

Soru 1) Şekilde gösterilen ve dış çapı $D = 120$ mm olan iki borudan oluşan çelik konstrüksiyon II. Kaliteli alın kaynağı ile birleştirilmektedir. Malzemesi St 42 olan boru $F = 180 \cdot 10^3$ N'luk değişken bir çekme kuvvetine zorlandığı durumda kaynak dikişinin mukavemetini hesaplayınız.

($\sigma_{\zeta_{em}} = 55$ MPa, $\sigma_D = 250$ MPa, $k_y = 0.8$, $k_b = 1$, $k_{k\zeta} = 2$, boru için bazı standart et kalınlıkları 8, 10, 12 mm olarak veriliyor.)

Çözüm:

Borunun et kalınlığı (s) çubuğun aksenal kuvvetle çekmeye zorlanması şartından;

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D_{ort} s} \leq \sigma_{\zeta_{em}} \rightarrow s = \frac{F}{\pi D_{ort} \sigma_{\zeta_{em}}}$$

İfadesinden bulunabilir. Burada D_{ort} , borunun ortalama çapı olup, $D_{ort} = D - s = 120$ ifadede yerine yazılırsa;

$$s = \frac{F}{\pi * (D - s) \sigma_{\zeta_{em}}} = \frac{180 * 10^3}{\pi * (120 - s) * 55}$$

Eşitliğin sağ tarafındaki $D - s$ ifadesinde s yerine standart değerler (8, 10, 12) yazılırsa;

8 yazıldığında;

$$s = \frac{180 * 10^3}{\pi * (120 - 8) * 55} \cong 9,30 \text{ mm}$$

Benzer şekilde;

10 yazıldığında 9,47 mm

12 yazıldığında 9,65 mm

Görüldüğü gibi yerine yazılan s ile sol taraftaki s arasındaki fark en az 10 değerinde çıkar.

($10 - 9,30 = 0,7$ mm)

Alternatif çözüm (Bilgisayar veya hesap makinesi yardımıyla):

Ya da ifadede oluşan 2.dereceden denklem hesap makinesi veya bilgisayar programı ile çözülür. Çıkan sonuca en yakın standart değer alınır.

$$(\pi * (120 - s) * 55) * s = 180 * 10^3$$

$$(120 - s) * s = \frac{180 * 10^3}{\pi * 55}$$

$$-s^2 + 120s - 1041,741 = 0$$

Denklemden s değeri bulunursa:

(Örnek: MATLAB programı için p=[-1 120 -1041.741] ve roots(p) komutları ile)

110.5792 ve 9.4208 değerleri çıkar. Bu değerlerden standart değere en yakın olan 9.4208'dir ve yakın olduğu standart değer 10 mm'dir.

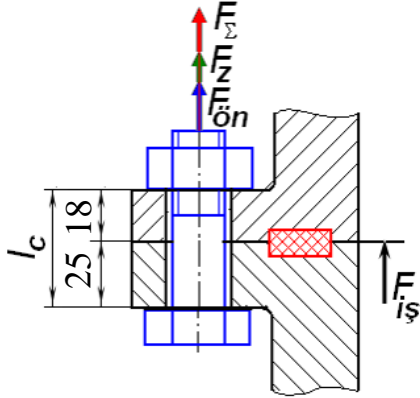
Emniyet kontrolü:

$$\sigma_{kDem} = k_k \frac{k_b k_y}{k_{k\phi}} * \frac{\sigma_D}{S} = 0,8 * \frac{1 * 0,8}{2} * \frac{250}{1,5} \cong 53,33 MPa$$

$D_{ort} = D - s = 120 - 10 = 110$ mm değeri ile kaynak dikişinde meydana gelen nominal gerilme;

$$\sigma_{\phi k} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D_{ort} S} = \frac{180 * 10^3}{\pi * 110 * 10} = 52,08 \leq \sigma_{kDem} = 53,33 MPa$$

olduğundan uygundur.



Soru 2) Şekilde gösterilen ve ön gerilme ile bağlanan M22'lik cıvata $F_{i\dot{s}} = 0 \dots 21 \cdot 10^3 \text{ N}$ arasında değişen bir işletme kuvvetine maruzdur. Bağlantı yapılacak parçadaki cıvata talaş kaldırılarak, cıvata deliği ise döküm ile elde edilmiştir. Cıvatanın malzemesi çelik, kalitesi 5.8, bağlanan parçaların malzemesi ise GG – 25 olup cıvata ile parça arasında yağlayıcı bulunmamaktadır. Buna göre cıvatanın mukavemetini kontrol ediniz.

Çözüm:

M22 vida için Cetvel 4.6'dan vida boyutları belirlenir.

Normal vida çapı d, mm	Adım p, mm	Ortalama çap $d_2=D_2$, mm	Diş dibi çapı d_1 , mm	Diş dibi çapı D_1 , mm	Vida yüksekliği t_1 , mm	Temas yüksekliği t_2 , mm
(14)	2,000	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083
16	2,000	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083
(18)	2,500	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353
20	2,500	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353
(22)	2,500	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353
24	3,000	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624
(27)	3,000	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624
30	3,500	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894
(33)	3,500	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894

$$d = 22 \text{ mm} \quad p = 2,5 \text{ mm} \quad d_1 = 18,933 \text{ mm} \quad d_2 = 20,376 \text{ mm}$$

$$t_1 = 1,534 \text{ mm} \quad t_2 = 1,353$$

Ön gerilme kuvveti:

$$F_{\text{ön}} = (2,5 \dots 3,5)F_{i\dot{s}} = 3F_{i\dot{s}} = 3 \cdot 21 \cdot 10^3 \text{ N} = 63 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Cıvata boyu:

$$l_c = 18 + 25 = 43 \text{ mm}$$

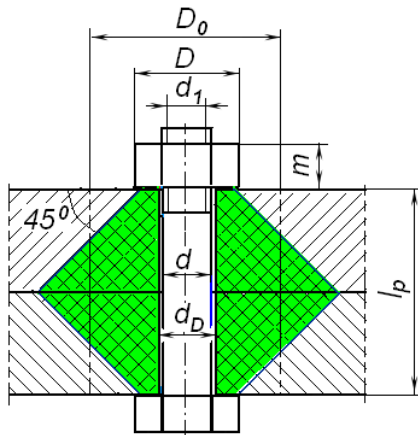
Çelik için elastiklik modülü E_c (Cıvata için) Cetvel 1.1'den $2,1093 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ alınır.

Dökme demir için elastiklik modülü E_p (Parça için) Cetvel 1.1'den $1,0195 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ alınır.

Malzeme	Elastiklik modülü E, MPa	Kayma modülü G, MPa	Poisson Oranı, ν	Özgül ağırlık γ , MPa
Çelik	$2,1093 \cdot 10^5$	$0,8085 \cdot 10^5$	0,292 ... 0,303	7,8057
Dökme çelik	$2,0389 \cdot 10^5$	$0,7875 \cdot 10^5$	0,265	7,7504
Paslanmaz çelik	$1,9405 \cdot 10^5$	$0,7453 \cdot 10^5$	0,305	7,7504
Nikel alaşımlı çelik	$2,1093 \cdot 10^5$	$0,8086 \cdot 10^5$	0,291	7,7504
Dökme demir	$1,1095 \cdot 10^5$	$0,4219 \cdot 10^5$	0,210 ... 0,270	7,1968

Cıvata için yaylanma sayısı:

$$k_c = \frac{A_c E_c}{l_c} = \frac{\pi d^2}{4} * \frac{E_c}{l_c} = \frac{\pi * 22^2}{4} * \frac{2,1093 * 10^5}{43} \cong 1864,68 * 10^3 \text{ N/mm}$$



Delik çapı (dökümden elde edilmiş delik) :

$$d_D = 1,25 * d = 1,25 * 22 = 27,5 \text{ mm}$$

Anahtar ağızı:

$$s = 1,5d = 1,5 * 22 = 33 \text{ mm}$$

Dökme demir için malzeme katsayısı $k_0 = 0,25$ alınarak;

Cıvata başının dış çapı:

$$D_0 = s + k_0 \frac{l_p}{2} = 33 + 0,25 * \frac{43}{2} = 38,375 \text{ mm}$$

Sıkılan parçaların kesit alanı:

$$A_p = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_D^2) = \frac{\pi}{4} (38,375^2 - 27,5^2) \cong 562,65 \text{ mm}^2$$

Sıkılan parçaların yaylanma sayısı:

$$k_p = \frac{A_p E_p}{l_p} = \frac{562,65 * 1,0195 * 10^5}{43} \cong 1334,004 * 10^3 \text{ N/mm}$$

Sistemin eşdeğer yaylanma katsayısı:

$$k_e = \frac{k_c}{k_c + k_p} = \frac{1864,68 * 10^3}{1864,68 * 10^3 + 1334,004 * 10^3} \cong 0,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Cıvataya gelen ek kuvvet:

$$F_z = k_e F_{i\delta} = 0,58 * 21 * 10^3 = 12,18 * 10^3 \text{ N}$$

Toplam kuvvet:

$$\Sigma F = F_{ön} + F_z = 63 * 10^3 + 12,18 * 10^3 = 75,18 * 10^3 \text{ N}$$

Cıvatanın sıkma durumundaki emniyet kontrolü:

Çekme gerilmesi:

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\text{ön}}}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{63 * 10^3}{\pi * \frac{18,933^2}{4}} \cong 223,77 \text{ MPa}$$

Çetvel 4.3'ten kuru ortam ve çelik cıvata için $\mu = 0,14$ alınır.

Vida	S o m u n			
	Çelik	Pirinç	Bronz	Dökme demir
Çelik, kuru	0,14 ... 0,25	0,15 ... 0,23	0,15 ... 0,19	0,15 ... 0,25
Çelik, yağlı	0,11 ... 0,17	0,10 ... 0,16	0,10 ... 0,15	0,11 ... 0,17
Bronz	0,08 ... 0,12	0,04 ... 0,06	-	0,06 ... 0,09

İndirgenmiş sürtünme katsayısı:

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,14}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)} \cong 0,16$$

Sıkma momenti:

$$M_S = F_{\text{ön}} \frac{d_2}{2} \left(\frac{p}{\pi d_2} + \mu' \right) = 63 * 10^3 \frac{20,376}{2} \left(\frac{2,5}{\pi * 20,376} + 0,16 \right) \cong 127761,94 \text{ Nmm}$$

Burulma gerilmesi:

$$\tau = \frac{M_S}{\frac{\pi d_1^3}{16}} = \frac{127761,94}{\frac{\pi 18,933^3}{16}} \cong 95,88 \text{ MPa}$$

Bileşik gerilme:

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma_{\zeta}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{223,77^2 + 3 * 95,88^2} \cong 278,66 \text{ MPa}$$

Cıvata kalitesi 5.8'e göre akma sınırı:

$$\sigma_{AK} = 5 * 8 * 10 = 400 \text{ MPa}$$

Emniyet katsayısı:

$$S = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_B} = \frac{400}{278,66} \cong 1,44 \geq S_S = 1,15 \dots 1,5$$

olduğundan emniyetlidir.

İşletme esnasında mukavemet kontrolü:

Cıvata zorlayan maksimum kuvvet:

$$F_{maks} = \sum F = 75,18 * 10^3 \text{ N}$$

Cıvataı zorlayan maksimum kuvvet:

$$F_{min} = F_{ön} = 63 * 10^3 N$$

Maksimum ve minimum gerilmeler:

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi * 18,933^2}{4} \cong 281,53 mm^2$$

$$\sigma_{maks} = \frac{F_{maks}}{A_1} = \frac{75,18 * 10^3}{281,53} \cong 267,04 MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{F_{min}}{A_1} = \frac{63 * 10^3}{281,53} \cong 223,78 MPa$$

Ortalama gerilme:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{maks} + \sigma_{min}}{2} = \frac{267,04 + 223,78}{2} = 245,41 MPa$$

Gerilme genliđi:

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2} = \frac{267,04 - 223,78}{2} = 21,63 MPa$$

Ortalama gerilme ařađdaki gibi de hesaplanabilir.

$$\sigma_0 = \sigma_{min} + \sigma_g = 223,78 + 21,63 = 245,41 MPa$$

Cıvata kalitesi 5.8 için kopma mukavemeti:

$$\sigma_K = 5 * 100 = 500 MPa$$

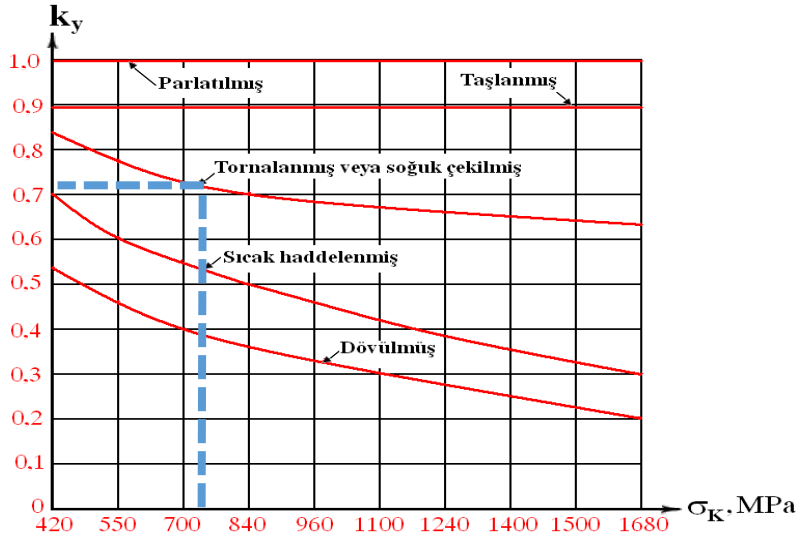
Sürekli mukavemet sınırı:

$$\sigma_D = 0,4\sigma_K = 0,4 * 500 = 200 MPa$$

d = 22 mm için Cetvel 1.9'dan interpolasyon ile k_b = 0,88 alınır.

Çap veya genişlik	Boyutlar mm							
	≤ 10	20	30	50	100	200	250	≥ 300
d veya b	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,57	0,56	0,55
Boyut faktörü k _b	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,57	0,56	0,55

Şekil 1.31'den $\sigma_K = 800 \text{ MPa}$ ve tormalanmış çelik için $k_y = 0,71$ alınır.



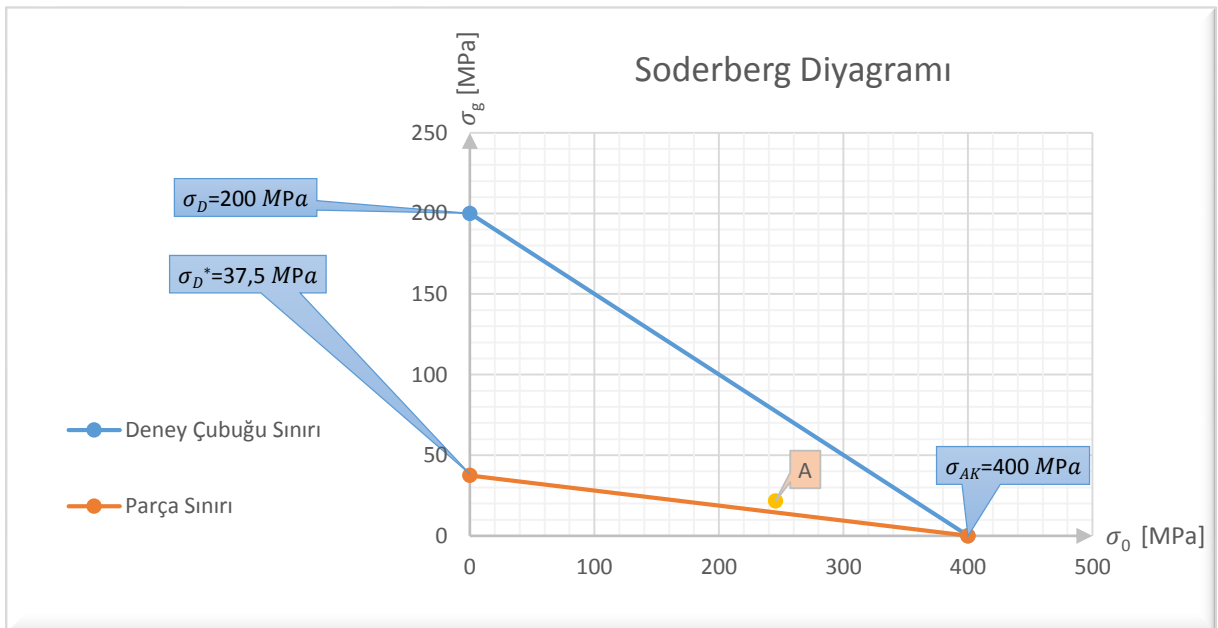
Talaş kaldırma usulü ile elde edilen civatalar için $k_\zeta = 2,8 \dots 3,8$ değerleri arasından 3,5 seçilebilir.

$$\sigma_D^* = \frac{k_b k_y}{k_\zeta} \sigma_D = \frac{0,88 * 0,71}{3,5} * 200 \cong 35,7 \text{ MPa}$$

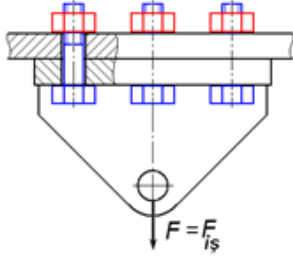
Emniyet katsayısı:

$$S = \frac{\sigma_{AK}}{\sigma_0 + \left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*}\right) \sigma_g} = \frac{400}{245,41 + \left(\frac{400}{37,5}\right) * 21,63} \cong 0,84 < S_S = 1,25 \dots 2$$

olduğundan uygun değildir. Bu durum Soderberg diyagramı de anlaşılır.



Görüldüğü gibi gerilmeler parçanın kırılma sınırının dışında kalmaktadır.



Soru 3) Şekilde gösterilen cıvata bağlantısında işletme kuvveti $F_{i\bar{s}} = 60 * 10^3 N$, cıvataların kalitesi 8.8 ve $S=2$ olduğuna göre;

- M12 cıvata ile ön gerilmesiz bağlantı durumunda emniyet açısından cıvata sayısını belirleyiniz.
- 6 adet cıvata ile bağlantı yapılması durumunda seçilecek cıvatanın boyutlarını belirleyiniz.

Çözüm:

a) Ön gerilmesiz durumda;

Akma sınırı:

$$\sigma_{AK} = 8 * 8 * 10 = 640 MPa$$

Emniyet gerilmesi:

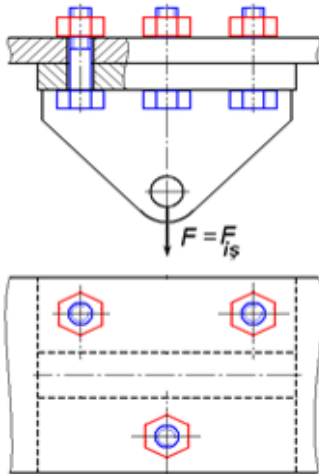
$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{AK}}{S} = \frac{640}{2} = 320 MPa$$

M12 vida için Cetvel 4.6'dan vida boyutları belirlenir.

Normal vida çapı d, mm	Adım p, mm	Ortalama çap $d_2=D_2$, mm	Diş dibi çapı d_1 , mm	Diş dibi çapı D_1 , mm	Vida yüksekliği t_1 , mm	Temas yüksekliği t_2 , mm
10	1,500	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812
(11)	1,500	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812
12	1,750	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947
(14)	2,000	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083
16	2,000	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083
(18)	2,500	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353

$$d = 12 mm \quad p = 1,75 mm \quad d_1 = 9,853 mm \quad d_2 = 10,863 mm$$

$$t_1 = 1,074 mm \quad t_2 = 0,947$$



Cıvata sayısı (çekme emniyetine göre):

$$\sigma_{\bar{c}} = \frac{F}{i * \frac{\pi d_1^2}{4}} \leq \sigma_{em}$$

$$i = \frac{F}{\sigma_{em} * \frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{60 * 10^3}{320 * \frac{\pi * 9,853^2}{4}} \cong 2,46$$

3 tane cıvata kullanılabilir.

Bağlantının görünüşü yandaki şekildeki gibi olabilir.

Bir cıvataya gelen kuvvet:

$$F_1 = \frac{F}{i} = \frac{60 * 10^3}{3} = 20 * 10^3 \text{ N}$$

Emniyet Basıncı:

$$p_{em} = \frac{\sigma_{AK}}{4} = \frac{640}{4} = 160 \text{ MPa}$$

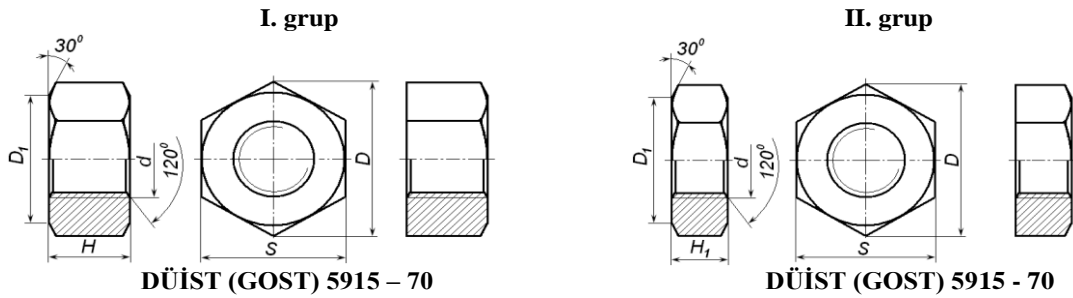
Somun yüksekliği:

$$m \geq z_p = \frac{F_1}{\frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4} p_{em}} = \frac{20 * 10^3}{\frac{\pi(12^2 - 9,853^2)}{4} * 160} * 1,75 \cong 5,94 \text{ mm}$$

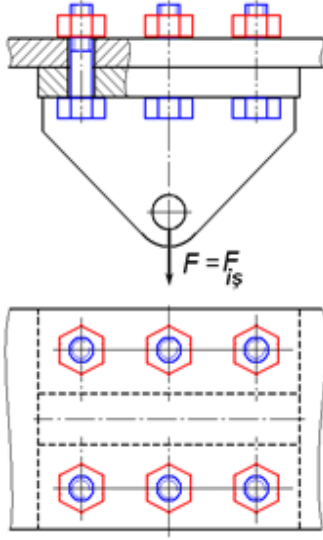
veva pratikte önerilen:

$$m = 0,8d = 0,8 * 12 = 9,6 \text{ mm}$$

Cetvel 4.8'den 10 mm standart somun yüksekliği belirlenir. Cetvelden doğrudan 12 mm cıvataya karşılık gelen ve hesaplanan değere yakın olan (I.grup somun) değer seçilir.



Vida d		2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
Vida adımı, p	normal	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	ince	-	-	-	0,5	0,5	0,75	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5	2	2	3	3	3
S		4	5	5,5	7	8	10	13	17	19	24	30	36	46	55	65	75
D		4,4	5,5	6	7,7	8,8	10,9	14,2	18,7	20,9	26,5	33,3	39,6	50,9	60,8	72,1	83,4
H		-	-	-	-	-	5	6,5	8	10	13	16	19	24	29	34	38
H ₁		1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18

b) Ön gerilmeli durumda;

Bağlantının görünüşü yandaki şekilde gibidir.

$$F_{ön} = (2,5 \dots 3,5)F_{i\dot{s}} = 3 * 60 * 10^3 = 180 * 10^3 N$$

Bir adet cıvatanın dış dibi çapı:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F_{ön}}{i\pi\sigma_{em}}} = \sqrt{\frac{4 * 180 * 10^3}{6 * \pi * 320}} \cong 10,93 mm$$

Bu değer ile Cetvel 4.6'dan M16 cıvata seçilir.

Normal vida çapı d, mm	Adım p, mm	Ortalama çap d ₂ =D ₂ , mm	Diş dibi çapı d ₁ , mm	Diş dibi çapı D ₁ , mm	Vida yüksekliği t ₁ , mm	Temas yüksekliği t ₂ , mm
10	1,500	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812
(11)	1,500	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812
12	1,750	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947
(14)	2,000	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083
16	2,000	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083
(18)	2,500	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353

$$d = 16 mm \quad p = 2 mm \quad d_1 = 13,546 mm \quad d_2 = 14,701 mm$$

$$t_1 = 1,227 mm \quad t_2 = 1,083 mm$$

Bir cıvataya gelen kuvvet:

$$F_1 = \frac{F_{ön}}{i} = \frac{180 * 10^3}{6} = 30 * 10^3 N$$

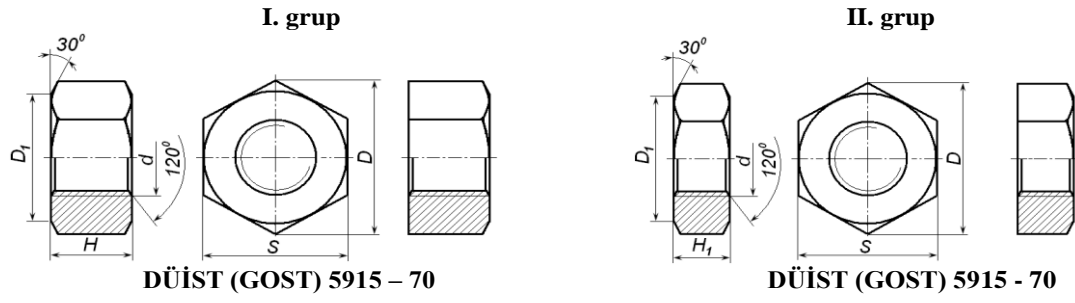
Somun yüksekliği:

$$m \geq zp = \frac{F_1}{\frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4} p_{em}} * 2 = \frac{30 * 10^3}{\frac{\pi(16^2 - 13,546^2)}{4} * 160} * 2 \cong 6,59 mm$$

veya pratikte önerilen:

$$m = 0,8d = 0,8 * 16 = 12,8 mm$$

Cetvel 4.8'den 13 mm standart somun yüksekliği belirlenir. Cetvelden doğrudan 16 mm civataya karşılık gelen ve hesaplanan değere yakın olan (I.grup somun) değer seçilir.



Vida d		2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
Vida adımı, p	normal	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	ince	-	-	-	0,5	0,5	0,75	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5	2	2	3	3	3
S		4	5	5,5	7	8	10	13	17	19	24	30	36	46	55	65	75
D		4,4	5,5	6	7,7	8,8	10,9	14,2	18,7	20,9	26,5	33,3	39,6	50,9	60,8	72,1	83,4
H		-	-	-	-	-	5	6,5	8	10	13	16	19	24	29	34	38
H ₁		1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18

Hazırlayanlar: Prof. Dr. Burhan SELÇUK, Araş. Gör. Lutuf ERTÜRK

Kaynak Kitap: Makine Elemanları Problemleri, Dr.İsfendiyar BAKŞIYEV, Dr. Burhan SELÇUK, 1.Basım, Nobel Yayınevi, Ekim 2012