

Model prędkości (Równanie przyspieszenia/deceleracji):

Równanie opisujące zmianę prędkości v w czasie to suma wszystkich sił działających na pojazd podzielona przez jego masę:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{F}{m} = -\frac{F_d + F_r + F_b + F_g}{m} \quad (1)$$

Składowymi siły całkowitej są:

1. Siła oporu powietrza opisana wzorem:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (2)$$

Gdzie:

- ρ to gęstość powietrza ($\sim 1,225 \text{ kg/m}^3$),
- C_d to współczynnik oporu powietrza,
- A to powierzchnia czołowa pojazdu.
- v prędkość pojazdu.

2. Siła oporu toczenia opisana wzorem:

$$F_r = C_{rr} m g \cos(\theta) \quad (3)$$

Gdzie:

- C_{rr} to współczynnik oporu toczenia,
- m to masa pojazdu,
- g to przyspieszenie ziemskie ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$),
- θ to nachylenie drogi,

3. Siła hamowania:

$$F_b = F_{b\max} \cdot \left(1 - \frac{t}{t_{\max}}\right) \quad (4)$$

Gdzie:

- $F_{b\max}$ to maksymalna możliwa moc hamowania
- t to czas
- t_{\max} to czas zakończenia hamowania

4. Siła grawitacji (zależna od nachylenia drogi):

$$F_g = m g \sin(\theta) \quad (5)$$

Gdzie:

- m to masa pojazdu,
- g to przyspieszenie ziemskie ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$),
- θ to nachylenie drogi,

Model odzyskiwania energii:

Prędkość $v(t)$ jest rozwiązaniem równania różniczkowego:

$$v(t) = \int \frac{dv}{dt} dt \quad (6)$$

Wydażność procesu regeneracji jest modelowana jako funkcja prędkości:

$$\eta(v) = av^2 + bv + c \quad (7)$$

Gdzie a , b , i c są stałymi określającymi krzywą wydażności.

Moc odzyskiwana z hamowania regeneracyjnego to:

$$P(t) = \eta(v) \cdot F_b(t) \cdot v(t) \quad (8)$$

Ostatecznie, całkowita energia odzyskana jest obliczana przez całkowanie mocy w czasie:

$$E = \int_0^{t_{\max}} P(t) dt = \int_0^{t_{\max}} \eta(v(t)) \cdot F_b(t) \cdot v(t) dt \quad (9)$$

Wnioski

Równanie różniczkowe będące podstawą całego modelu, okazało się być zbyt złożone, aby obliczyć je w sposób analityczny. Równanie na Energię okazało się być wielomianem 8 stopnia z dwoma niewiadomymi jeżeli uwzględniony zostanie opór powietrza. Usunięcie oporu powietrza z równania, usuwa jedną niewiadomą z równania, jednak obliczenia metodą analityczną nadal dają nierzeczywiste wyniki. Metoda numeryczna daje jednak wyniki zgodne z przewidywaniami, więc wymagany będzie wgląd w równania.