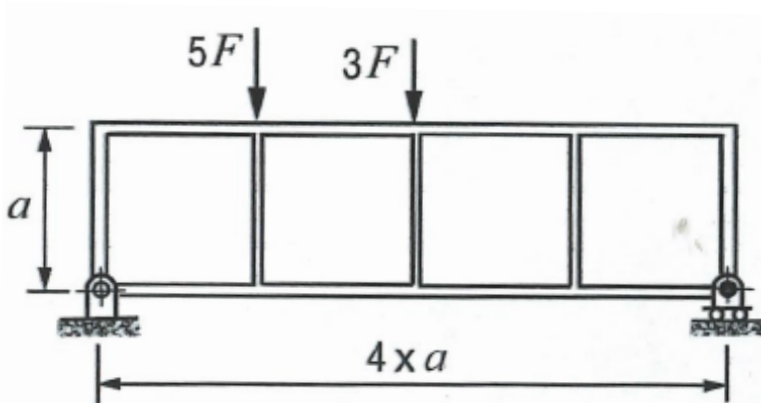
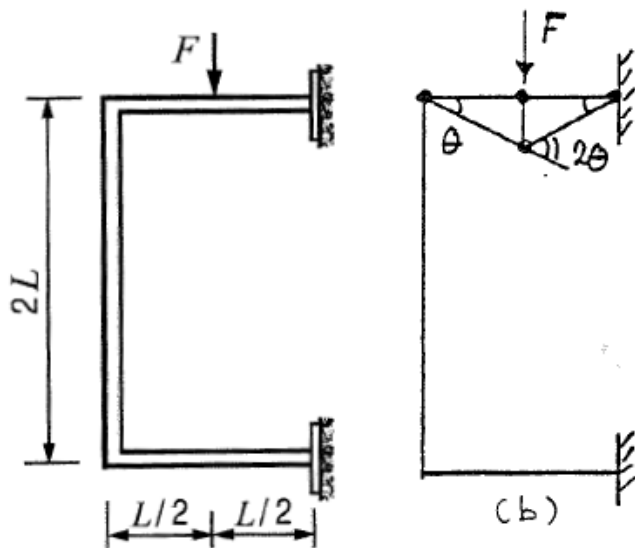


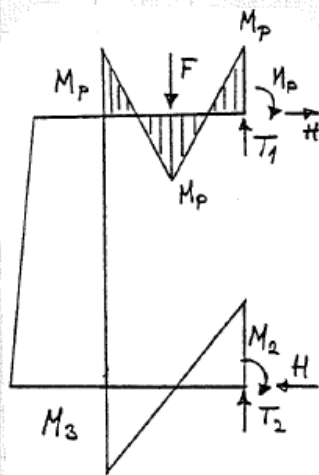
1. Kuvan tasokehän kaikkien palkkien poikkileikkauksen plastinen momentti on M_p .
 - a) Määritä *kinemaattisella menetelmällä* käyttämällä kuvan (b) sortumismekanismia rajakuorman ylärajaestimaatti.
 - b) Määritä skaalaamalla a) kohdan taivutusmomenttipinta rajakuorman alarajaestimaattiksi.
 - c) Yritä keksiä parempi sortumismekanismi kuin a) kohdassa ja laske mekanisiasi vastaava rajakuormitus. Onko se tarkka?



2. Määritä kuvan tasokehän rajakuormituksen estimaatti *kinemaattisella menetelmällä*. Tutki ainakin neljä kinemaattisesti käypää mekanismia. Vaakapalkkien plastinen momentti on $1,5M_p$, reunimmaisten pystypalkkien $2M_p$ ja keskimmäisten pystypalkkien M_p .



1. Kuvan tasokehän kaikkien palkkien poikkileikkauksen plastinen momentti on M_p .
 - a) Määritä kinemaattisella menetelmällä käyttämällä kuvan (b) sortumismekanismissa rajakuorman ylärajaestimaatti.
 - b) Määritä skaalaamalla a) kohdan taivutusmomenttipinta rajakuorman alarajaestimaattiksi.
 - c) Yritä keksiä parempi sortumismekanismi kuin a) kohdassa ja laske mekaniismiasi vastaava rajakuormitus. Onko se tarkka?



a) Työyhtälö

$$\tilde{F}_L \frac{L}{2} \theta = M_p (\theta + 2\theta + \theta)$$

$$\Rightarrow \tilde{F}_L^+ = 8 \frac{M_p}{L}$$

$$b) T_1 \cdot \frac{L}{2} - M_p = M_p \Rightarrow T_1 = \frac{4M_p}{L} = \frac{F}{2}$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{F}{2}$$

$$\Rightarrow M_3 = T_2 L - M_2 = \frac{FL}{2} - M_2 = 4M_p - M_2$$

Pienin myötöehdön rikkomus, jos

$$M_3 = M_2 = 2M_p \Rightarrow \mu = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \tilde{F}_L^- = \frac{1}{2} \tilde{F}_L^+ = \frac{1}{2} \cdot 8 \frac{M_p}{L} = 4 \frac{M_p}{L}$$

$$4 \frac{M_p}{L} \leq F_L \leq 8 \frac{M_p}{L}$$

c) Uusi mekanismi:

$$+\tilde{F}_L^+ \cdot \frac{L}{2} \theta = M_p (\theta + \theta + \frac{\theta}{2} + \frac{\theta}{2})$$

$$\Rightarrow \tilde{F}_L^+ = 6 \frac{M_p}{L}$$

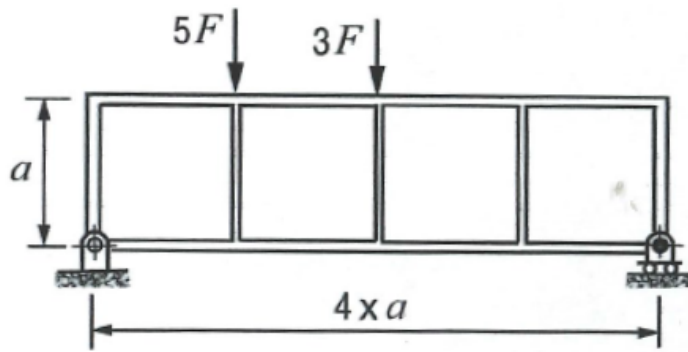
$$T_1 \cdot \frac{L}{2} - M_p = M_p \Rightarrow T_1 = \frac{4M_p}{L} = \frac{2}{3} F$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{1}{3} F$$

$$\Rightarrow M_2 = \frac{2}{3} FL - F \cdot \frac{L}{2} - M_p = \frac{FL}{6} - M_p = 0$$

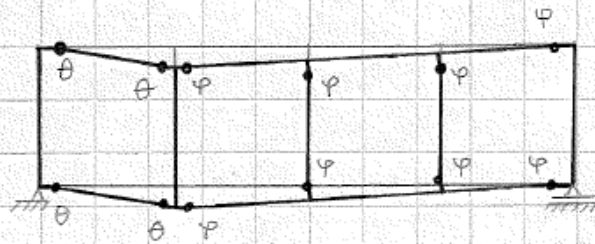
$$M_3 = \frac{1}{3} F \cdot L - M_p = 2M_p - M_p = M_p$$

$$\Rightarrow F_L = 6 \frac{M_p}{L} \quad (\text{tarkka})$$



2.

Määritä kuvan tasokehän rajakuormituksen estimaatti kinemaattisella menetelmällä. Tutki ainakin neljä kinemaattisesti käypää mekanismia. Vaakapalkkien plastinen momentti on $1,5M_p$, reunimmaisten pystypalkkien $2M_p$ ja keskimmäisten pystypalkkien M_p .



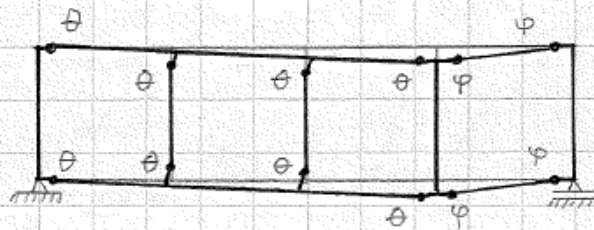
$$\varphi = \frac{1}{3}\theta$$

$$\begin{aligned}\delta W_u &= 5Fa\theta + 3F \cdot 2a\varphi \\ &= (5 + 6 \cdot \frac{1}{3}) Fa\theta \\ &= 7 Fa\theta\end{aligned}$$

$$|\delta W_s| = 2 \cdot 1,5M_p \cdot (\theta + \theta + \varphi + \varphi) + M_p \cdot 4\varphi = 3M_p \cdot 2 \cdot \frac{4}{3}\theta + \frac{4}{3}M_p\theta = \frac{28}{3}M_p\theta$$

$$|\delta W_s| = \delta W_u \Rightarrow 7Fa\theta = \frac{28}{3}M_p\theta, \forall \theta$$

$$\Rightarrow \tilde{F}_L^+ = \frac{28}{21} \frac{M_p}{a} = 1,333 M_p/a$$

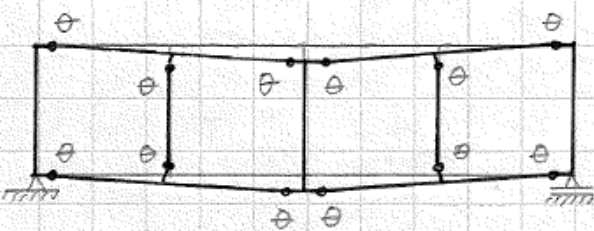


$$\varphi = 3\theta$$

$$\begin{aligned}\delta W_u &= 5F \cdot a\theta + 3F \cdot 2a\theta \\ &= 11 Fa\theta\end{aligned}$$

$$|\delta W_s| = 2 \cdot 1,5M_p(\varphi + \varphi + \theta + \theta) + M_p \cdot 4\theta = (3 \cdot 8 + 4)M_p\theta = 28M_p\theta$$

$$\Rightarrow 11Fa\theta = 28M_p\theta, \forall \theta \Rightarrow \tilde{F}_L^+ = \frac{28}{11} \frac{M_p}{a} \approx 2,545 M_p/a$$



$$\begin{aligned}\delta W_u &= 5F \cdot a\theta + 3F \cdot 2a\theta \\ &= 11 Fa\theta\end{aligned}$$

$$|\delta W_s| = 1,5M_p \cdot 2(\theta + \theta + \theta + \theta) + M_p \cdot 4\theta = 16M_p\theta$$

$$\Rightarrow 11Fa\theta = 16M_p\theta, \forall \theta \Rightarrow \tilde{F}_L^+ = \frac{16}{11} \frac{M_p}{a} \approx 1,455 M_p/a$$

(jatkuu)

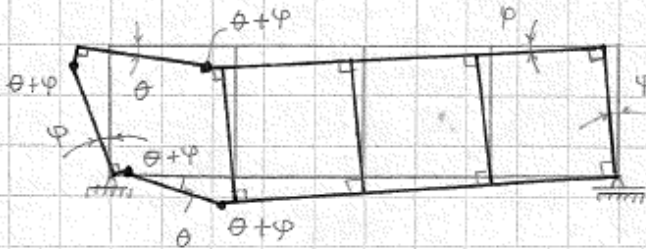
(jatkoa)

2/2

Tehtävä 36

$$\varphi = \theta/3$$

$$\begin{aligned} \delta W_u &= 5Fa\theta + 3F \cdot 2a\varphi \\ &= 7Fa\theta \end{aligned}$$

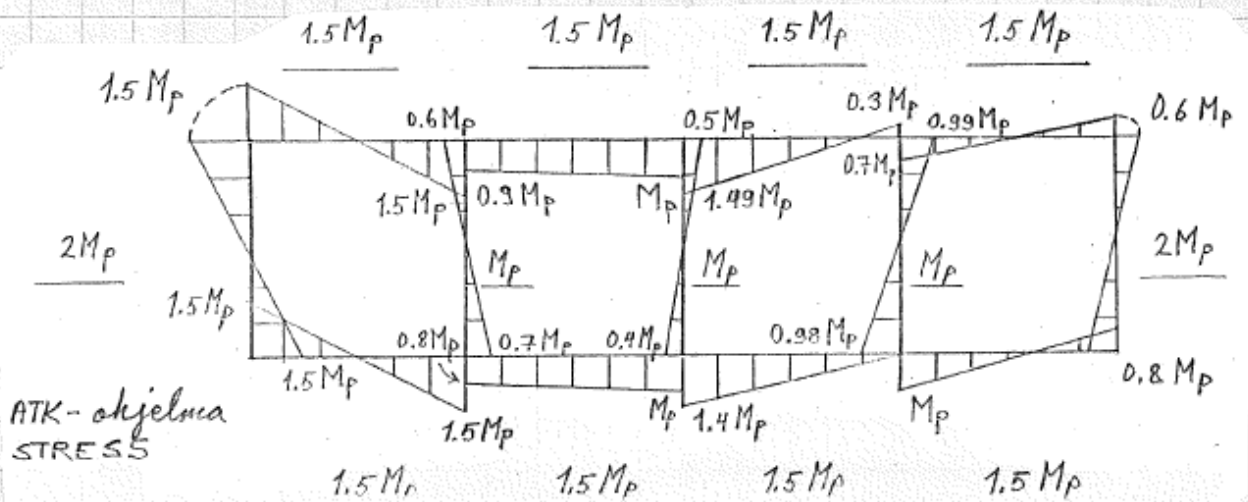


$$\begin{aligned} |\delta W_s| &= 2 \cdot 1.5 M_p (\theta + \varphi) + 1.5 M_p (\theta + \varphi) + 2 M_p (\theta + \varphi) \\ &= \left(3 \cdot \frac{4}{3} + \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{3} + 2 \cdot \frac{4}{3} \right) M_p \theta = \left(4 + 2 + \frac{8}{3} \right) M_p \theta = \frac{24}{3} M_p \theta = 8 M_p \theta \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 7Fa\theta = 8M_p\theta, \forall \theta$$

$$\Rightarrow \bar{F}_L^+ = \frac{8}{7} \frac{M_p}{a} \approx 1,143 M_p/a \quad (\text{pienin})$$

Taivutusmomenttikuvio:



J. Koski 1975

Mekanismin 4 vastaava taivutusmomenttikuvio ei riko myötö-ehtoa, joten tulos on tarkka.

$$F_L = \frac{8}{7} \frac{M_p}{a} \approx 1,143 M_p/a$$