

OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW

Brussel

**VOORSTEL VAN EUROPESE NORM
MET BETREKKING TOT DE STROEFHEID
VAN WEGDEKKEN**

Eindverslag
Onderzoeksovereenkomst NO/C3/004
1998

Coordinator en Rapporteur: Guy DESCORNET, Dr.sc.

Uitgegeven door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Inrichting erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Woluwedal 42 - 1200 Brussel

OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW

Brussel

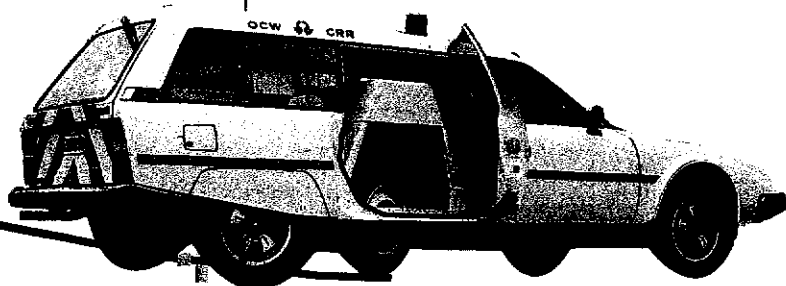
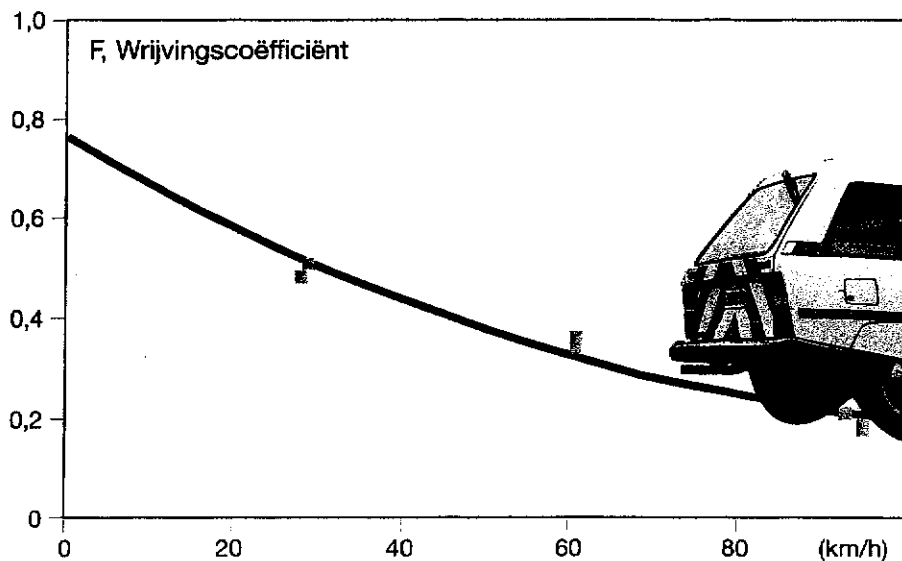
**VOORSTEL VAN EUROPESE NORM
MET BETREKKING TOT DE STROEFHEID
VAN WEGDEKKEN**

Eindverslag
Onderzoeksovereenkomst NO/C3/004
1998

Coördinator en Rapporteur: Guy DESCORNET, Dr. sc.

project

NO - 004 - II





**VOORSTEL VAN EUROPESE NORM
MET BETREKKING TOT DE STROEFHEID
VAN WEGDEKKEN**

Inhoud

I. Samenstelling van de Stuurgroep	3
II. Dankbetuiging	4
III. Samenvatting	5
IV. Afkortingen	9
V. Symbolen	10
VI. Inleiding	11
VII. Analyse van de gegevensbank uit het internationale experiment (PIARC, 1992)	13
<i>VII.1 Keuze van de in aanmerking te nemen reeksen metingen</i>	13
VII.1.1 Wrijving	13
VII.1.2 Textuur	14
VII.1.3 Locaties	14
<i>VII.2 Verwerking van de gegevens</i>	15
<i>VII.3 Onderscheid naar soort van band</i>	21
<i>VII.4 Keuze van de referentiesnelheid</i>	21
<i>VII.5 Herhaalbaarheid van de EFI</i>	23
<i>VII.6 Reproduceerbaarheid van de EFI</i>	23
<i>VII.7 Juistheid van de EFI</i>	25
<i>VII.8 Gevoeligheid van de EFI voor onnauwkeurigheden in de schatting van S_{0j}^*</i>	25
VIII. Aanvullende metingen (DWTC, 1997)	26
<i>VIII.1 Keuze van de locaties</i>	26
<i>VIII.2 Gebruikte apparatuur</i>	26
<i>VIII.3 Verloop van de metingen</i>	26
<i>VIII.4 Resultaten</i>	26
IX. Normvoorstel	28
X. Conclusies	29
XI. Aanbevelingen	31
XII. Tabellen	32
XIII. Figuren	46
XIV. Literatuur	63
XV. Bijlagen	64

I. Samenstelling van de Stuurgroep

Ing. R. JORDENS, Afdelingshoofd, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (NL), Voorzitter van CEN/TC227/WG5/TG1.

De heer F. MONTENY, Diensten van de Eerste Minister, Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden.

M. F. BEUGNIES, ir., Ingénieur-Directeur a.i., Ministère des Communications et de l'Infrastructure, Administration de la Réglementation de la Circulation et de l'Infrastructure (ARCI), Direction Routes: Normes et Banques de Données.

M. J. WUSTEMBERGHS, ing., Conseiller, Institut belge de Normalisation.

Ir. L. HELEVEN, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur (LIN), Administratie Weg en Verkeer, Afdeling Wegenbouwkunde, Dienst Structuren.

M. J. CROCHET, ir., Ingénieur principal des Ponts et Chaussées, Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET), Direction générale des Routes et Autoroutes, Direction des Structures routières.

Dr. ir. D. GORLE, Directeur, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW), Departement Research, Ontwikkeling en Toepassing.

M. G. DESCORNET, Dr. Sc., Chef de Projet, Centre de Recherches routières (CRR), Département Recherche, Développement et Application.

II. Dankbetuiging

Wij danken de Diensten van de Eerste Minister voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden, die dit project hebben gefinancierd, en in het bijzonder de heer F. Monteny voor zijn niet-aflatende, toegewijde steun.

Wij zijn het LIN en het MET zeer erkentelijk voor hun uitstekende medewerking aan dit project, - inzonderheid de heren L. HELEVEN (LIN), J. CHAVET (MET) en J. CROCHET (MET), voor het uitvoeren van de stroefheidsmetingen.

Onze dank gaat ook naar de overige leden van de Stuurgroep en meer bepaald naar de heer R.A.P. JORDENS, die bereidwillig lange ochtendritten maakte om verscheidene vergaderingen, waaronder die van de S.G., bij te wonen, en de heer D. GORLE, die het project met toewijding heeft gevolgd en de vergaderingen van de S.G. gemoedelijk maar efficiënt heeft geleid.

Wij zijn de heren J.M. DESMET en B. BERLEMONT grote dank verschuldigd voor de toewijding en bekwaamheid waarmee zij hun technische taken hebben vervuld en de massa's gegevens hebben verwerkt. Aan B. BERLEMONT komt bijzondere eer toe voor het maken van de bijgaande cd-rom.

Ten slotte danken wij PIARC voor de toestemming om uittreksels uit de gegevensbank van het 1e internationale experiment in Bijlage 1 (op de cd-rom) te reproduceren, voor de volledigheid.

III. Samenvatting

Er zijn in Europa meer dan een dozijn verschillende modellen van toestellen om de stroefheid van wegdekken te meten. Tot dusver gebruikt elk land een of twee soorten van apparaten, met daaraan verbonden eisen in de bestekken of voor het onderhoudsbeleid. Met het opengaan van de eenheidsmarkt is evenwel een behoefte aan uniformering ontstaan, om iedere aannemer in staat te stellen zich naar verschillende voorschriften te richten en het de wegbeheerders mogelijk te maken over de landsgrenzen heen een gelijkblijvende verkeersveiligheid te waarborgen. Aan deze uniformering wordt in CEN-verband gewerkt door de groep TC227/WG5. Een van de doelstellingen van deze werkgroep is momenteel een norm uit te werken waarin een uniforme werkwijze wordt vastgelegd voor het bepalen van de stroefheid uit een dynamische meting. Het is begrijpelijk dat een dergelijke werkwijze, om door een meerderheid van landen te worden aanvaard, bezwaarlijk op slechts één toestel kan worden gebaseerd. Daarom is gekozen voor een aanpak met vaststelling van omrekeningsformules tussen de verschillende toestellen, zodat iedereen - althans gedurende een overgangperiode - zijn of haar eigen methode kan blijven gebruiken. Vooruitlopend op deze behoefte heeft de PIARC een internationaal vergelijkend experiment verricht met de verschillende wrijvings- en textuurmeters die op weg- en vliegveldverhardingen worden gebruikt. Over dit experiment heeft de PIARC eind 1995 een eindverslag uitgebracht. Alle in Europa gebruikte toestellen en methoden waren vertegenwoordigd, plus een Amerikaans, een Canadees en twee Japanse toestellen. Met de informatie uit het experiment werd een grote gegevensbank opgezet, die bij de normalisatie zeer waardevol is gebleken. En de analyse van al die gegevens in het eindverslag toont aan, dat vrijwel alle toestellen die aan het experiment deelnamen kunnen worden "geharmoniseerd" d.m.v. een empirische formule, waarmee de resultaten die zij geven kunnen worden gerelateerd aan een gemeenschappelijke schaal - die, zij het wat voorbarig, "International Friction Index (IFI)" werd genoemd -, mits rekening wordt gehouden met een macrotextuurmeting. "Voorbarig", want, hoewel dit experiment een noodzakelijke eerste stap was, kan het niet zomaar - zonder verder onderzoek - als grondslag dienen voor een normontwerp dat op Europees niveau kan worden geaccepteerd.

De IFI werd in het PIARC-verslag als volgt omschreven:

$$IFI = A + B \cdot F \cdot \exp[(\tau \cdot V - S_R) / (a + b \cdot T)] + C \cdot T$$

- waarin:
- F : gemeten wrijvingscoëfficiënt
 - V : meetsnelheid
 - S_R : als referentie gekozen slipsnelheid tussen band en wegdek (60 km/h)
 - T : textuurdiepte
 - τ : wielvertraging of slip
 - a, b : empirisch bepaalde coëfficiënten om, uitgaande van de textuurmeting (T), de invloed van de snelheid op de wrijvingscoëfficiënt te compenseren
 - A, B, C : empirisch bepaalde coëfficiënten, eigen aan elk toestel.

De eerste taak bestond erin, de analyse van de gegevensbank uit het PIARC-

experiment te hervatten om de optimale waarden te bepalen voor de parameters in de definitie van de IFI. Onder "optimale waarden" werden verstaan die welke de gezamenlijke Europese apparaten in staat zouden stellen de IFI-index zo nauwkeurig mogelijk te reproduceren. Opdat de herdefiniëring van de IFI zou worden toegespitst op de meetapparatuur en -methoden die werkelijk in Europa worden gebruikt, en in het vooruitzicht van een CEN-norm met betrekking tot dynamische metingen, werden in totaal eenentwintig toestellen volgens deze twee criteria geselecteerd. Toen het PIARC-experiment reeds beëindigd was, werd aan de hand van gegevens die daarbij waren verzameld een ISO-norm 13473-1 uitgewerkt, waarin de manier werd vastgelegd om uit profielmeterresultaten gemiddelde textuurdiepten te berekenen. Met deze norm moest hier rekening worden gehouden, te meer aangezien CEN/TC227/WG5 momenteel overweegt ze over te nemen. Nu is het OCW van de aan het PIARC-experiment deelnemende teams het enige dat alle gemeten profielen in digitale vorm heeft geregistreerd en bewaard, waardoor zij opnieuw konden worden verwerkt volgens de nieuwe methode. Voorts moest de analyse worden aangevuld met een beoordeling van de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de IFI.

Op grond van deze bijkomende analyse hebben wij een "European Friction Index (EFI)" gedefinieerd, die boven de door de PIARC voorgestelde IFI de volgende voordelen biedt:

- de rol van de textuurmeting, en dus van de bijkomende fouten die zij kan meebrengen, wordt op twee manieren geminimaliseerd. Ten eerste wordt door een rationele keuze van de referentiesnelheid de vereiste correctie voor de invloed van de snelheid zo klein mogelijk gehouden; de optimale referentiesnelheid is 30 km/h. Ten tweede werd aangetoond dat de definitie van de EFI geen textuurafhankelijke term (coëfficiënt C in de bovenstaande formule) hoeft te bevatten voor toestellen die met geprofileerde banden zijn uitgerust;
- dit laatste betekent een vereenvoudiging en bijgevolg een vollediger harmonisatie, aangezien de definitie van de EFI, in tegenstelling tot die van de IFI, dezelfde blijft ongeacht de soort van band die bij een gegeven toestel hoort;
- in de EFI wordt rekening gehouden met de genormaliseerde ISO-definitie van geschatte textuurdiepte afgeleid uit een meting met een profielmeter;
- de index is gedefinieerd aan de hand van de gegevens met betrekking tot (dynamische) Europese toestellen. Deze gegevensbank is beperkter dan die van het PIARC-experiment en resulteert dan ook in herhaalbaarheids- en reproduceerbaarheidswaarden die representatiever zijn voor de prestaties die van de in Europa gebruikte meetsystemen mogen worden verwacht (kennis van deze waarden is vereist om normen te kunnen stellen). De gemiddelde herhaalbaarheid van de EFI over alle toestellen en meetlocaties is bepaald op 0,08 en de reproduceerbaarheid ervan door verschillende toestellen op 0,14;
- het grootste voordeel ligt evenwel in het feit, dat de EFI de systematische verschillen tussen wrijvingscoëfficiënten die met verschillende typen van toestellen zijn bepaald aanzienlijk verkleint of gemiddeld zelfs uitvlakt; juist daar wordt het doel van harmonisatie bereikt, ook al gaat dat ten koste van een minder goede

reproduceerbaarheid dan met toestellen van hetzelfde type.

Het tweede doel van het project was, de uitbreiding van de EFI tot andere wegdekken die in het PIARC-experiment onvoldoende of helemaal niet aan bod worden gekomen te valideren, door met name de verschillende wegverhardingsmaterialen en -technieken die voor de Europese praktijk en ontwikkelingen op dit gebied representatief zijn, bij de analyse te betrekken. Daartoe is met medewerking van de gewestelijke wegbeherende overheden een reeks stroefheidsmetingen met de SCRIM van LIN en de odoliograaf van MET en textuurmetingen met de laserprofielmeter van het OCW verricht op drieëntwintig wegvakken, waaronder een derde met klassieke wegdekken (ter controle) en twee derde met recentelijk ingevoerde of beperkt toegepaste wegdekken (zoals zeer open asfaltbeton (ZOAB), open cementbeton, steenmastiekasfalt (SMA), afgestrooide harslem en verscheidene andere soorten van dunne deklagen). Het criterium voor de validering van de EFI ten aanzien van een gegeven wegdek was, dat dit wegdek moest voldoen aan een empirisch vastgestelde formule waarmee de gevoeligheid van de wrijvingscoëfficiënt voor de slipsnelheid kan worden voorspeld als functie van de textuurdiepte. Gezien de nauwkeurigheid van deze formule kan worden gesteld dat volgens zowel de PIARC-gegevens (behalve in de uitzonderlijke gevallen van de verhardingen van twee Amerikaanse vliegvelden in Spanje) als de gegevens uit de aanvullende proeven in België geen enkel wegdektype significant en systematisch in de een of andere zin van de bovengenoemde relatie afwijkt.

Tenslotte werd conform het derde en laatste doel een voorstel gedaan voor een norm die:

- 1) de EFI omschrijft, d.w.z. de formule geeft om van een gegeven meetmethode naar een andere over te gaan, met de foutmarge die aan deze omzetting verbonden is. Deze formule is wezenlijk dezelfde als hiervoor, maar de overeenkomstige coëfficiënten zijn opnieuw berekend en coëfficiënt C is weggevallen ;
- 2) een op de EFI gebaseerde werkwijze voorstelt om wrijvings- en textuurmeters te kalibreren. Om de EFI als standaard te handhaven, volstaat het op gezette tijdstippen beperkte deelverzamelingen van (twee of drie) toestellen bijeen te brengen om ze te vergelijken en de A- en B-coëfficiënten ervan bij te stellen. Dit bijeenbrengen van toestellen moet evenwel zó worden georganiseerd, dat door het volgen van bepaalde criteria voor het combineren van toestellen voorkomen wordt dat deelverzamelingen van toestellen geleidelijk van elkaar gaan afwijken.

Een eerste ontwerptekst werd aan CEN/TC227/WG5 voorgelegd tijdens de vergadering van 21-22 november 1997 van deze werkgroep in Brussel. Een gewijzigde versie, waarin de opmerkingen van de groep waren verwerkt, werd op de vergadering van 25-26 mei 1998 voorgesteld en het derde concept, opgemaakt naar aanleiding van deze vergadering, is als afzonderlijk document bij dit verslag gevoegd.

Om voluit voordeel van het verrichte werk te trekken, kan het volgende worden aanbevolen.

1. Het feit dat aangetoond is dat de verschillende stroefheidsmetingen in Europa naar een zelfde schaal kunnen worden omgerekend, zou bekend moeten worden gemaakt en als doorslaggevend argument moeten worden gebruikt om normalisatie-instellingen, wegbeheerders, wegenbouwers, leveranciers van wegenbouwmaterialen en leveranciers van meetapparatuur te winnen voor een beleid van "harmonisatie" in plaats van "normalisatie". Harmonisatie met de EFI als standaard stelt de gebruikers in staat hun beproevingsmethoden te blijven toepassen en hun wegendatabanken van gegevens te voorzien zonder te breken met het verleden en daarbij grote investeringen en jarenlange ervaring verloren te zien gaan - wat bij normalisatie van één bepaalde methode zeker het geval zou zijn. Dit hoeft niemand te beletten in de komende vijftien of twintig jaar deze ene genormaliseerde methode in Europees of in een ruimer internationaal verband uit te werken. De EFI zal dan een overgangsproces hebben mogelijk gemaakt dat als "democratisch" kan worden bestempeld.
2. Dit betekent dat de betrokken wetenschappelijke, administratieve en politieke autoriteiten dringend werk moeten maken van een Europese organisatie voor het regelmatig kalibreren van stroefheids- en textuurmeters, zoals in het normontwerp wordt voorgesteld. Deze organisatie hoeft niet echt over referentieproefbanen te beschikken: het normontwerp eist dat niet, aangezien vergelijkingen tussen toestellen in principe en in het algemeen in om het even welk land of om het even welke streek van Europa kunnen plaatsvinden - mits aan de criteria van de norm kan worden voldaan. Van belang is wél dat er een team voltijds klaar staat om proeven te organiseren, resultaten te interpreteren, certificaten af te leveren, enz., en dat dit team zich kan begeven naar de locatie die uit praktisch en economisch oogpunt als de geschikteste kan worden beschouwd om een gegeven deilverzameling van (allicht meestal twee of drie) toestellen bijeen te brengen.

IV. Afkortingen

A	Over het geheel ("(over)all"), d.w.z. alle toestellen ongeacht de soort van band
B	Ongeprofileerde of gladde banden ("blank")
BA	Asfaltbeton (dicht)
BC	Cementbeton
BO	Open cementbeton
CEN	Europees Comité voor Normalisatie
DWC	Dwarse wrijvingscoëfficiënt
DWTG	Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden
F	Bestrijking (oppervlakbehandeling)
EO	Zeer open asfaltbeton (ZOAB)
EPI	European Friction Index
ESHP	Hoogwaardige bestrijking (oppervlakbehandeling)
GTG	Geschatte MTD, afgeleid uit MPD
IFI	International Friction Index
ISO	International Standardization Organization
IN	Dienst Leefmilieu en Infrastructuur
LWC	Longitudinale wrijvingscoëfficiënt
MET	Ministère wallon de l'Équipement et des Transports
MPD	Textuurprofieldiepte ("Mean Profile Depth")
MTD	Textuurdiepte volgens een volumetrische methode ("Mean Texture Depth")
OCW	Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
PIARC	World Road Association
RMD	Discontinu gegradeerde dunne deklaag
RMS	Standaardafwijking ("Root-Mean-Square Deviation") van het textuurprofiel
RMTD	Dunne deklaag met open textuur
RP	Gegroefde ("ribbed") of geprofileerde ("patterned") banden
RUMG	Grof gegradeerde ultradunne deklaag
SCRIM	Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine
SCRIMTEX	SCRIM gecombineerd met een laserprofielmeter die de macrotextuur meet
SMA	Steenmastiëkasfalt

V. Symbolen

μ	Gemiddelde
ρ	Correlatiecoëfficiënt
σ	Standaardafwijking
τ	Wielvertraging of slip
A, a	Ordinaat in de oorsprong van een regressielijn
B, b	Hoekcoëfficiënt van een regressielijn
E	Geschatte EFI-waarde
F	Wrijvingscoëfficiënt
$F_{10, \dots, F_{90}}$	Waarde van de wrijvingscoëfficiënt, herleid tot een slipsnelheid van 10, ..., 90 km/h
F_s	Waarde van de wrijvingscoëfficiënt, herleid tot een slipsnelheid S
F_0	Wrijvingscoëfficiënt geëxtrapoleerd tot snelheid nul
i	Index die van het beschouwde toestel afhangt
j	Index die van het beschouwde halve vak afhangt
J	Totaal aantal halve vakken
m	Index die het volgnummer aangeeft in een reeks metingen met een zelfde toestel op een zelfde half vak
n	Aantal metingen waarmee een regressie is berekend
N	Totaal aantal toestellen
R	Index die aangeeft dat de betrokken waarde van de keuze van S_R afhangt
r	Herhaalbaarheid
R	Reproduceerbaarheid
S	Slipsnelheid
S_0	Parameter die de invloed van de slipsnelheid op de wrijvingscoëfficiënt beschrijft; kortweg ook "snelheidsparameter" genoemd
S_0^*	Optimale snelheidsparameter voor een gegeven half vak
S_0^{**}	Optimale snelheidsparameter voorspeld uit de textuur
S_R	Referentieslipsnelheid
T	Textuurdiepte
x	Index die van de beschouwde soort van textuurmeting afhangt

VI. Inleiding

Er zijn in Europa meer dan een dozijn verschillende modellen van toestellen om de slijtelheid van wegdekken te meten. Tot dusver gebruikt elk land een of twee soorten van apparaten, met daaraan verbonden eisen in de bestekken of voor het onderhoudsbeleid. Met het opengaan van de eenheidsmarkt is evenwel een behoefte aan uniformering ontstaan, om iedere aannemer in staat te stellen zich naar verschillende voorschriften te richten en het de wegbeheerders mogelijk te maken over de landsgrenzen heen een gelijkblijvende verkeersveiligheid te waarborgen. Aan deze uniformering wordt in CEN-verband gewerkt door de groep TC227/WG5, waarin R. JORDENS, J. CHAVET, L. HELEVEN en G. DESCORNET actief zijn. Een van de doelstellingen van deze werkgroep is momenteel een norm uit te werken waarin een uniforme werkwijze wordt vastgelegd voor het bepalen van de slijtelheid uit een dynamische meting. Het is begrijpelijk dat een dergelijke werkwijze, om door een meerderheid van landen te worden aanvaard, bezwaarlijk op slechts één toestel kan worden gebaseerd. Daarom is gekozen voor een aanpak met vaststelling van omrekeningsformules tussen de verschillende toestellen, zodat iedereen - althans gedurende een overgangsperiode - zijn of haar eigen methode kan blijven gebruiken. Vooruitlopend op deze behoefte heeft de PIARC een internationaal vergelijkend experiment verricht met de verschillende wrijvings- en textuurmeters die op weg- en vliegveldverhardingen worden gebruikt. Over dit experiment heeft de PIARC eind 1995 een eindverslag uitgebracht. Alle in Europa gebruikte toestellen en methoden waren vertegenwoordigd, plus een Amerikaans, een Canadees en twee Japanse toestellen. Met de informatie uit het experiment werd een grote gegevensbank opgezet, die bij de normalisatie zeer waardevol is gebleken. En de analyse van al die gegevens in het eindverslag toont aan, dat vrijwel alle toestellen die aan het experiment deelnamen kunnen worden "geharmoniseerd" d.w.z. een empirische formule, waarmee de resultaten die zij geven kunnen worden gerelateerd aan een gemeenschappelijke schaal - die, zij het wat voorbarig, "International Friction Index (IFI)" werd genoemd -, mits rekening wordt gehouden met een macrotextuurmeting. "Voorbarig", want, hoewel dit experiment een noodzakelijke eerste stap was, kan het niet zomaar - zonder verder onderzoek - als grondslag dienen voor een normontwerp dat op Europees niveau kan worden geaccepteerd.

Het algemene doel van dit project was dan ook een ontwerp van Europese norm op te stellen na het nodige verdere onderzoek, dat de volgende taken omvatte:

- 1) de analyse van de gegevensbank hervatten, waarbij het aandachtsveld beperkt moest worden tot de dynamische toestellen die Europa worden gebruikt en de empirisch in de IFI-definitie ingevoerde referentiesnelheid moest worden herzien om een nieuwe, optimaal op Europese normalisatie afgestemde IFI, d.w.z. een EFI, te definiëren;
- 2) de analyse aanvullen met een beoordeling van de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de EFI;

- 3) de geldigheid van de EFI uitbreiden tot nieuwe soorten van wegdekken en materialen die in het PIARC-experiment onvoldoende of helemaal niet aan bod waren gekomen. Hiertoe werden met de verschillende in België beschikbare toestellen nieuwe stroefheids- en textuurmetingen verricht op een steekproef van verschillende representatieve wegdekken.

Het normontwerp moest:

- 1) de EFI omschrijven, d.w.z. de formule geven om van een gegeven meetmethode naar een andere over te gaan, met de foutmarge die aan deze omzetting verbonden is;
- 2) een werkwijze voorstellen om wrijvings- en textuurmeters te kalibreren.

VII. Analyse van de gegevensbank uit het internationale experiment (PIARC, 1992)

Zoals gezegd had deze analyse tot doel, uit gegevens die bij het PIARC-experiment waren verzameld de optimale waarden af te leiden voor de parameters in de definitie van de "International Friction Index (IFI)" die in het verslag over het PIARC-experiment is voorgesteld. Onder "optimale waarden" werden verstaan die welke de gezamenlijke Europese apparaten in staat zouden stellen de IFI-index zo nauwkeurig mogelijk te reproduceren.

VII.1 Keuze van de in aanmerking te nemen reeksen metingen

Om de herdefiniëring van de IFI toe te spitsen op de meetapparatuur en -methoden die werkelijk in Europa worden gebruikt, werden in overleg met de Stuurgroep¹ de volgende bestanden² uit de PIARC-gegevensbank gekozen. In het vooruitzicht van een CEN-norm met betrekking tot dynamische metingen, werden bovendien de metrische beproevingsmethoden uit de selectie geweerd.

VII.1.1 Wrijving

Gekozen bestanden:

B1LKD.FR	B2SLP.FR	B5SLP.FR	C5.FR	C9.FR	D2.FR	D5.FR
B1SLP.FR	B3.FR	C1.FR	C6E.FR	C10.FR	D3.FR	D6.FR
B1LKD.FR	B5LKD.FR	C3B.FR	C8.FR	D1E.FR	D4.FR	D8.FR

Geweerde bestanden:

A12.FR	Niet Europees. Werkte bovendien niet naar behoren.
A13.FR	Niet Europees.
A14.FR	Slinger. Niet dynamisch noch op ware grootte.
B1ABS.FR	ABS-systeem. Werkelijke slipsnelheid onbekend.
B1ESLP.FR	Europees, maar niet gekozen wegens "onzuivere" meetvoorwaarden (mengeling van vaste slipsnelheid en veranderlijke wielvertraging).
B1ESWP.FR	Europees, maar niet gekozen wegens "onzuivere" meetvoorwaarden (mengeling van vaste slipsnelheid en veranderlijke wielvertraging, waardoor het PIARC-model niet kon worden toegepast).
B5ABS.FR	ABS-systeem. Werkelijke slipsnelheid onbekend.
B6501.FR	Niet Europees.
B6524.FR	Niet Europees.
B6GHP.FR	Niet Europees.
B6ULT.FR	Niet Europees.

Notulen van de vergadering van de Stuurgroep op 14 november 1996.

*Om plaatsruimte te sparen worden de verschillende beproevingsmethoden aangeduid met de identificatiecodes die in het verslag over het internationale experiment zijn gebruikt. **Tabel 1** en **Tabel 2** geven respectievelijk voor de stroefheid en de textuur de namen van de overeenkomstige toestellen, met de nationaliteiten van de meetteams en de soorten en kenmerken van de metingen.*

- B7.FR Slinger. Niet dynamisch noch op ware grootte.
 B10E.FR Verrichtte slechts op vier locaties metingen.
 C3E.FR Veel foute metingen door een mechanisch probleem (zie de matige correlatiecoëfficiënten met de overige SCRIM-toestellen in het PIARC-verslag [ref. 1, blz. 105]).
 C4.FR Niet Europees.
 D7B.FR Verrichtte op slechts dertien locaties metingen en de correlaties met de resultaten van de overige toestellen waren meestal slecht.

In totaal werden dus eenentwintig toestellen geselecteerd.

VII.1.2 Textuur

Gekozen bestanden³:

A1.TX	A3E.TX	D2.TX	D5.TX
A2.TX	A4.TX	D3.TX	
A3B.TX	A5.TX	D4.TX	

Geweerde bestanden:

A8.TX Statische proef. Niet-Europese norm.
 A12.TX Niet-Europees. Werkte bovendien niet naar behoren.
 B8.TX Statische proef.
 B11E.TX Statische proef. Niet-Europese norm.

Toen het PIARC-experiment reeds beëindigd was, werd aan de hand van gegevens die daarbij waren verzameld een ISO-norm 13473-1 [ref. 2] uitgewerkt, waarin de manier werd vastgelegd om uit profielmeterresultaten gemiddelde textuurdiepten te berekenen. Met deze norm moest hier rekening worden gehouden, te meer aangezien CEN/TC227/WG5 momenteel overweegt ze over te nemen. Nu is het OCW van de aan het PIARC-experiment deelnemende teams het enige dat alle gemeten profielen in digitale vorm heeft geregistreerd en bewaard, waardoor zij opnieuw konden worden verwerkt volgens de nieuwe methode. Ofschoon niet echt dynamisch, werd de vaste versie van de laserprofielmeter van het OCW geselecteerd (A5) omdat dit toestel eigenlijk mobiel is (het wordt met een lage snelheid door en voertuig voortgetrokken) en vooral omdat het nauwkeuriger is dan de eigenlijke dynamische versie (A4).

VII.1.3 Locaties

Zoals in het PIARC-verslag uitgelegd wordt, bestond iedere meetlocatie uit twee aangrenzende halve vakken van elk 75 m lengte, waarbij half vak B op half vak A volgde. Locatie 3 werd buiten beschouwing gelaten, omdat er slechts met één toestel metingen op werden verricht. In totaal bleven er dus 106 halve vakken over.

³ Hoewel het toestel van niet-Europese (Canadese) herkomst is, werd bestand A3B.TX behouden omdat er verscheidene exemplaren in Europa worden gebruikt.

VII.2 Verwerking van de gegevens

De gegevensbank uit het PIARC-experiment bevat een reeks (ASCII-)bestanden met suffix .FR en .TX voor resultaten van respectievelijk wrijvings- en textuurmetingen⁴. De gegevens werden in de volgende fasen verwerkt.

1. Elk *.FR-bestand werd aangevuld met een kolom "RELSP" (voor "relative speed"), die voor iedere afzonderlijke meting de werkelijke slipsnelheid S geeft, berekend uit de formule :

$$\begin{aligned} S &= V * \sin(\alpha) && \text{voor toestellen van het DWC-type, waarin } \alpha = \text{sliphoek;} \\ S &= \tau * V && \text{voor toestellen van het LWC-type, waarin } \tau = \text{wielvertraging} \\ &&& \text{(voor metingen met wielblokkering geldt } \tau = 1 \text{).} \end{aligned}$$

2. Voor elk half vak (A en B) en voor elk toestel werd, m.b.v. de kleinste-kwadratenmethode, de lineaire regressie

$$\ln(F_{mij}) = A_{ij} + B_{ij} * S_{mij}$$

berekend, waarin F de gemeten wrijvingscoëfficiënt en S de relatieve slipsnelheid is. De volgende resultaten werden opgeslagen en bewaard :

- A_{ij} : ordinaat in de oorsprong,
- B_{ij} : hoekcoëfficiënt,
- ρ_{ij} : correlatiecoëfficiënt,
- σ_{ij} : reststandaardafwijking,
- n_{ij} : aantal punten,
- m : volgnummer van de meting in de reeks,
- i : beschouwd toestel,
- j : beschouwd half vak.

Deze regressies werden niet gebruikt in de daaropvolgende berekeningen om de EFI te bepalen, maar wel om per geval de geldigheid van het exponentiële "PIARC"-model na te gaan. Na visueel onderzoek van de grafiek van elke exponentiële vergelijking

$$F = F_0 * \exp(- S/S_0)$$

waarin $F_0 = \exp(A_{ij})$ en $S_0 = -1/B_{ij}$, werden de reeksen metingen met een afwijking zoals een uitschietend punt, een vlakke lijn of opwaartse helling, een aantal gegevens kleiner dan drie of gegevens in een te eng snelhedengebied geconcentreerd, enz. uit de selectie verwijderd. Er werden slechts negentien dergelijke "uitbijters" gevonden (op een totaal van meer dan tweeduizend reeksen):

⁴ Omdat deze oorspronkelijke gegevens eigendom zijn van PIARC, zijn zij niet in onze **Bijlage 1** (op de cd-rom) opgenomen. Deze laatste geeft alleen de resultaten van onze nieuwe analyses.

<u>Toestel</u>	<u>Half vak</u>
B1SSLP	26.2A
B3	24.A, 24B
C10	63B
D2	62A
D4	26.2A, 26.2B, 68A, 81.2B, 81.3A, 81.4B
D5	26.2A, 26.2B, 33.3A, 33.3B, 81.1A, 81.2A
D6	17B
D8	19B

Op **Figuur 1** en **Figuur 2** zijn respectievelijk een normale en een "uitbijtende" reeks afgebeeld. Alle grafieken kunnen worden bekeken in **Bijlage 1** (op de cd-rom).

3. Aan elk *.FR-bestand werd een resultatenbestand *.FR' gekoppeld, dat een lijst geeft van de halve vakken met de overeenkomstige parameters A, B, F₀, S₀, ρ, σ en n. Al deze resultaten, inclusief die welke ten behoeve van de analyse werden verwijderd, zijn in **Bijlage 1** in tabellen samengebracht.
4. De *.FR'-bestanden werden aangevuld met kolommen F₁₀, F₂₀, F₃₀, F₄₀, F₅₀, F₆₀, F₇₀, F₈₀ en F₉₀ - de F-waarden die werden herberekend voor S-waarden van 10 tot en met 90 km/h -, om de resultaten te ordenen en te bewaren het oog op eventueel later visualiseren en afdrucken van de grafieken die met de reeksen metingen overeenstemmen, mét de bijbehorende parameters en regressiekrommen. Ook deze resultaten zijn in **Bijlage 1** in tabellen samengebracht.
5. Alle gegevens uit de textuurmetingen met de laserprofielmeter van het OCW (toestel A5) werden opnieuw verwerkt, tot MPD-waarden (gemiddelde profieldiepten) volgens de ISO-norm 13473-1. Het symbool voor deze nieuwe variabele is T_{A5ISO}. De gemiddelden per half vak van de oude T_{A5MPD} - en de nieuwe T_{A5ISO} -waarden zijn weergegeven in **Tabel 3** en op **Figuur 3** tegen elkaar uitgezet. De regressie tussen de twee variabelen is als volgt :

$$T_{A5ISO} = 0.04 + 0.78 * T_{A5MPD}$$

met een correlatiecoëfficiënt van 0,988 en een vrijwel te verwaarlozen reststandaardafwijking en ordinaat in de oorsprong. Er kan dus worden gewerkt met een evenredigheidsfactor

$$T_{A5ISO} / T_{A5MPD} = 0.78$$

6. Per half vak werd een "TEXTUUR"-bestand aangemaakt met de verschillende gegevens uit metingen met de gekozen toestellen (cf. supra) plus A5/ISO :

A1/RMS	A2/RMS	<i>A2/MPD</i>	A2/TDMA	A3B/TX1	A3B/TX2 ⁵
A3E/RGH1	A42/RMS	A42/MPD ⁶	<i>A5/MPD</i>	D2/MTD	D3/RA
D3/RQ	D4/CSMTD	D5/SMTD	<i>A5/ISO</i>		

De drie bestanden waarvan de namen vet cursief zijn afgedrukt, zijn te vinden in **Bijlage 1**.

7. Er werden elf "TabX"-bestanden aangemaakt met voor elke locatie/vak de "X"-waarde die elk toestel had gegeven (één kolom per toestel), waarbij $X = S_0, F_0, F_{10}, \dots, F_{90}$. Met F_S -waarden waarvoor de snelheid S buiten het eigenlijke meetgebied van het apparaat lag, werd geen rekening gehouden; een uitzondering werd evenwel gemaakt voor die welke overeenstemden met het tiental net onder en het tiental net boven dat meetgebied. Ook deze bestanden zijn in **Bijlage 1** opgenomen.

8. Aan de hand van de oorspronkelijke gegevensbestanden (één bestand per toestel, telkens 52 bladzijden lang met op elke bladzijde de gegevens uit metingen op twee halve vakken) :

- werden voor elke reeks metingen (m) per toestel (i) en per half vak (j) het gemiddelde van de $\ln(F)$ -waarden, $\langle \ln F \rangle_{ij}$, en het gemiddelde van de S -waarden, $\langle S \rangle_{ij}$, berekend en het aantal n_{ij} metingen uit de reeks gekozen;
- werden vervolgens afzonderlijke berekeningen gemaakt voor de toestellen met gladde banden, voor die met geprofileerde banden en voor alle zonder onderscheid naar soort van band. Dit leidde tot een systematisch drievoudige voorstelling van de resultaten, met de notaties "A" voor "(over)all" (over het geheel), "B" voor "blank" (glad of ongeprofileerd) en "RP" voor "ribbed" (gegroeft) of "patterned" (geprofileerd);
- werden voor een vijftigtal S_0 -waarden in een meetkundige reeks van 10 tot 500 de reststandaardafwijkingen σ_{ij} van de reeksen metingen $\{F_{mij}\}$ t.o.v. de regressiekromme

$$F = \text{EXP}\{\langle \ln F \rangle_{ij} - (S - \langle S \rangle_{ij})/S_0\}$$

berekend. In een $\ln F/S$ -grafiek wordt deze kromme een rechte lijn met een veranderlijke helling, die door het zwaartepunt gaat van de punten die de gegevens uit metingen met het beschouwde toestel op het beschouwde halve vak weergeven. Deze grafieken kunnen worden bekeken in **Bijlage 1**;

- werd voor elk half vak (j) per S_0 -waarde de gemiddelde reststandaardafwijking over het geheel berekend :

$$\langle \sigma \rangle_j = \text{SQRT}\{\sum_i n_{ij} \sigma_{ij}^2 / \sum_i n_{ij}\}$$

- werd voor elk half vak (j) de $\langle \sigma \rangle_j$ -waarde in een grafiek tegen S_0 uitgezet en de

⁵ Voor A3B hebben wij de gemiddelden over de drie meetsnelheden: 30, 60 en 80 km/h.

⁶ Voor A42 werd aan elk half vak het gemiddelde van het stel van twee halve vakken toegekend, aangezien het toestel alleen deze waarde had gegeven.