

# Een vergelijkend onderzoek naar de slipvastheid van schoenen

C.J. Snijders<sup>1</sup>, E.F. Geertsema<sup>2</sup>,  
P.H. van Overbeek<sup>2</sup>, P.J. Snel<sup>2</sup>

## Summary

For a safety-shoe a high coefficient of friction is important. There are many methods known that determine the coefficient of friction of a shoe. This article outlines an accurate method and contains a comparative study between nine safety-shoes.

It appears from the results of the study that the best coefficient of friction was found among shoes with a rounded heel and many studs which are placed in a soft underground through which tilting is possible.

## 1. Inleiding

Over schoenen raakt men nooit uitgepraat. De kleur, het model en de maatvoering zijn aspecten waar op gelet wordt als men een schoen beoordeelt. Behalve deze aspecten is er een aspect wat bij een bepaald soort schoen enorm veel aandacht krijgt: de veiligheid van een zogenaamde veiligheidsschoen. Veiligheidsschoenen hebben een aantal eigenschappen die bedoeld zijn om een bescherming te bieden tegen het volgende: 1) mechanische factoren (vallende/rollende voorwerpen, scherpe voorwerpen, stoten en uitglijden); 2) chemische factoren (vloeistoffen en vocht, oplosmiddelen, brandstoffen, zuren, logen, oliën en vetten); 3) elektrische factoren (elektrisch contact, vonken door elektrisch contact) en 4) thermische factoren (koude/warme omgeving, contact met hete vloeistoffen en materialen, stralingswarmte) (Snijders, 1987). Onder punt 1 is de bescherming tegen uitglijden genoemd. Dit houdt in dat de veiligheidsschoen niet 'glad' mag zijn, de schoen moet over een goede slipvastheid beschikken. Slipvastheid kan statisch en dynamisch zijn. Statische slipvastheid is de weerstand tegen uitglijden van de schoen in stilstand, dynamische slipvastheid is de frictie tijdens beweging.

Het is duidelijk dat de slipvastheid van een schoen afhankelijk is van de ondergrond waar hij op gebruikt wordt. Waar het schoon en droog is zal een schoen een grotere slipvastheid bezitten dan in een werkomgeving waar veel met vloeistoffen gewerkt (en geknoeid) wordt. Het belang van schoeisel wat beschermt tegen uitglijden blijkt uit het volgende: in 1985 was 24% van alle ongelukken die geregistreerd zijn in arbeidssituaties in de (toenmalige) BRD het gevolg van uitglijden (Skiba, 1987).

Er is veel onderzoek gedaan naar de slipvastheid van schoeisel. De methoden die daarbij zijn gebruikt zijn erg verschillend. Skiba noemt een getal van 80 à 100 en beschrijft een aantal principes waarop de vele methoden gebaseerd zijn.

Grosch (1963) en James (1983) hebben onderzoek naar de slipvastheid gedaan waarbij één van de contactvlakken (schoenzool of bodem) van kunststof of rubber was. De conclusie is dat de wrijvingscoëfficiënt (en daarmee de slipvastheid) afhankelijk is van de relatieve snelheid van de oppervlakken, de normaalkracht, de grootte van de contactoppervlakken en de temperatuur.

Perkins (1983) en Strandberg (1985) hebben onderzoek gedaan naar het uitglijden van de mens. Hieruit kwam naar voren dat het grootste risico op uitglijden het moment is dat de voorste voet de grond raakt ('heel-strike'). Uit onderzoek van Nigg (1988) blijkt dat tijdens de heel-strike de voet gemiddeld een hoek van 25° met de ondergrond maakt.

De wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van de normaalkracht. Tisserand (1985) toont echter aan dat als de normaalkracht op de schoen tussen 400 en 700 N ligt de waarde van de wrijvingscoëfficiënt ongeveer hetzelfde is. Bovendien moet volgens Tisserand de ondergrond waar op gemeten wordt zo kritisch mogelijk zijn, bijvoorbeeld een zeer gladde ondergrond. De glijnsnelheid van de schoen beïnvloedt de wrijvingscoëfficiënt ook. Tisserand onderzocht deze relatie en kwam tot de conclusie dat de snelheid waarmee de dynamische wrijvingscoëfficiënt gemeten moet worden 0,2 m/s is.

De wrijvingscoëfficiënt van een schoen zegt iets over de slipvastheid van die schoen. De vraag is welke waarde van de wrijvingscoëfficiënt een voldoende bescherming biedt tegen uitglijden. Skiba vindt wrijvingscoëfficiënten van 0,3 tot 0,42 een goede bescherming tegen uitglijden. Een schoenfabrikant noemt waarden vanaf 0,2 al een goede bescherming.

Om een betrouwbaar beeld te krijgen van de slipvastheid

1. Erasmus Universiteit Rotterdam, Faculteit der Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen, Vakgroep Biomedische Natuurkunde en Technologie, Postbus 1738, 3000 DR Rotterdam, tel.: 010-408 7389/7354.  
2. Inspectie Geneeskundige Dienst Koninklijke Landmacht.

van een schoen moet de meetmethode voldoen aan de volgende eisen:

1. zowel statisch als dynamisch meten
2. zowel de slipvastheid van de zool als van de hak meten
3. indien gewenst ook verplaatsbaar zijn naar de werkplek
4. een hoge mate van reproduceerbaarheid waarborgen.

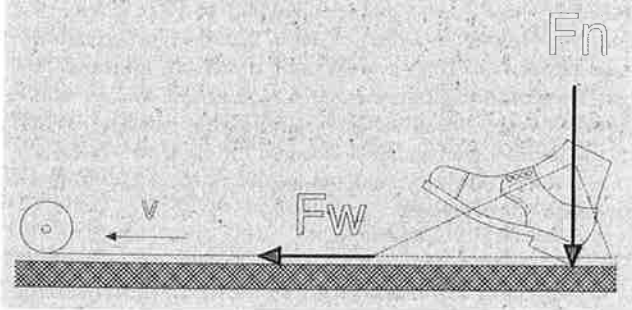
Omdat er binnen het grote scala aan meetmethoden geen methode voldeed aan bovengenoemde eisen werden voor dit onderzoek de principes van een aantal methoden verenigd in een nieuwe meetopstelling. In deze opstelling wordt niet met proefpersonen gewerkt. Een voorbeeld van een dergelijke meetopstelling is dat staande op een kantelend vlak gevraagd wordt bij welke stand een onstabiel gevoel wordt ervaren (Skiba, 1987). In een eigen pilotstudie werd echter onvoldoende reproduceerbaarheid geconstateerd. De talrijke motoraangedreven apparaten voldoen niet aan alle bovengenoemde eisen tegelijk. Dit artikel doet verslag van onze pogingen tot het realiseren van een meetopstelling die voldoet aan bovengenoemde eisen en waarmee verschillende veiligheidsschoenen worden getest.

## 2. Methoden en meetopstellingen

Het principe dat gebruikt wordt is eenvoudig (zie figuur 1). Wordt de schoen voortbewogen met snelheid  $v$ , dan ondervindt hij een wrijvingskracht  $F_w$  van de ondergrond. De kracht  $F_n$  is de kracht die door de mens op de schoen wordt uitgeoefend. De wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  wordt gedefinieerd als:  $\mu = F_w/F_n$ .

In figuur 1 staat het schema van de meetopstelling. Het bestaat uit de volgende onderdelen:

**Figuur 1. Schematisch overzicht van de meetopstelling. Via een leest wordt de schoen met een gewicht belast en met een snelheid  $v$  over een door olie glad gemaakte stalen plaat getrokken, waarbij de benodigde trekkracht  $F_w$  wordt gemeten**



1. frame met leest voor plaatsing schoen (eventueel onder een hoek met de ondergrond)
2. elektromotor (voor de voortbeweging van het frame)
3. vlakke stalen plaat die als ondergrond fungeert.

De door de elektromotor aangedreven trommel zorgt via een kabel voor de verplaatsing van het frame. De elektromotor is onderdeel van een servosysteem waarmee een constante treksnelheid kan worden gerealiseerd. De ondergrond is een geolieerde staalplaat.  $F_n$  kan worden bepaald door het frame en de extra opgelegde belasting te wegen.  $F_w$  wordt bepaald door de spankracht in de kabel te meten. Dit gebeurt met een verticaal opgehangen krachtopnemer. De kabel loopt via enkele katrollen naar de krachtopnemer (niet in tekening opgenomen). Met behulp van  $F_w$  en  $F_n$  kan de wrijvingscoëfficiënt worden bepaald.

## 3. Resultaten

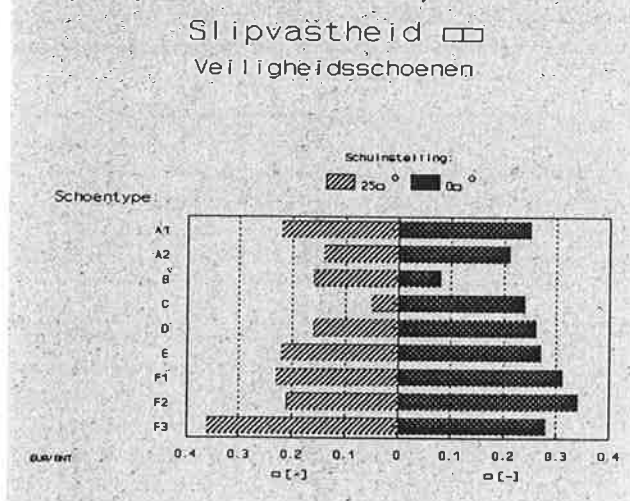
De meetproeven zijn gedaan met 9 verschillende veilig-

heidsschoenen van de merken:

- |                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 1. A1, een verbetering op A2        | 6. E  |
| 2. A2                               | 7. F1 |
| 3. B: militair keukenschoeisel      | 8. F2 |
| 4. C: militair veiligheidsschoeisel | 9. F3 |
| 5. D                                |       |

De schoenen verschillen nogal wat betreft het profiel van de loopzool. De verschillen hebben met name betrekking op het aantal en de oppervlakte van de noppen. Merk B heeft bijvoorbeeld geen noppen, terwijl merk F1 59 nopjes heeft.

**Figuur 2. Wrijvingscoëfficiënt van veiligheidsschoenen gemeten op de hak (links; schuine stand 25°) en op de loopzool (rechts; schoen horizontaal)**



Sommige modellen hebben een ronde hak (bijvoorbeeld alle schoenen van merk F) terwijl merk B en C een rechte hak hebben. Bovendien zit er nog verschil in het gebruikte materiaal van de hak en zool.

De resultaten van de metingen staan in figuur 2. De metingen zijn gedaan met de schoen plat op de geolieerde plaat (schuinstelling = 0°) en met de schoen in de heels-trike stand (schuinstelling = 25°). De treksnelheid was 0,2 m/s met een normaalkracht van ±400 N. Voor elke schoen zijn 7 metingen gedaan.

Wat opvalt is dat de onderlinge verschillen dusdanig klein zijn dat, om een ranking te realiseren, de nauwkeurigheid van de proef 0,01 moet zijn. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde waarde van de wrijvingscoëfficiënt geeft een indicatie voor de nauwkeurigheid van de meting. Daar we de verdeling van de waarde van de wrijvingscoëfficiënt niet kennen is het gebruikelijk ervan uit te gaan dat de wrijvingscoëfficiënt een Student-verdeling heeft met  $n - 1$  vrijheidsgraden, waarbij  $n$  de populatiegrootte is. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval wordt berekend door uit  $P(\mu - a \leq t \leq \mu + a) = 0.95$  de waarde van  $a$  te bepalen. In dit geval heeft de Student-verdeling 6 vrijheidsgraden (7 metingen) en is het 95%-betrouwbaarheidsinterval in formulevorm  $[(x - t_{\alpha/2} * s / \sqrt{n}), (x + t_{\alpha/2} * s / \sqrt{n})]$  waarbij  $x$  en  $s$  het gemiddelde respectievelijk de standaardafwijking van de meetresultaten zijn. Omdat de verdeling van de gemiddelde waarde van de wrijvingscoëfficiënt niet bekend is, worden de waarden gebruikt die uit de meetresultaten komen (Walpole, 1990). In alle metingen is de standaardafwijking niet meer dan 0.01 en in 95% van alle gevallen is de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval niet breder dan 0.01. Als we eerst naar de wrijvingscoëfficiënten voor de horizontale stand van 0° kijken, heeft merk B duidelijk de

minste slipvastheid van de schoenen. Dit is niet verwonderlijk. Deze schoen heeft een houten zool zonder profiel. Tussen de andere acht zit weinig verschil. Bij een schuinstelling van 25° valt merk C door de mand. Ook de merken A2, B en D blijven achter. De resterende vijf zijn, op merk F3 na, gelijk. Deze laatste schoen bezit hoge slipvastheid op de hak in vergelijking met de andere schoenen.

#### 4. Discussie en conclusies

Schoenen van merk F komen beter uit de test dan de

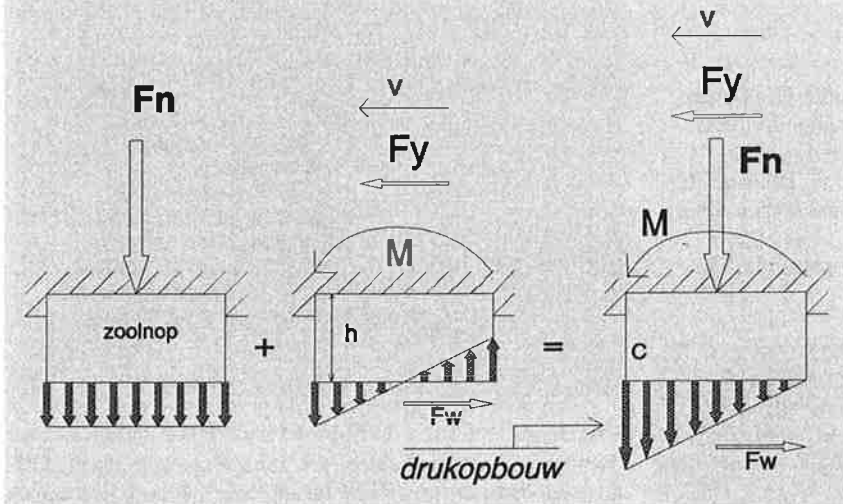
voren komen, geeft in ieder geval een niet mis te verstane aanwijzing.

Het blijkt dat de ontwikkelde meetmethode reproduceerbaar is. Dit is natuurlijk van belang voor een algemeen gebruik van deze opstelling. Bovendien kunnen meetgegevens die op verschillende tijdstippen verkregen zijn met elkaar worden vergeleken.

Daar waar sommige methoden de mens betrekken bij de meetopstelling, sluit deze methode de invloed van de mens uit.

Nog steeds is er geen norm opgesteld voor de methode

**Figuur 3. Bij de gelijk verdeelde druk door de gewichtskracht  $F_n$  (links) wordt een ongelijke verdeling opgeteld die gevolg is van het kanteffect door het moment  $M = F_w \cdot h$  t.o.v. de elastische inbedding van het nopje.  $F_w$  is de wrijving bij glijnsnelheid  $v$  (midden). Resultaat is een verhoogde druk aan de voorrand van het nopje met ter plaatse een hogere wrijvingscoëfficiënt en beter wegpersen van vloeistof**



andere schoenen. Wat is daar de oorzaak van? Als we het profiel van deze schoenen bekijken valt op dat de nopjes ingebed zijn in een minder harde laag zodat ze iets kunnen 'kantelen'. Het is goed mogelijk dat daar de oorzaak ligt van de goede slipvastheid van de schoenen. Door het individueel 'kantelen' van deze nopjes zou volgens het model in figuur 3 een hogere druk op de voorkant van elk nopje (punt C) kunnen worden opgebouwd. Onder de linker zoolnop is een contactspanning tussen nop en ondergrond getekend die voor de eenvoud gelijk verdeeld is aangenomen. Echter, bij elastische materialen kan deze contactspanning het verloop van een parabool hebben. Door een beter contact met de ondergrond op de juiste plaats en onder hogere druk zou tevens een eventueel aanwezige vloeistoflaag gemakkelijker 'verdrongen' kunnen worden. Dit kanteffect wordt bij merk F3 versterkt door schuine noppen op de hak. Vandaar waarschijnlijk de goede wrijvingscoëfficiënt op de hak van deze schoen. Met in het achterhoofd het feit dat tijdens heel-strike de kans op uitglijden het grootst is, mag geconcludeerd worden dat merk F3 de beste schoen is van de negen vergeleken veiligheidsschoenen met betrekking tot preventie tegen het uitglijden. De merken B en C zijn op dit punt het slechtst. Hierin volgt A2.

Uit de resultaten blijkt dat een zool met noppen in een zachte laag goede slipvaste veiligheidsschoenen geeft. Bedacht moet worden dat deze conclusie voort komt uit een vergelijkend onderzoek gedaan op een apparaat in een laboratorium. Aangezien er nog geen norm bestaat voor de slipvastheid van schoenen is moeilijk te zeggen of schoenen van merk F nu ook zonder 'veilig' zijn. Dat deze schoenen in de vergelijkende test als beste naar

van meten van de wrijvingscoëfficiënt van een schoen. Daarom kunnen er nog geen eisen gesteld worden aan de fabrikanten om schoenen met een bepaalde, minimale, wrijvingscoëfficiënt te maken. Alleen op dié manier kan er gewerkt worden aan het zuiveren van het huidige aanbod veiligheidsschoenen. Dié schoenen, die de titel - veilig - niet kunnen en mogen dragen, zullen dan ongetwijfeld van de markt verdwijnen.

#### Literatuur

- Grosch, K.A.; The relation between the friction and visco-elastic properties of rubber. Proceedings of the Royal Society (Ser. A, 274), 1963, 21-39.
- James, D.I.; Rubbers and plastics in shoes and flooring: the importance of kinetic friction. Ergonomics Vol. 26 (1983), 83-99.
- Nigg, B.M., Herzog, W. and Read, J.; Effect of visco-elastic shoe insoles on vertical impact forces in heel-toe running. American Journal of Sports Medicine, Vol. 16, 1, 70-76, 1988.
- Perkins, P.J., Wilson, M.P.; Slip resistant testing of shoes - new developments. Ergonomics Vol. 26 (1983) 73-82.
- Skiba, R., Kuschefski, A., Cziuk, N.; Entwicklung eines normgerechten Prüfverfahrens zur Ermittlung der Gleitsicherheit von Schuhsohlen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz (1987), 6-7/27-57.
- Sniijders, C.J.; Biomechanics of footwear. Clinics in podiatric medicine and surgery (July 1987), 629-644.
- Strandberg, L.; The effect of conditions underfoot on falling and overexertion accidents. Ergonomics Vol. 28 (1985), 131-147.
- Tisserand, M.; Progress in the prevention of falls caused by slipping. Ergonomics 28 (1985), 1027-1042.
- Walpole, R.E. and Myers, R.H.; Probability and statistics for engineers and scientists, fourth edition (1990), 309-311. ■