

## דינמיקה של כלי רכב - דף נוסחאות

### מאפיין דינמי של רכב

$$D(v) = \frac{1}{mg} \left( \frac{M_{eng} \cdot \eta_t \cdot i_{total\_x}}{R_k} - \frac{1}{2} \rho C_D A v^2 \right)$$

#### מאפיין דינמי של רכב

$mg$  [N] משקל הרכב.

$M_{eng}$  [N·m] מומנט מנוע.

$\eta_t$  נצילות רכבת כוח.

$i_{total\_x}$  יחס העברה כולל של ההילוך המשולב (כל הגלגל"ש המשולבים).

$R_k$  [m] רדיוס קינמטי של גלגל.

$\rho$  צפיפות האוויר (המדיום שבו נע הרכב).

$C_D$  מקדם גרר של צורת גוף הרכב.

$A$  [m<sup>2</sup>] שטח חתך של גוף הרכב.

$v$  [m/s] מהירות הרכב ביחס לאוויר.

$$D(v) = \psi + \frac{\gamma_m}{g} \cdot a$$

#### מאפיין דינמי של רכב

$\theta$  [deg] שיפוע הדרך.

$f$  מקדם חיכוך בין הגלגלים למשטח הדרך.

$\psi$  התנגדות גלילה / התנגדות כביש.

$\gamma_m$  מקדם מסה נוספת.

$g$  [m/s<sup>2</sup>] תאוצת הכובד.

$a$  [m/s<sup>2</sup>] תאוצת הרכב.

$$\psi = f \cos(\theta) + \sin(\theta)$$

#### התנגדות כביש

$\psi$  התנגדות כביש / התנגדות גלילה.

$f$  מקדם התנגדות גלילה.

$\theta$  [deg] זווית הכביש (חיובי-עלייה, שלילי-ירידה).

#### מקדם מסה נוספת

$\gamma_m$  מקדם מסה נוספת.

$i_{total\_x}$  יחס תמסורת כולל של ההילוך המשולב.

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025 (i_{total\_x})^2$$

$$i_{total\_x} = i_{gear} \cdot i_{final}$$

$$n_{wheels} = n_{engine} \cdot i_{total}$$

$$v = \frac{\pi D_{wheel} \cdot n_{wheel} \cdot 3.6}{60,000}$$

$$D_{wheel} = \left( (TireWidth) \cdot \left( \frac{TireSideWall}{100} \cdot 2 \right) + (RimOD \cdot 25.4) \right) \cdot 10^{-3}$$

### יחס העברה כולל

$i_{total\_x}$  יחס העברה כולל, עבור ההילוך המשולב.  
 $i_{gear}$  יחס תמסורת של ההילוך המשולב בתיבת ההילוכים.  
 $i_{final}$  יחס תמסורת סופי / יחס תמסורת של הדיפרנציאל.

### סל"ד גלגל

$n_{wheels}$  סל"ד גלגל.  
 $n_{engine}$  סל"ד מנוע.  
 $i_{total}$  יחס העברה כולל.

### מהירות קווית גלגל

מהירות קווית  $v \left[ \frac{km}{h} \right]$

קוטר גלגל  $D [m]$

סל"ד גלגל  $n_{wheel} [RPM]$

### חישוב קוטר גלגל

לפי המידה שמופיעה על הצמיג, סימון אירופאי (מטרי).

קוטר גלגל  $D_{wheel} [m]$

רוחב הצמיג  $TireWidth [mm]$

דופן הצמיג  $TireSideWall [\%]$

קוטר חישוק  $RimOD [inch]$

08.07.2015

$$i_{total} = \frac{\omega_{engine}}{\omega_{wheel}}$$

$$\omega_{engine} = n_{engine} \cdot 0.1047$$

$$\omega_{wheel} = \frac{v}{R_k}$$

$$v = \omega_{wheel} \cdot R_k$$

$$n \cdot 0.104719755 = \omega$$

$$P = M_{eng} \cdot \omega_{eng}$$

### יחס העברה כולל

$i_{total}$  יחס העברה כולל.

מהירות זוויתית מנוע  $\omega_{engine} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

מהירות זוויתית גלגל  $\omega_{wheel} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

### מהירות זוויתית מנוע

מהירות זוויתית מנוע  $\omega_{engine} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

$n_{engine}$  [RPM] סל"ד מנוע.

### מהירות זוויתית גלגל

מהירות זוויתית גלגל.  $\omega_{wheel} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

מהירות קווית.  $v \left[ \frac{m}{s} \right]$

רדיוס קינמטי של גלגל.  $R_k [m]$

### מהירות קווית גלגל

מהירות קווית  $v \left[ \frac{m}{s} \right]$

רדיוס קינמטי של גלגל  $R_k [m]$

מהירות זוויתית  $\omega_{wheel} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

### המרת יחידות – מסל"ד למהירות זוויתית

$n$  [RPM] סל"ד

מהירות זוויתית  $\omega \left[ \frac{rad}{s} \right]$

### הספק מנוע

הספק מנוע  $P [w]$

מומנט מנוע.  $M_{eng} [N \cdot m]$

מהירות זוויתית מנוע.  $\omega_{eng} \left[ \frac{rad}{s} \right]$

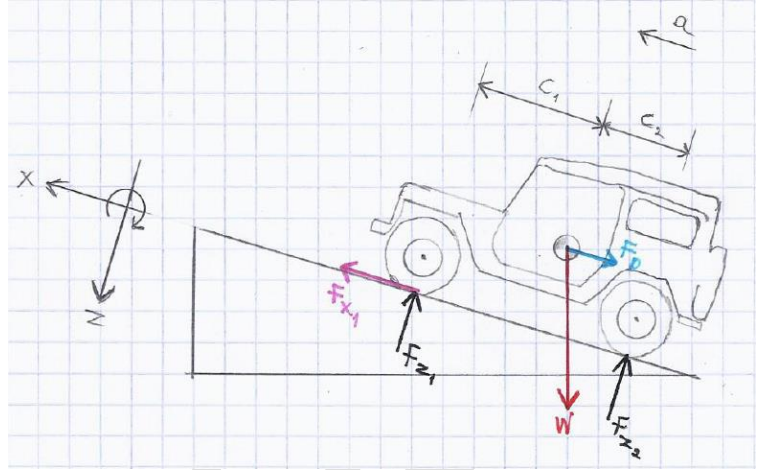
דינמיקה של כלי רכברכב הנעה קדמית (FWD)משוואות כוחות

$$\begin{aligned} X : +F_{x1} - W \sin(\theta) - F_D &= ma \\ Y : -F_{z1} - F_{z2} + W \cos(\theta) &= 0 \\ M : +(C_1 \cdot F_{z1}) - (C_2 \cdot F_{z2}) + (h \cdot F_{x1}) &= 0 \end{aligned}$$

$$W = mg$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$$

$$F_{x1} \leq \mu F_{z1}$$

דיאגרמת גוף חופשילאחר פיתוחים

$$F_{x1} = ma + mg \sin(\theta) + F_D$$

$$F_{z1} = mg \cos(\theta) - F_{z2} = \frac{C_2 mg \cos(\theta) - h F_{x1}}{C_2 - C_1}$$

$$F_{z2} = \frac{C_1 mg \cos(\theta) + h F_{x1}}{C_1 + C_2}$$

$$a_{\max} = \left( \frac{\mu C_2 \cos(\theta)}{C_1 + C_2 + \mu h} - \sin(\theta) - F_D \right) \cdot g$$

08.07.2015

משוואות כוחות

$$X : F_{x2} - W \sin(\theta) - F_D = ma$$

$$Y : -F_{z1} - F_{z2} + W \cos(\theta) = 0$$

$$M : +(C_1 \cdot F_{z1}) - (C_2 \cdot F_{z2}) + (h \cdot F_{x2}) = 0$$

$$W = mg$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$$

$$F_{x2} \leq \mu F_{z2}$$

לאחר פיתוחים

$$F_{x2} = m(a + g \sin(\theta)) + F_D$$

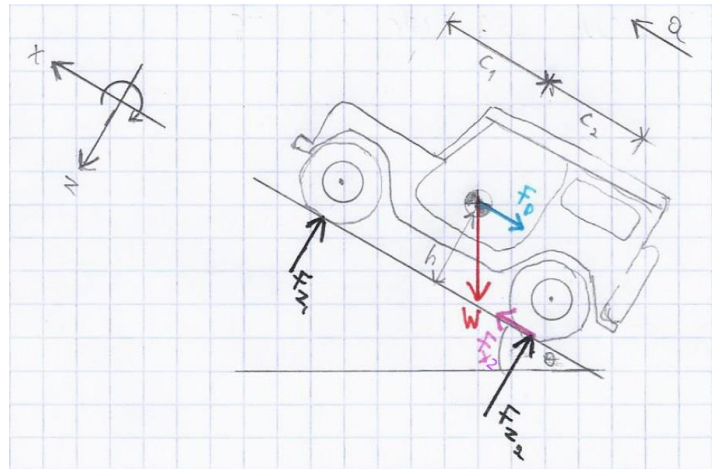
$$F_{z1} = mg \cos(\theta) - F_{z2}$$

$$F_{z2} = \frac{C_1 mg \cos(\theta) + h F_{x2}}{C_1 + C_2}$$

$$a_{\max} = \left( \frac{\mu C_1 \cos(\theta)}{C_1 + C_2 - \mu h} - \sin(\theta) - \frac{F_D}{mg} \right) \cdot g$$

רכב הנעה אחורית (RWD)

דיאגרמת גוף חופשי



רכב הנהנה כפולה (AWD)משוואות כוחות

$$\begin{aligned} X: & +F_{x1} + F_{x2} - W \sin(\theta) - F_D = ma \\ Y: & -F_{z1} - F_{z2} + W \cos(\theta) = 0 \\ M: & +(C_1 \cdot F_{z1}) - (C_2 \cdot F_{z2}) + h(F_{x1} + F_{x2}) = 0 \end{aligned}$$

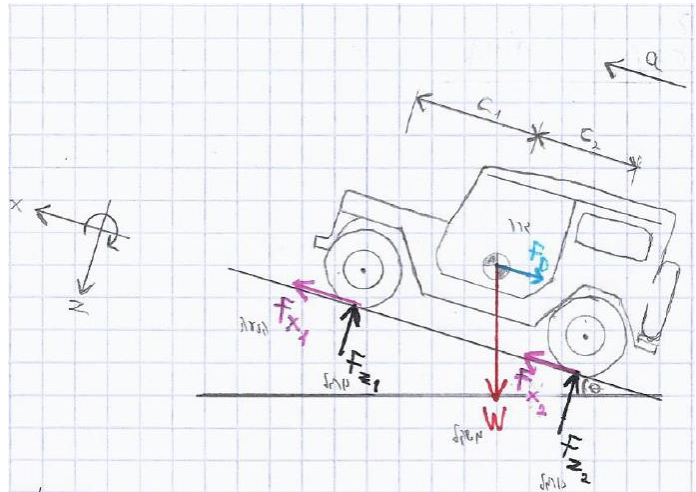
$$W = mg$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$$

$$F_x = F_{x1} + F_{x2}$$

$$F_{x1} = K_f F_x \leq \mu_1 F_{z1}$$

$$F_{x2} = (1 - K_f) F_x \leq \mu_2 F_{z2}$$

דיאגרמת גוף חופשילאחר פיתוחים

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2}) = m(a + g \sin(\theta)) + F_D$$

$$F_{z1} = mg \cos(\theta) - F_{z2}$$

$$F_{z2} = \frac{C_1 mg \cos(\theta) - h(F_{x1} + F_{x2})}{(C_1 - C_2)}$$

$$a_{max\_Front} = \left( \frac{\mu_1 C_2 \cos(\theta)}{K_f (C_1 + C_2) + \mu h} - \sin(\theta) - \frac{F_{Drag}}{mg} \right) \cdot g$$

$$a_{max\_Rear} = \left( \frac{\mu_2 C_1 \cos(\theta)}{(1 - K_f)(C_1 + C_2) - \mu_2 h} - \sin(\theta) - \frac{F_{Drag}}{mg} \right) \cdot g$$

אם  $a_{Front} < a_{Rear}$  אז הגלגלים הקדמיים מחליקים, ותאוצת הרכב  $a = a_{Front}$

אם  $a_{Front} > a_{Rear}$  אז הגלגלים האחוריים מחליקים, ותאוצת הרכב  $a = a_{Rear}$

$$K = \frac{m}{l^2} \cdot \frac{bC_R - aC_F}{C_R \cdot C_F}$$

$K > 0 \Rightarrow$  Under Steer

$K = 0 \Rightarrow$  Neutral Steer

$K < 0 \Rightarrow$  Over Steer

$$v_t = \sqrt{\frac{l \cdot b \cdot C_R}{ma}}$$

### פקטור יציבות

פקטור יציבות  $K \left[ \frac{s^2}{m^2} \right]$

מסת הרכב  $m [kg]$

מרחק סרנים  $l [m]$

מרחק ממרכז מסה למרכז גלגל קדמי  $a [m]$

מרחק ממרכז מסה למרכז גלגל אחורי  $b [m]$

קשיחות של הצמיג האחורי  $C_R \left[ \frac{rad}{N} \right]$

קשיחות של הצמיג הקדמי  $C_F \left[ \frac{rad}{N} \right]$

### מהירות טנגנטית

מהירות טנגנטית  $v_t \left[ \frac{m}{s} \right]$

מרחק סרנים  $l [m]$

מקדם קשיחות צמיג אחורי  $C_R \left[ \frac{N}{rad} \right]$

מסת הרכב  $m [kg]$

תאוצה  $a_t \left[ \frac{m}{s^2} \right]$