28 In attractiepark Walibi World bevindt zich de Goliath, een achtbaan. Zie figuur 8.35. Een trein met passagiers beweegt met een constante snelheid van 5,0 km h^{-1} langs een rechte helling omhoog. De top van de helling ligt 46 m hoger dan het startpunt. Een elektromotor zorgt voor het omhoogtrekken van de trein. De massa van de trein met passagiers bedraagt $14 \cdot 10^3$ kg. Je hoeft bij vraag a geen rekening te houden met weerstandskrachten.

a Bereken hoeveel elektrische energie minstens nodig is om de trein met een snelheid van 5,0 km h^{-1} langs de helling naar de top omhoog te trekken.

Figuur 8.35

Het midden van de trein passeert de top van de eerste helling met een verwaarloosbare snelheid. De trein begint vervolgens aan een zeer steile afdaling. Bij die afdaling bedraagt het hoogteverschil ook 46 m. De lengte van de afdaling is 49 m. Onderaan is de snelheid opgelopen tot 106 km h^{-1}.

b Toon aan dat de hoeveelheid energie die tijdens deze afdaling wordt omgezet in warmte gelijk is aan $2{,}5 \cdot 10^5$ J.

c Bereken de gemiddelde weerstandskracht die tijdens het omlaag bewegen op de trein werkt.

Opgave 28

a De benodigde hoeveelheid elektrische energie bereken je met de wet van behoud van energie.
Bij de wet van behoud van energie bepaal je eerst de energievormen die van belang zijn.

A (onderaan de helling)
De snelheid is 5,0 km h^{-1}.
De elektromotoren draaien op elektrische energie.
Dus de kinetische energie en de elektrische energie zijn van belang.
B (bovenaan de helling)
De snelheid is 5,0 km h^{-1}.
De trein bereikt een hoogte van 46 m.
Dus de kinetische energie en de zwaarte-energie zijn van belang.

$$\sum E_{in,A} = \sum E_{uit,B}$$

$E_{k,A} + E_{el,A} = E_{k,B} + E_{zw,B}$
Omdat de snelheid constant is, is de kinetische energie in het beginpunt en het eindpunt hetzelfde. De energievergelijking wordt dus:
$E_{el,A} = E_{zw,B}$
$E_{zw,B} = m \cdot g \cdot h$
$m = 14 \cdot 10^3$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}
$h_B = 46$ m
Invullen levert: $E_{zw} = 14 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 46 = 6{,}317 \cdot 10^6$ J.
Dus de benodigde energie is minimaal $E_{el} = 6{,}317 \cdot 10^6$ J.
Afgerond: $E_{el} = 6{,}3 \cdot 10^6$ J.

b De hoeveelheid energie die je tijdens de afdaling omzet in warmte, bereken je met de wet van behoud van energie.
Bij de wet van behoud van energie bepaal je eerst de energievormen die van belang zijn.

A (bovenaan de helling)
De snelheid is 0 km h^{-1}.
De trein bevindt zich op een hoogte van 46 m.
Dus de zwaarte-energie is van belang.
B (onderaan de helling)
De snelheid is 106 km h^{-1}.
De hoogte is 0 m.
Er ontstaat warmte.
Dus de kinetische energie en de warmte zijn van belang.

$$\sum E_{in,A} = \sum E_{uit,B}$$

$E_{zw,A} = E_{k,B} + Q$
$m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + Q$
$m = 14 \cdot 10^3$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}
$h_A = 46$ m
$v_B = \frac{106}{3{,}6} = 29{,}444$ m s^{-1}
Invullen levert: $14 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 46 = \frac{1}{2} \times 14 \cdot 10^3 \times (29{,}444)^2 + Q$.
$Q = 2{,}48 \cdot 10^5$ J
Afgerond: $Q = 2{,}5 \cdot 10^5$ J.

c De gemiddelde weerstandskracht bereken je met de lengte van de helling en de hoeveelheid warmte die is ontstaan.

$Q = F_w \cdot s$
$Q = 2{,}5 \cdot 10^5$ J
$s = 49$ m
Invullen levert: $2{,}5 \cdot 10^5 = F_w \times 49$.
$F_w = 5{,}10 \cdot 10^3$ N
Afgerond: $F_w = 5{,}1 \cdot 10^3$ N.