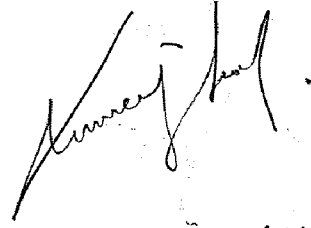


B10 Tipi Galeride, GI140 Profilli

Eğrisel Rijit Çelik Başın

Mukavemet KONTROLÜ



Tuncer ÖZKAN
Mak. Y. Müh.

KAYNAK : Prof. Dr. Hasan GERÇEK

"Kavisli rijit çelik başların boyutlandırılması"
ZKÜ Maden Müh. Böl. 1991.

Önce çözümler aşamalarında ve hesaplamalarda kolaylık sağlamak amacıyla B10 tipi galerinin faydalı kazı kesitinde bazı basitleştirmeler yapılmıştır (Şekil 1).

DIN 21531'e göre (Şekil 7) :

Kullanılan değerler :

$$R_1 = 1400 \text{ mm.}$$

$$R_1 = 1400 \text{ mm.}$$

$$R_2 = 1900 \text{ ''}$$

$$R_2 = 1900 \text{ ''}$$

$$\alpha = (75^\circ 28') / 2 = 37,73^\circ$$

$$\alpha = 38^\circ$$

$$\beta = 47^\circ 42' = 47,7^\circ$$

$$\beta = 48^\circ$$

$$B_0 = 2R_0 = 4065 \text{ mm.}$$

$$B_0 = 4065 \text{ mm.}$$

Kaya yükü yüksekliği, galeri genişliğinin %70'i kadar olan bir kaya kütleğinde B10 tipi bir galeri sürülecektir. Birer metre aralıklarla kullanılması planlanan GI 140 tipi profillerin yeterli olup olmadıkları araştırılacaktır. Geçerli çevre kayanın birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 ve fazla kazı %4 alınacaktır.

• Fazla kazı genişliği ;

Kazı yüzeyi ile baş profilinin dışı arasındaki mesafedir.

$$b' = 2 (R_0 + \text{Profil yüksekliği}) \cdot 0,04$$

$$b' = (4065 + 2 \cdot 140) \cdot 0,04 = 173,8 \text{ mm.}$$

$$\underline{\underline{b' = 174 \text{ mm.}}}$$

• Kazı kesiti yarı çapları ;

α yayında :

$$R_1 + 140 + b' = 1400 + 140 + 174$$

$$\| \underline{R_1 + 140 + b'} = 1714 \text{ mm.}$$

β yayında :

$$R_2 + 140 + b' = 2800 + 140 + 174$$

$$\| \underline{R_2 + 140 + b'} = 3114 \text{ mm.}$$

• Bağın dış yüzeyindeki sıkılamaa takozlarının seçimi;

Sıkılamaa takozları, en çok eşit aralıklarla, seçilen bağın dış yüzeyi üzerinde işaretlenir. Sıkılamaa takozlarının konulacağı noktalar öncelikle bağın eklemlerinde ya da onlara yakın yerlerde, bağın eğrilik yarıçapının değiştiği noktalarda ve bağın düzgün bacakları ile kavisli kısmının birleştiği yerlerde seçilmelidir.

Bağın tepe (taç) noktasında : 1 (No:4)

Bağın eğrilik yarıçapının değiştiği noktada : 1 (No:3)

Bağın kavisli kısmının düzleştiği yerde : 1 (No:1)

1 ile 3 sıkılamaa takozları arasında : 1 (No:2)

Yarım bağın kavisli kısmındaki sıkılamaa takozu sayısı,

$$\| \underline{n = 4}$$

• Takoz aralığı sayısı ;

α yayında 1 aralık ($\alpha = 38^\circ$)

β yayında 2 aralık ($\beta/2 = 24^\circ$)

$$\| \underline{\text{Takoz aralığı sayısı} : 3}$$

• Sıkılama aralıkları ;

α yayında :

$$\pi (R_1 + 140) \frac{38^\circ}{180^\circ} = \pi (1400 + 140) \frac{38^\circ}{180^\circ}$$

$$\parallel \sim \underline{1021,4 \text{ mm.}}$$

β yayında :

$$\pi (R_2 + 140) \frac{24^\circ}{180^\circ} = \pi (2800 + 140) \frac{24^\circ}{180^\circ}$$

$$\parallel \sim \underline{1231,5 \text{ mm.}}$$

Tüm bağ kesitleri için kullanılacak belirli bir sıkılama takozu düzeni yoktur. Ancak, Amerikan Ordu Mühendisleri Grubuna göre, sıkılama aralıkları en az 0,6m. en çok 1,8 m. olmalıdır ; yarıçapı 2 ile 4 m arasında olan tünellerde ise 1,2 m'lik bir ortalama sıkılama takozu aralığı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uygulama için sıkılama takozu aralığı

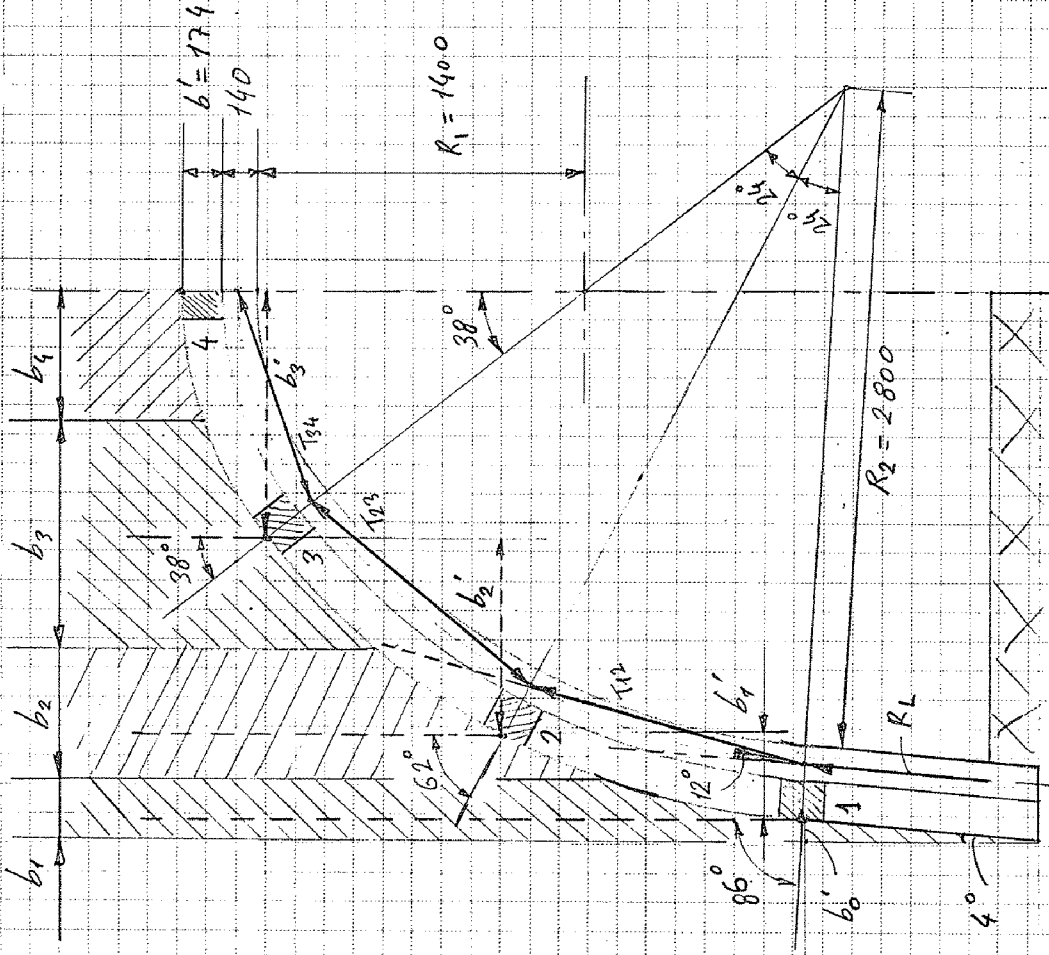
$$\parallel \underline{1 \dots 1,2 \text{ m}}$$

olarak belirtilir.

• Sıkılama takozlarının taşıdıkları kaya sütunlarının genişlikleri (Şekil 2) ;

Önce, kazı yüzeyinde sıkılama noktaları arasındaki yatay mesafeleri bulalım ;





Sekil 2 - Sıkılaşma farkozlarının konumu ve taşıdıkları kayar sâfuntlarının genişlikleri.
ölçek: 1/25

4 ve 3 no.'lu takozlar,

$$b_3' = 1714 \cdot \sin 38^\circ = 1055,24 \text{ mm.}$$

$$\parallel \underline{b_3' \approx 1,055 \text{ m.}}$$

3 ve 2 no.'lu takozlar,

$$b_2' = 3114 \sin 62^\circ - 3114 \sin 38^\circ = 832,33 \text{ mm}$$

$$\parallel \underline{b_2' \approx 0,83 \text{ m.}}$$

2 ve 1 no.'lu takozlar,

$$b_1' = 3114 \sin 86^\circ - 3114 \sin 62^\circ = 356,9 \text{ mm.}$$

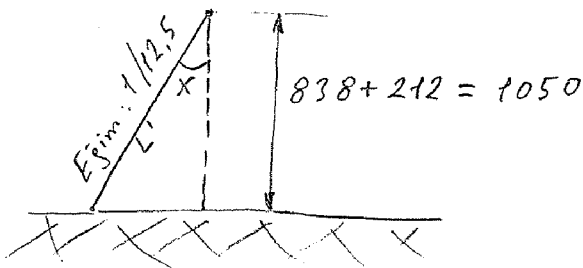
$$\parallel \underline{b_1' \approx 0,357 \text{ m.}}$$

1 no.'lu takozun dikey eksenden uzaklığı,

$$b_1' + b_2' + b_3' = 0,357 + 0,83 + 1,055$$

$$\parallel \underline{b_1' + b_2' + b_3' = 2,242 \text{ m.}}$$

L' , selik bağ bacağına dikey olan kısmının uzunluğu olmak üzere ;



$$\tan x = \frac{1}{12,5} = 0,08$$

$$x \approx 4,574^\circ$$

$$L' = \frac{1050}{\cos x} = \frac{1050}{\cos 4,574^\circ}$$

$$\parallel \underline{L' \approx 1053 \text{ mm.}}$$

bulunur ($L' = 1050 \text{ mm}$ ile hesap yaptık çünkü fark çok küçük).

Bağın bacak kısmının yatay izdüşümü;

$$b_0' = L' \cdot \sin 4^\circ = 1050 \cdot \sin 4^\circ = 73,45 \text{ mm}$$

$$\| \underline{b_0'} = 0,073 \text{ m}$$

Kazı kesiti tabanının yarı genişliği;

$$b_0' + b_1' + b_2' + b_3' = 0,073 + 2,242$$

$$\| \underline{b_0' + b_1' + b_2' + b_3'} = 2,315 \text{ m}$$

Takozların taşıdıkları kaya sütunlarının genişliği (b_i)

1 no.'lu takoz ;

$$b_1 = b_0' + b_1'/2 = 0,073 + 0,357/2$$

$$\| \underline{b_1} = 0,2515 \text{ m}$$

2 no.'lu takoz ;

$$b_2 = b_1'/2 + b_2'/2 = 0,357/2 + 0,83/2$$

$$\| \underline{b_2} = 0,5935 \text{ m}$$

3 no.'lu takoz ;

$$b_3 = b_2'/2 + b_3'/2 = 0,83/2 + 1,055/2$$

$$\| \underline{b_3} = 0,9425 \text{ m}$$



4 no.lu takoz ;

$$b_4 = b_3' / 2 = 1,055 / 2$$

$$\parallel \underline{b_4 = 0,5275 \text{ m.}}$$

$$\sum_{i=1}^4 b_i = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 = 0,2515 + 0,5935 + 0,9425 + 0,5275$$

$$\parallel \underline{\sum_{i=1}^4 b_i = 2,315 \text{ m.}}$$

• Takozlara gelen kaya yüklerinin hesaplanması :

Her bir sıkılama takozuna gelen düşey yük ;

$$W_i = q \cdot b_i$$

q - Yatay izdüşümde birim genişliğe etkileyen kaya yükü (kN/m)

$$q = \gamma_k \cdot H_k \cdot L$$

γ_k - Kayanın birim hacim ağırlığı (kN/m³)

H_k - Kaya yükü yüksekliği (m)

L - Baş aralığı (m)

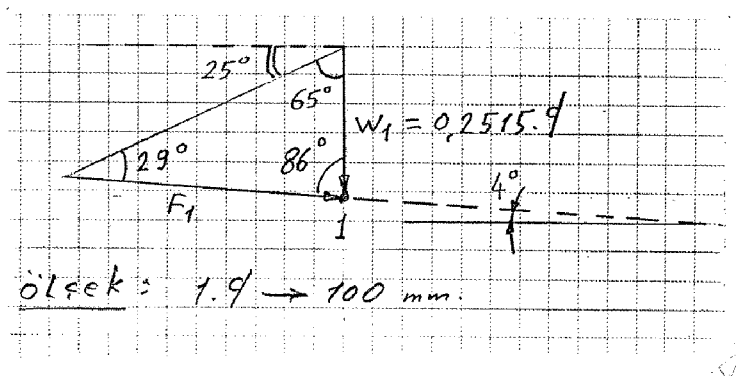
• Sıkılama noktalarındaki yük diyagramları (Şekil 3) ;

1 No.lu takoz ;

$$W_1 = q \cdot b_1 = q \cdot 0,2515$$

$$\parallel \underline{W_1 = 0,2515 \cdot q}$$

$$\frac{F_1}{\sin 65^\circ} = \frac{W_1}{\sin 29^\circ}$$



$$F_1 = \frac{\sin 65^\circ}{\sin 29^\circ} \cdot 0,2515 \cdot d$$

$$\parallel \underline{F_1 = 0,47 \cdot d}$$

2 No.lu takoz ;

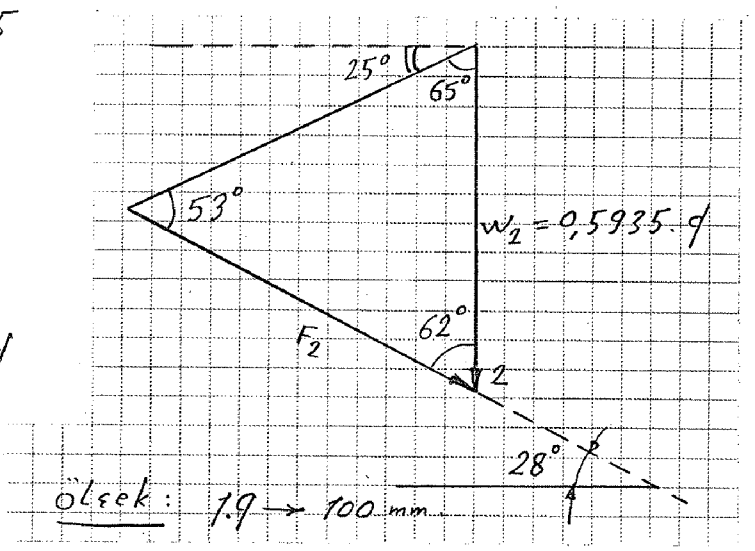
$$W_2 = d \cdot b_2 = d \cdot 0,5935$$

$$\parallel \underline{W_2 = 0,5935 \cdot d}$$

$$\frac{F_2}{\sin 65^\circ} = \frac{W_2}{\sin 53^\circ}$$

$$F_2 = \frac{\sin 65^\circ}{\sin 53^\circ} \cdot 0,5935 \cdot d$$

$$\parallel \underline{F_2 = 0,6735 \cdot d}$$



3 No.lu takoz ;

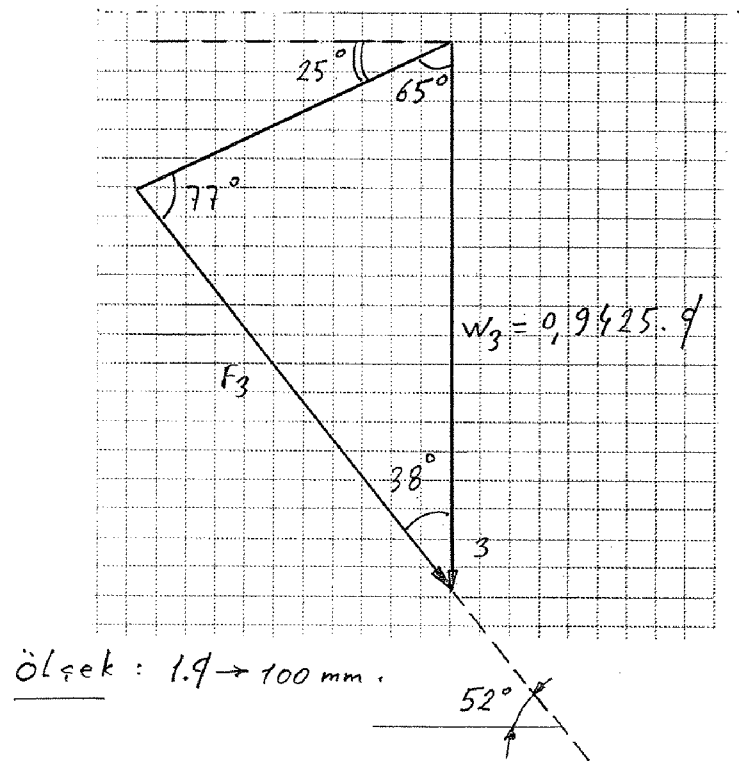
$$W_3 = d \cdot b_3 = d \cdot 0,9425$$

$$\parallel \underline{W_3 = 0,9425 \cdot d}$$

$$\frac{F_3}{\sin 65^\circ} = \frac{W_3}{\sin 77^\circ}$$

$$F_3 = \frac{\sin 65^\circ}{\sin 77^\circ} \cdot 0,9425 \cdot d$$

$$\parallel \underline{F_3 = 0,877 \cdot d}$$

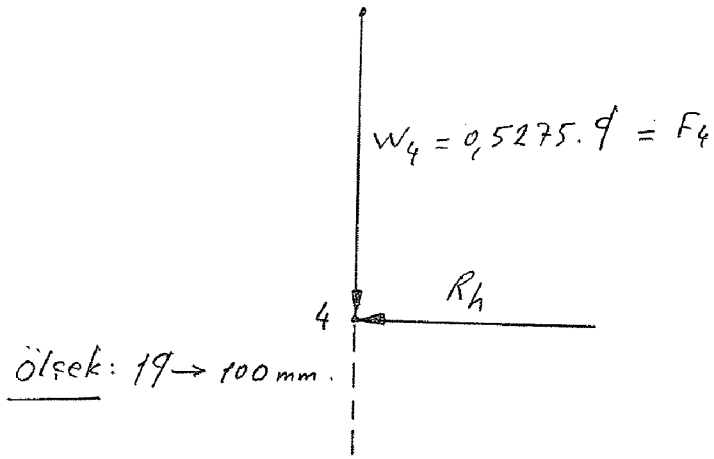


4 No.lu takoz ;

$$W_4 = d \cdot b_4 = d \cdot 0,5275$$

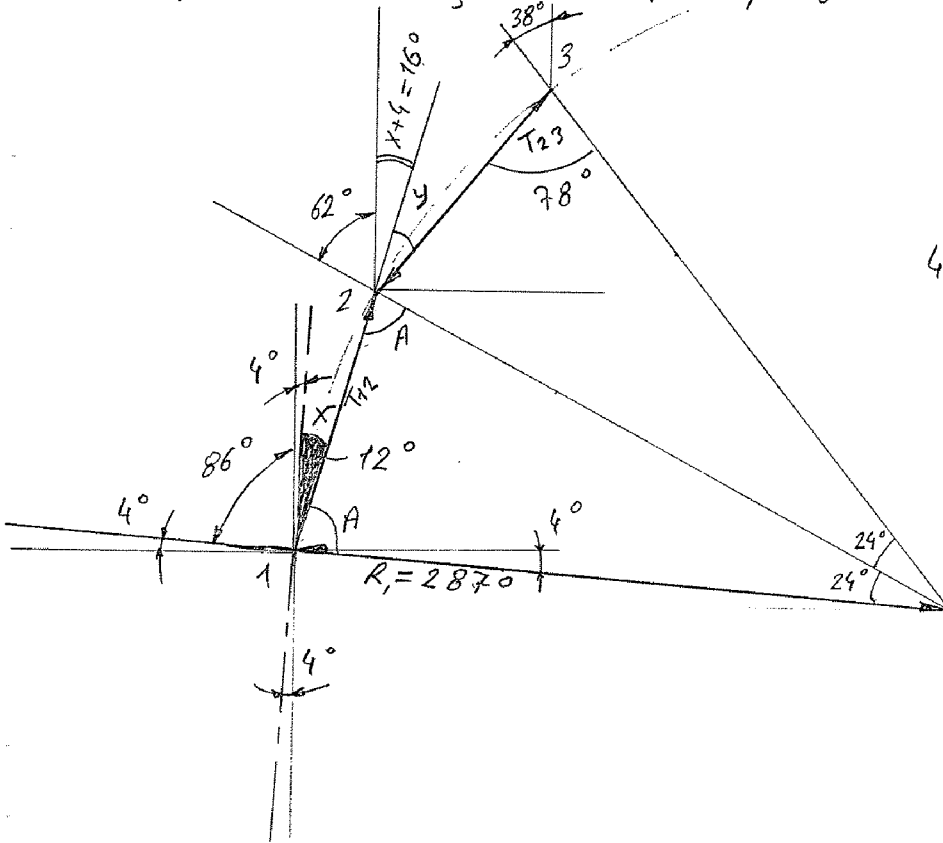
$$\parallel \underline{W_4 = 0,5275 \cdot d}$$

$$\parallel \underline{F_4 = W_4 = 0,5275 \cdot d}$$



Şekil 3 - Kazı yüzeyinde sıkılama noktalarındaki kuvvetlerin yük diyagramları yardımıyla hesabı.

- Deneme ve terserik yük poligonlarının çizimi (Şekil 4);



$$2A + 24 = 180^\circ$$

$$A = 78^\circ$$

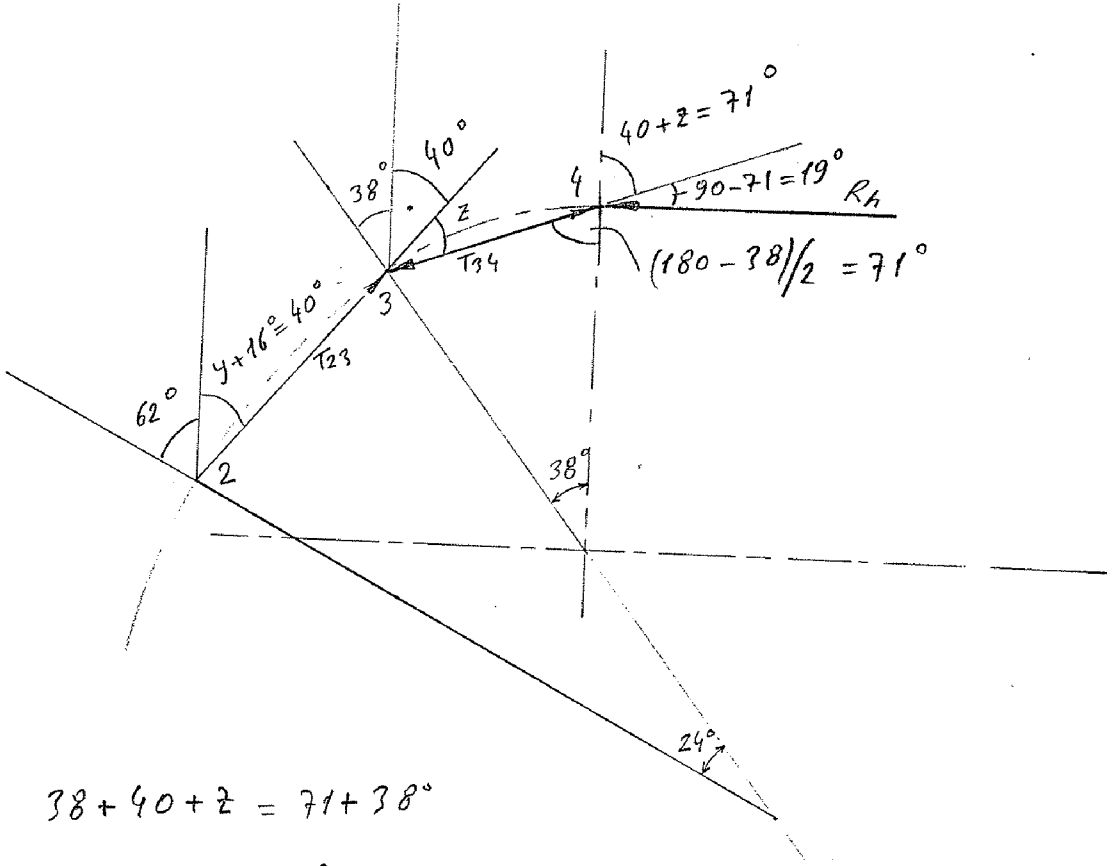
$$4 + x + (A - 4) = 90^\circ$$

$$x = 90 - 78$$

$$\underline{\underline{x = 12^\circ}}$$

$$62^\circ + 16^\circ + y = 78^\circ + 24^\circ$$

$$\underline{\underline{y = 24^\circ}}$$



$$38 + 40 + z = 71 + 38^\circ$$

$$\underline{\underline{z = 31^\circ}}$$

Birbirine komşu sıklama noktaları arasında kalan kavisli baş parçasına etkileyen etki kuvvetlerinin, doğrultularını veren x, y, z açılarını hesapladıktan sonra;

R_L - Başın düz bacak kısmına etkileyen etki kuvveti;

R_V - Düşey konumlu baş bacağına etkileyen düşey etki kuvveti;

R_{vt} - Galeri veya tunnelin kazı kesitinin yarısına etkileyen tüm düşey kuvvetlerin toplamı.

$$R_{vt} = \sum_{i=1}^n W_i = q \sum_{i=1}^n b_i = q (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) = q \cdot \frac{B}{2}$$

$$\underline{\underline{R_{vt} = 2,315 \cdot q}}$$

B - Galeri veya tunnelin kazı kesitinin genişliği;

R_v nin gerçek değeri, bu hesaplanan R_{vt} değerinden daha küçük olacaktır. Çünkü galerinin desteklenmesinde kullanılan başın kavisli kısmı (galeri tabanı) her bir düzey koya yükünün yalnızca radyal bileşenini taşıyacaktır.

R_v nin gerçek değerini belirlemek için önce bir deneme poligonu çizilir. Deneme poligonuna, başın bacağına etkileyen etki kuvvetinin $0,8 R_{vt}$ (ya da $0,8 R_L$) olduğu varsayılarak başlanır.

$$0,8 \cdot R_L = 0,8 \cdot 2,315 \text{ t}$$

$$\parallel 0,8 \cdot R_L = 1,852 \text{ t}$$

Uygun bir ölçek seçilerek (1.t → 50 mm.) R_L doğrultusu üzerinde $0,8 \cdot R_L$ değeri işaretlenir (92,6 mm.) Bu noktadan 1 nolu sıkılama noktasına etkileyen aktif radyal kuvvete (F_1 'e) paralel f_1 doğrultusu çizilerek T_{12} doğrultusu kesilir. Bu yeni bulunan noktadan F_2 ye paralel f_2 doğrultusu çizilir ve T_{23} doğrultusu kesilir. Bu işleme, en son sıkılama noktasına etkileyen F_4 aktif kuvvetine paralel konumdaki f_4 doğrultusu çizilerek R_h yatay etki kuvveti doğrultusuna ulaşılır. Bu aşamada deneme poligonu tamamlanmıştır (Şekil 4).

Daha sonra, yük diyagramlarındaki aktif radyal kuvvetleri (ölçeğe dikkat edilerek) deneme poligonuna taşınır.

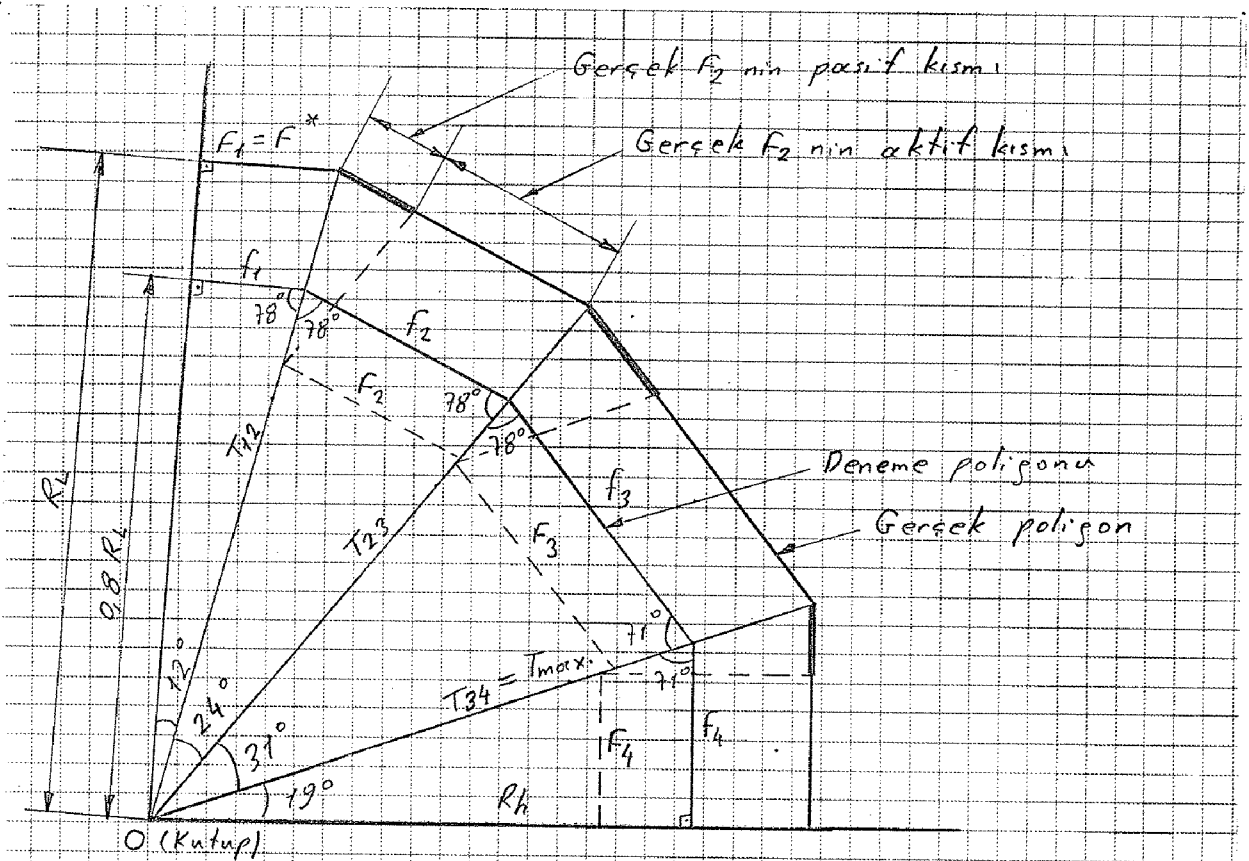
$$F_2 = 0,6735 \text{ t} \quad (33,675 \text{ mm.})$$

$$F_3 = 0,877 \text{ t} \quad (43,85 \text{ mm.})$$

$$F_4 = 0,5275 \text{ t} \quad (26,375 \text{ mm.})$$

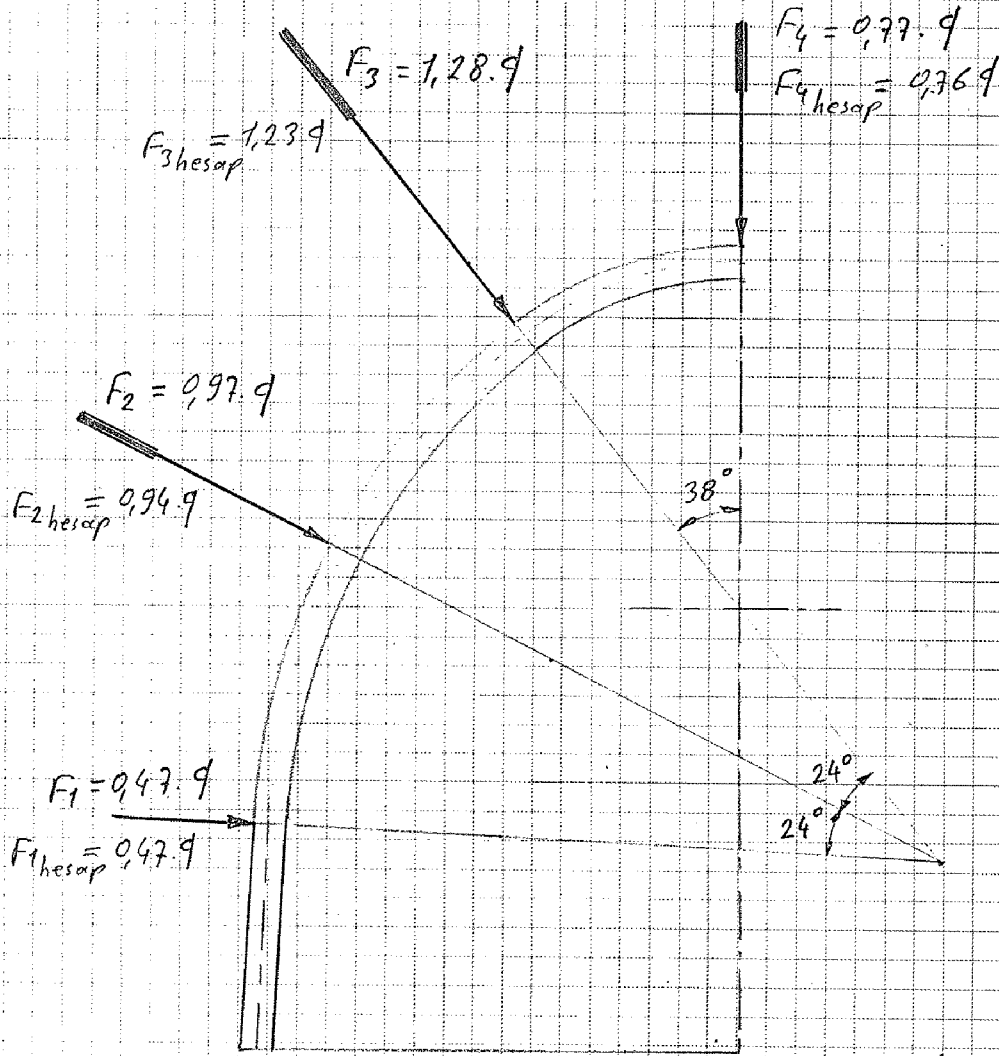
Deneme poligonuna tasınan aktif radyal kuvvetler arasında kutuptan (O noktası) en uzakta olan F_i kuvveti (F^*) bulunur ve F^* temel alınarak, deneme poligonundaki f_i doğru parçalarına paralel olarak gerçek kuvvet poligonu çizilir (Şekil 4).

$$F_1 = F^* = 0,47. q \quad (23,5 \text{ mm})$$



Şekil 4 - Deneme ve gerçek yük poligonları
ölçek: 1. q → 50 mm

Gerçek kuvvet poligonunda, F^* kuvveti dışındaki tüm diğer F_i kuvvetleri, yük diyagramlarındaki aktif F_i kuvvetlerinden daha büyüktür. İlgili kuvvetlerdeki farklılık, başın kayaya doğru yaklaşması eğilimine karşı kaya tarafından harekete geçirilen pasif direnç kuvvetleridir. Bu farklılıklar koyu (kuvvetin)



Şekil 5 - Sıkılama noktalarındaki bağ yükleri.
Ölçek: $1 \cdot q \rightarrow 50 \text{ mm}$

çizgilerle belirtilerek, gersek kuvvetler yük diyagramlarında çizilir (Şekil 4). Sıkılama noktalarındaki bağ yükleri de Şekil 4 ten faydalanarak Şekil 5 de verilmiştir (ölçeğe dikkat).

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = F^* = 0,47 \cdot q \quad (23,5 \text{ mm}) \\ F_2 = 0,97 \cdot q \quad (48,5 \text{ mm}) \\ F_{2 \text{ pasif}} = 0,29 \cdot q \quad (14,5 \text{ mm}) \end{array} \right\} \text{ (Şekil 4)}$$

$$\begin{array}{l}
 F_3 = 1,28 \cdot \varphi \quad (64 \text{ mm}) \\
 F_{3\text{pasif}} = 0,38 \cdot \varphi \quad (19 \text{ mm}) \\
 F_4 = 0,77 \cdot \varphi \quad (38,5 \text{ mm}) \\
 F_{4\text{pasif}} = 0,24 \cdot \varphi \quad (12 \text{ mm})
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} F_3 \\ F_{3\text{pasif}} \\ F_4 \\ F_{4\text{pasif}} \end{array}} \right\} \text{ (Şekil 4) }$$

Gerçek kuvvet poligonundaki (Şekil 4) içinsal doğrultuların boyları gerçek etki kuvvetlerinin büyüklüğünü temsil eder. Bu etki kuvvetleri, eğrilik yarıçapının sabit olduğu eşit sıklıkta aralıklı kısımlarda aynı olacaktır. Gerçek etki kuvvetlerinden en büyüğü ($T_{\max.}$) tasarıda (boyutlandırılmada) kullanılacak olan etki kuvvetinin değeridir.

• Başta maksimum gerilmenin hesaplanması;

Gerçek kuvvet poligonundaki yüklerin ve etki kuvvetlerinin analitik olarak bulunması da mümkündür. Bunun için önce gerçek yük poligonundaki açılar belirlenir (Şekil 4, 6). Poligon, F_1 yükü esas alınarak çizildiği için, trigonometrik bağıntılardan tüm yükler ve etki kuvvetleri hesaplanabilir (Şekil 6).

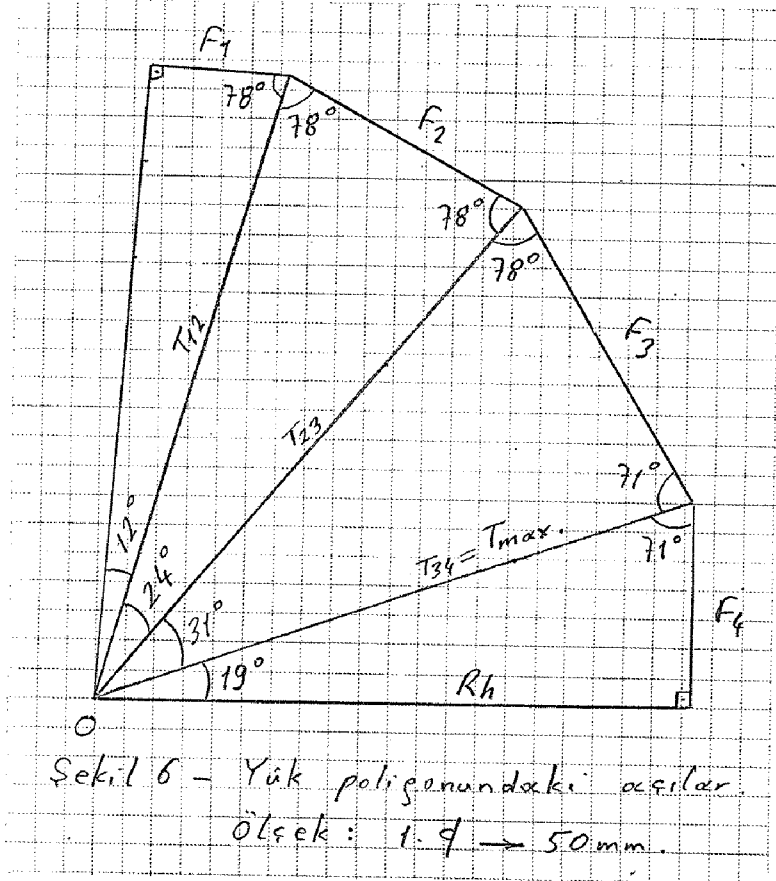
$$F_1 = 0,47 \cdot \varphi \text{ olarak hesaplanmıştı (Sayfa: 9).}$$

Şekil 6 dan faydalanarak,

$$\frac{F_1}{\sin 12^\circ} = T_{12} \rightarrow \frac{0,47 \cdot \varphi}{\sin 12^\circ} = T_{12}$$

$$\| \underline{T_{12}} = 2,26 \cdot \varphi$$

$$\| \underline{T_{12}} = T_{23} = 2,26 \cdot \varphi$$



$$\frac{F_2}{\sin 24^\circ} = \frac{T_{12}}{\sin 78^\circ} \rightarrow F_2 = \frac{\sin 24^\circ}{\sin 78^\circ} \cdot 2,26.9$$

$$\| \underline{F_2 = 0,94.9}$$

$$\frac{T_{34}}{\sin 78^\circ} = \frac{T_{23}}{\sin 71^\circ} \rightarrow T_{34} = \frac{\sin 78^\circ}{\sin 71^\circ} \cdot 2,26.9$$

$$\| \underline{T_{34} = 2,338.9}$$

$$\frac{F_3}{\sin 31^\circ} = \frac{T_{23}}{\sin 71^\circ} \rightarrow F_3 = \frac{\sin 31^\circ}{\sin 71^\circ} \cdot 2,26.9$$

$$\| \underline{F_3 = 1,23.9}$$

$$F_4 = T_{34} \cdot \sin 19^\circ = 2,338 \cdot \sin 19^\circ$$

$$\parallel F_4 = 0,76 \cdot \varphi$$

olarak bulunur.

Gerçek yük poligonundan, ölçek göz önünde bulundurularak okunan değerler ise

<u>Şekil 4 :</u>	<u>HESAP :</u>	<u>Şekil 6 :</u>
$F_1 = 0,47 \cdot \varphi$ (23,5mm)	0,47 $\cdot \varphi$	$F_1 = 0,47 \cdot \varphi$ (23,5 mm)
$F_2 = 0,97 \cdot \varphi$ (48,5mm)	0,94 $\cdot \varphi$	$F_2 = 0,92 \cdot \varphi$ (46 mm)
$F_3 = 1,28 \cdot \varphi$ (64mm)	1,23 $\cdot \varphi$	$F_3 = 1,18 \cdot \varphi$ (59 mm)
$F_4 = 0,77 \cdot \varphi$ (38,5mm)	0,76 $\cdot \varphi$	$F_4 = 0,7 \cdot \varphi$ (35 mm.)
$T_{12} = 2,3 \cdot \varphi$ (115mm)	2,26 $\cdot \varphi$	$T_{12} = 2,33 \cdot \varphi$ (116,5 mm)
$T_{23} = T_{12} = 2,3 \cdot \varphi$	2,26 $\cdot \varphi$	$T_{23} = T_{12} = 2,33 \cdot \varphi$
$T_{34} = 2,4 \cdot \varphi$ (120mm)	2,338 $\cdot \varphi$	$T_{34} = 2,36 \cdot \varphi$ (118mm)

Görüldüğü gibi, gerçek yük poligonu özente çizilirse, analitik hesaplamalarla gerçek kalmadan, tüm yükler etki kuvvetleri yeterli duyarlılıkla elde edilebilir.

Bağlar sürekli olarak (hiç aralık bırakmadan) sıkılanmazlarsa ya da bağın arkası beton dolgu yapılmazsa, bağ profilinde sıkılma takozu aralığı büyüdükçe artan eğilme momentleri oluşur. Tasarım amacıyla, bağın sürekli ya da eklemlili olmasınca göre, maksimum momentler sırasıyla:

$$M_{max} = 0,67 \cdot M_f \text{ (sürekli)}$$

veya

$$M_{max} = 0,86 M_f \text{ (eklemlî)}$$

bağintilerinden hesaplanabilir.

M_f - Başda iki sıkılama noktası arasında orta noktada oluşan max. eğilme momenti.

M_f eğilme momenti, gersek kuvvet poligonundan elde edilen max. etki kuvveti T_{max} kullanılarak

$$M_f = T_{max} \cdot h$$

bağintısından hesaplanır. Burada;

h - T_{max} etki kuvvetinin etki ettiği kavisli baş parçasının tarafsız ekseninin oluşturduğu yayın T_{max} doğrultusundan olan en büyük uzaklığı olup (Şekil 1),

$$h = R' \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right)$$

bağintısıyla belirlenir.

R' - Başın tarafsız ekseninin incelenen bölgedeki eğrilik yarıçapı

θ - incelenen bölgedeki sıkılama noktalarını geçen merkez açıdır.

Gersek yük poligonundan (Şekil 4; 6),

$$\| \underline{T_{max}} = T_{34} = 2,4 \text{ t.}$$

$$\left. \begin{aligned} R_1' &= 1400 + 70 = 1470 \text{ mm} = 1,47 \text{ m.} \\ \theta_1 &= 38^\circ \end{aligned} \right\} \text{ (Şekil 1; 2)}$$

$$h_1 = 1,47 \left(1 - \cos \frac{38^\circ}{2}\right)$$

$$\| \underline{h_1} = 0,08 \text{ m.}$$

$$\left. \begin{aligned} R_2' &= 2800 + 70 = 2870 \text{ mm.} = 2,87 \text{ m.} \\ \theta_2 &= 24^\circ \end{aligned} \right\} \text{(Şekil 1; 2)}$$

$$h_2 = 2,87 \left(1 - \cos \frac{24^\circ}{2}\right)$$

$$\| \underline{h_2 = 0,06 \text{ m}}$$

$h_1 > h_2$ olduğu için hesaplarda $h_1 = 0,08 \text{ m.}$ kullanılacaktır

$$M_f = T_{\max} \cdot h = 2,4 \text{ t} \cdot 0,08$$

$$\| \underline{M_f = 0,192 \text{ t} \cdot \text{m}}$$

Burada, $T_{\max} = T_{34}$ olduğu ve 3 no'lu takozun iki parçalı bağın tepedeki eklem yeri civarında bulunmadığı, söz önünde tutularak, max. moment,

$M_{\max} = 0,67 \cdot M_f$ bağıntısı kullanılarak hesaplanacaktır.

$$M_{\max} = 0,67 \cdot 0,192 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$\| \underline{M_{\max} = 0,129 \text{ t} \cdot \text{m}}$$

Bağda oluşan maksimum gerilme,

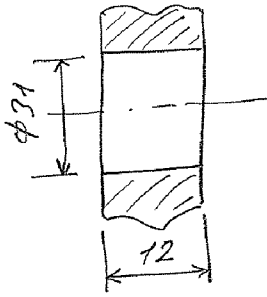
$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{A} + \frac{M_{\max}}{W_{xx}}$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Burada,

A- Çelik bağ profilinin kesit alanı (Eğer çelik fırsatlar için profile delikler açılmışsa, bu deliğin, yüklenen kesiti azaltacağı hesaba katılmalıdır).

$$\left. \begin{aligned} A &= 53 \text{ cm}^2 = 53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ W_{xx} &= 227 \text{ cm}^3 = 227 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned} \right\} \text{ (Şekil 8/1)}$$

Profil kesitinde paspas bağlantı delişi (28 mm. lik perno için 31 mm. çapında) için düzeltme yapılırsa :



$$A = 53 \cdot 10^{-4} - (0,012 \cdot 0,031)$$

$$\parallel A = \underline{49,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{\max.} = \frac{2,4 \cdot q}{49,28 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,13 \cdot q}{227 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{\max.} = 1059,7 \cdot q \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$q = \gamma_k \cdot H_k \cdot L$$

$$\gamma_k = 25 \text{ kN/m}^3$$

$H_k = 0,7 \cdot B$ (Kayma yükü yüksekliği, palet genişliğinin %70'i alınmıştır)

$$H_k = 0,7 \cdot (2 \cdot 2,315)$$

$$\parallel H_k = \underline{3,241 \text{ m}}$$

$L = 1 \text{ m}$ (Baş aralığı 1m alınmıştır)

$$q = 25 \cdot 3,241 \cdot 1 = 81,025$$

$$\parallel q = \underline{81 \text{ kN/m}}$$

$$\sigma_{max.} = 1059,7 \cdot \varphi = 1059,7 \cdot 81$$

$$\sigma_{max.} = 85835,7 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$\| \underline{\sigma_{max.}} = 85,8357 \text{ MPa} \approx 86 \text{ MPa}$$

St 37 çeliğinden imal edilen GI 140 profilindeki müsaade edilebilir (emniyet) gerilme değeri $\sigma_{em.} = 140 \text{ MPa}$ olduğuna göre,

$$\| \underline{\sigma_{max.} (= 86 \text{ MPa})} < \sigma_{em.} (= 140 \text{ MPa})$$

tasarım güvenlidir.

Not. $T_{max.} = T_{34} = 2,4 \varphi$ (Sayfa : 18/ olduğuna bulmaktık farzedelim, 3 no.lu faktörün iki parçalı bağın eklemlerinden biri civarında bulunduğu göz önüne alınsa,

$$M_{max.} = 0,86 \text{ Mt}$$

bağın tisi kullanılmalıdır. Buna göre,

$$M_{max.} = 0,86 \cdot 0,192 \cdot \varphi$$

$$\| \underline{M_{max.}} \approx 0,165 \cdot \varphi \text{ kN.m}$$

bulunur.

$$\sigma_{max.} = \frac{T_{max.}}{A} + \frac{M_{max.}}{W_{xx}} = \frac{2,4 \varphi}{49,28 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,165 \cdot \varphi}{227 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{max.} \approx 1214 \cdot \varphi \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{max.} = 1214 \cdot 81 = 98334 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$\| \underline{\sigma_{max.} = 98,4 \text{ MPa}}$$

$$\| \underline{\sigma_{max.} (= 98,4 \text{ MPa})} < \sigma_{em.} (= 140 \text{ MPa})$$

Yine uygundur.

- Bağı bacağındaki gerilmelerin hesabı ve burkulmanın kontrolü $L^1 = 1050 \text{ mm}$ alınmıştır (Sayfa: 7). Ayrıca, GI 140 profili için Şekil 8 kullanılarak,

$A = 53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (Mesafe şubukları, metal fırsatlar için bacakta delik açılmadığı varsayılmıştır)

$$I_{xx} = 1586 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{xx} = 227 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$r_{min.} = r_{yy} = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

değerleri bulunur.

$r_{min.}$ - Min. atalet yarıçapı

Yapısal çelikler için önerilen $\sigma_{em.}$ 'in bulunması için önce kritik narinlik oranının (narinlik - incelik - derecesi) hesaplanması gerekir. Akma gerilmesi σ_y , Young modülü E olan elastik kolonun kritik narinlik derecesi,

$$\lambda_c = \bar{\lambda} (2E/\sigma_y)^{1/2}$$

bağıntısından bulunur. Sonra, bağı düz bacak kısmının narinlik derecesi:

$$\lambda = L_e / r_{min.}$$

bağıntısından hesaplanır.

L_e - Kolonun etkin boyu

Etkin boy, kolonun uçlarının hareket edebilme özelliğine göre değişirse de, bağıntısının her iki ucu da yuvarlatılmış (dönebilen ancak yatay yer değiştirmeyen) bir kolon gibi davranacağı düşünülürse $L_e = L'$ olarak alınabilir.

Minimum atalet yarıçapı da,

$$r_{\min.} = (I_{\min.}/A)^{1/2}$$

bağıntısından bulunur.

$I_{\min.}$ - Profil kesitinin min. atalet momenti

Daha sonra, bağıntısının bağıntısının narinlik derecesi profil çeliği için hesaplanan kritik narinlik derecesi ile karşılaştırılır. Burkulma etkisi için müsaade edilebilir gerilme ;

$d < d_c$ ise ,

$$\sigma_{em.} = \frac{1 - 0,5 (d/d_c)^2}{k} \cdot \sigma_y$$

$d_c < d$ ise ,

$$\sigma_{em.} = \frac{12 \pi^2 E}{23 d^2}$$

bağıntısından hesaplanır.

k - Güvenlik (emniyet) katsayısı

$$k = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{d}{d_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{d}{d_c} \right)^3$$

eşitliğinden bulunur.

Yukarıda sunulan analizde, başın düzgülü bacağı kısmındaki sıkılama takozlarının varlığı göz önünde bulundurulmamıştır.

Sürekli bir başın düzgülü bacağı, kavistli kısmının aksenal etki kuvveti ile bacağın düzleştiği yerdaki ilk sıkılama noktasındaki momentin etkisinin narin bir kolon gibi çalışır. Bu noktadaki moment, başın düzgülü bacağı ile kavistli kısmının sürekliliğinden dolayı

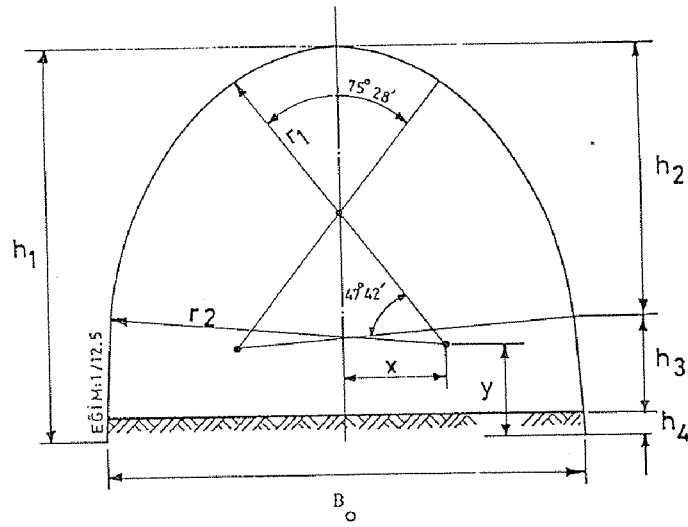
$$M_1 = 0,67 M_f = 0,67 \cdot T_{12} \cdot h \quad (\text{Şekil 2})$$

bağıntısıyla yaklaşık olarak bulunabilir. Moment en üstte maksimum olup, düzgülü (doğrusal) olarak azalarak başın ayarında sıfır olur. Söz konusu eğilme momenti, baş bacağının açıklığa doğru d_1 kadarlık bir yer değiştirmesine (bükülmesine) yol açar (Şekil 9). Maksimum bükülmenin olduğu nokta, bacağın üst ucundan $0,422 \cdot L'$ kadar uzaklıktadır (burada L' , çelik başın bacağının düzgülü kısmının uzunluğudur) ve maksimum bükülme,

$$d_1 = 0,0642 \cdot \frac{M_1 \cdot L'^2}{E \cdot I_{xx}}$$

bağıntısından hesaplanabilir.

Başın düzgülü bacağı, ayrıca bacağına etkileyen R_L etki kuvvetiyle de aksenal olarak yüklenmiştir. Bu kuvvet, başın bacağındaki profil kesitinde aksenal bir basınç

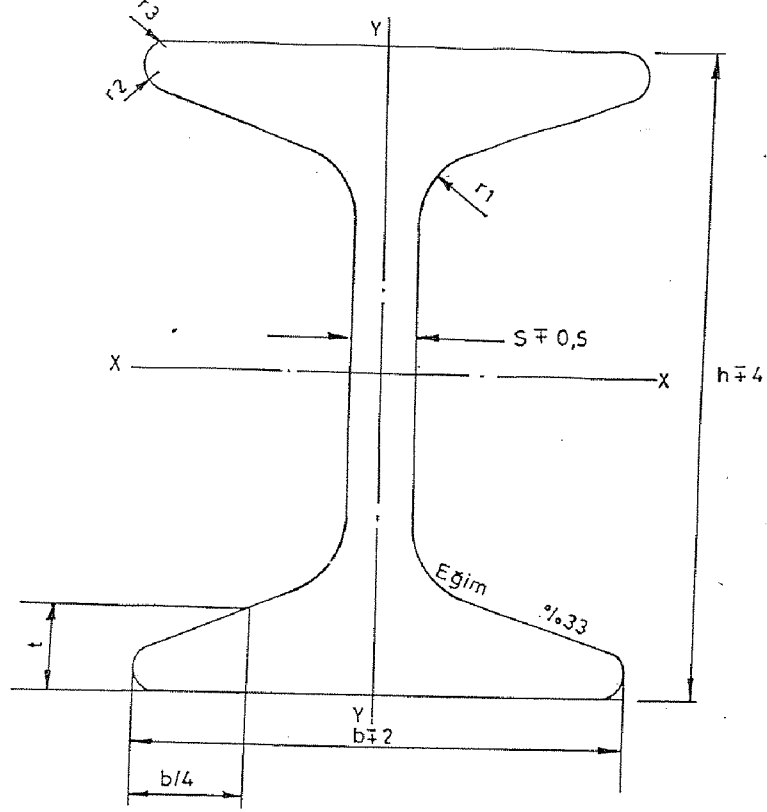


Galeri Tipi	Kesit Alanı (m ²)		Boyutlar (mm)								
	Faydalı	Kazı	B ₀	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	r ₁	r ₂	x	y
B8	8	10.2	3625	3000	2049	746	190	1250	2500	767	735
B10	10	12.5	4065	3350	2300	838	212	1400	2800	860	825
B14	14	17.3	5300	3750	3065	443	250	1900	3750	1147	391
B18	18	22.2	6000	4250	3441	496	280	2120	4250	1287	439

Şekil 7- DIN 21531'e göre kavisli rijit çelik baş geometrileri.

gerilmesine ve aynı zamanda bacak M_1 momentinden dolayı büküldüğü için de ilave bir momente neden olur. Bacanın bükülmesinin d_1 den d_2 ye artışı sağlayan ilave bükülme, tünellerde ve galerilerde kullanılan başların bacaklarının uzunluğuna orantılı oldukça küsüktür. Bu yüzden, eğilme momentindeki artış yalnızca %3 kadardır. Bacaktaki maksimum bükülme, bacağın üst ucundan $0,422L'$ ile $0,5L'$ kadar uzaklıktaki noktalar arasında bir yerde oluşur. Bu noktadaki toplam eğilme momenti

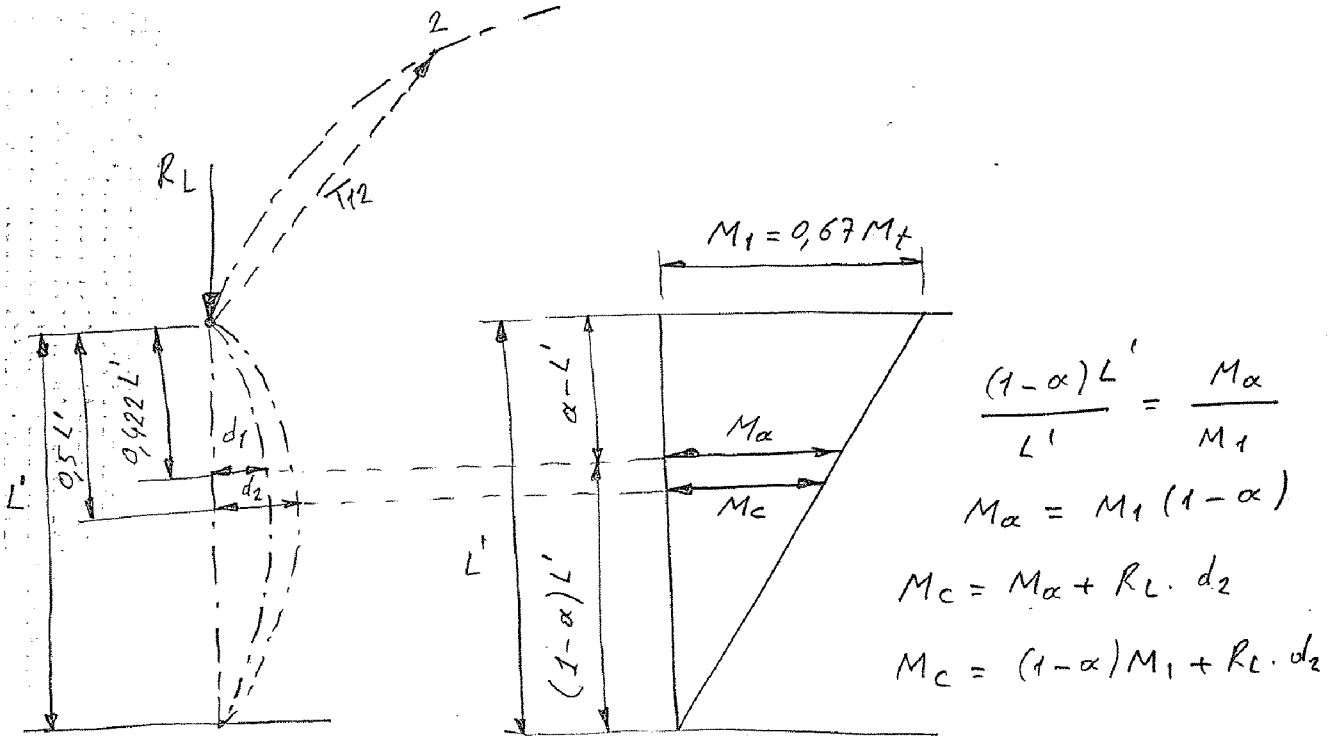
$$M_c = (1 - \alpha) M_1 + R_L \cdot d_2$$



BOYUTLAR (mm)			KESİT ÖZELLİKLERİ		
	GI110	GI140		GI110	GI140
h	110	140	A (cm ²)	31.1	53
b	84	110	G (kg/m)	24.5	41.6
s	10	12	I _{xx} (cm ⁴)	570	1586
t	14	19	W _{xx} (cm ³)	103	227
r ₁	14	17	r _{xx} (cm)	4.28	5.47
r ₂	5	8	I _{yy} (cm ⁴)	103	315
r ₃	1.5	1.5	W _{yy} (cm ³)	24.5	57.3
			r _{yy} (cm)	1.82	2.44

Not: Profildeki delikler için, profil kesit alanı A'dan "s · delik çapı" kadarlık bir alan çıkarılmalıdır.

Şekil 8- DIN 21541'e göre profillerin boyutları ve özellikleri.



Şekil 9 - Çelik başın düzgün baccındaki bükülme ve moment dağılımı.

bağıntısıyla hesaplanabilir. $\alpha = 0,422$ olduğuna göre,

$$M_c = 0,578 \cdot M_1 + R_L \cdot d_2$$

dur. Şekil 9'a göre,

$$\frac{d_1}{d_2} = 0,578 \cdot M_1 / M_c$$

yarılabılır. Yukarıdaki bağıntıları kullanarak,

$$M_c = 0,578 \cdot M_1 + R_L \cdot \frac{d_1 \cdot M_c}{0,578 \cdot M_1}$$

$$M_c (0,578 \cdot M_1 - R_L \cdot d_1) = (0,578 \cdot M_1)^2$$

$$M_c = \frac{(0,578 \cdot M_1)^2}{(0,578 \cdot M_1 - R_L \cdot d_1)}$$

bağintısı elde edilebilir. Nihayet, baş bacağında maksimum bükülmenin olduğu noktada oluşan maksimum gerilme de,

$$\sigma_b = \frac{R_L}{A} + \frac{M_c}{W_{xx}}$$

bağintısıyla hesaplanabilir.

M_c - Baş bacağında maksimum bükülme noktasında oluşan eğilme momenti.

$$\sigma_b < \sigma_{em}$$

olmalıdır.

Ayrıca, başın bacağının düzleştiği noktada oluşan maksimum gerilme de,

$$\sigma_1 = \frac{T_{12}}{A} + \frac{M_1}{W_{xx}}$$

bağintısı ile hesaplanarak, σ_{em} ile karşılaştırılmalıdır.

Hesaplıyalım :

$$M_1 = 0,67 M_T = 0,67 \cdot T_{12} \cdot h$$

$$T_{12} = 2,3 \cdot q = 2,3 \cdot 81$$

$$\parallel T_{12} = 186,3 \text{ kN}$$

$$M_1 = 0,67 \cdot 186,3 \cdot 0,08$$

$$\parallel M_1 \approx 10 \text{ kN.m}$$

$$d_1 = 0,0642 \frac{M_1 \cdot L^{12}}{E \cdot I_{xx}} = 0,0642 \frac{10 \cdot (1,050)^2}{2,07 \cdot 10^8 \cdot 1586 \cdot 10^{-8}}$$

$$207 \text{ GPa} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$\parallel d_1 = 2,156 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

- 2

$$R_L = T_{12} \cdot \cos 12^\circ \quad (\text{sekitar})$$

$$R_L = 186,3 \cdot \cos 12^\circ$$

$$\parallel \underline{R_L = 182,23 \text{ kN}}$$

$$M_C = \frac{(0,578 \cdot M_1)^2}{(0,578 M_1 - R_L \cdot d_1)} = \frac{(0,578 \cdot 10)^2}{(0,578 \cdot 10 - 182,23 \cdot 2,156 \cdot 10^{-4})}$$

$$\parallel \underline{M_C = 5,82 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$d_c = \pi (2E/\sigma_y)^{\frac{1}{2}}$$

$$d_c = \pi \left(2 \frac{207 \cdot 10^3 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\parallel \underline{d_c = 130,5}$$

$$\lambda = L_e/r_{\min} = L'/r_{\min}$$

$$\lambda = \frac{1,050}{2,44 \cdot 10^{-2}}$$

$$\parallel \underline{\lambda = 43}$$

$$\lambda (= 43) < d_c (= 130,5)$$

dolaxisya,

$$\sigma_{em} = \frac{1 - 0,5 (\lambda/d_c)^2}{k} \sigma_y$$

$$\sigma_{em} = \frac{1 - 0,5 (43/130,5)^2}{k} \cdot 240$$

$$k = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^3$$

$$R_L = T_{12} \cdot \cos 12^\circ \text{ (sekitar)}$$

$$R_L = 186,3 \cdot \cos 12^\circ$$

$$\parallel \underline{R_L = 182,23 \text{ kN}}$$

$$M_c = \frac{(0,578 \cdot M_1)^2}{(0,578 M_1 - R_L \cdot d_1)} = \frac{(0,578 \cdot 10)^2}{(0,578 \cdot 10 - 182,23 \cdot 2,156 \cdot 10^{-4})}$$

$$\parallel \underline{M_c = 5,82 \text{ kN.m}}$$

$$d_c = \pi (2E/\sigma_y)^{\frac{1}{2}}$$

$$d_c = \pi \left(2 \frac{207 \cdot 10^3 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\parallel \underline{d_c = 130,5}$$

$$\lambda = L_e/r_{min} = L'/r_{min}$$

$$\lambda = \frac{1,050}{2,44 \cdot 10^{-2}}$$

$$\parallel \underline{\lambda = 43}$$

$$\lambda (= 43) < d_c (= 130,5)$$

dolayısıyla,

$$\sigma_{em} = \frac{1 - 0,5 (\lambda/d_c)^2}{k} \sigma_y$$

$$\sigma_{em} = \frac{1 - 0,5 (43/130,5)^2}{k} \cdot 240$$

$$k = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{\lambda}{d_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{d_c} \right)^3$$

$$k = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{43}{130,5} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{43}{130,5} \right)^3$$

$$\| \underline{k = 1,785}$$

$$\sigma_{em} = \frac{1 - 0,5 \left(\frac{43}{130,5} \right)^2}{1,785} \cdot 240$$

$$\| \underline{\sigma_{em} = 127 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_1 = \frac{T_{12}}{A} + \frac{M_1}{W_{xx}}$$

$$\sigma_1 = \frac{186,3}{53 \cdot 10^{-4}} + \frac{10}{227 \cdot 10^{-6}} \approx 79204 \text{ kN/m}^2$$

$$\| \underline{\sigma_1 = 79,2 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_b = \frac{R_L}{A} + \frac{M_c}{W_{xx}}$$

$$\sigma_b = \frac{182,23}{53 \cdot 10^{-4}} + \frac{5,82}{227 \cdot 10^{-6}} = 60022 \text{ kN/m}^2$$

$$\| \underline{\sigma_b \approx 60 \text{ MPa}}$$

$$\| \sigma_b (= 60 \text{ MPa}) < \sigma_{em} (= 127 \text{ MPa})$$

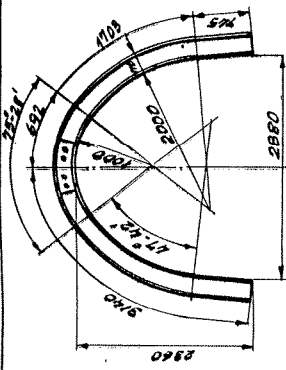
$$\| \sigma_1 (= 79,2 \text{ MPa}) < \sigma_0 (= 140 \text{ MPa})$$

Bağın bacasında burkulmanın söz konusu olmadığı görülür.

1-08-2001

Kennedy

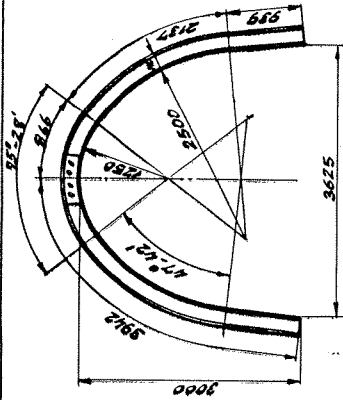
B 5



Faydalı Kesit: 5 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x340	2	77	154	
2	12x135x400	2	7	450	14
3	Civata 20x60	4	0	275	1
Y e k ü n					169
					200

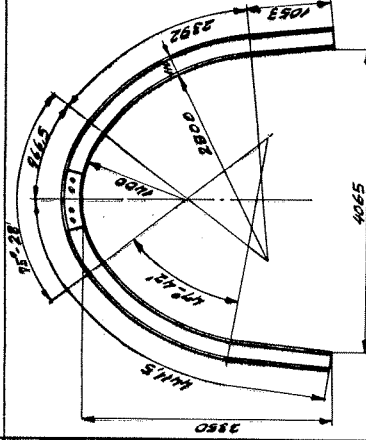
B 8



Faydalı Kesit: 8 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x380	2	96	500	193
2	12x135x400	2	7	450	14
3	Civata 20x60	4	0	275	1
Y e k ü n					208
					200

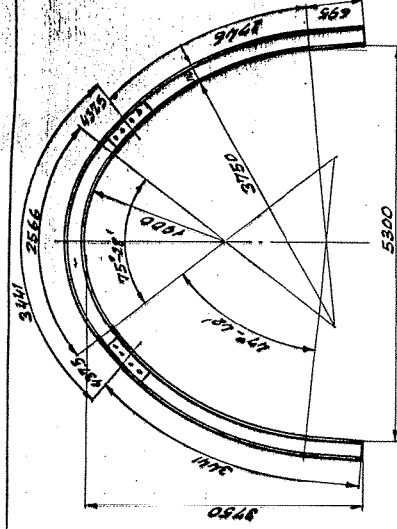
B 10



Faydalı Kesit: 10 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x440	2	107	550	215
2	12x135x400	2	7	450	14
3	Civata 20x60	4	0	275	1
Y e k ü n					230
					200

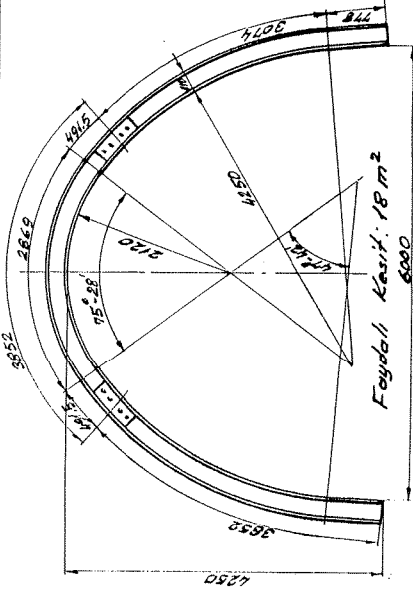
B 14



Faydalı Kesit: 14 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x540	3	83	415	249
2	12x135x400	4	7	450	28
3	Civata 22x70	8	0	425	3
Y e k ü n					281
					425

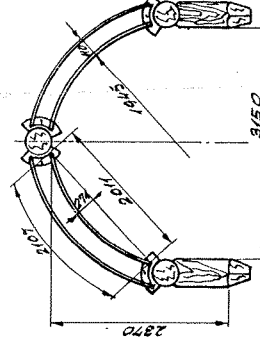
B 18



Faydalı Kesit: 18 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x685	3	93	465	219
2	12x135x400	4	7	450	28
3	Civata 22x70	8	0	425	3
Y e k ü n					311
					250

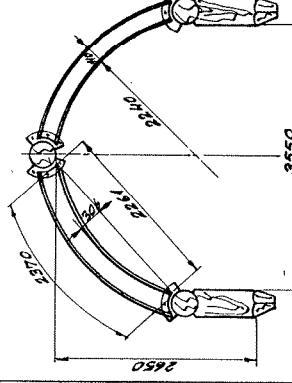
G 6.3



Faydalı Kesit: 6.3 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x210	2	51	102	
2	L 50x50x5x250	8	1	8	
3	Pervin 22x70	4	0	200	
Y e k ü n					110
					200

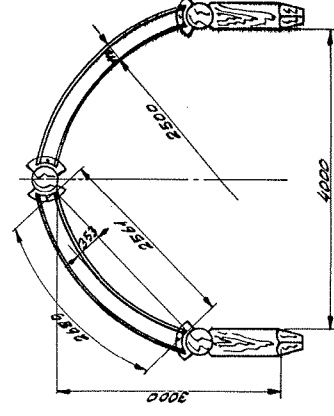
G 8



Faydalı Kesit: 8 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x2370	2	57	500	115
2	L 50x50x5x250	8	1	8	
3	Pervin 22x70	4	0	200	
Y e k ü n					123
					200

G 10



Faydalı Kesit: 10 m²

Nº	Malzeme Ebadı	Adı	Adet	Kg	Yek. Kg
1	GI 10x84x2889	2	65	100	130
2	L 50x50x5x250	8	1	8	
3	Pervin 22x70	4	0	200	
Y e k ü n					199
					200

R N° F-291