vervormt een schuimblok. Als de druk wordt opgeheven, neemt het schuimblok opnieuw de oorspronkelijke vorm aan. De vervorming is evenredig aan de uitgeoefende druk. Dat bepaalt de stijfheid. Bij constante druk neemt de vervorming toe, maar neemt de stijfheid af. Die stijfheid kan worden gemeten, net zoals de stijfheid van wegen.

Onder invloed van (zwaar) verkeer buigt een wegdek licht door. Deze doorbuiging (deflectie) bedraagt slechts enkele honderdsten of duizendsten van een mm en is niet zichtbaar met het blote oog. Als de druk wordt opgeheven, neemt het wegdek opnieuw de oorspronkelijke vorm aan (elastische vervorming). Met de valgewichtdeflectiemeter (*Falling Weight Deflectometer* – FWD) kunnen de vorm (deflectiekromme) en de omvang (maximale deflectie) van de tijdelijke vervorming van het wegdek worden gemeten.

Deflectie geeft een beeld van het draagvermogen van een weg, namelijk of de wegconstructie sterk genoeg is om zonder vroegtijdige schade het geraamde aantal voertuigen tijdens de beoogde levensduur van de weg te dragen. Op basis van deze metingen kan bijvoorbeeld de restlevensduur van een weg worden geschat en kunnen homogene zones (met hetzelfde structurele gedrag) worden gedetecteerd.

Werkingsprincipe – Methodiek

Onder druk vervormen materialen. Door de drukkracht met de resulterende vervorming te verbinden, kan een materiaal worden gekenmerkt.

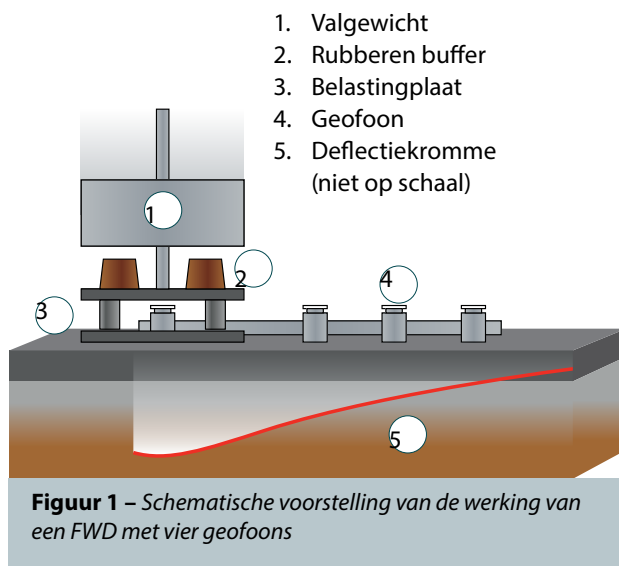
Vanuit een stilstaand voertuig (meestal in het rechterspoor of het midden van een rijstrook) wordt een valgewicht op een metalen schijf met een diameter van 30 cm op het wegdek neergelaten. Zowel het gewicht (enkele tientallen kg) als de hoogte zijn regelbaar. Gekalibreerde rubberen buffers boven de metalen schijf dempen de klap, om zo de geleidelijke belasting van het wegdek bij de passage van een zwaar voertuig met een snelheid van ongeveer 60 km/h te simuleren. De buffers helpen ook schade aan het oppervlak door de inslag vermijden. Bij het OCW-toestel registreren negen

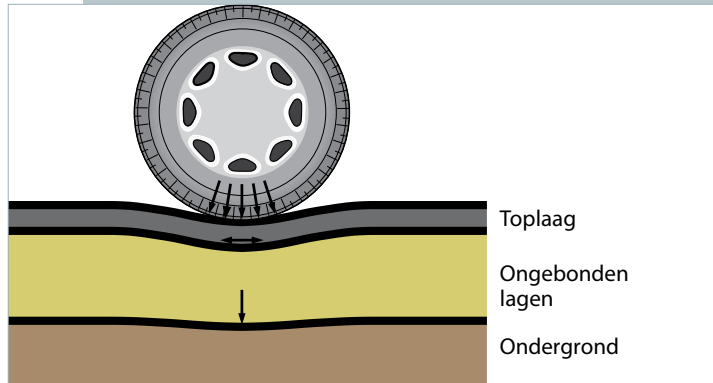
sensoren, zogenoemde *geofoons*, de tijdelijke vervorming van het wegdek. De eerste geofoon bevindt zich in het inslagcentrum. De acht andere sensoren zijn op vaste afstanden en steeds verder van het inslagcentrum opgesteld. De maximale afstand tot het inslagcentrum bedraagt 2,4 m. Een krachtcel boven de metalen schijf meet de werkelijke inslagkracht op het oppervlak. Uit die gegevens kan de deflectiekromme (vergelijkbaar met een golfdal) van het wegdek worden bepaald. Bij FWD-metingen gaat het eigenlijk om een halve deflectiekromme.

De vervorming van het wegdek is afhankelijk van de structurele kenmerken van de wegconstructie, het valgewicht, de valhoogte en de kenmerken van de rubberen

buffers. De operateur kan deze parameters laten variëren om het wegdek voor een bepaalde duur met een gecontroleerde druk te belasten, bijvoorbeeld een kracht van 65 kN en een duur van 25 ms.

Op figuur 4 is een tabel weergegeven met de kracht en de duur van de belasting voor verschillende combinaties van valgewicht en valhoogte, met dezelfde rubberen buffers.





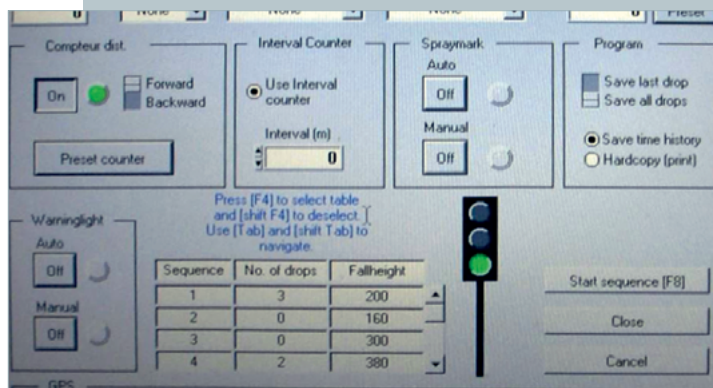
Figuur 3 – FWD-simulatie

2 Soft and 2 Hard Buffer.

Weight layer	Falling Height.				
	100	200	300	400	Max.
15	86/35	130/34	172/33	211/30	
13	79/33	121/32	156/30	190/29	
11	73/30	109/30	142/29	168/28	
9	71/28	101/27	126/27	149/27	
7	68/25	98/25	118/24	137/24	
5	65/22	93/22	114/22	128/21	
3	60/19	87/19	104/18	120/18	
2					

kN/mSek.

Figuur 4 – Tabel met de kracht en de duur van de belasting voor verschillende combinaties van valgewicht en -hoogte, met dezelfde rubberen buffers



Figuur 5 – Software-interface voor de besturing van de FWD tijdens metingen

Resultaten

Deflectiekromme

De gemeten waarden worden in een tabel in een tekstbestand (figuur 7) weergegeven en kunnen in een grafiek met een halve deflectiekromme worden uitgezet. Elke kromme wordt bepaald door evenveel punten als er gefoons in de FWD zijn (negen in het geval van het OCW-toestel).

In dit voorbeeld is de meting op 487 m van het begin van het wegvak uitgevoerd, met twee opeenvolgende inslagen (drops) op dezelfde plaats. De maximale deflectie bedraagt 116 μm . De verst van het inslagcentrum verwijderde gefoon (D(9)) registreerde een deflectie van 24 μm . De uitgeoefende druk bij een kracht van 65,32 kN bereikte 924 kPa. Het wegdek werd gedurende maximaal 26,24 ms belast (*pulse time*).

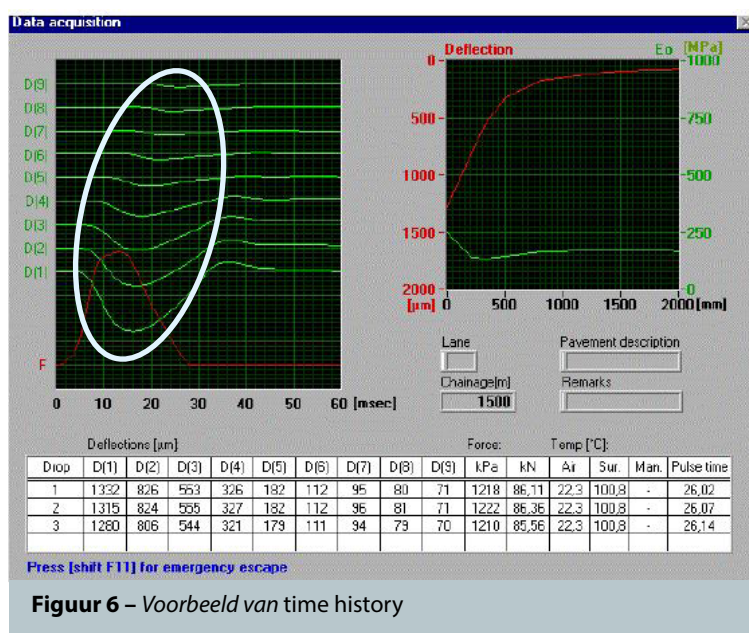
Time history van de gefoonsignalen

De *time history* is een binair bestand met voor elk meetpunt alle gedurende 60 of 120 ms (naar keuze) door de gefoon geregistreeerde signalen. Deze waarden kunnen in een grafiek worden uitgezet (figuur 6). Ze zijn ook zeer nuttig voor verder onderzoek naar bijvoorbeeld de spreiding van de energie in de verharding, het loskomen van lagen, enz.

Maximale deflectie en homogene zones

De FWD meet met behulp van gefoons de maximale deflectie in verschillende inslagpunten (doorgaans om de 50 m of 100 m) van een te onderzoeken weg(gedeelte). Op basis van die maximale deflecties (figuur 8) wordt de weg in homogene zones opgedeeld. Dat zijn wegvakken met zeer gelijkwaardige maximale deflectiewaarden of een statistisch "monotoon" gedrag.

De methode voor opdeling in homogene zones steunt op cumulatieve afwijkingen (figuur 9). Ze wordt aanbevolen en beschreven in het eindrapport van COST-actie 336.

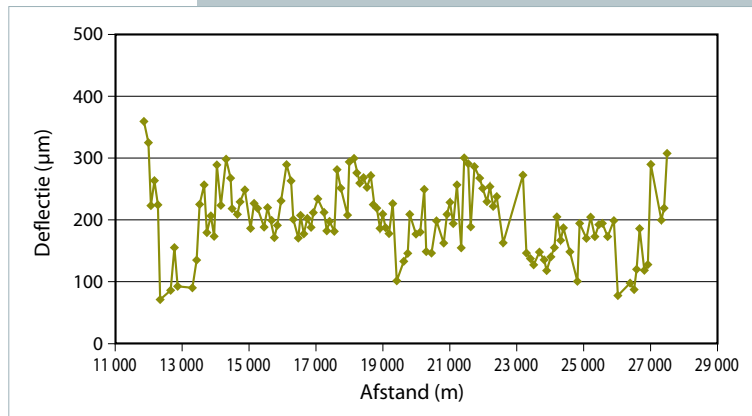


S2
 Chainage[m]..... 487
 Voig..... None
 Revêtement..... None
 Remarque..... None
 Position of Drop: Longitude: Not Available, Latitude: Not Available, Altitude: Not Available

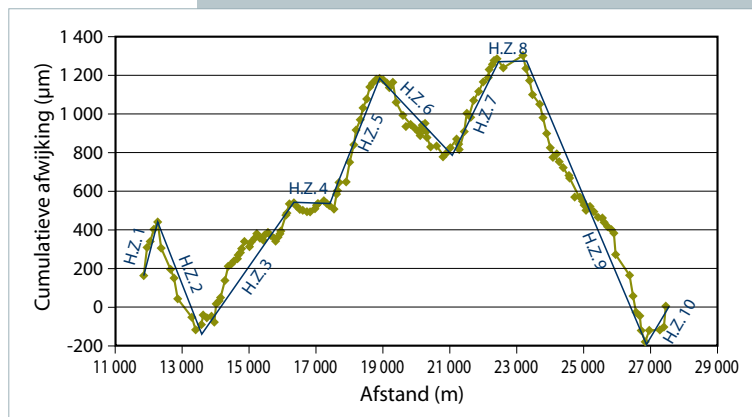
S3
 Sequence: 1/1 No. of drops: 2 Fallheight: 110 Time: 10:58

Drop	D(1)	D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(8)	D(9)	kPa	kN	Air	Sur.	Marr.	Pulse Time
1	115	98	81	66	54	43	36	28	24	923	65,22	14,0	15,3	17,6	26,24
2	116	98	81	66	54	43	36	28	23	924	65,32	14,0	15,4	17,6	26,19

Figuur 7 – Voorbeeld van een tabel met geregistreerde waarden



Figuur 8 – Maximale deflectie onder een belasting van 65 kN



Figuur 9 – Bepaling van homogene zones op basis van het principe afwijking vs. afstand

Acceptatiegrenzen

België

In België zijn geen eigenlijke acceptatiegrenzen vastgelegd. De meetresultaten moeten worden gelezen in het licht van de beoogde prestaties, bijvoorbeeld ten opzichte van het totale aantal zware voertuigen op de weg tijdens de gehele levensduur. Hierna worden enkele indicatieve waarden gegeven.

	Deflectie (1/100 mm)
Autosnelwegen	< 10
Nationale wegen met 1 en 2 cijfers	< 20
Andere wegen	< 40

Bij wijze van voorbeeld en bijzondere gevallen buiten beschouwing gelaten, kan uit de bovenstaande tabel worden afgeleid dat een autosnelweg met een maximale deflectie kleiner dan tien honderdsten van een mm een goede score haalt. Deze score steunt enkel op de stijfheid van de constructie en houdt geen rekening met andere analysegegevens.

Frankrijk

In Frankrijk zijn voor elke soort van wegconstructie (flexibel, halfstijf, stijf) tabellen vastgesteld, waarin deflectiegrenswaarden en verkeersklassen (D) met een score GOED, MATIG of SLECHT worden verbonden.

Klassen	≤ D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Karakteristieke deflectiegrenswaarden (1/100 mm)	0 - 44	45 - 74	75 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 299	≥ 300
Algemeen prestatieniveau als functie van de verkeersklasse							
T1 - T0	Goed	Matig	Slecht				
T3 - T2	GOED		MATIG		SLECHT		

Bron: **R. Kobisch**

Durabilité structurelle des chaussées: pathologie et entretien

Séminaire Sétra, LCPC, CFTR, 9 september 2008

http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2008_dscpe/2008_dscpe_kobisch_guide_renforcement_chaussees.pdf

Figuur 10 – Voorbeeld voor een flexibele wegconstructie

Prestaties

Algemeen

De FWD kan worden ingezet op alle soorten van wegconstructies (flexibel, halfstijf en stijf) en wegen.

Het toestel kan ook zeer precies op een bepaald punt van de weg worden opgesteld.

Snelheid tijdens metingen

Ongeveer 1,30 min per meetpunt, inclusief de verplaatsing naar het volgende meetpunt.

Gemiddeld dagrendement

Autosnelwegen: 15 tot 20 km, met een meetpunt om de 100 m.

Andere wegen: afhankelijk van het aantal, de lengte en de spreiding van de te onderzoeken weggedeelten, evenals van het aantal meetpunten voor elk weggedeelte.

Meetbereik en resolutie

Meetbereik gefoon: 0 à 2 200 µm.

Resolutie gefoon: 1 µm.

Weersomstandigheden

Uit technisch oogpunt kan de FWD in alle weersomstandigheden worden ingezet.

Het OCW beveelt aan dat de gemiddelde dagtemperatuur (van de lucht) gedurende enkele dagen voor de metingen niet lager dan 5 °C en niet hoger dan 25 °C is.

Beperkingen

- Een FWD levert standaard geen directe berekening van de kromtestraal af.
- Op projectniveau kan het interval tussen meetpunten aanzienlijk worden verminderd (bijvoorbeeld om de meter). Dat verlaagt echter sterk het dagrendement.



Complementari- teit van de meetresultaten

Net zoals een medische diagnose steunt een diagnose van de wegconditie bij voorkeur op meerdere analysefactoren.

Na een snelle verwerking van de gegevens leveren FWD-metingen interpreteerbare, concrete en bruikbare informatie (maximale deflectie en homogene zones) op.

Net zoals voor de meeste apparatuur voor wegconditieonderzoek kan het nuttig zijn de resultaten te toetsen aan die van andere technieken en methoden:

- GPR-metingen;
- kernboringen in elke homogene zone die door de FWD is gedetecteerd;
- terugberekeningen om de elasticiteitsmodulus van de lagen in een wegconstructie te schatten;
- berekening van de restlevensduur van een wegconstructie op basis van de karakteristieke deflectie van elke homogene zone.

Verwante technieken en methoden

- Benkelmanbalk.
- Lacroixdeflectograaf.
- TSD (*Traffic Speed Deflectometer*).
- Dynaplaque.
- Déflectomètre à masse tombante légère (*Light Falling Weight Deflectometer – LFWD*).
- RAPTOR.

Veiligheid – Signalering

In België zijn de minimale gewestelijke maatregelen voor signalering van een mobiele bouwplaats van categorie 6 van toepassing.

Op autosnelwegen en wegen met tweemaal twee rijstroken beveelt het OCW aan de FWD te laten volgen door twee obstakelbeveiligers, op een afstand van respectievelijk enkele tientallen meters en 100 m.

Application

Wegsoort	Projectniveau	Netwerkniveau
Autosnelwegen en hoofdwegen	✓	✓
Gemeente- en stedelijke wegen	✓	✓
Voetpaden		
Fietspaden		
Parkeervoorzieningen	✓	✓
Private wegen	✓	✓
Haventerreinen	✓	✓
Vliegveldbanen	✓	✓

Literatuur

Van Geem, C. (2017)

Influences of measurement conditions on structural indicators obtained from FWD data.

In : Proceedings of the 10th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields (BRRCA 2017), Athens, June 28-30, 2017. p. 573-578. Boca Raton (USA) : CRC Press. ISBN 978-1-13-829595-7.

Van Geem, C. & Grégoire, C. (2013)

Rehabilitation of roads containing cobblestone pavements covered with a bituminous layer.

In : Proceedings of the 9th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields; Trondheim, Norway, June 25-27, 2013. 10p. S.l. : Akademinska Publishing.

Van Geem, C., Nigro, P. & Berlémont, B. (2015)

The use of deflection measurements in pavement management of the primary road network of Wallonia, Belgium.

In : Proceedings of the 9th international conference on managing pavement assets (ICMPA9), Alexandria, USA, May 18-21, 2015. 13p. Blacksburg (USA) : Virginia Polytechnic Institute and State University – Transportation Institute.

Perez, S. & Van Geem, C. (2010)

Evaluation by FWD and faultimeter of concrete slabs stability.

In : The answer to new challenges : abstracts of the 11th international symposium on concrete roads, Sevilla, October 13-15, 2010. 11p. Brussels : EUPave.

Perez, S. & Van Geem, C. (2010)

FWD on concrete roads : load transfer efficiency, faulting and bearing capacity.

In : Structural condition assessment : papers & presentations of the 6th European FWD User Group meeting, Sterrebeek, June 10-11, 2010. 4p. Brussels : Belgian Road Research Centre (BRRC).

Perez, S., Beeldens, A., Maeck, J., Van Geem, C., Vanelstraete, A., Degrande, G. Lombaert, G. & De Winne, P. (2009)

Evaluation à l'aide du FWD et du faultimètre des stabilisations de dalles en béton.

In : 21ième congrès belge de la route 2009, Gent, septembre 22-25, 2009. 10p. Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).

Van Geem, C., Pilate, O. & David, O. (2009)

Un cas pratique : l'évaluation en fonction des performances attendues, d'un projet de réhabilitation d'un parking et de la voirie d'une station service autoroutière.

In : 21ième congrès belge de la route 2009, Gent, septembre 22-25, 2009. 10p. Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).

Van Geem, C. & De Myttenaere, O. (2009)

The premature failure of slab pavements at heavily trafficked industrial sites.

In : Proceedings of the 8th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields (BCR2A'09), Urbana-Champaign, USA, June 29-July 2, 2009. p. 963-972. Abingdon (UK) : Taylor & Francis.

Kobisch, R. (2008)

Durabilité structurelle des chaussées : pathologies et entretien : guide technique diagnostic et conception des renforcements de chaussées.

In : Séminaire Sétra, LCPC, CFTR, septembre 9, 2008.

European Commission – Directorate General Transport (1997)

COST 325 : new road monitoring equipment and methods : final report of the action.

Brussels : EC. ISBN 978-92-8280-307-3.

European Commission – Directorate General Transport (2005)

COST 336 : use of falling weight deflectometers in pavement evaluation : final report of the action.

Brussels : EC. second edition.

Lijst van de steekkaarten

1. **APL** – Meting van de langsvlakheid van wegen
2. **Cartografie** – Voor een heldere diagnose
3. **FPP** – Meting van de langsvlakheid van fietspaden
4. **FWD** – Meting van structurele kenmerken van wegen
5. **GPR** – Radiografie van wegconstructies
6. **Odoliograaf** – Meting van de stroefheid van wegen
7. **Qualidimsoftware** – Berekening van de restlevensduur van wegen
8. **Visuele inspectie voor het beheer van stedelijke en gemeentelijke wegennetten**
9. **Structurele prestatie-indicatoren voor wegbeheer**
10. **ViaBEL** – Software voor wegbeheer
11. **CPX** – Geluidsmetingen volgens de *Close ProXimity* (CPX)-methode
12. **Meting van de macro- en megatextuur van wegdekken met de laserprofielmeter**
13. **Waarneming van verkeer en conflicten met camera's**
14. **Verkeersanalyse met pneumatische telslangen**
15. **Geometrische controle van verhoogde inrichtingen op de openbare weg: verkeersdrempels en verkeersplateaus**
16. **Verkeersanalyse met dopplerradar**
17. **Meting van de stroefheid met de *Skid Resistance Tester* (SRT-slinger)**
18. **Meetstoel** – Instrument voor de beoordeling van het comfort van voetgangersverhardingen
19. **Fast-FWD** – Meting van structurele kenmerken van wegen