



WAAROM JE MEER MOET WILLEN WETEN OVER EIGENSCHAPPEN VAN MATERIALEN

Orthopedisch schoenmakers werken dagelijks met een breed scala aan materialen om oplossingen te creëren voor voetproblemen en de mobiliteit van mensen te verbeteren. In de dagelijkse praktijk worden aan die materialen eigenschappen toegedicht als verstevigend, corrigerend, ondersteunend, schokabsorberend en dergelijke. Maar hoe stevig moet het materiaal zijn? Hoeveel schok moet geabsorbeerd worden? Welke krachten moeten in welke mate gecorrigeerd worden? Op dit soort vragen is het antwoord moeilijk te vinden. Toch is dat de basis van het ontwerp van de orthopedische schoenvoorziening. Met antwoorden op deze vragen in meetbare getallen, zou de weg openliggen voor een engineering ‘ontwerpers’ aanpak binnen de orthopedische schoenmakerij, waarbij digitaal ontwerpen, materiaalkeuze, en het vooraf kunnen gaan voorspellen van het materiaalgedrag mogelijk wordt. Hierdoor wordt de kwaliteit nog meer gecontroleerd en verhoogd. Zover is het nog niet, maar met het onlangs afgeronde ‘Onderzoek naar de eigenschappen en gebruik van Materialen in de Orthopedische Schoen technologie’ mogelijk gemaakt door OFOM, in opdracht van NVOS-Orthobanda en uitgevoerd door de Fontys Paramedische Hogeschool is een belangrijke stap in die richting gezet.

WAT IS ONDERZOCHT?

De praktijk wijst uit dat het huidige scala aan gebruikte materialen in meer of mindere mate toereikend is om bovengenoemde functies naar hedendaagse maatstaven naar tevredenheid van de cliënten te vervullen. Onderzocht is welke materialen dat zijn, wat er bekend is over de eigenschappen van deze materialen en welke fysische eigenschappen van materialen gerelateerd zijn aan bepaalde functionele eigenschappen. Dit is gedaan om richting te geven aan vragen als: welke fysische eigenschappen zoek ik eigenlijk in een materiaal en hoe kan ik materialen gericht met elkaar vergelijken? De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in de Materialendatabase die toegankelijk is via de NVOS-Orthobanda.

HOE IS ONDERZOCHT?

Het onderzoek naar de gebruikte materialen

bestond uit drie elementen, t.w. 1) een literatuurstudie, 2) interviews met specialisten en 3) materiaaltesten.

LITERATUURSTUDIE

Bij bestudering van de literatuur, valt meteen op dat in dit werkveld een materiaal met name gekend wordt door zijn merknaam en meestal niet gekoppeld is aan zijn chemische of fysische structuur. De chemi-

sche samenstelling en fysische structuur van een materiaal bepalen uiteindelijk diens eigenschappen. Via leveranciersgegevens is deze chemische samenstelling vaak wel te achterhalen. In tabel 1 staat een overzicht van materialen die genoemd worden in de literatuur, gegroepeerd naar chemische samenstelling.

Tabel 1. Materialen onderzocht in de literatuur

Chemisch	Merknaam
EVA*-schuim	Podotherm, Medicfoam, Thermofix, Softlux, Medic Mousse, Nora Lunairflex, Nora Lunairmed, Nora Lunalastike, Nora Lunalight, EVA*, P-Cell, Microcell Puff, Cell-tite, EVA*-foam
PE*-schuim	Pelite, Plastazote, Aliplast, Evazote, Dermoplast
PU*-schuim	Poron, PPT, Viscolas, Sorbothane, Hygard, Isoloss
Chloroprene rubbers	Spenco, Neoprene, Lynco
Rubbers	Isopropene rubbers, styrene rubbers, natural rubbers

*Afkortingen: EVA=EthylVinylAcetaat, PE=Polyethyleen, PU=Polyurethaan

Er is veel onderzoek gedaan naar materialen in relatie tot plantaire piek druk [1-7]. Het verlichten van de plantaire druk kan gerealiseerd worden door een combinatie van pasvorm en eigenschappen van de gebruikte materialen. De onderzoeken geven aan dat inlegzolen de plantaire piek druk reduceren met waarden van 2 tot 72%. De waarden verschillen van studie tot studie onder andere door gebruik van andere materialen, materiaaldiktes, pasvormen, meetmethoden en meetapparatuur.

KARAKTERISEREN VAN MATERIALEN

EFFECT VAN MEETCONDITIES, BELASTING EN MATERIAALVERWERKING OP EIGENSCHAPPEN

De cadans van normaal lopen komt overeen met een frequentie van ongeveer 1 Hz [9]. De uitgeoefende druk ligt bij normaal lopen in de orde grootte van 350 kPa [9, 10]. (Pascal (Pa) is de officiële eenheid van druk, dit kan ook geschreven worden als 35 N/cm² of 3,5 bar en is omgerekend te vergelijken met 3,57 kg/cm²). Echter in de gevonden studies worden vaak hele andere meetcondities gehanteerd, wat het moeilijk maakt de relevantie voor de orthopedische praktijk te beoordelen en materialen uit verschillende studies onderling te vergelijken. Uit enkele studies [9, 11-14] komt naar voren dat eigenschappen sterk veranderen onder invloed van belasting. Geteste materialen veranderden flink in compressie eigenschappen gedurende de eerste 1 tot 5 belastingcycli, iets waar in andere compressie studies nauwelijks rekening mee wordt gehouden. Ook de manier van bewerken heeft invloed op de materiaaleigenschappen [14]. Verhitten, vervormen en belasten zorgen in het algemeen voor 'verharding', zijnde blijvende indrukking en minder vervorming onder druk

WELKE MEETBARE PARAMETER BEPAALT DE EFFECTIVITEIT VAN DRUK-REDUCTIE?

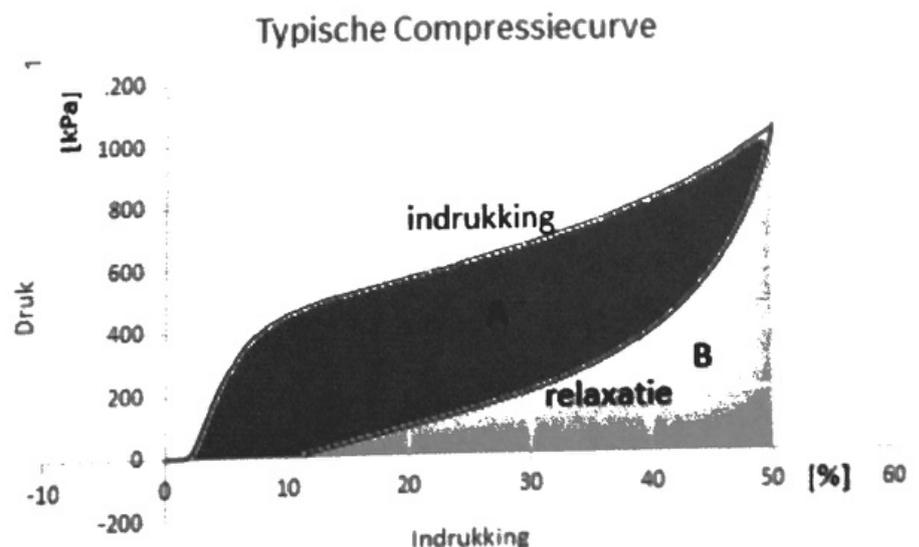
De optredende drukkrachten en verspreiding hiervan (het wegleiden) onder de voet zijn afhankelijk van de dikte, elasticiteit en viscositeit van het materiaal tussen de voet en de grond [8]. De dikte van het materiaal onder de voet bepaalt de tijd die beschikbaar is om te vertragen tot stilstand, hoe

korter de tijd, hoe hoger de kracht. Kenmerk van een sterk elastisch materiaal, zoals bijvoorbeeld rubber, is weinig energie absorberen en veel energie retourneren, leidend tot een groter impulsmoment en hogere krachten op het individu. Kenmerk van een sterk visceus materiaal, zoals bijvoorbeeld gel, is veel energie absorberen door deformatie, maar om effectief te zijn bij herhaaldelijk gebruik zal het materiaal moeten kunnen terugkeren in zijn uitgangspositie. Visco-elastische materialen, zoals bijvoorbeeld schuimmaterialen, hebben beide eigenschappen.

KARAKTERISERING VAN VISCO-ELASTISCHE MATERIALEN.

De materialen die toegepast worden om druk te verlagen zijn vrijwel allemaal visco-elastische materialen. Een manier om materiaalgedrag te karakteriseren is door gebruik te maken van een compressiecurve. Deze geeft weer hoe het materiaal vervormt wanneer je er druk op uitoefent en terugveert bij het wegnemen van de kracht (relaxatie), zie figuur 1. Bij visco-elastische materialen is de vorm van de curve (de mate van indrukking bij een bepaalde kracht) niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van het geteste materiaal, maar ook van de meetcondities zoals bijvoorbeeld de snelheid van indrukking en de temperatuur. Voor het meten van deze materiaaleigenschappen is het daarom wel van belang om deze twee laatste parameters constant te houden.

Figuur 1. Voorbeeld van een typische compressiecurve van een visco-elastisch materiaal. De energie nodig voor indrukking kan berekend worden uit het oppervlak A+B. De netto geabsorbeerde energie (Hysteresis) uit het oppervlak A, de vrijkomende energie bij relaxatie uit het oppervlak B.



INTERVIEWS MET HET WERKVELD

Uit de interviews met het werkveld, waarover in november 2015 al eerder een artikel verscheen, komt een overzicht uit de praktijk van meest gebruikte materialen, toepassingen en eigenschappen waar het meest belang aan wordt gehecht [15]. De materiaalkeuze door de Orthopedisch schoentechnisch (OST)-expert hangt direct samen met mobiliteit, gewicht en voorkeuren van de cliënt, de aandoening en de toe te passen voorziening. Andere factoren die een rol spelen zijn de duurzaamheid, verwerkingseigenschappen van het materiaal, de prijs, leverbetrouwbaarheid en in veel mindere mate milieuvriendelijkheid. Onder duurzaamheid wordt in het algemeen verstaan; de mate waarin het materiaal in staat is om gedurende de levensduur van de schoen zijn functie te blijven vervullen. In de interviews worden meer dan 90 verschillende materialen genoemd, die worden toegepast in circa 40 genoemde verschillende schoenonderdelen of voorzieningen. In dit onderzoek is de verhouding gemaakt van benoemde gewenste functies en kwalitatieve eigenschappen naar meetbare fysische grootheden. In tabel 2 staat een overzicht van genoemde kwalitatieve eigenschappen en gerelateerde meetbare grootheden.



kwantitatieve eigenschap	gerelateerde meetbare grootte
Hard – zacht	Shore hardheid
Vormacceptatie	Druk nodig voor compressie
Gewicht	Soortelijk gewicht
(Piek-)drukverlaging	% geabsorbeerde energie
Terugveergedrag	% geabs. energie cycle 100
Stijf – Soepel	E-modulus (Flexmodulus)
Duurzaamheid	Veerkrachtbehoud c100/c2

MEETPROGRAMMA

Vervolgens zijn de eigenschappen van de materialen gemeten met behulp van een, zoveel mogelijk op ISO-standaarden (meetprotocollen uitgegeven door de International Standardisation Organisation), gebaseerd meetprogramma, zodat van elke meetwaarde bekend is onder welke omstandigheden deze tot stand is gekomen. De metingen zijn uitgevoerd bij Fontys Hogeschool Engineering in Eindhoven en bij het Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. (PFI) in Duitsland. De meetresultaten zijn opgenomen in de Materialendatabank, die verder is aangevuld met andere materialen en gegevens uit catalogi van leveranciers.

Met de verkregen meetdata kan een eerste aanzet gegeven worden om de vragen uit de inleiding te beantwoorden. Hoe stevig moet het zijn? Als in de praktijk 6 mm Erko-flex voldoet, met een elasticiteitsmodulus van 13 MPa, betekent dit dat 6 mm van een ander materiaal met vergelijkbare elasticiteitsmodulus ook zou moeten voldoen, en dat je bij een materiaal met een hogere elasticiteitsmodulus minder dikte nodig hebt voor dezelfde stijfheid. Hoeveel druk moet worden opgevangen? Als in de praktijk 3 mm PPT voldoet, met 50% compressie bij een druk van 143 kPa, zal een materiaal met een vergelijkbare compressiekarakteristiek ook voldoen. Een materiaal met een hogere waarde bij 50% compressie, zal minder ingedrukt worden. Wanneer het terugveren van belang is, zal gekeken moeten worden naar de netto geabsorbeerde energie, die bij PPT 22% is na 100 cycli van belasting. Dit is vergelijkbaar met EVA35 en Multiform, die echter meer druk vergen voor dezelfde mate van vervorming. Benadrukt moet worden dat hier sec gekeken is naar de fysische eigenschappen van het maagdelijke materiaal. Effecten van verwerking, verwarmen, vervormen, schuren, lijmen e.d. zijn hierin niet meegenomen.

Opzet van de Materialendatabank, indeling

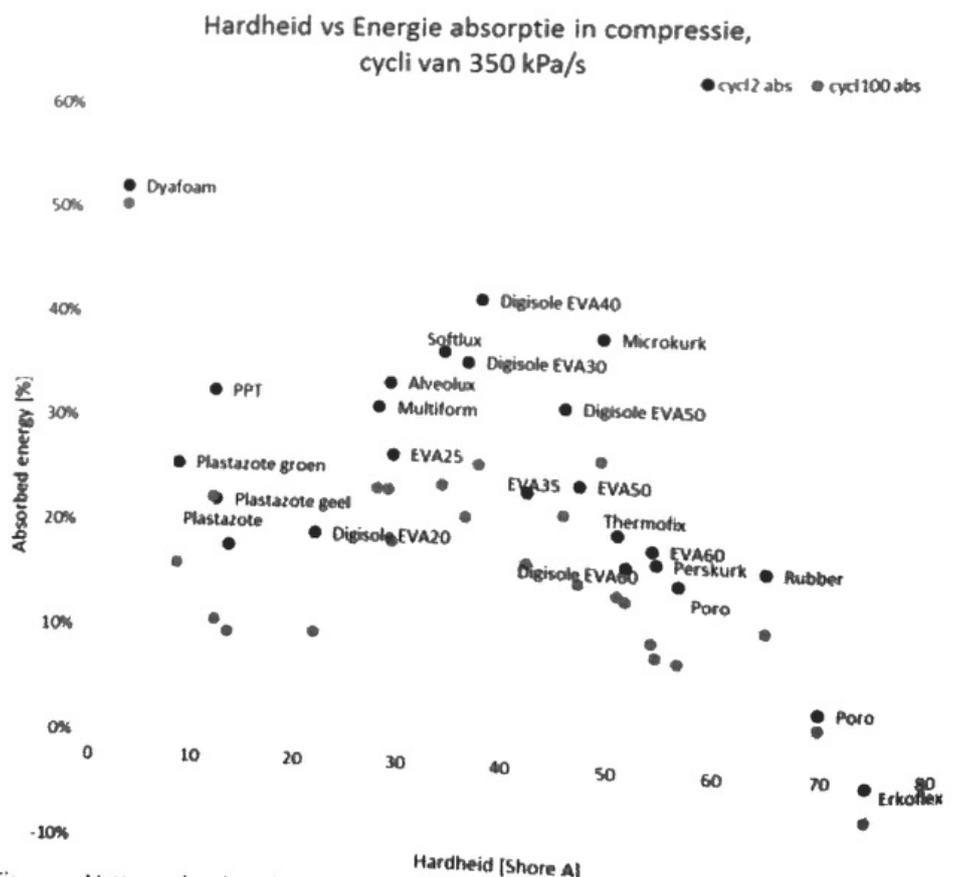
in klassen

In de materialendatabank kan op dit moment gezocht worden op basis van 8 eigenschappen die uit de interviews naar voren zijn gekomen als belangrijk. Deze zijn: Toepassing, Hardheid, Vormacceptatie, Gewicht, Schokabsorptie, Energieabsorptie, Stijfheid en Veerkrachtbehoud. De toepassing is overgenomen uit de leveranciersgegevens. De overige eigenschappen zijn rechtstreeks gerelateerd aan een gemeten fysische grootte, zoals bijvoorbeeld de compressiecurve of het soortelijk gewicht. Om de vertaalslag naar de dagelijkse praktijk te vergemakkelijken zijn de eigenschappen ingedeeld in klassen, zoals bijvoorbeeld: goed, middelmatig, slecht (zie tabel 3). Dit is gedaan op basis van de meetwaarde gekoppeld aan de praktijkervaring met dat specifieke materiaal. Zo wordt bijvoorbeeld Plastazote vaak genoemd als een goed vormaccepterend materiaal. Vormacceptatie is gerelateerd aan vervorming onder druk en de daaraan gekoppelde meet-

Tabel 2. Kwalitatieve eigenschap en daaraan gerelateerde meetbare grootte

grootte is 'druk benodigd voor 50% compressie'. Deze is voor Plastazote LD33, een veelgebruikte Plastazote in de O5T-branche, gemeten op 137 kPa. De grens tussen goed en middelmatig vormaccepterend is arbitrair gelegd op 350 kPa, zodat Plastazote er ruim in valt, Multiform nog net ook, maar Softlux niet meer. Als gezocht wordt op Vormacceptatie=goed, wordt een lijst gevonden met materialen die bij minder dan 350 kPa 50% indrukking vertonen, gemeten volgens ISO-7214. Opgemerkt moet worden dat er overigens meer dan 28 Plastazotes zijn met uiteenlopende dichtheden en eigenschappen.

De eigenschap vormacceptatie heeft, hoewel anders gemeten, een lineaire relatie met de eigenschap hardheid, maar dat geldt niet voor de eigenschap schokabsorptie of energieabsorptie. In figuur 2 zijn de meetwaarden van energieabsorptie uitgezet tegen de hardheid.



Figuur 2. Netto geabsorbeerde energie in compressie vs Shore Hardheid. Getoond zijn waarden van de 2de cyclus en de 100ste cyclus van indrukking met 350 kPa/s

Tabel 3. Materiaaleigenschappen, gerelateerde meetgrootheden en indeling in klassen



Eigenschap	Meetbare grootheid	Eenheid	Grenswaarden			
			Zacht	Middelhard	Hard	
Hardheid	Shore hardness	[Shore A]	30	55	>55	
Vormacceptatie	Compression pressure	[kPa]	Goed 350	Matig 750	Slecht 1500	Niet
Gewicht	Density	[kg/m3]	Lichtgewicht 300	Middelgewicht 600	Zwaar >600	
Schokabsorptie	{1} % shokenergy absorbed	[%]	Slecht 70	Middelmatig 80	Goed 90	Zeer goed >90
Energie absorptie	{2}% net energy absorbed cycle 100	[%]	Slecht 0,1	Middelmatig 0,2	Goed 0,3	Zeer goed >30%
Stijfheid	{1}Tensile modulus	[MPa]	Slap 5	Middelmatig 25	Stijf 700	Zeer stijf >700
	{2}Flexural modulus	[MPa]	10	50	1000	>1000
Veerkracht behoud	{1}net energy absorbed cycle 100/cycle2	[%]	Niet >50	Redelijk 50%	Goed 75%	

Schokabsorptie is gerelateerd aan het % netto-geabsorbeerde energie van een eenmalige impact. Energieabsorptie is opgenomen als maat voor herhaaldelijke schokken. Hierbij is gekeken naar de netto energieabsorptie na 100 cycli van 350 kPa (1 Hz) (zie figuur 1, het oppervlak A tussen de curves is een maat voor de geabsorbeerde energie). Een zeer goed energie-absorberend materiaal, Dyafoam, absorbeert na 100 cycli nog steeds meer dan 30% van de energie, bij een matig energie-absorberend materiaal, Plastazote-LD-33, is die waarde gezakt naar minder dan 20%. De eigenschap Veerkrachtbehoud is een eerste aanzet tot het in kaart brengen van de duurzaamheid van het materiaal. Hierbij is gekeken naar het behoud van energie-absorberende eigenschappen tussen de tweede en de 100ste cyclus van compressie (350 kPa, 1Hz). Grenzen zijn gelegd bij 75% en 50%.

Het indelen in klassen is bedoeld om het zoeken in de database te vereenvoudigen, maar is in dit stadium nog arbitrair. In tabel

3 is de klasse-indeling weergegeven. Figuur 3. geeft een impressie van de Materialendatabank.

VERVOLGONDERZOEK

De Materialendatabank is de eerste stap naar het toegankelijk maken van de gezochte gewenste eigenschappen en functionaliteit van materialen. Voor de toekomst zal de werkbaarheid van de database in de praktijk en de indeling in klassen verder geëvalueerd moeten worden. Ook zal de database verder moeten worden aangevuld met overige materialen die gebruikt worden en eigenschappen die nog ontbreken, waarbij zeker het effect van de verwerking op de eigenschappen zal moeten worden meegenomen. Er zijn al ideeën over het realiseren van een koppeling tussen de Materialendatabank en de Indicatiematrix (voetschoen protocol 2.0).[16] Daarnaast is het zinvol om na te denken over hoe leveranciers en gebruikers geprikkeld kunnen worden om zelf actief informatie aan deze database toe te voegen.

Lees het hele artikel op www.vakbladot.nl

De volledige literatuurlijst is op te vragen bij de redactie. secretaris@nvos-orthobanda.nl

Figuur 3. Impressie van de Materialen database

The screenshot shows a web-based interface for a material database. It features several filter panels on the left for properties: Toepassingsgebied (Opbouw), Hardheid (2: Middelhard), Vormacceptatie (3: Matig), Gewicht (3: Lichtgewicht), Schokabsorptie (2: Middelmatig), Energie absorptie (3: Goed), Stijfheid (2: Middelmatig), and Veerkracht behoud (3: Goed). Below the filters is a table listing materials with their values for these properties.

#	Merksnaam	Toepassingsgebied	Hardheid	Vormacceptatie	Gewicht	Schokabsorptie	Energie absorptie	Stijfheid	Veerkracht behoud
40	EVA 40 Digisole	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	2: Redelijk
41	EVA 50 Digisole	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	3: Goed
72	Microkurk 50	Opbouw	2: Middelhard	2: Slecht	3: Lichtgewicht	2: Middelmatig	3: Goed	2: Middelmatig	2: Redelijk
146	Softlux	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	2: Redelijk