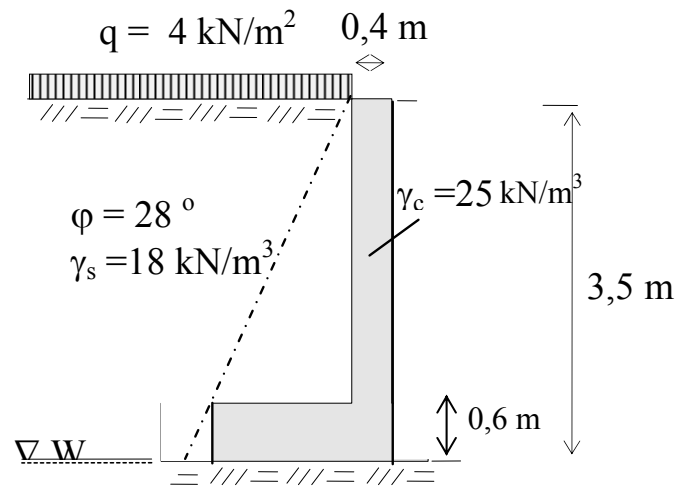
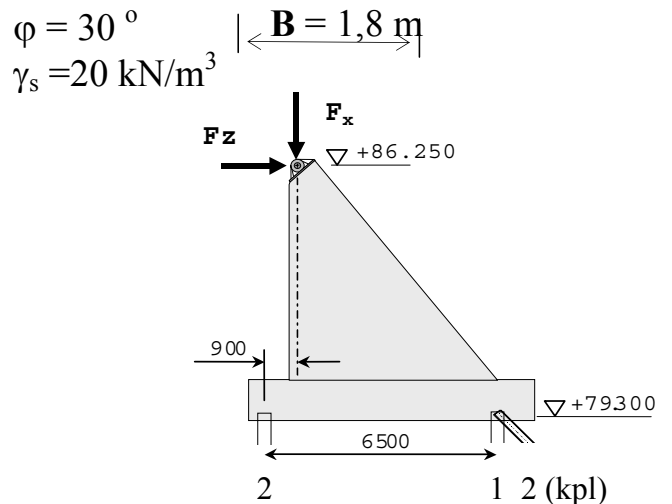


1. Selosta laatta-, palkki-, kehä-, kaari/holvi-, ristikko- ja köysisiltojen
 - a) toimintaperiaate ja ulkonäkö tarvittaessa piirustuksia käyttäen,
 - b) tavanomaiset rakennusmateriaalit,
 - c) tavanomaiset (likimääräiset) jännemitta-alueet ja käytön edut ko. jännemitta-alueella. (5)
2. a) Luettele tavanomaiset sillan suunnittelussa huomioon otettavat kuormat jaoteltuna pysyviin ja muuttuviin kuormiin.
 - b) Selosta Suomessa käytettävät siltojen kuormien yhdistelyperiaatteet murtorajatilamitoituksessa, käyttörajatilamitoituksessa (pitkävaikutteiset/lyhytaikaiset kuormat) ja onnettomuuskuormien tapauksessa.
 - c) Selosta käsitteet dynaaminen kuorma ja väsyttävä kuorma. (5)

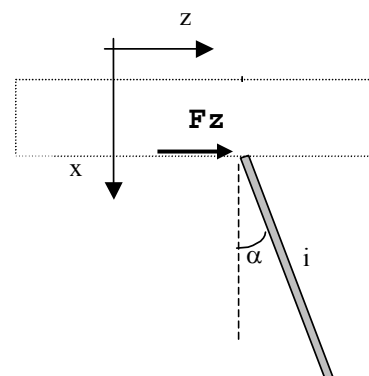
3. Tarkista täyttääkö oheisen pitkän ($L=\infty$) tukimuurin anturalaatta Eurocode 1997-1 vaatimuksen maapohjan kantokyvyn kokonaismurtovarmuudesta $q_d < R/(A^* \gamma_r)$. Maanpaine lasketaan tässä Coulombin teorian mukaan katkoviivan osoittamassa leikkauksessa. Käytä osavarmuuskertoimina: $\gamma_g = 1,15$ (rakenteen omapaino), $\gamma_q = 1,5$ (hyötykuorma q), $\gamma_r = 1,55$ (maapohjan kantavuus). Muut osavarmuuskertoimet = 1,0 (maan omapaino, maanpainet ja maan kitka).(5)



4. Kaarihällin erään kaaren perustus on kuvan mukainen (mitat mm). Pystysuorat paalut ovat teräsbetonisia tukipaaluja ($A = 300 \times 300 \text{ mm}^2$, $E = 30000 \text{ N/mm}^2$). Vinot paalut (2 kpl) ovat teräksisiä tukipaaluja ($A = 9726 \text{ mm}^2$, $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ ja pystykaltevuus 45°). Laske paaluvoimat sekä pysty- ja vaakasiirtymä voimakomponenttien vaikutuspisteessä, kun $F_x = 2,0 \text{ MN}$ ja $F_z = 1,5 \text{ MN}$. Peruslaatta ja seinämä otaksutaan jäykiksi. Rakenteen omaa painoa ei tarvitse ottaa huomioon (5)



5. Johda yksittäisen paalun osuus $k_i p_{xi} p_{zi}$ tasopaalutuksen jäykkyysmatriisin alkioista $\Sigma k p_x p_z$. (5).



TENTTITEHTÄVIEN RATKAISUT

1. ja 2. tehtävä

Ks. luennot ja kirjallisuus.

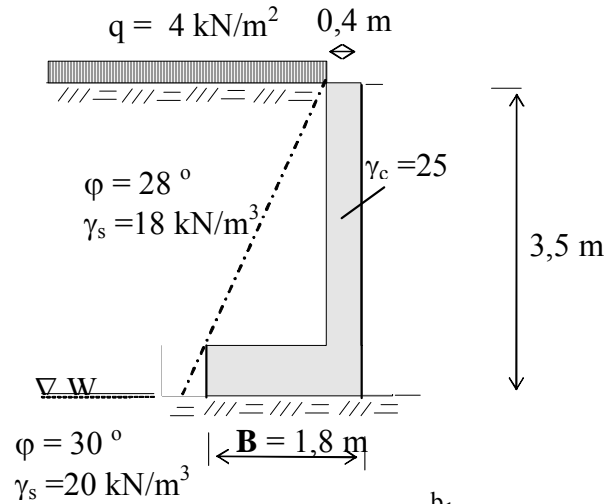
Mallivastaukset nähtävissä assistentin vastaanotolla.

Rak-11.2107 SILLAT JA PERUSTUKSET (4 op) TENTTI 10.12.2007. RATKAISUT

3. Tehtävä:

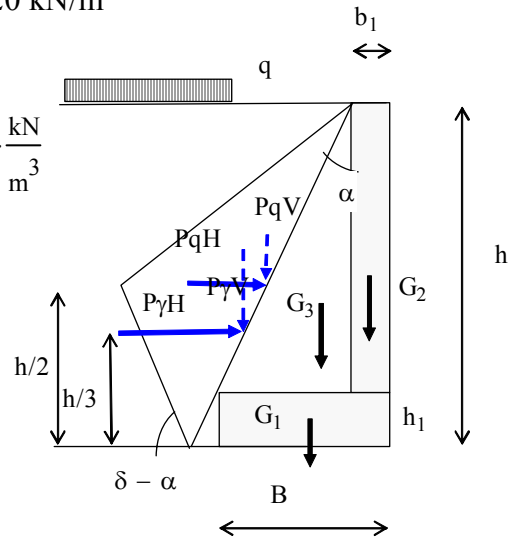
Tarkista täyttääkö oheisen pitkän ($L=\infty$) tukimuurin anturalaatta Eurocode 1997-1 vaatimuksen maapohjan kantokyvyn kokonaismurtovarmuudesta $q_d < R/(A \cdot \gamma_r)$.

Maanpaine lasketaan tässä Coulombin teorian mukaan katkoviivan osoittamassa leikkauksessa. Käytä osavarmuuskertoimina: $\gamma_g = 1,15$ (rakenteen omapaino), $\gamma_q = 1,5$ (hyötykuorma q), $\gamma_r = 1,55$ (maapohjan kantavuus). Muut osavarmuuskertoimet = 1,0 (maan omapaino, maanpainet ja maan kitka).(5)



Alkuarvot:

$$\begin{aligned} \gamma_{s1} &:= 18 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \gamma_{s2} &:= 20 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \gamma_c &:= 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \gamma_w &:= 10 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\ \gamma_g &:= 1.15 & \gamma_q &:= 1.5 & \gamma_r &:= 1.55 \\ \varphi &:= 28 \cdot \text{deg} & \delta &:= \varphi & B &:= 1.8 \cdot \text{m} \\ h &:= 3.5 \cdot \text{m} & h_1 &:= 0.6 \cdot \text{m} & b_1 &:= 0.4 \cdot \text{m} \\ q &:= 4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \alpha &:= -\text{atan}\left(\frac{B - b_1}{h - h_1}\right) & \alpha &:= -25.769 \text{ deg} \end{aligned}$$



Ominaiskuormat:

Ompainon komponentit:

$$\begin{aligned} G_1 &:= h_1 \cdot B \cdot \gamma_c & e_1 &:= 0 & G_1 &= 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_1 &= 0 & \text{(laatta)} \\ G_2 &:= b_1 \cdot (h - h_1) \cdot \gamma_c & e_2 &:= \frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} & G_2 &= 29 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_2 &= 0.7 \text{ m} & \text{(muuri)} \\ G_3 &:= \frac{1}{2} \cdot (B - b_1) \cdot (h - h_1) \cdot \gamma_{s1} & e_3 &:= \frac{2}{3} \cdot (B - b_1) - \frac{B}{2} & G_3 &= 36.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_3 &= 0.033 \text{ m} & \text{(maa)} \end{aligned}$$

Aktiivisen maanpaineen komponentit:

$$\begin{aligned} K_{ah} &:= \frac{\cos(\varphi + \alpha)^2}{\cos(\alpha)^2 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi)}{\cos(\alpha - \delta) \cdot \cos(\alpha)}}\right)^2} & K_{ah} &= 0.35775 \\ P_{\gamma H} &:= 0.5 \cdot K_{ah} \cdot \gamma_{s1} \cdot h^2 & e_4 &:= \frac{h}{3} & P_{\gamma H} &= 39.442 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_4 &= 1.167 \text{ m} \\ P_{qH} &:= K_{ah} \cdot q \cdot h & e_5 &:= \frac{h}{2} & P_{qH} &= 5.008 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_5 &= 1.75 \text{ m} \\ P_{\gamma V} &:= \tan(\delta - \alpha) \cdot P_{\gamma H} & e_6 &:= \frac{2}{3} \tan(-\alpha) \cdot h - \left(\frac{B}{2} - b_1\right) & P_{\gamma V} &= 53.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_6 &= 0.626 \text{ m} \\ P_{qV} &:= \tan(\delta - \alpha) \cdot P_{qH} & e_7 &:= \frac{1}{2} \tan(-\alpha) \cdot h - \left(\frac{B}{2} - b_1\right) & P_{qV} &= 6.836 \frac{\text{kN}}{\text{m}} & e_7 &= 0.345 \text{ m} \end{aligned}$$

Suunnittelukuorman aiheuttama pohjapaine:

Käytetään suunnittelukuormien resultanttien laskemisessa annettuja osavarnuuskertoimia

$$H_d := 1P_{\gamma H} + \gamma_q \cdot P_{qH} \quad H_d = 46.954 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$
$$V_d := \gamma_g \cdot G_1 + \gamma_g \cdot G_2 + 1 \cdot G_3 + 1 \cdot P_{\gamma V} + \gamma_q \cdot P_{qV} \quad V_d = 165.023 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{q ei mukana})$$
$$M_d := \gamma_g \cdot G_1 \cdot e_1 + \gamma_g \cdot G_2 \cdot e_2 + 1G_3 \cdot e_3 + 1P_{\gamma H} \cdot e_4 + \gamma_q \cdot P_{qH} \cdot e_5 - 1P_{\gamma V} \cdot e_6 - \gamma_q \cdot P_{qV} \cdot e_7 \quad M_d = 46.469 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad (\text{M ant. keskipisteen suht.})$$

Epäkeskeisyys ja tehokas pohjapinta-ala:

$$e_N := \frac{M_d}{V_d} \quad e_N = 0.282 \text{ m} \quad B_1 := 2 \cdot \left(\frac{B}{2} - e_N \right) \quad B_1 = 1.237 \text{ m}$$

Suunnittelukuorman aiheuttama pohjapaine tehokkaalle leveydelle jaettuna:

$$q_d := \frac{V_d}{B_1} \quad q_d = 133.426 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Maapohjan kantavuus Eurokoodi 1997-1 mukaan, ks. kaavakokoelma:

$$\frac{R}{A_1} = q_1 \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B_1 \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad (1) \quad (\text{koheesio } c' = 0)$$

$$N_q := \tan\left(45 \cdot \text{deg} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \quad N_q = 14.72$$

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) \quad N_\gamma = 14.59$$

$$b_q := 1 \quad b_\gamma := 1 \quad (\text{Pohjapinnan kaltevuuskulma } \alpha = 0)$$

$$\gamma_1 := \gamma_{s1} \quad \gamma_2 := \gamma_{s2} - \gamma_w \quad (\text{Tilavuuspainot perustamistason ylä- ja alapuolella})$$

$$s_q := 1 \quad s_\gamma := 1 \quad (\text{Äärettömän pitkä anturalaatta } L = \infty)$$

$$i_q := \left(1 - \frac{H_d}{V_d}\right)^2 \quad i_\gamma := \left(1 - \frac{H_d}{V_d}\right)^3 \quad i_q = 0.512 \quad i_\gamma = 0.366$$

Perustamissyvyys $D = 0,6 \text{ m}$ $D := h_1$

Huom! Tehtävässä ei oltu D:tä merkitty, joten kaikki D:n arvot hyväksytyt!

$$q_1 := D \cdot \gamma_1$$

$$(1) \implies q_{md} := q_1 \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B_1 \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad q_{md} = 114.423 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Merk.: } q_{md} = R/A')$$

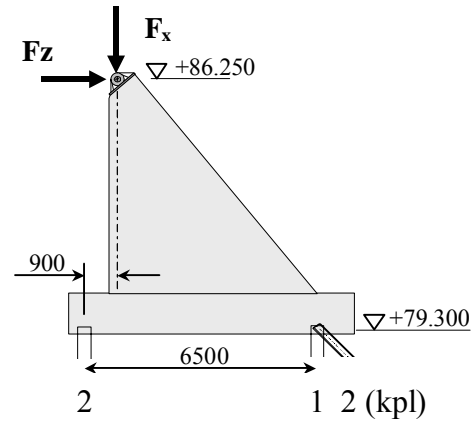
Kantavuuden tarkistus:

$$q_d = 133.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > \frac{q_{md}}{\gamma_r} = 73.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ei kelpaa! Peruslaatan leveyttä B kasvatettava!

4. Tehtävä:

Kaarihallin erään kaaren perustus on kuvan mukainen (mitat mm). Pystysuorat paalut ovat teräsbetonisia tukipaaluja ($A = 300 \times 300 \text{ mm}^2$, $E = 30000 \text{ N/mm}^2$). Vinot paalut (2 kpl) ovat teräksisiä tukipaaluja ($A = 9726 \text{ mm}^2$, $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ ja pystykaltevuus 45°). Laske paaluvoimat sekä pysty- ja vaakasiirtymä voimakomponenttien vaikutuspisteessä, kun $F_x = 2,0 \text{ MN}$ ja $F_z = 1,5 \text{ MN}$. Peruslaatta ja seinämä otaksutaan jäykiksi. Rakenteen omaa painoa ei tarvitse ottaa huomioon (5)



Alkuarvot:

$$\underline{\underline{kN}} := 1000 \cdot \text{N} \quad \text{MN} := 1000 \cdot \text{kN} \quad \text{MNm} := \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$\underline{\underline{\alpha}} := 45 \cdot \text{deg}$$

$$F_x := 2.0 \cdot \text{MN} \quad \underline{\underline{h}} := (86250 - 79300) \cdot \text{mm}$$

$$F_z := 1.5 \cdot \text{MN} \quad h = 6.95 \text{ m}$$

$$L_1 := 6.5 \cdot \text{m} \quad \underline{\underline{e_1}} := 0.9 \cdot \text{m}$$

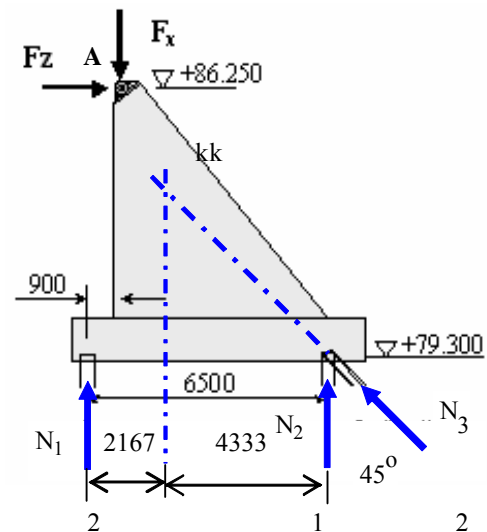
$$l_1 := 10 \text{ m} \quad l_3 := \sqrt{2} \cdot l_1 \quad (\text{pituus valittavissa})$$

$$EA_c := 30000 \cdot 0.3^2 \cdot \text{MN}$$

$$EA_s := 9726 \cdot 200000 \cdot 10^{-6} \text{ MN}$$

$$k_1 := \frac{EA_c}{l_1} \quad k_3 := \frac{EA_s}{l_3}$$

$$k_1 = 270 \frac{\text{MN}}{\text{m}} \quad k_3 = 137.54641 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$



Kiertokeskiön paikka ja momentti sen suhteen:

$$h_{kk} := \frac{2}{3} \cdot \frac{L_1}{\tan(\alpha)} \quad h_{kk} = 4.33333 \text{ m} \quad (\text{kiertokeskiön korkeustaso})$$

$$M_{kk} := F_z \cdot (h - h_{kk}) - F_x \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot L_1 - e_1 \right) \quad M_{kk} = 1.39167 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Paalutus on staattisesti määrätty \Rightarrow paaluvoimat voidaan ratkaista suoraan tasapainoyhtälöistä:

$$\Sigma F_x = 0 \quad 2 \cdot N_1 + N_2 + 2 \cos(\alpha) \cdot N_3 + F_x = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_z = 0 \quad 2 \cdot \sin(\alpha) \cdot N_3 + F_z = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma M = 0 \quad 2 \cdot N_1 \cdot L_1 + F_x \cdot (L_1 - e_1) - F_z \cdot h = 0 \quad (3)$$

Paaluvoimat:

$$(3) \Rightarrow N_1 := \frac{-F_x \cdot (L_1 - e_1) + F_z \cdot h}{2 \cdot L_1} \quad N_1 = -0.06 \text{ MN} \quad \text{puristusta}$$

$$(2) \Rightarrow N_3 := \frac{-F_z}{2 \cdot \sin(\alpha)} \quad N_3 = -1.061 \text{ MN} \quad "$$

$$(1) \Rightarrow N_2 := -2 \cdot N_1 - 2 \cdot \cos(\alpha) \cdot N_3 - F_x \quad N_2 = -0.381 \text{ MN} \quad "$$

Siirtymäkomponentit kiertokeskuksessa:

$$k_{11} := 3 \cdot 1^2 \cdot k_1 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot k_3$$

$$k_{11} = 947.546 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

Paalutuksen jäykkymatriisin alkio

$$k_{12} := 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot k_3$$

$$k_{12} = 137.54641 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$k_{22} := 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot k_3$$

$$k_{22} = 137.54641 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$\underline{\underline{K}} := \begin{pmatrix} 947.546 & 137.54641 \\ 137.54641 & 137.54641 \end{pmatrix}$$

$$\underline{f} := \begin{pmatrix} 2 \\ 1.5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix} := \underline{K}^{-1} \cdot \underline{f}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.00062 \\ 0.01029 \end{pmatrix}$$

$$k_{33} := 2 \cdot k_1 \cdot 2.167^2 \cdot \text{m}^2 + k_1 \cdot 4.333^2 \cdot \text{m}^2 \quad k_{33} = 7605.00009 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

$$\phi := \frac{M_{kk}}{k_{33}}$$

$$\phi = 0.00018$$

Pisteen A siirtymäkomponentit:

$$u_A := [u - \phi \cdot (2.167 - 0.9)] \cdot \text{m}$$

$$u_A = 0.00039 \text{ m}$$

$$w_A := [u - \phi \cdot (6.95 - 4.333)] \cdot \text{m}$$

$$w_A = 0.00014 \text{ m}$$

Tarkistetaan tulos vielä laskemalla paaluvoimat saaduista siirtymistä:

$$\underline{\underline{N}}_1 := k_1 \cdot (u - 2.1667 \cdot \phi) \cdot \text{m}$$

$$N_1 = 0.05961 \text{ MN}$$

$$\underline{\underline{N}}_2 := k_1 \cdot (u + 4.333 \cdot \phi) \cdot \text{m}$$

$$N_2 = 0.38075 \text{ MN}$$

$$\underline{\underline{N}}_3 := k_3 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot w \right) \cdot \text{m}$$

$$N_3 = 1.06066 \text{ MN}$$

Tulos OK

5. Tehtävä:

Johda yksittäisen paalun osuus $k_{px};p_z$ tasopaalutuksen jäykkymatriisin alkioista $\Sigma k_{px};p_z$. (5).

Johdetaan yksikkösiirtymän avulla antamalla paalun yläpäälle yksikkösiirtymä $u = 1$ ja laskemalla siitä syntyvä voiman vaakakomponentti F_z . (Oheinen kuva).

Paalun akselin kokoonpuristuman suuruus yläpään pystysiirtymästä u on:

$$\Delta = u \cdot \cos(\alpha) = \cos(\alpha)$$

ja siitä syntyvä paalun normaalivoima paalun akselin suunnassa:

$$N = k \cdot \Delta.$$

Projisioimalla normaalivoima z -akselin suunnalle saadaan

$$F_z = N \cdot \sin(\alpha)$$

mikä on kysytty voiman vaakakomponentti ja samalla jäykkymatriisin alkio

$$F_z = k \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha) = k_{px};p_z$$

ks. johto luennoista, kaavat (62)...(66).

