ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ

Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Κτίριο Θεοχάρη
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 157 73 Ζωγράφου

Δρ Σταύρος Κ. Κουρκουλής, Καθηγητής Πειραματικής Μηχανικής

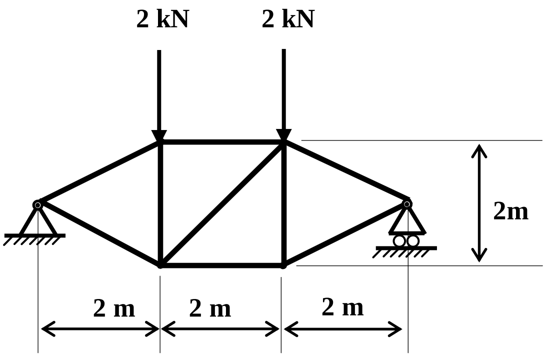
Τηλέφωνα: +210 772 1313, +210 772 1263 (γραφείο)
+210 772 4025, +210 772 4235, +210 772 1317, +210 7721310 (εργαστήρια)
Τηλεομοιότυπο (Fax): +210 7721302
Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail): stakkour@central.ntua.gr

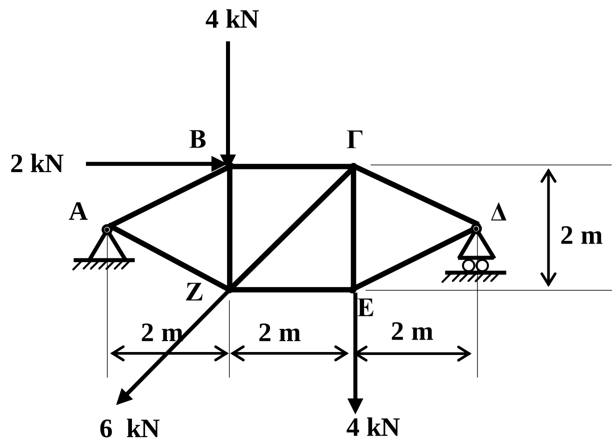
ΜΗΧΑΝΙΚΗ Ι (ΣΤΑΤΙΚΗ)

19η σειρά ασκήσεων: Δικτυώματα (απλές εφαρμογές με τη μέθοδο των κόμβων)

Άσκηση 1

Να επιλυθούν τα δικτυώματα του Σχ.1.

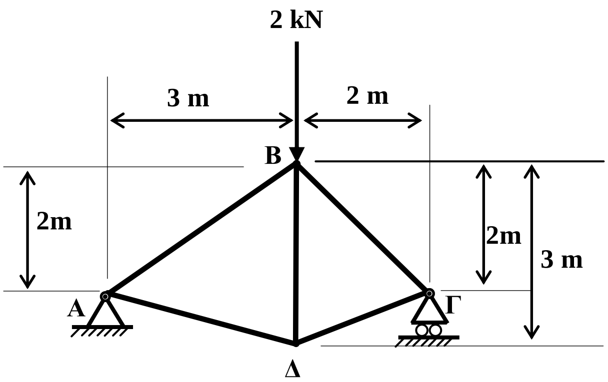


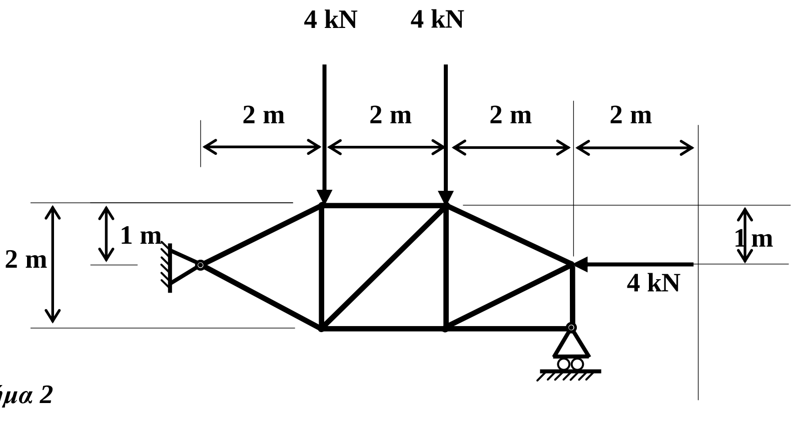


Σχήμα 1

Άσκηση 2

Να επιλυθούν τα δικτυώματα του Σχ.2.

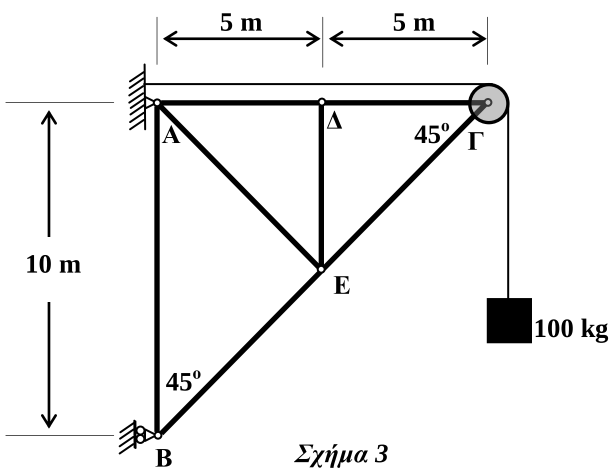




Σχήμα 2

Άσκηση 3

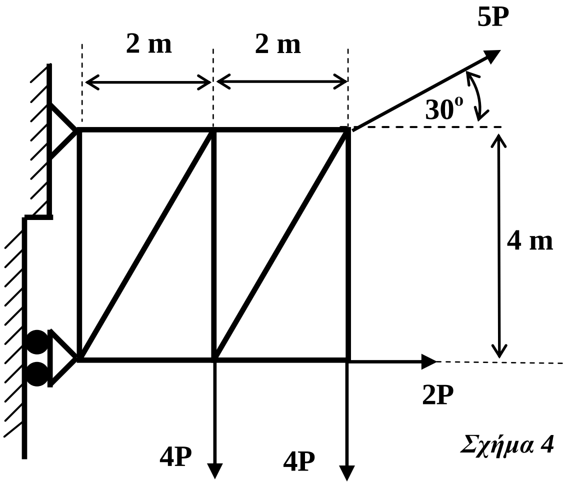
Το δικτύωμα του Σχ.3 στηρίζεται με άρθρωση στο Α και κύλιση στο Β. Στην τροχαλία κέντρου Γ αναρτάται μάζα 100 kgr. Να επιλυθεί το δικτύωμα (g=10 m/s^2).



Σχήμα 3

Άσκηση 4

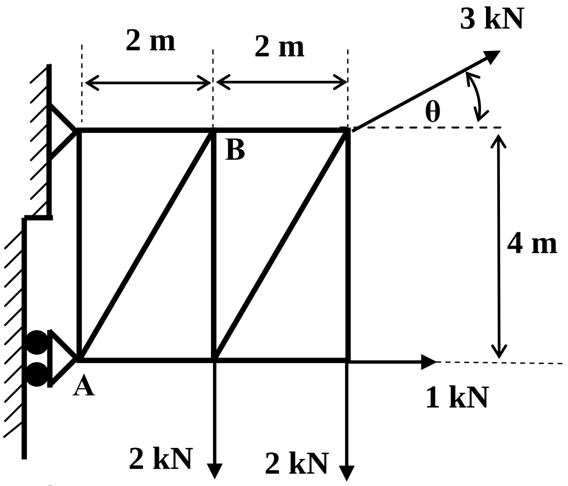
Αν οι ράβδοι του δικτυώματος του Σχ.4 έχουν μέγιστη φέρουσα ικανότητα σε εφελκυσμό ίση με 20 kN και σε θλίψη 30 kN να υπολογισθεί η μέγιστη επιτρεπτή τιμή της παραμέτρου P.



Σχήμα 4

Άσκηση 5

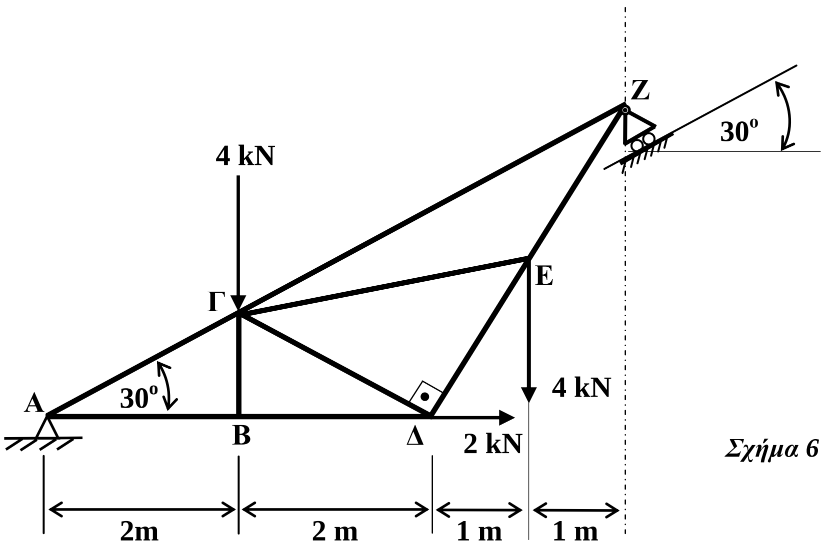
Να υπολογισθεί η τιμή της γωνίας θ ώστε η ράβδος AB να δέχεται την ελάχιστη δυνατή φόρτιση (0<θ<45°).



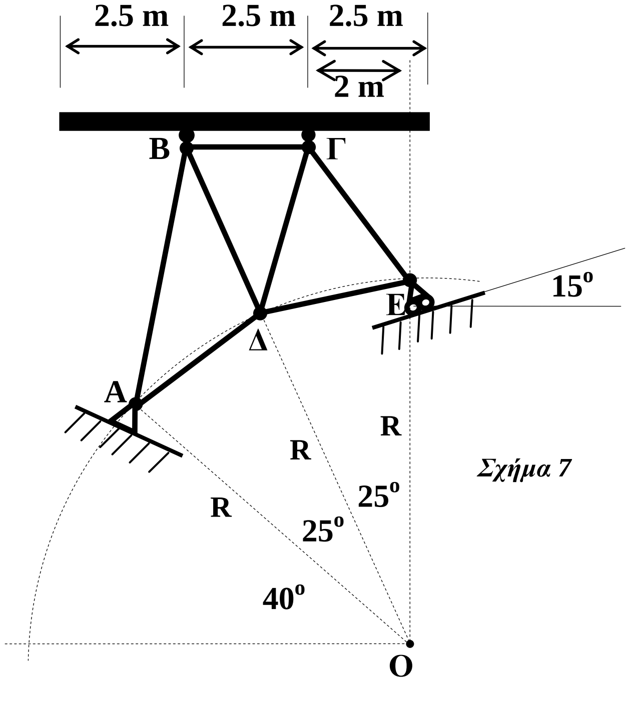
Σχήμα 5

Άσκηση 6

Να επιλυθεί το δικτύωμα του Σχ.6.



Σχήμα 6



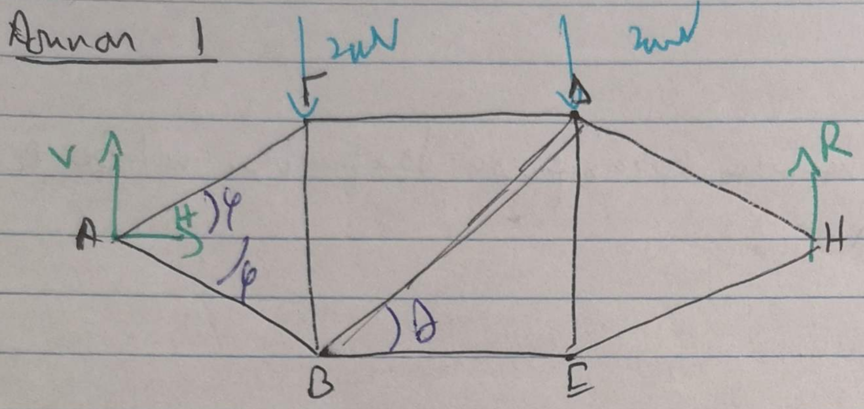
Σχήμα 7

Άσκηση 7

Το δικτύωμα του Σχ.7 στηρίζεται με άρθρωση στο A και κύλιση στο E. Οι κόμβοι A, Δ, E ευρίσκονται επί τόξου κύκλου (O,R=7.5m) και η ράβδος ΔB εκτείνεται κατά την αντίστοιχη ακτίνα OΔ. Στους κόμβους B και Γ ισορροπεί δοκός ιδίου βάρους q=250 kN/m. Το υλικό των ράβδων έχει φέρουσα ικανότητα 300 N/mm^2. Θεωρώντας ότι όλες οι ράβδοι είναι κυλινδρικές να ευρεθεί η ελάχιστη επιτρεπτή διάμετρός τους.

19η Σειρά Ασκήσεων: Δικτυώματα (Απλές Εφαρμογές με την Μέθοδο των κόμβων)

Άσκηση 1



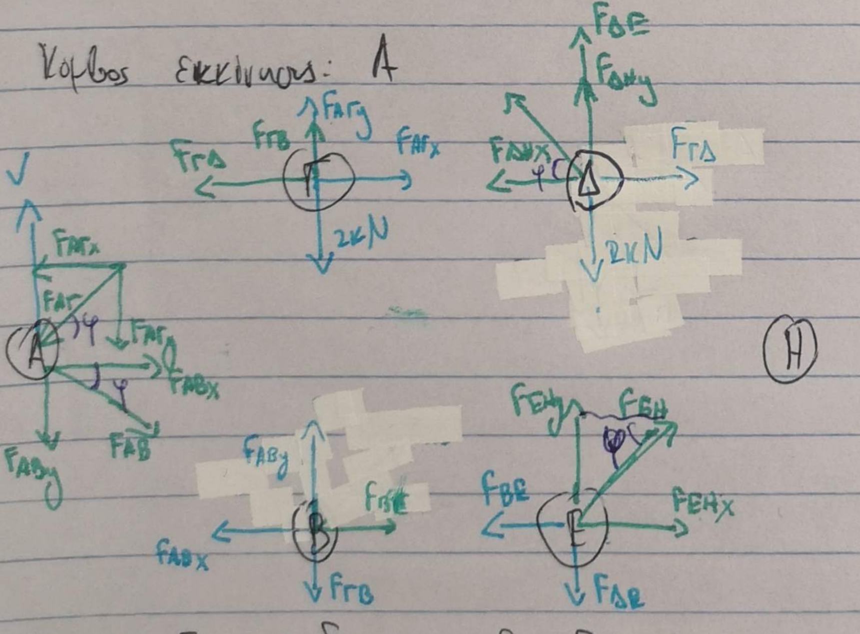
$\tan\varphi = \frac{1}{2} \Rightarrow \varphi = 26,57^\circ$

$\tan\theta = \frac{2}{2} = 1 \Rightarrow \theta = 45^\circ$

Έχω 9 ρ και 6 κ άρα $g = 2\cdot 6 - 3$ ισχύει. Επίσης έχω παράθεση τριγώνων άρα το δικτύωμα είναι στερεό σώμα και στηρίζεται από άρθρωση και κύλιση άρα είναι στατικό

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma F_x = 0 \Rightarrow V + R = 4 \\ \Sigma F_y = 0 \Rightarrow H = 0 \\ \Sigma M_A = 0 \Rightarrow 2\cdot 2 + 2\cdot 4 = 6R \Rightarrow 6R = 12 \Rightarrow R = 2kN \end{array}\right\} \Rightarrow V = 2kN$$

Κόμβος εκκίνησης: A



Ράβδος	Δύναμη [kN]	Είδος
ΑΓ	2,24	Θλιπτική
ΑΒ	2,24	Εφελκυστική
ΓΔ	2	Θλιπτική
ΓΒ	1	Θλιπτική
ΒΔ	0	Άτονη
ΒΕ	2	Εφελκυστική
ΔΕ	1	Θλιπτική
ΔΗ	2,24	Θλιπτική
ΕΗ		

$\Sigma F_{Ax} = 0 \Rightarrow F_{A\Gamma}\cos\varphi = F_{AB}\cos\varphi \Rightarrow F_{AB} = F_{A\Gamma}$

$\Sigma F_{Ay} = 0 \Rightarrow F_{A\Gamma}\sin\varphi + F_{AB}\sin\varphi = V \Rightarrow 2F_{A\Gamma} = \frac{V}{\sin\varphi} \Rightarrow F_{A\Gamma} = \frac{V}{2\sin\varphi} = 2,24kN$

Άρα $|F_{A\Gamma_x}| = 2kN = |F_{ABx}|$ και $|F_{A\Gamma_y}| = 1kN = |F_{ABy}|$

$\Sigma F_{\Gamma x}=0 \Rightarrow F_{\Gamma\Delta}=F_{A\Gamma_x}=2kN$

$\Sigma F_{\Gamma y}=0 \Rightarrow F_{\Gamma B}+F_{A\Gamma_y}=2 \Rightarrow F_{\Gamma B}=1kN$

Επειδή $F_{AB_y}=F_{\Gamma B}$ δεν ασκείται καμία κατακόρυφη δύναμη στον κόμβο Β
Άρα η ράβδος ΒΔ είναι άτονη.

$\Sigma F_{Bx}=0 \Rightarrow F_{AB_x}=F_{BE}=2kN$

$\Sigma F_{\Delta x}=0 \Rightarrow F_{\Delta H}\cdot\cos\varphi=F_{\Gamma\Delta} \Rightarrow F_{\Delta H}\cos\varphi=2 \Rightarrow F_{\Delta H}=2{,}24kN$

Άρα $|F_{\Delta Hx}|=2$ και $|F_{\Delta Hy}|=1$

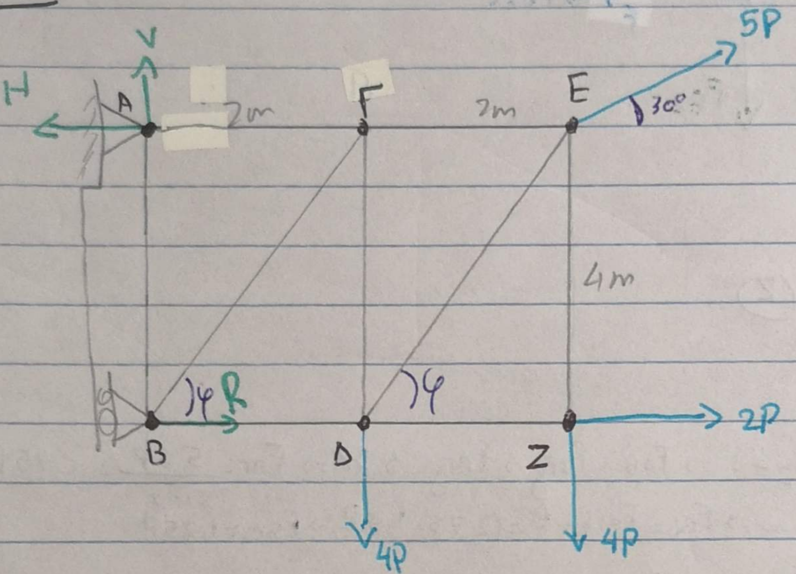
$\Sigma F_{\Delta y}=0 \Rightarrow F_{\Delta E}+F_{\Delta Hy}=2 \Rightarrow F_{\Delta E}=1kN$

$\Sigma F_{Ex}=0 \Rightarrow F_{EHx}=2kN \Rightarrow F_{EH}=\frac{2}{\cos\varphi}=2{,}24$

Άρα $|F_{EHx}|=2kN$ και $|F_{EHy}|=1kN$

$\Sigma F_{Ey}=0 \Rightarrow F_{EH}=F_{\Delta E}$ ισχύει.

Άσκηση 4



$\tan\varphi = \frac{4}{2} = 2 \Rightarrow \varphi = 63{,}43°$

Έχω 9 ράβδους και 6 κόμβους και αφαίρεση τριγώνων άρα το δικτύωμα είναι στερεό σώμα, και αφού στηρίζεται σωστά με άρθρωση και στήριξη είναι και στατικό.

$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow H - R = 2P + 5P \cdot \cos(30°) \Rightarrow H - R = 6{,}33P$ (1)

$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow V = 8P - 5P\sin(30°) = (8 - 2{,}5)P = 5{,}5P \Rightarrow V = 5{,}5P$ (2)

$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 4R + 2P \cdot 4 + 5P \cdot \sin(30°) \cdot 4 = 4P \cdot 2 + 4P \cdot 4 \Rightarrow 4R + \cancel{8P} + 10P = \cancel{8P} + 16P \Rightarrow 4R = 6P \Rightarrow$

$\Rightarrow R = \frac{3P}{2}$ (3)

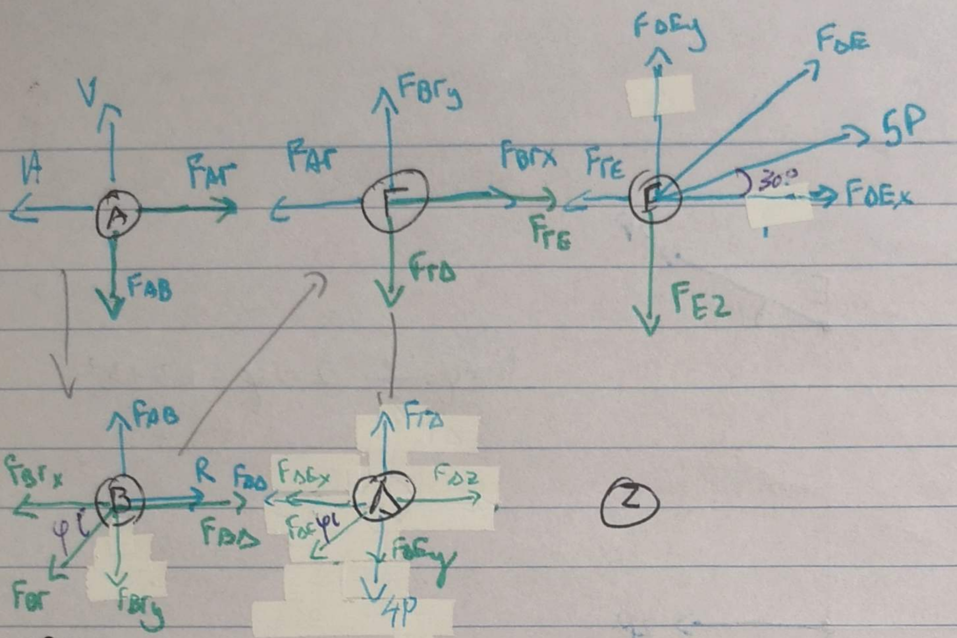
$(1) \overset{(3)}{\Rightarrow} H = 7{,}83P$ (4)

Ράβδος	Δύναμη [kN]	Είδος	Πρέπει λοιπόν:
AB	5,5P	Εφελκυστική	$-20 \le 5{,}5P \le 20$
AΓ	7,83P	Εφελκυστική	$-20 \le 7{,}83P \le 20$
BΓ	6,15P	Θλιπτική	$-20 \le 1{,}25P \le 20$
BΔ	1,25P	Εφελκυστική	$-20 \le 5{,}08P \le 20$
ΓE	5,08P	Εφελκυστική	$-20 \le 5{,}5P \le 20$
ΓΔ	5,5P	Εφελκυστική	$-20 \le 2P \le 20$
ΔE	1,68P	Θλιπτική	$-20 \le 4P \le 20$
ΔZ	2P	Εφελκυστική	$-30 \le 6{,}15P \le 30$
EZ	4P	Εφελκυστική	$-30 \le 1{,}68P \le 30$

$\Rightarrow -2{,}55 \le P \le 2{,}55$ kN

$\Rightarrow -3{,}25 \le P \le 3{,}25$

$\Rightarrow -2{,}55 \le P \le 2{,}55$



$\Sigma F_{Ax}=0 \Rightarrow F_{A\Gamma}=H=7{,}83P$ → $\Sigma F_{By}=0 \Rightarrow F_{AB}=F_{B\Gamma y} \Rightarrow F_{B\Gamma y}=5{,}5P \Rightarrow F_{B\Gamma}=\dfrac{5{,}5P}{\sin\varphi}=6{,}15P \Rightarrow F_{B\Gamma x}=2{,}75P$

$\Sigma F_{Ay}=0 \Rightarrow F_{AB}=V=5{,}5P$ $\quad \Sigma F_{Bx}=0 \Rightarrow F_{B\Delta}=F_{B\Gamma x}-R=(2{,}75-1{,}5)P \Rightarrow F_{B\Delta}=1{,}25P$

$\Sigma F_{\Gamma x}=0 \Rightarrow F_{\Gamma E}=F_{A\Gamma}-F_{B\Gamma x}=(7{,}83-2{,}75)P=5{,}08P$

$\Sigma F_{\Gamma y}=0 \Rightarrow F_{\Gamma\Delta}=F_{B\Gamma y}=5{,}5P$

$\Sigma F_{\Delta y}=0 \Rightarrow F_{\Delta Ey}=F_{\Gamma\Delta}-4P=1{,}5P \Rightarrow F_{\Delta E}=1{,}68P \Rightarrow F_{\Delta Ex}=F_{\Delta E}\cdot\cos\varphi=0{,}75P$

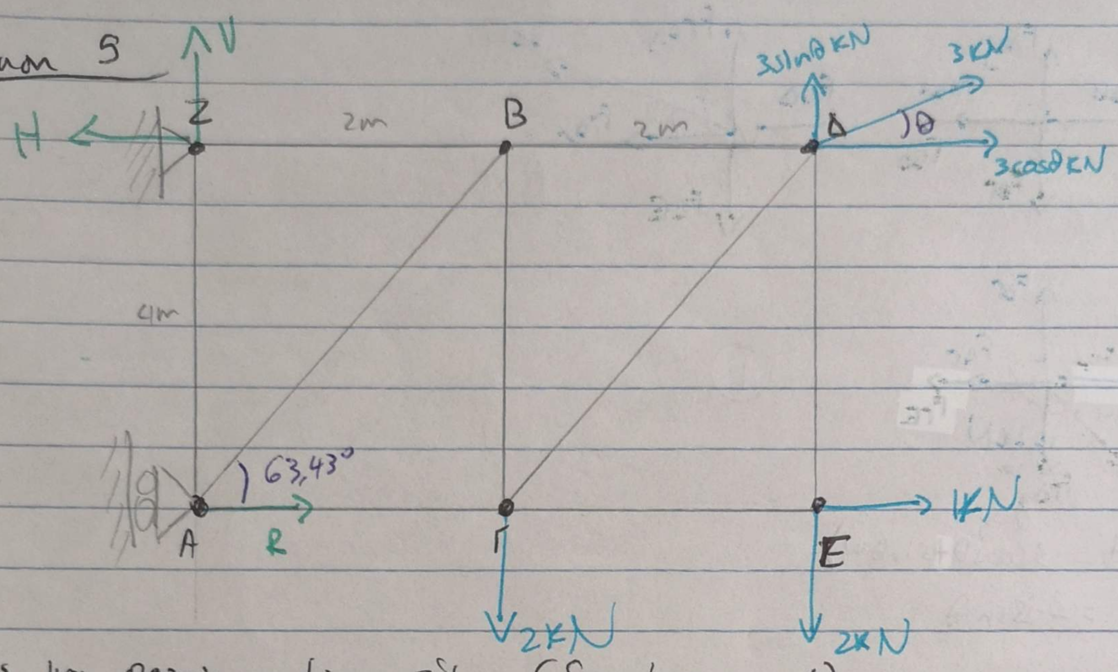
$\Sigma F_{\Delta x}=0 \Rightarrow F_{\Delta Z}=F_{\Delta Ex}+F_{B\Delta}=0{,}75P+1{,}25P=2P$

$\Sigma F_{Ey}=0 \Rightarrow F_{\Delta Ey}+5P\sin(30^\circ)=F_{EZ} \Rightarrow F_{EZ}=(1{,}5+2{,}5)P=4P$

$\Sigma F_{Ex}=0 \Rightarrow F_{\Gamma E}=F_{\Delta Ex}+5P\cos(30^\circ) \Leftrightarrow 5{,}08P=0{,}75P+4{,}33P$ ισχύει

Τελικά $P_{max}=2{,}55kN$

Άσκηση 5



Εξωτερικές και στατικώς ορισμένο σύστημα (δες άσκηση 4)

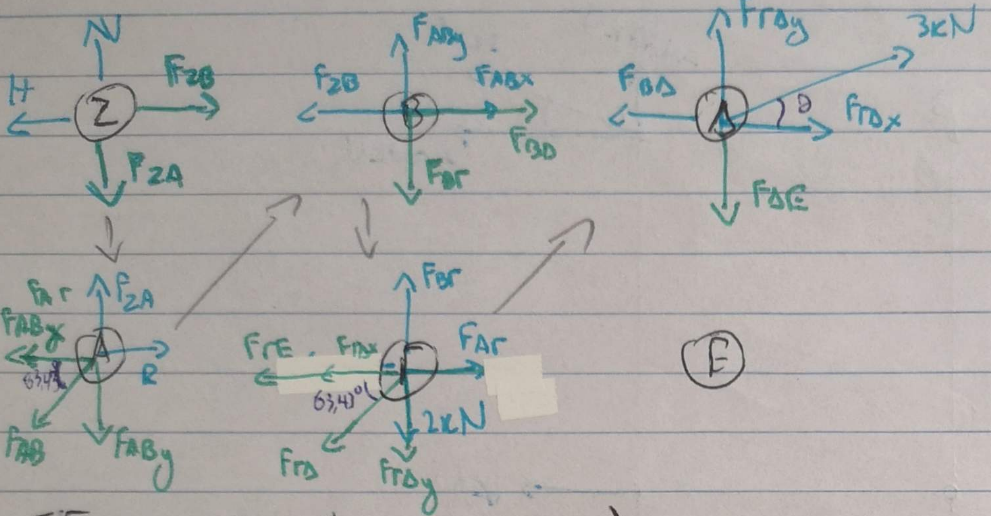
$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow H - R = 3\cos\theta + 1 \quad (1)$

$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow V = 4 - 3\sin\theta \quad (2)$

$\Sigma M_Z = 0 \Rightarrow 4R + \cancel{1\cdot 4} + 3\sin\theta\cdot 4 = \cancel{2\cdot 2} + 2\cdot 4 \Rightarrow \cancel{4}R = 2\cdot\cancel{4} - 3\cdot\cancel{4}\sin\theta \Rightarrow R = 2 - 3\sin\theta \quad (3)$

$(1) \overset{(3)}{\Rightarrow} H = 3\cos\theta + 1 + 2 - 3\sin\theta = 3(\cos\theta - \sin\theta + 1) \Rightarrow H = 3(\cos\theta - \sin\theta + 1) \quad (4)$

Ράβδος	Δύναμη [kN]	Είδος
ZA		
ZB		
AB		
AΓ		
BΓ		
BΔ		
ΓΔ		
ΓE		
ΔE		



$\Sigma F_{Zx}=0 \Rightarrow F_{ZB}=H=3(\cos\theta-\sin\theta+1)$

$\Sigma F_{Zy}=0 \Rightarrow F_{ZA}=V=4-3\sin\theta$

$\Sigma F_{Ay}=0 \Rightarrow F_{ABy}=F_{ZA}=4-3\sin\theta \Rightarrow F_{AB}=4{,}47-1{,}12\sin\theta \Rightarrow F_{ABx}=F_{AB}\cdot\cos(63{,}43^\circ)=2-0{,}5\sin\theta$

$\Sigma F_{Ax}=0 \Rightarrow F_{A\Gamma}+F_{ABx}=R \Rightarrow F_{A\Gamma}=R-F_{ABx}=2-3\sin\theta-2+0{,}5\sin\theta \Rightarrow F_{A\Gamma}=-2{,}5\sin\theta$

$\Sigma F_{By}=0 \Rightarrow F_{B\Gamma}=F_{ABy}=4-3\sin\theta$

$\Sigma F_{Bx}=0 \Rightarrow F_{B\Delta}=F_{ZB}-F_{ABx}=3\cos\theta-3\sin\theta+3-2+0{,}5\sin\theta=3\cos\theta-2{,}5\sin\theta+1$

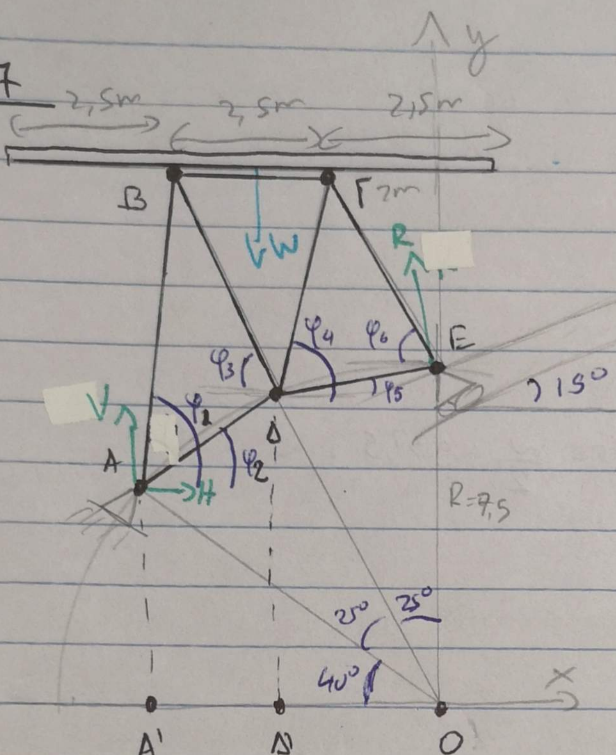
$\Sigma F_{\Gamma y}=0 \Rightarrow F_{\Gamma\Delta y}=F_{B\Gamma}-2=2-3\sin\theta=2{,}24-1{,}12\sin\theta \Rightarrow F_{\Gamma\Delta x}=1-0{,}5\sin\theta$

$\Sigma F_{\Gamma x}=0 \Rightarrow F_{\Gamma\Delta x}=F_{A\Gamma}-F_{\Gamma E} \Rightarrow F_{\Gamma E}=-2{,}5\sin\theta-1+0{,}5\sin\theta=-2\sin\theta-1$

$\Sigma F_{\Delta x}=0 \Rightarrow F_{B\Delta}=F_{\Gamma\Delta x}+3\cos\theta \Rightarrow 3\cos\theta-2{,}5\sin\theta+1 = 1-0{,}5\sin\theta+3\cos\theta$ ισχύει

Άρα $F_{AB}=4{,}47-3{,}36\sin\theta$

Άσκηση 7



$\sin(40°) = \frac{AA'}{OA} \Rightarrow AA' = 4,82m$

$\cos(40°) = \frac{OA'}{OA} \Rightarrow OA' = 5,75m$

$\sin(65°) = \frac{\Delta\Delta'}{O\Delta} \Rightarrow \Delta\Delta' = 6,8m$

$\cos(65°) = \frac{O\Delta'}{O\Delta} \Rightarrow O\Delta' = 3,17m$

$\tan(25°) = \frac{4,5}{y_B} \Rightarrow y_B = \frac{4,5}{\tan(25°)} = 9,65m$

$W = 7,5 \cdot 250 = 1875 kN$

$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow H = R_x \Rightarrow R = \frac{H}{\sin(15°)} \Rightarrow R = 3,86H$ (1)

$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow V + R_y = W \to V = W - R\cos(15°) = W - 0,97R$ (2)

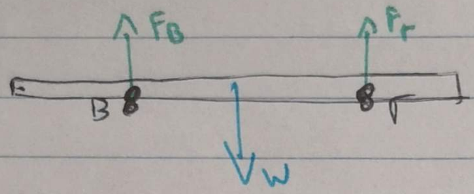
$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 5,75 R_y + 2,68 R_x = 2W \Rightarrow 6,24R = 2W \Rightarrow R = \frac{W}{3,12} = 600kN$ (3)

$(1) \overset{(3)}{\Rightarrow} H = 155,44 kN$

$(2) \Rightarrow V = 1875 - 582 = 1293 kN$

Σχω:	
$O(0,0,0)$	$\vec{AB} = 1,25\hat{i} + 4,83\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{AB}\rvert = 5m$, $\tan\varphi_1 = \frac{4,83}{1,25} = 3,86 \Rightarrow \varphi_1 = 75,49°$
$A(-5,75, 4,82)$	$\vec{A\Delta} = 2,58\hat{i} + 1,98\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{A\Delta}\rvert = 3,25m$, $\tan\varphi_2 = \frac{1,98}{2,58} = 0,77 \Rightarrow \varphi_2 = 37,5°$
$B(-4,5, 9,65)$	$\vec{\Delta B} = -1,33\hat{i} + 2,85\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{\Delta B}\rvert = 3,15m$, $\tan\varphi_3 = 2,14 \Rightarrow \varphi_3 = 64,98°$
$\Gamma(-2, 9,65)$	$\vec{\Delta\Gamma} = 1,17\hat{i} + 2,85\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{\Delta\Gamma}\rvert = 3,08m$, $\tan\varphi_4 = 2,44 \Rightarrow \varphi_4 = 67,68°$
$\Delta(-3,17, 6,8)$	$\vec{\Delta E} = 3,17\hat{i} + 0,7\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{\Delta E}\rvert = 3,25m$, $\tan\varphi_5 = 0,22 \Rightarrow \varphi_5 = 12,45°$
$E(0, 7,5)$	$\vec{B\Gamma} = 2,5\hat{i} + 0\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{B\Gamma}\rvert = 2,5m$
	$\vec{E\Gamma} = -2\hat{i} + 2,15\hat{j} \Rightarrow \lvert\vec{E\Gamma}\rvert = 2,94m$, $\tan\varphi_6 = 1,08 \Rightarrow \varphi_6 = 47,07°$

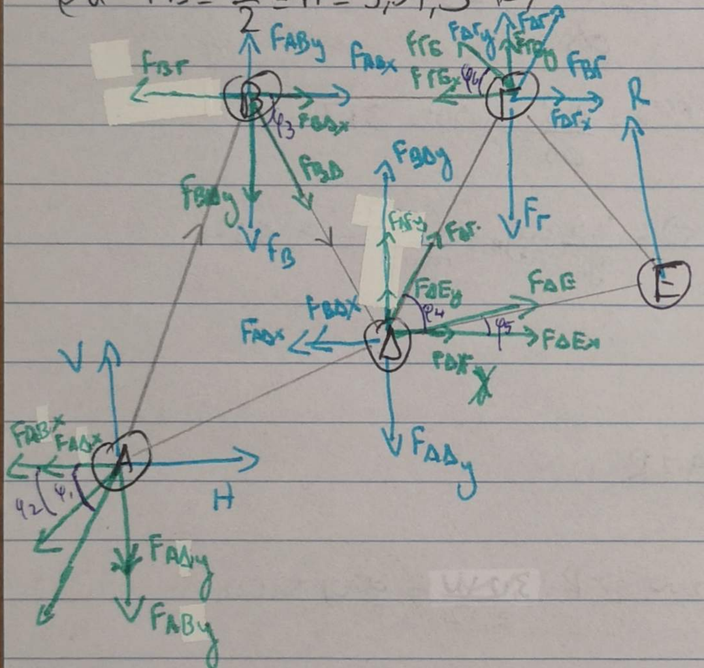
Κάνω το ΔΕΣ της ράβδου



$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_B + F_Γ = 1875\ kN$

$\Sigma M_B = 0 \Rightarrow F_Γ \cdot 2,5 = W \cdot 1,25 \Rightarrow W = 2F_Γ \Rightarrow F_Γ = \frac{W}{2} = 937,5\ kN$

Άρα $F_B = \frac{W}{2} = F_Γ = 937,5\ kN$



$\Sigma F_{Ax} = 0 \Rightarrow H = F_{ABx} + F_{AΔx} \Rightarrow F_{AB}\cos φ_1 + F_{AΔ}\cos φ_2 = H \Rightarrow 0,25 F_{AB} + 0,79 F_{AΔ} = 155,44$ (1)

$\Sigma F_{Ay} = 0 \Rightarrow V = F_{AΔy} + F_{ABy} \Rightarrow F_{AB}\sin φ_1 + F_{AB}\sin φ_2 = V \Rightarrow 0,97 F_{AB} + 0,61 F_{AΔ} = 1293 \Rightarrow F_{AB} = \frac{1283}{0,97} - \frac{0,61 F_{AΔ}}{0,97} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{AB} = 1332 - 0,63 F_{AΔ}$ (2)

$(1) \overset{(2)}{\Rightarrow} 0,25(1332 - 0,63 F_{AΔ}) + 0,79 F_{AΔ} = 155,44 \Rightarrow 333 - 0,16 F_{AΔ} + 0,79 F_{AΔ} = 155,44 \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,63 F_{AΔ} = -177,56 \Rightarrow F_{AΔ} = -281,84\ kN \Rightarrow F_{AB} = 1509,56\ kN$

$|F_{ABx}| = 377,39\ kN$ $|F_{AΔx}| = 222,65\ kN$

$|F_{ABy}| = 1464,27\ kN$ $|F_{AΔy}| = 171,92\ kN$

$\Sigma F_{By} = 0 \Rightarrow F_{B\Delta y} = F_{ABy} - F_B = 526,77 \Rightarrow F_{B\Delta} = \frac{526,77}{\sin\varphi_3} = \frac{526,77}{0,91} = 578,87\,kN \Rightarrow F_{B\Delta x} = 244,82\,kN$

$\Sigma F_{Bx} = 0 \Rightarrow F_{B\Gamma} = F_{ABx} + F_{B\Delta x} = 377,39 + 244,82 \Rightarrow F_{B\Gamma} = 622,21\,kN$

$\Sigma F_{\Delta x} = 0 \Rightarrow F_{\Delta Ex} + F_{\Delta\Gamma x} = F_{A\Delta x} + F_{B\Delta x} \Rightarrow F_{\Delta E}\cos\varphi_5 + F_{\Delta\Gamma}\cos\varphi_4 = 222,65 + 244,82 \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,98 F_{\Delta E} + 0,38 F_{\Delta\Gamma} = 467,47 \quad (1)$

$\Sigma F_{\Delta y} = 0 \Rightarrow F_{\Delta Ey} + F_{\Delta\Gamma y} = F_{A\Delta y} - F_{B\Delta y} \Rightarrow F_{\Delta E}\sin\varphi_5 + F_{\Delta\Gamma}\sin\varphi_4 = 171,92 - 526,77 \Rightarrow$

$\Rightarrow 0,22 F_{\Delta E} + 0,93 F_{\Delta\Gamma} = -354,85 \Rightarrow F_{\Delta E} = \frac{-354,85}{0,22} - \frac{0,93}{0,22} F_{\Delta\Gamma} \Rightarrow F_{\Delta E} = -1612,95 - 4,18 F_{\Delta\Gamma} \quad (2)$

$(1) \overset{(2)}{\Rightarrow} 0,98(-1612,95 - 4,18 F_{\Delta\Gamma}) + 0,38 F_{\Delta\Gamma} = 467,47 \Rightarrow -4,1 F_{\Delta\Gamma} - 1580,69 + 0,38 F_{\Delta\Gamma} = 467,47 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{\Delta\Gamma} = -\frac{2048,16}{3,72} \Rightarrow F_{\Delta\Gamma} = -550,58\,kN \Rightarrow F_{\Delta E} = 688,47\,kN$

$|F_{\Delta\Gamma x}| = 209,22\,kN \quad |F_{\Delta Ex}| = 674,71\,kN$

$|F_{\Delta\Gamma y}| = 512,04\,kN \quad |F_{\Delta Ey}| = 151,46\,kN$

$\Sigma F_{\Gamma x} = 0 \Rightarrow F_{\Gamma Ex} = F_{B\Gamma} + F_{\Delta\Gamma x} \Rightarrow F_{\Gamma Ex} = 622,21 + 209,22 \Rightarrow F_{\Gamma Ex} = 831,43 \Rightarrow F_{\Gamma E} = \frac{831,43}{\cos\varphi_6} = 1220,71\,kN$

Άρα $F_{\Gamma Ey} = F_{\Gamma E}\sin\varphi_6 = 893,79\,kN$

Ράβδος	Δύναμη [kN]	Είδος
ΑΒ	1509,56	Θ
ΑΔ	281,84	Ε
ΒΓ	622,21	Θ
ΒΔ	578,87	Ε
ΔΓ	550,58	Θ
ΔΕ	688,47	Ε
ΓΕ	1220,71	Θ

Έστω ότι οι ράβδοι έχουν ακτίνα ρ, άρα η επιφάνεια στην οποία ασκείται δύναμη έχει εμβαδό $\pi\rho^2$. Η ράβδος με την μεγαλύτερη φόρτιση είναι η ράβδος ΑΒ, με $F_{AB} = 1509,56$ $300\,N/mm^2 = 0,3\,kN/mm^2$. Πρέπει $0,3 \cdot \pi\rho^2 \geq 1509,56 \Rightarrow$

$\Rightarrow \rho^2 \geq 1601,69 \Rightarrow \rho \geq 40,02\,mm$

Άρα η ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα είναι $\rho_{min} = 40,02\,mm$ και άρα η ελάχιστη επιτρεπτή διάμετρος είναι $\delta_{min} = 2\rho_{min}$

$\Rightarrow \delta_{min} = 80,04\,mm$