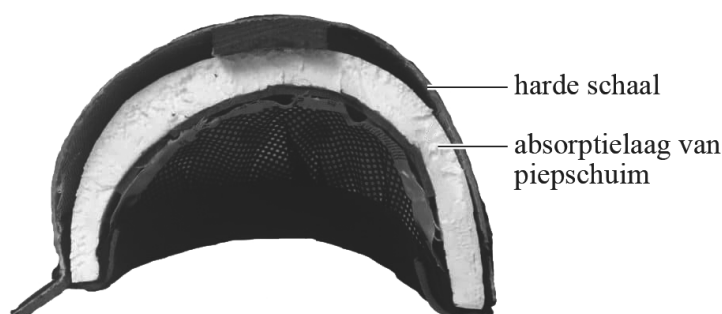


Fietshelm

Een fietshelm is ontworpen om het hoofd te beschermen tijdens een botsing of val. Tijdens zo'n botsing, ook wel impact genoemd, kan het hoofd blootgesteld worden aan enorm grote versnellingen. Deze kunnen leiden tot ernstig hoofdletsel. Een fietshelm is ontworpen om de grootte van deze versnellingen tijdens een impact zo klein mogelijk te houden.

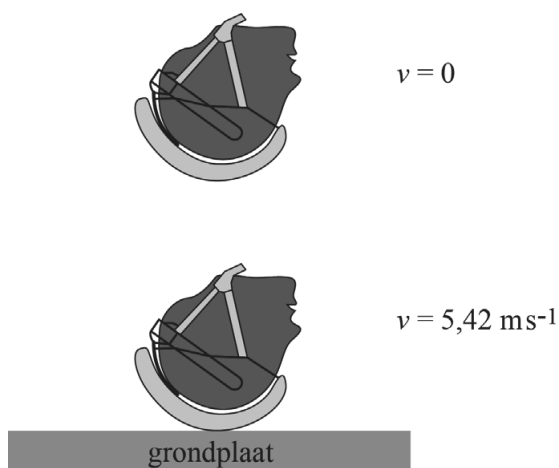
De fietshelm is opgebouwd uit verschillende lagen. Zie figuur 1. Onder de harde schaal aan de buitenkant bevindt zich de zogenaamde absorptielaag. Deze laag bestaat meestal uit piepschuim. Dit piepschuim wordt tijdens een impact ingedrukt.

figuur 1



figuur 2

Fietshelmen moeten voldoen aan een Europese norm, de EN-1078. Daarin staan tests beschreven die de fietshelm met goed succes moet doorlopen. In één van deze tests valt een dummyhoofd met helm op een harde grondplaat met een voorgeschreven impactsnelheid van $5,42 \text{ m s}^{-1}$. Zie figuur 2.



Om de voorgeschreven snelheid te bereiken is een bepaalde valhoogte nodig.

- 3p **1** Bereken deze valhoogte. Verwaarloos hierbij de invloed van eventuele wrijvingskrachten.

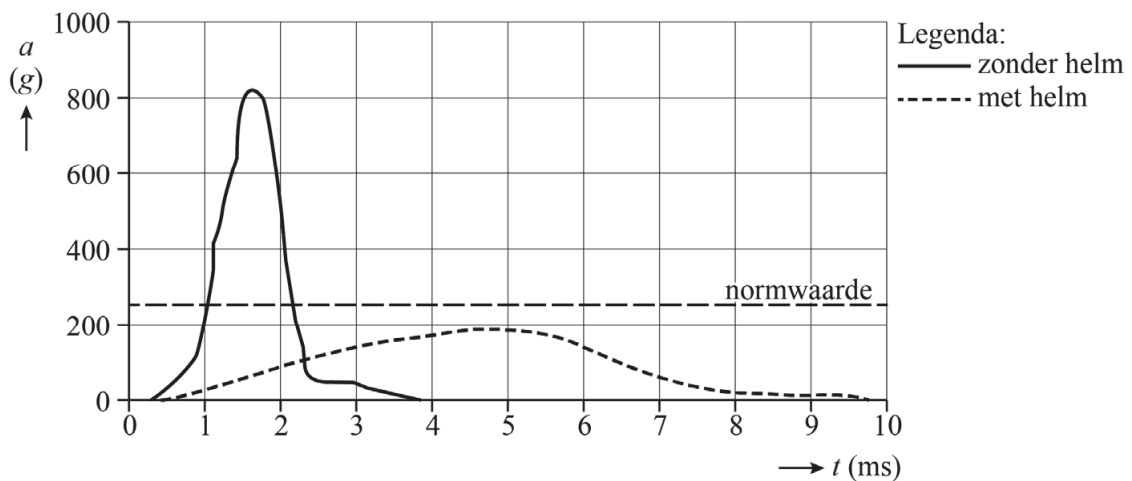
In het dummyhoofd zit een versnellingsmeter. Tijdens de impact van het hoofd met de grondplaat mag de verticale versnelling van het hoofd nooit groter worden dan de normwaarde van 250 g. Hierin is g de valversnelling. De absorptielaag in een fietshelm kan maximaal 20 mm indeuken. Deze afstand is groot genoeg om ervoor te zorgen dat de gemiddelde versnelling niet groter is dan de normwaarde.

4p 2 Toon dit aan.

In de praktijk is de beweging van het dummyhoofd tijdens de impact niet eenparig vertraagd. Er zijn dus momenten waarop de versnelling groter is dan de gemiddelde waarde. De maximale versnelling op deze momenten mag niet groter worden dan de normwaarde van 250 g.

In figuur 3 zijn de meetresultaten weergegeven van een impact van een dummyhoofd met en zonder helm.

figuur 3



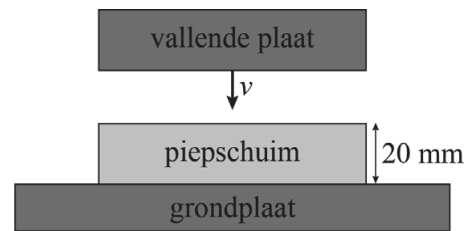
De snelheid waarmee het dummyhoofd de plaat raakt is in beide experimenten gelijk.

2p 3 Leg uit hoe je dit kunt concluderen uit figuur 3.

Een fietshelm is zo ontworpen dat deze de fietser optimaal beschermt bij een val. Naast de dikte van de absorptielaag moet de ontwerper ook rekening houden met het indrukgedrag van het gebruikte piepschuim. Dit indrukgedrag kan onderzocht worden in een proefopstelling, zie figuur 4.

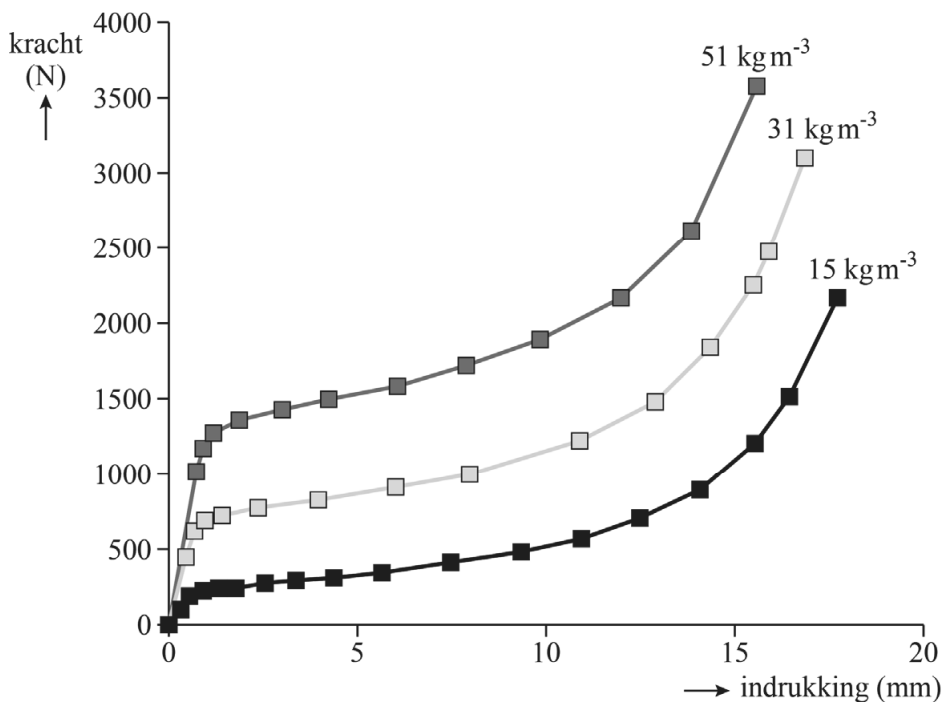
figuur 4

In deze opstelling valt een metalen plaat met een massa van 1,0 kg op een schijfje piepschuim, waardoor het piepschuim ingedrukt wordt. Tijdens deze impact worden zowel de indrukking van het piepschuim als de kracht op de grondplaat gemeten.



Het indrukgedrag van piepschuim is afhankelijk van de dichtheid van het piepschuim. Van piepschuim met drie verschillende dichtheden is het indrukgedrag gemeten. In figuur 5 is voor elk van de drie dichtheden het verband tussen kracht en indrukking weergegeven.

figuur 5



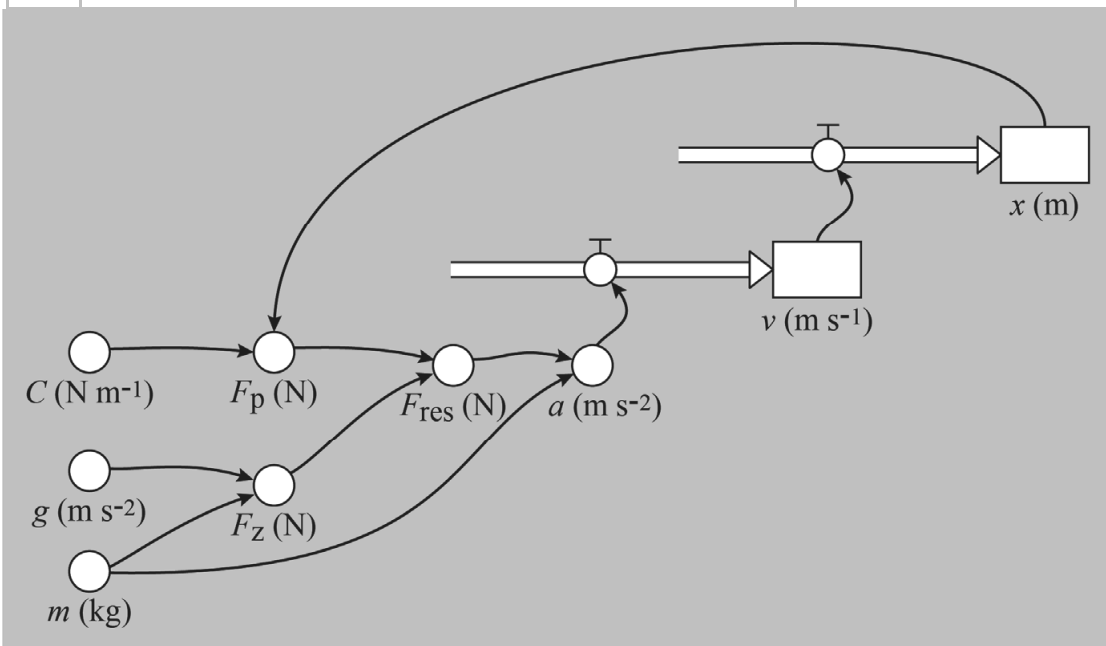
Hoewel de maximale remweg in een fietshelm 20 mm bedraagt is het belangrijk om te voorkomen dat deze hele afstand gebruikt wordt tijdens een impact.

- 2p **4** Leg met behulp van figuur 5 uit waarom de remweg niet te groot mag worden.

De impact van de vallende plaat op het piepschuim kan gesimuleerd worden met een numeriek model. Zie figuur 6.
In dit model is x de indrukking van het piepschuim in m.

figuur 6

	Modelformules	startwaarden
1	Als $x < 0,001$ Dan	$x = 0$ (m)
2	$F_p = Cx$	$v = 5,42$ (ms ⁻¹)
3	Anders	$m = 1,0$ (kg)
4	$F_p = \frac{19,8}{(0,020 - x)^{0,9}}$	$g = 9,81$ (ms ⁻²)
5	EindAls	$t = 0$ (s)
6	$F_z = mg$	$dt = 10^{-5}$ (s)
7	$F_{\text{res}} = \dots$	$C = \dots$ (N m ⁻¹)
8	$a = \frac{F_{\text{res}}}{m}$	
9	$v = v + a dt$	
10	$x = x + v dt$	
11	Als $v < 0$ Dan	
12	stop	
13	EindAls	
14	$t = t + dt$	



In de regels 2 en 4 van het model staan de formules die de grafieken van figuur 5 beschrijven. Voor indrukkingen kleiner dan 1 mm geldt dat de kracht evenredig is met de indrukking (regel 2). Voor grotere waarden van x geldt een ingewikkeldere formule (regel 4). De formules in het model van figuur 6 gelden voor piepschuim met een dichtheid van 31 kg m^{-3} .

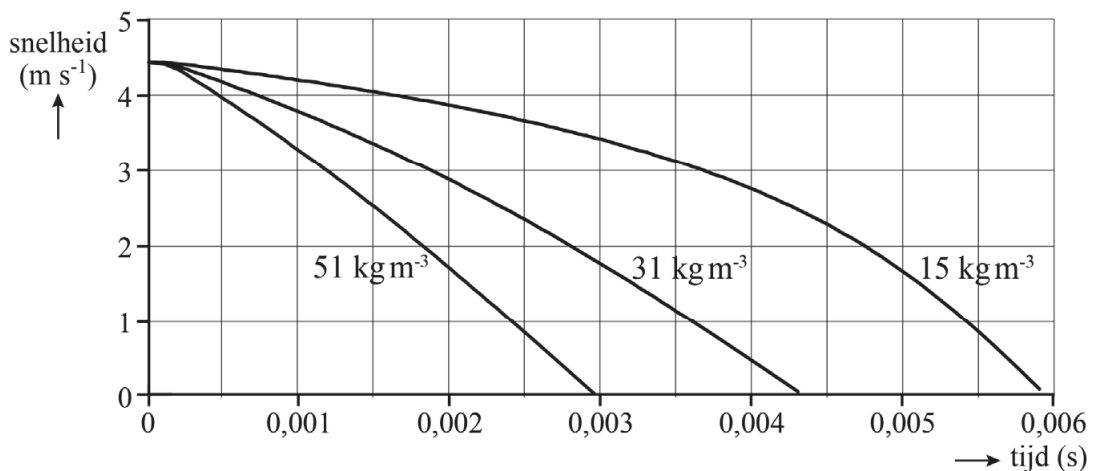
- 2p 5 Bereken met behulp van de formules in de modelregels 2 en 4 de waarde van C voor dit type piepschuim.

Regel 7 van het model is nog niet compleet.

- 2p 6 Geef aan wat er in regel 7 van het model moet staan.

Het numerieke model wordt gebruikt om te onderzoeken wat het effect is van de dichtheid van piepschuim op de beweging van de vallende plaat. De impact is drie keer doorgerekend, waarbij de formules voor het indrukgedrag zijn aangepast voor de drie verschillende dichtheden. In figuur 7 is voor elk van deze dichtheden de berekende snelheid uitgezet tegen de tijd.

figuur 7



- 2p 7 Leg uit bij welke dichtheid van het piepschuim de maximale versnelling van de vallende plaat het kleinst is geweest.