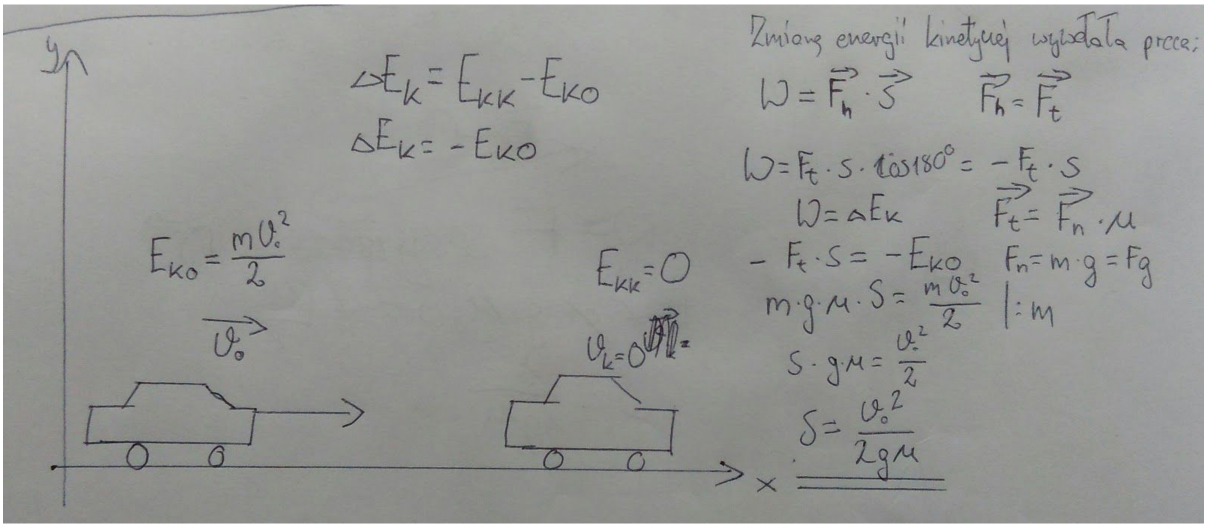
1. **Hamowaniem** nazywamy czynności i reakcji układów pojazdu w celu zmniejszenia jego prędkości lub do jego zatrzymania się szybciej niż wynikałoby to z oporów toczenia, układu napędowego i oporu powietrza. Pojazdy podczas hamowania porusza się ruchem jednostajnie opóźnionym.

Drogę w ruchu jednostajnie opóźnionym opisuje się wzorem:

$$S=V_0*t-at^2/2$$

Gdzie: $a$ - przyspieszenie samochodu, $t$ - czas hamowania, $V_0$ - prędkość początkowa.




2. **Energia (kinetyczna)** jadącego samochodu to: $\mathbf{E_k = mV^2/2}$

Wróćmy do definicji pracy: jest to iloczyn siły i drogi, na jakiej ta siła działa: **W = F*s**

Z drugiej strony, praca (siły tarcia w tym przypadku) jest równa zmianie energii kinetycznej.

Prędkość początkową samochodu możemy więc obliczyć z zależności: $\mathbf{mV^2/2 = F*s}$

Siła tarcia wynosi: $\mathbf{F_t = \mu*m*g}$,

Zakładając, że siła hamowania pozostaje stała, pracę siły tarcia możemy wyliczyć ze wzoru: $\mathbf{W = F_t*S}$

Korzystając ze wzoru na energię kinetyczną otrzymujemy więc równość $\mathbf{\mu*m*g*S = m*V^2/2}$

W równaniu powyższym upraszcza się masa. Drogę hamowania otrzymujemy ze wzoru:

$$\mathbf{S = V^2/2*\mu*g = V^2/2*a}$$

**Przykładowe zadanie 1**:

Oblicz drogę hamowania samochodu jadącego z prędkością 72 km/h wiedząc, że współczynnik tarcia o podłoże jest równy 0.2.

Stosowane wzory:

$$F_t=\mu*F_n$$

$$F_w=F_t$$

$$a*m= \mu*m*g$$

$$a= \mu*g \qquad a=V_0/t$$

$$S=V_0*t-at^2/2 \qquad t=V_0/a$$

Rozwiązanie:

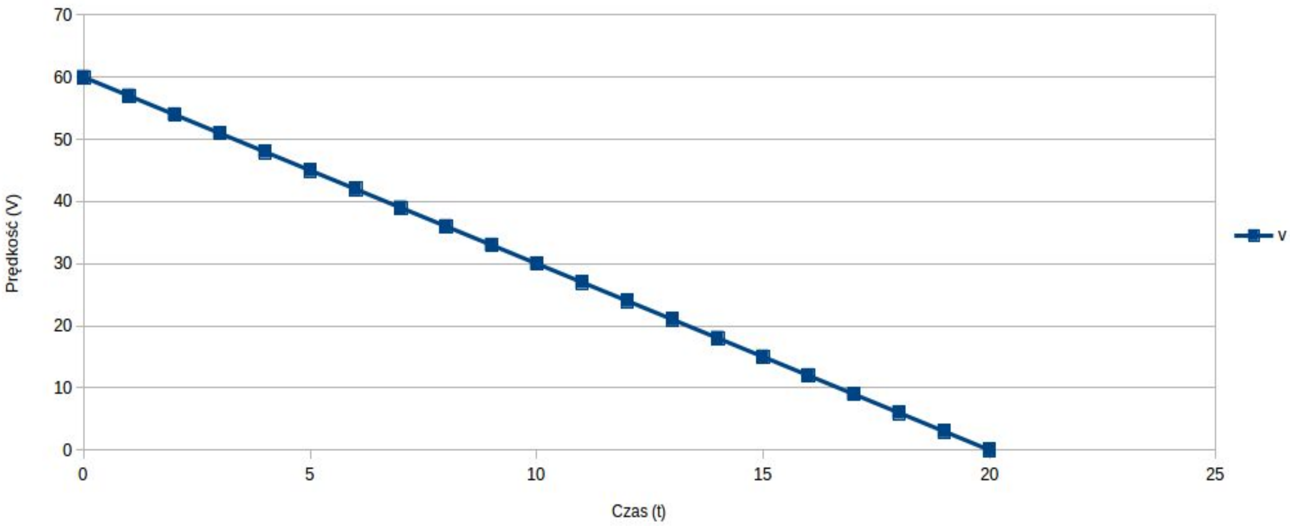
$$S=(V_0)^2/(2*\mu*g)$$

Czyli:

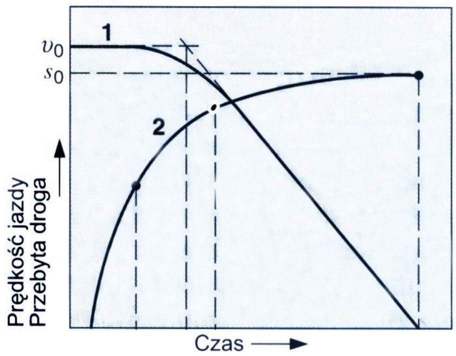
$$S=(20m/s)^2/(2*0.2*9.81m/s^2)$$

S= ok. 102m

Wykres zależności prędkości od czasu – V(t) w ruchu jednostajnie opóźnionym, w którym prędkość końcowa jest równa zero.




Proces hamowania samochodu aż do zatrzymania (przedstawienie uproszczone)




1 – prędkość jazdy samochodu

2 – droga przebywana podczas hamowania

**Przykładowe zadanie 2:**

Samochód (o masie 1000 kg) jedzie z prędkością początkową 40 m/s (144 km/h).

Ile wyniesie jego droga hamowania, jeśli współczynnik tarcia opon o asfalt wynosi 0,8.

Dane:

V = 40 m/s

$\mu$ = 0,8

m = 1000 kg (jak się okaże, niepotrzebna do obliczeń)

S = ?

**Rozwiązanie 1:**

Siła tarcia wynosi: $\mathbf{F_t = \mu * m * g}$

Zakładając, że siła hamowania pozostaje stała, **pracę** siły tarcia możemy wyliczyć ze wzoru:

$$\mathbf{W = F_t * s}$$

Korzystając ze wzoru na energię kinetyczną otrzymujemy więc równość:

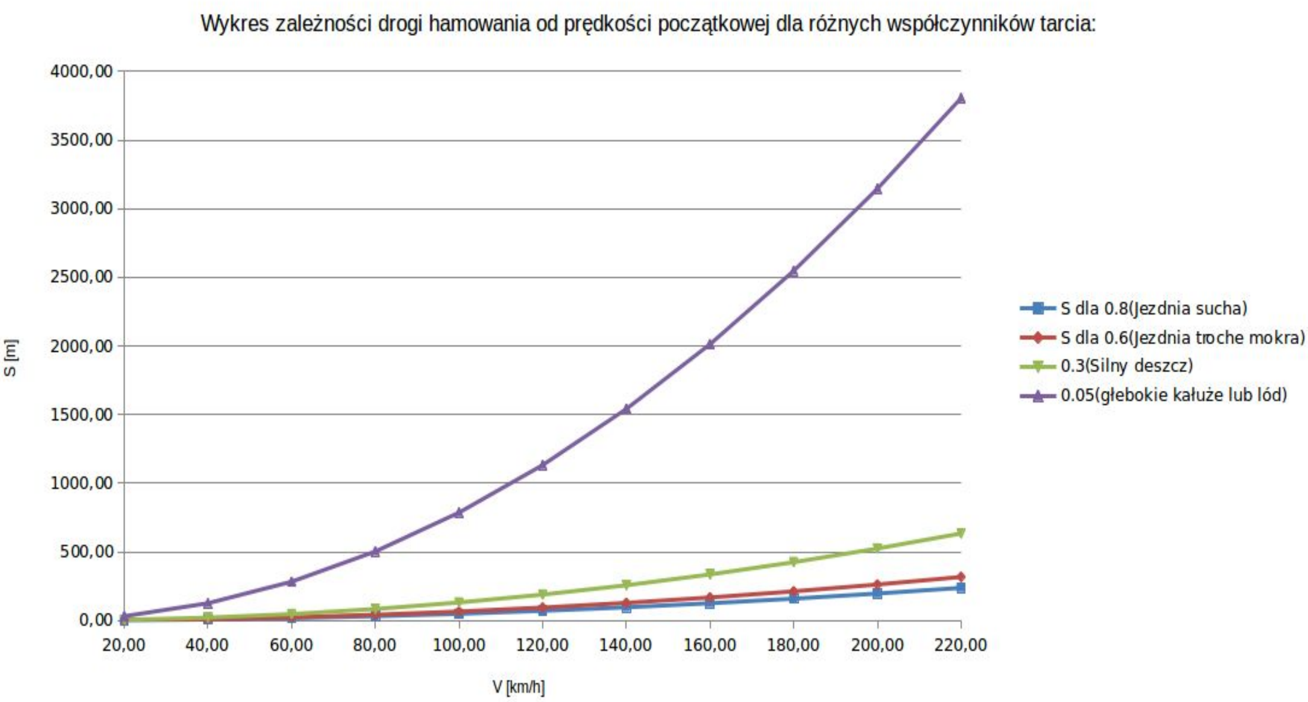
$$\mathbf{\mu * \cancel{m} * g * s = 1/2 * \cancel{m} * V^2}$$

W równaniu powyższym **upraszcza się masa**. Drogę hamowania otrzymujemy ze wzoru

$$\mathbf{s = V^2 / * 2 * \mu * g = 1/2 \cdot 1600/(0.8 \cdot 10) = 100\ m}$$

Zauważmy, że **droga hamowania nie zależy od masy samochodu!!**

3. **Wartość współczynnika przyczepności (tarcia)** zależy zdecydowanie od prędkości jazdy, szczególnie na mokrej nawierzchni. Siła przyczepności między oponami a nawierzchnią oznacza, ile siły może przenieść opona. Wartość siły przyczepności maleje do zera, jeśli podczas deszczu na jezdni tworzy się warstwa wody, po której samochód „płynie” Jest to zjawisko aquaplaningu.




Droga hamowania rośnie z kwadratem prędkości, a więc przy dwukrotnym zwiększeniu prędkości – droga hamowania **wzrośnie czterokrotnie** !!!

Podczas hamowania przy dużych prędkościach jazdy i niesprzyjających warunkach drogowych zbyt mała wartość współczynnika może doprowadzić do **zablokowania kół** hamowanych, gdyż **zanika wtedy przyczepność między kołami a jezdnią**.

## Przykładowe zadanie 3:

### Przykład 6.1

Jeśli podczas hamowania awaryjnego koła samochodu zostają zablokowane (tzn. nie obracają się), to pojazd ślizga się po szosie. Z oderwanych od opony kawałków gumy i małych stopionych elementów nawierzchni powstają ślady hamowania na jezdni, świadczące o tym, że podczas poślizgu zachodzi spawanie na zimno. Rekordowej długości ślady hamowania na drodze publicznej zanotowano w 1960 roku, gdy samochód marki Jaguar pozostawił na autostradzie M1 w Anglii ślady o długości 290 m (rys. 6.3a)! Wyznacz prędkość tego samochodu w chwili zablokowania kół, zakładając, że jego przyspieszenie w czasie hamowania było stałe, a $\mu_k = 0.6$.

ROZWIĄZANIE:

1. Przyspieszenie pojazdu było stałe, dlatego też w celu znalezienia prędkości początkowej $v_0$ możemy skorzystać z równań z tabeli 2.1, na przykład z równania (2.16):

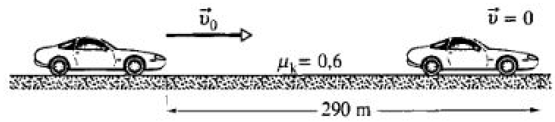
$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0), \tag{6.3}$$

przy czym przyjęliśmy, że samochód poruszał się w dodatnim kierunku osi $x$. Wiemy, że przemieszczenie $x - x_0$ wyniosło 290 m, a prędkość końcowa $v$ była równa zeru. Chcemy wyznaczyć wartość $v_0$. Nie znamy jednak przyspieszenia $a$ pojazdu.

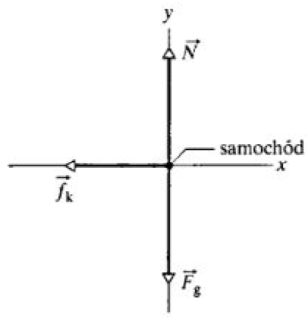
Aby znaleźć $a$ zauważmy, że:

2. Jeśli pominiemy opór powietrza, to jedyną siłą powodującą przyspieszenie $a$ będzie siła tarcia kinetycznego $\vec{f}_k$, działająca na samochód ze strony jezdni, skierowana przeciwnie do kierunku ruchu pojazdu (rys. 6.3b). Związek tej siły z przyspieszeniem znajdziemy z drugiej zasady dynamiki Newtona dla składowych $x$ ($F_{wyp,x} = ma_x$), mianowicie:

$$-f_k = ma, \tag{6.4}$$




a)




b)

Rys. 6.3. Przykład 6.1. a) Samochód jadący w prawo wpada w poślizg i zatrzymuje się po przebyciu drogi 290 m. b) Diagram sił dla tego samochodu

przy czym $m$ jest masą samochodu. Znak minus wskazuje kierunek siły tarcia kinetycznego.

Z równania (6.2) wiemy, że siła tarcia ma wartość $f_k = \mu_k N$, gdzie $N$ jest wartością siły normalnej, działającej na samochód ze strony drogi. Samochód nie ma składowej pionowej przyspieszenia, a z rysunku 6.3b i z drugiej zasady dynamiki Newtona wynika, że wartość siły $\vec{N}$ jest równa wartości działającej na samochód siły ciężkości $\vec{F}_g$, czyli $mg$. Mamy więc $N = mg$.

Wyznaczając $a$ z równania (6.4) i podstawiając $f_k = \mu_k N = \mu_k mg$ w miejsce $f_k$, otrzymujemy:

$$a = -\frac{f_k}{m} = -\frac{\mu_k mg}{m} = -\mu_k g,$$

przy czym znak minus wskazuje, że przyspieszenie ma ujemn[y] kierunek osi $x$, przeciwny do kierunku prędkości samochodu. N[a]stępnie podstawiamy wyrażenie na $a$ oraz $v = 0$ do równa[nia] (6.3), z którego możemy teraz wyznaczyć $v_0$. Daje to:

$$v_0 = \sqrt{2\mu_k g(x - x_0)} = \sqrt{(2)(0,6)(9,8\ \mathrm{m/s^2})(290\ \mathrm{m})} = 58\ \mathrm{m/s}$$
$$= 210\ \mathrm{km/h}. \qquad \text{(odpowiedź)}$$

Założyliśmy, że koniec śladów hamowania to miejsce, w który[m] $v = 0$, tzn. samochód się zatrzymał. W rzeczywistości ślady skończyły się tylko dlatego, że po 290 m Jaguar wypadł z drogi. Jego prędkość początkowa $v_0$ wynosiła zatem co najmniej 210 km/h, a być może znacznie więcej.

Wartości współczynnika przyczepności wzdłużnej $\mu_{HF}$ opon w różnych warunkach drogowych, w różnych stanach zużycia i przy różnych prędkościach jazdy

| Prędkość jazdy [km/h] | Stan zużycia opony | Jezdnia sucha $\mu_{HF}$ | Jezdnia mokra (warstwa wody 0,2 mm) $\mu_{HF}$ | Silny deszcz (warstwa wody 1 mm) $\mu_{HF}$ | Kałuże (warstwa wody 2 mm) $\mu_{HF}$ | Jezdnia oblodzona $\mu_{HF}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | nowa | 0,85 | 0,65 | 0,55 | 0,5 | 0,1 i mniej |
| | zużyta | 1 | 0,5 | 0,4 | 0,25 | |
| 90 | nowa | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,05 | |
| | zużyta | 0,95 | 0,2 | 0,1 | 0 | |
| 130 | nowa | 0,75 | 0,55 | 0,2 | 0 | |
| | zużyta | 0,9 | 0,2 | 0,1 | 0 | |