

## De inpakt van regenbuien op het dicht hameren van de grond.

### 1. Voorwerp in vrije val.

In vrije val is een voorwerp onderhevig aan de wet van de evenredige versnelling. Onafhankelijk van zijn eigen massa is de valsnelheid gelijk aan  $v = \gamma \cdot t$ . (Zie Galileo, Galilei.)

### 2. Voorwerpen die het remmend effect van de lucht ondergaan.

Dit is waar voor zover men geen rekening houdt met de omgevende lucht.

Een in de atmosfeer vallend voorwerp, is het ook onderworpen aan weerstand van de lucht. Het wezenlijk verschil met het model van de vrije val is dat de valsnelheid een grens  $v_0$  bereikt. Zoals het gebeurt bij een hagelbui – een hagel ‘zo dik als een pingpongballetje’ zoals die op 08 juni 2014 uit de lucht viel en aanzienlijke schade aanbracht in de glasteeltbedrijven bijvoorbeeld – of bij een hevige regenbui. Dan is de weerstand  $R$  van de lucht rechtstreeks evenredig met het kwadraat van de valsnelheid van de regendruppels.  $R$  is een remkracht en wordt uitgedrukt in Newton (N).

$$R_{(in\ N)} = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2 \text{ met:}$$

$\rho$  = volumetrische massa is een constante uitgedrukt in  $\text{ton/m}^3$  of  $\text{kg/dm}^3$  of  $\text{g/cm}^3$ . Voor de lucht (droog,  $4^\circ\text{C}$ , normale luchtdruk, zeespiegel) is  $\rho = 1,2$ . Voor water - ook voor ijs - is  $\rho = 1000$  en voor ijzer is  $\rho = 8000$

$S$  = is de oppervlakte van een grote cirkel van de bolle regendruppel.  $S_{(in\ m^2)} = \pi r_{(in\ m)}^2$

$C_x$  weerstandscoefficiënt, het ‘aerodynamische coëfficiënt’:  $C_x = 0.5$  bij een bol.

Stellen we ‘ $r$ ’ de lengte van de straal, uitgedrukt in  $m$ , van een regendruppel of hagel, dan is de remkracht van de luchtkolom  $R$  uitgedrukt in Newton:

$$R_{(in\ N)} = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot v_0^2 = 0,25 \cdot 1,2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v_0^2 = r^2 \cdot v_0^2$$

Aanvankelijk valt de massa van een regendruppel of een hagelsteen in vrije val zoals alle andere voorwerpen met een versnelling van  $9,81\ \text{m/sec}^2$  tot dat de weerstand van de ondersteunende luchtkolom even groot is als hun gewicht.

Vanaf dit ogenblik is deze valsnelheid  $v_0$  constant.

De hagel ( $\rho_{\text{water}} = 1000$ ) waarvan de straal  $r$  (in  $m$ )  $0,02m$  is, heeft een massa  $\mu_w$  van :

$$\mu_w = 4 \pi r^3 / 3 \cdot 1000 = r^3 \cdot 4200\ \text{kg} = 0,035\ \text{kg}$$

Deze hagelsteen heeft een gewicht dat ongeveer 10 keer hoger ligt namelijk:

$$4 \pi r^3 / 3 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 41000 \cdot r^3 = 0,335\ \text{Newton}$$

Dit gewicht wordt in evenwicht gehouden door de remkracht van de lucht  $R_{(in\ N)}$ .

$$R_{(in\ N)} = r^2 \cdot v_0^2 = 4200 r^3$$

$$v_0^2_{(in\ m/sec)} = r_{(in\ m)} \cdot 41000$$

$$v_0 = 41000 \cdot r = 200 r\ (m/sec)$$

Bijvoorbeeld voor een zware hagel ‘zo dik als een pingpongballetje van 20 mm straal’ is de valsnelheid aanvankelijk van  $9,81\ \text{m/sec}^2$  en na een bepaalde tijd, wanneer het gewicht van de regendruppel gelijk is aan de remkracht van de lucht blijft de valsnelheid constant en gelijk aan:

$$v_0 = 200 \cdot 0,020 = 29\ \text{m/sec}$$

Een hagelballetje van 2 cm straal valt op de grond met een kinetische energie van:

$$\mu_w \cdot v_0^2 / 2 = r^4 \cdot 4200 \cdot 41000 / 2 = 213,75\ \text{joule}$$

### 3. Vanop welke hoogte moet men een hamer van 250g vrij laten vallen om dezelfde kinetische energie op te wekken?

Wat men in de volksmond een hamer van ‘250 gram’ noemt heeft een massa  $\mu_h$  van 250 g maar weegt eigenlijk  $250 \cdot 9,81\ \text{m} \cdot \text{sec}^{-2} = 2.500\ \text{Newton}$ . Deze hamer valt vrij op de grond zonder dat de lucht

deze val afremt. Maar hij heeft wel een kinetische energie opgestapeld tijdens zijn val die gelijk is aan zijn potentiële energie hier: 13,75 joule. Hoe hoger de valhoogte hoe groter de energie.

De vraag is vanuit welke hoogte moet men een hamer van 250 g laten vallen om met dezelfde energie (13,75 joule) de grond te raken als een zware hagel zo dik als een pingpongballetje van 2 cm straal die uit de hemel valt?

De hoogte van een massa in vrije val is gelijk aan:

$$E_{(\text{in joule})} = \mu_{h(\text{in kg})} * h_{h(\text{in m})} * \gamma_{(\text{in m/sec/sec})} = 13,75 \text{ joule}$$

De afgelegde weg door de vallende hamer is:  $h_h = E/(\mu_h \cdot \gamma)$

$$h_h = 13,75 / (0,25 \cdot 9,81) = \mathbf{5,60 \text{ m}} \text{ of } 1,40 \text{ m per kg.}$$

#### 4. **Andere voorbeelden.**

Een zware hagel zo dik als een pingpongballetje met een straal van 2 cm hamert de grond met dezelfde energie als een uit een hoogte van 5,6 m vallende hamer van 250 gram. Dit staat gelijk met 1,4 m voor een staal massa van 1kg.

Om realistischer te zijn: een regendruppel met een straal van 1 cm - een muntstuk van 5 of 10 Eurocent – valt op de grond met een snelheid van 20. 0,01 = 20 m/sec en een kinetische energie van  $0,01^4 \cdot 4200 \cdot 41000 / 2 = 0,9$  joule . Dit staat gelijk met dezelfde energie als een uit een hoogte van 0,4m vallende hamer van nagenoeg 250 g of een hamer van 100g uit een hoogte van 1,50m.

Een regendruppel met een straal van 13 mm - een muntstuk van 2 Euro - hamert de grond met dezelfde energie als een uit een hoogte van 1 m vallende hamer van 250 g. Dat is dan wel een serieuze bui!

Een regendruppel met een straal van 13 mm - een muntstuk van 2 Euro - hamert de grond met een energie van 2,5joule wat gelijk staat met de energie van een hamer van 250g die vanuit 1m hoogte de grond raakt. Dat is dan wel een serieuze bui!

#### 5. **Algemene conclusie:**

Een dikke laag 'mulch' voorkomt dus wel degelijk het dicht hameren van de grond door herhaalde hevige regen- en hagelbuien.