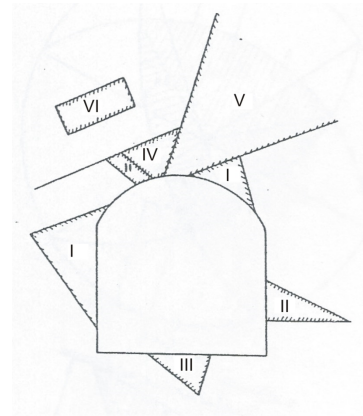


Dr. H. Sönmez-JEM720

## Bölüm 6: Tünellerde Kaya Bloğu Oluşumunun Kinematik Analizi



- ✓ Kaya kütlelerinde kaya malzemesi bloklarının yüzeylerini süreksizlikler sınırlandırır. Özellikle büyük blokların oluşabileceği geniş süreksizlik aralıklarının olduğu kaya kütlelerinde açılacak tünellerde süreksizliklerin sınırlandırdığı blokların tünele doğru duraysızlık yaratma potansiyeli oluşabilir.



### Tünellerde Muhtemel Blok Oluşumları

- I, II, III → Sökülebilir (duraysızlık yaratabilir) bloklar (geometriye, bileşke kuvvetlerin çözümüne ve  $\phi'$ 'ye bağlı olarak)
- IV, V → Serbest yüzeyi olmakla birlikte, kazı çeperinde yeni kırık ve sökülmeler olmadıkça duraylı
- VI → Serbest yüzeyi yok (duraylı)

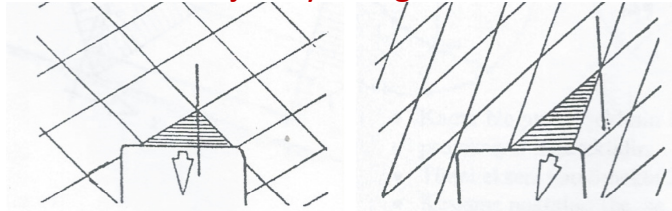
(Prof. Dr R. Ulusay'ın JEO 620 ders notlarından)

Dr. H. Sönmez-JEM720

## Stereografik İzdüşüm Tekniğiyle Blok Analizi

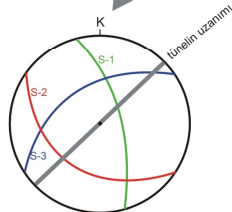


### I. Tünel tavanındaki rijit kaya bloğunun analizi

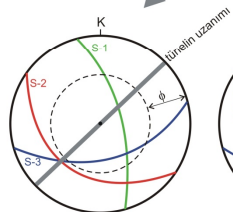


**Blok düşmesi:** Blokların keşim noktasının düşey iz düşümü tünel tavanının üstüne (tünelin içine) yöneliyor.

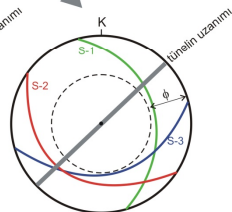
**Blok kayması:** Blokların keşim noktasının düşey iz düşümü tünel tavanının (tünelin) dışına yöneliyor. Kayma iki süreksizliğin keşim hattı boyunca veya bir düzlem üzerinde olabilir.



kinematik anlamda düşen blok



kinematik anlamda duraysız



kinematik anlamda duraylı

(Prof. Dr R. Ulusay'ın JEO 620 ders notlarından)

Dr. H. Sönmez-JEM720

### ✓ Düşen blok analizi ve tünel açıklığına bağlı olarak olası en büyük blok hacminin hesabı



Tünelin uzanımı → NS

Süreksizlik Seti-1 (A) → 040°/50°

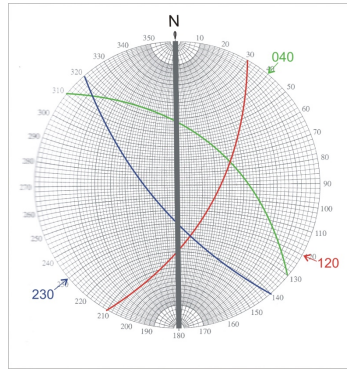
Süreksizlik Seti-2 (B) → 120°/60°

Süreksizlik Seti-3 (C) → 230°/70°

 $\phi=30$  (düşme yorumu için gerek yok)

Tünelin genişliği: 10 m

1. Tüm süreksizliklerin büyük daireleri çizilir.
2. Tünelin uzanımı işaretlenir.
3. Streonetin merkezi, süreksizliklerin streonette sınırlandırdığı alanının içinde kalıyorsa düşme koşulu sağlanmış olur.

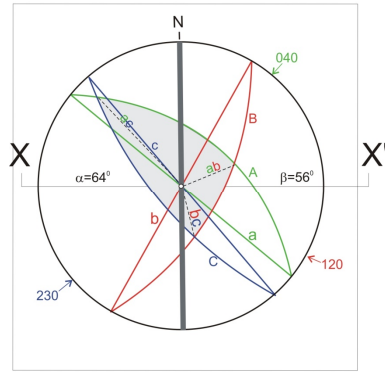


Kinematik anlamda düşme var!

Maksimum hacim hesabı



Dr. H. Sönmez-JEM720



A, B, C --> süreksizlik düzlemleri  
 ab, ac, bc --> süreksizlik kesişim hatları  
 a, b, c --> süreksizliklerin doğrultuları

- (1) Tünel doğrultusuna dik olarak  $S=10$  m için uygun bir ölçekle tüneli çiziniz
- (2) Herhangi bir süreksizlikten başlayarak ve doğrultunu koruyarak üç gen şeklindeki kaya bloğunun taban alanını  $S$  genişliğindeki tünele tam yerleşecek şekilde çiziniz.
- (3) ab, ac ve bc kesişim hatlarını çizerek merkez noktasını işaretleyiniz

Maksimum hacim hesabı



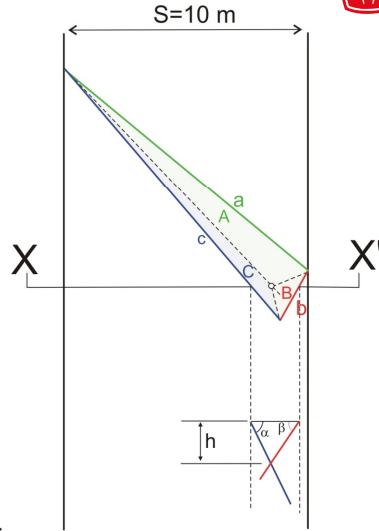
Dr. H. Sönmez-JEM720



- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek şekilde XX' kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) bloğun bu iki iz düşüm arasına kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) streonette XX' kesit hattının bloğun iki yüzeyine (bu örnekte C ve B) ulaştığı açıl değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) okuyunuz.
- (8)  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği (h)'dir.

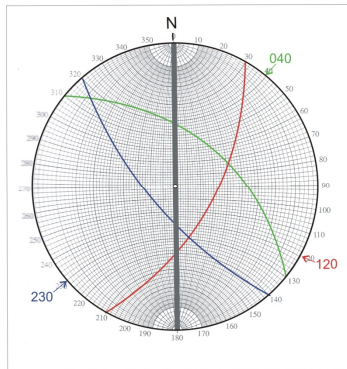
$$V_{\max} = (1/3).h.A$$

- A--> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda A(abc)'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği



## Örnek-2'nin çözümüne ilişkin uygulama aşamaları

1. adım: Tünelin doğrultusu, süreksizlik setlerinin büyük daireleri çizilir. Tavandaki rijit blok duraysızlığının düşme şeklinde olduğu belirlenir. Gerekli olmadığı için  $\phi$  daireleri çizilmez.



Tünelin uzanımı  $\rightarrow$  NS

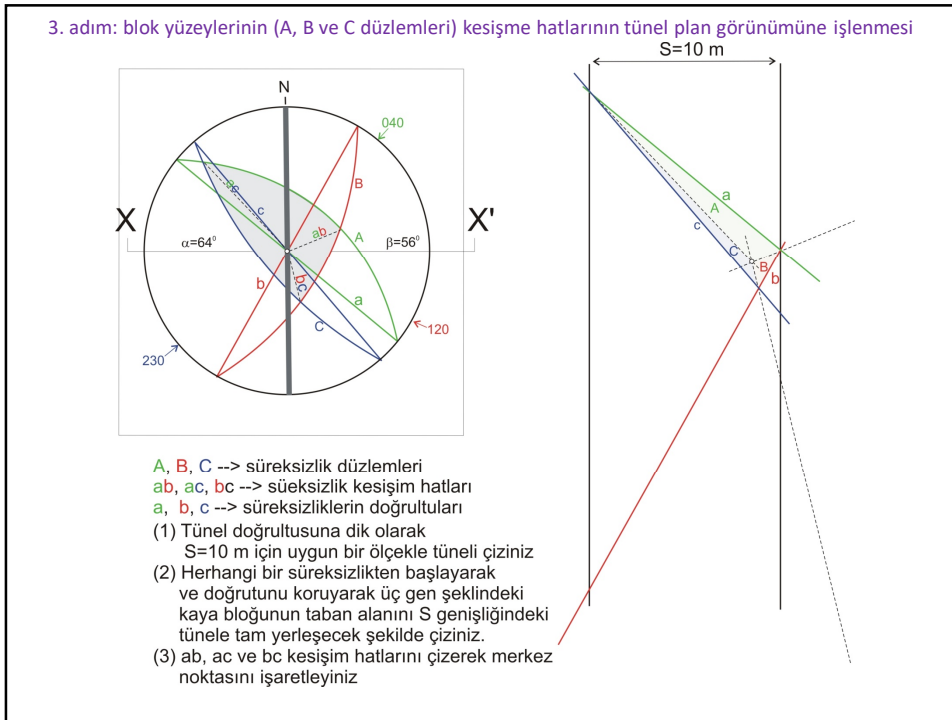
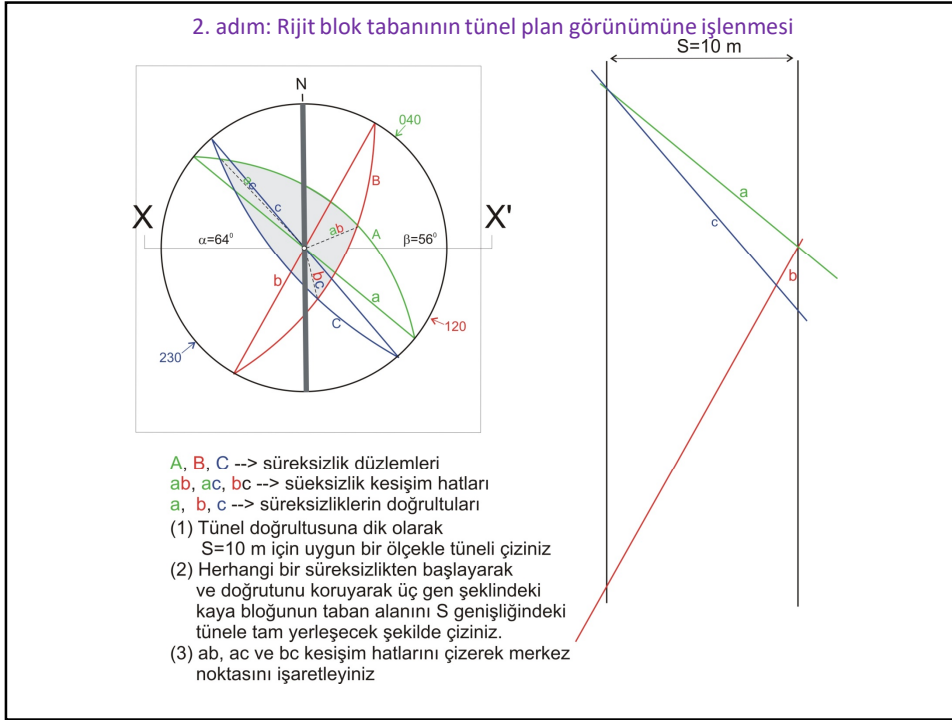
Süreksizlik Seti-1 (A)  $\rightarrow$  040°/50°

Süreksizlik Seti-2 (B)  $\rightarrow$  120°/60°

Süreksizlik Seti-3 (C)  $\rightarrow$  230°/70°

$\phi=30$  (düşme yorumu için gerek yok)

Tünelin genişliği: 10 m



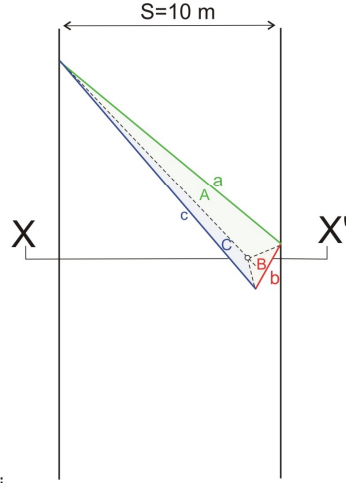
4. adım: düşmenin beklendiği bloğun tepe noktasından geçen tünelin doğrultusuna dik XX' kesit düzleminin çizilmesi

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek şekilde XX' kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) bloğun bu iki iz düşüm arasına kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) streonette XX' kesit hattının bloğun iki yüzeyine (bu örnekte C ve B) ulaştığı açısıl değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) okuyunuz.
- (8)  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği (h)'dir.

$$V_{\max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A--> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda A(abc)'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği

**yüksekliği bulmak için XX' tepeden geçecek**

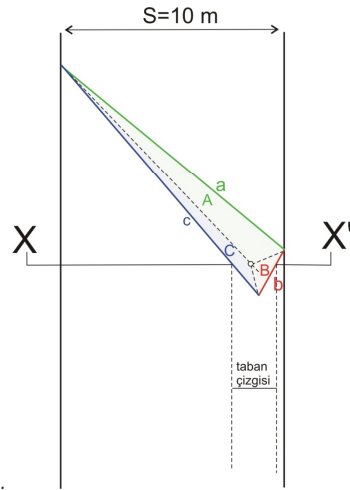


5. adım: tünel planında rijit bloğun tabanı boyunca başlangıç ve bitiş noktalarının (biri tünel duvarı) aşağı iz düşümlerinin ve rijit bloğun tepe noktasının izdüşümünün uzatılması.  
Bloğun tünel tavanındaki bloğun XX' kesit uzanımındaki taban çizgisinin çizilmesi

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek şekilde XX' kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) bloğun bu iki iz düşüm arasına kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) streonette XX' kesit hattının bloğun iki yüzeyine (bu örnekte C ve B) ulaştığı açısıl değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) okuyunuz.
- (8)  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği (h)'dir.

$$V_{\max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A--> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda A(abc)'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği

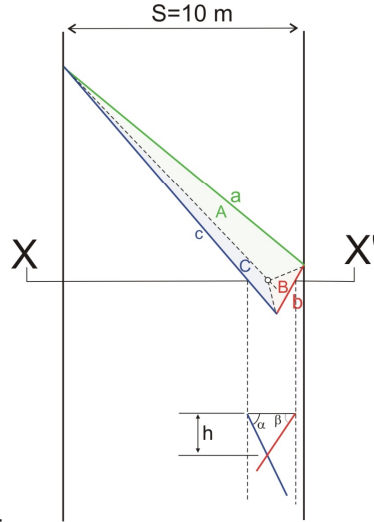


6. adım: taban çizgisinin iki yanında  $\beta$  ve  $\alpha$  açlarına (büyüklükleri için bkz. 3. adım) sahip bloğun  $XX'$  kesiti boyunca izlerinin uzatılarak bloğun yüksekliğinin bulunması

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek şekilde  $XX'$  kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) bloğun bu iki iz düşüm arasında kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) streonette  $XX'$  kesit hattının bloğun iki yüzeyine (bu örnekte C ve B) ulaştığı açılal değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) okuyunuz.
- (8)  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği ( $h$ )'dir.

$$V_{\max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A--> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda A(abc)'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği

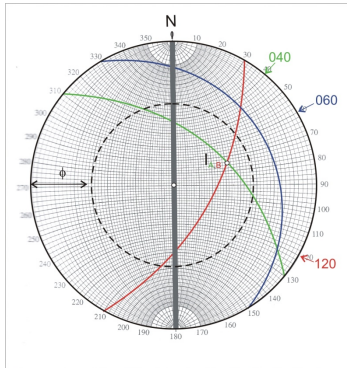


Dr. H. Sönmez-JEM720

### ✓ Kayan blok analizi ve tünel açıklığına bağlı olarak olası en büyük blok hacminin hesabı



Tünelin uzanımı → NS  
Süreksizlik Seti-1 (A) → 040°/50°  
Süreksizlik Seti-2 (B) → 120°/60°  
Süreksizlik Seti-3 (C) → 060°/20°  
 $\phi=30$  (düşme yorumu için gerek yok)  
Tünelin genişliği: 10 m

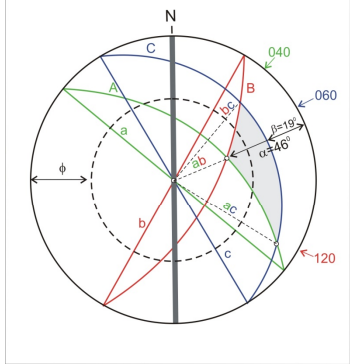


$I_{A,B}$  – kayma koşulu sağlanıyor.

1. Tüm süreksizliklerin büyük daireleri çizilir.
2. Tünelin uzanımı işaretlenir.
3. (1) Süreksizliklerin sınırlandığı alan tümüyle  $\phi$  dairesinin dışında kalıyorsa kinematik anlamda kaya söz konusu olmaz.
3. (2) Süreksizliklerin her hangi ikisinin kesişim hattına ait streonetteki nokta  $\phi$  dairesinin içinde kalıyorsa bu hat üzerinde rijit blok kaymasının kinematik koşulları sağlanmış olur.
4. (3) Süreksizliklerin her hangi ikisinin kesişim hattına ait streonetteki nokta  $\phi$  dairesinin içinde kalmıyorsa, ancak süreksizliklerde biri  $\phi$  dairesini kesiyorsa, bu durumda bu düzlem üzerinde düzlemsel kayma koşulları (tünelin doğrultusu ile süreksizliğin doğrultusu  $\pm < 20^\circ$  süreksizliğin eğimi  $> \phi$ ) sağlanırsa rijit bloğun kinematik kayması bu düzlem üzerinde kayması mümkündür.

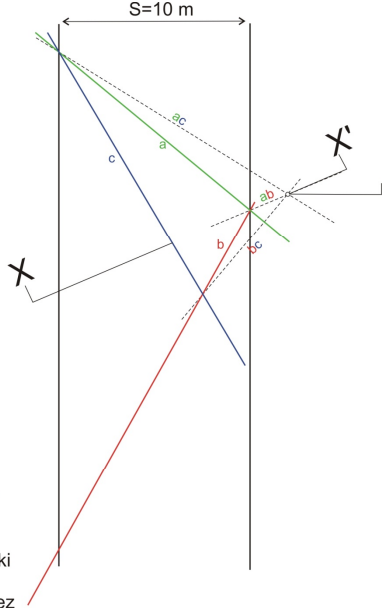
Maksimum hacim hesabı

Dr. H. Sönmez-JEM720



**A, B, C** --> süreksizlik düzlemleri  
**ab, ac, bc** --> süreksizlik kesişim hatları  
**a, b, c** --> süreksizliklerin doğrultuları

- (1) Tünel doğrultusuna dik olarak  $S=10$  m için uygun bir ölçekle tüneli çiziniz
- (2) Herhangi bir süreksizlikten başlayarak ve doğrutunu koruyarak üçgen şeklindeki kaya bloğunun taban alanını  $S$  genişliğindeki tünele tam yerleşecek şekilde çiziniz.
- (3) **ab, ac** ve **bc** kesişim hatlarını çizerek merkez noktasını işaretleyiniz  
 $\alpha$ :  $I_{A,B}$  kesişim hattının dalımı (blok A ve B düzlemlerinin kesişimi boyunca kayama, koşulunda olduğu için)  
 $\beta$ :  $I_{A,B}$  dalım yönü boyunca C düzleminin görünür eğimi ( $XX'$  hattı C düzlemini kestiği için)

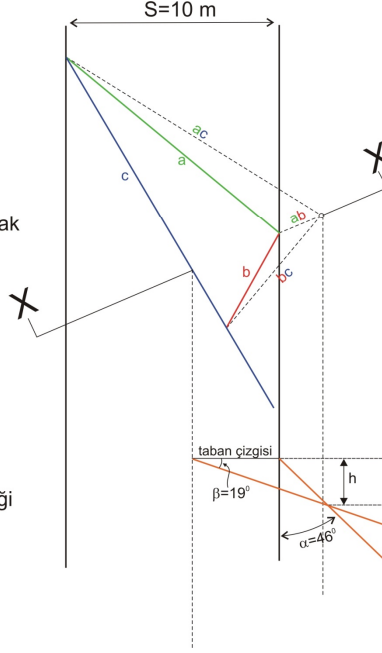


Dr. H. Sönmez-JEM720

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek ve  $I_{A,B}$  ile paralel (aynı yönlü) olacak şekilde  $XX'$  kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu kesişim hattı da dahil her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) Bu iki iz düşüm arasında kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) Streonette açıl değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) kullanarak  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği ( $h$ )'dir.

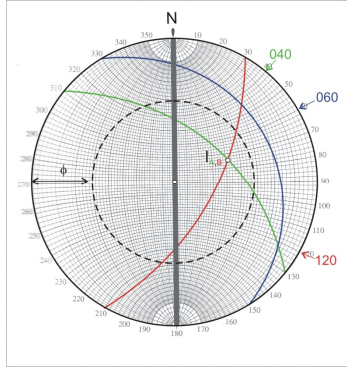
$$V_{\max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A --> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda  $A(abc)$ 'dir.  
 h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği



## Örnek-2'nin çözümüne ilişkin uygulama aşamaları

1. adım: Tünelin doğrultusu, süreksizlik setlerinin büyük daireleri ve  $\phi$  dairesi çizilir. Tavandaki rijit blok duraysızlığın  $I_{A,B}$  kesişime hattı üzerinde kayma olduğu belirlenir.



Tünelin uzanımı  $\rightarrow$  NS

Süreksizlik Seti-1 (A)  $\rightarrow$  040°/50°

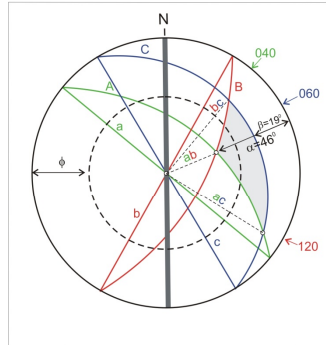
Süreksizlik Seti-2 (B)  $\rightarrow$  120°/60°

Süreksizlik Seti-3 (C)  $\rightarrow$  060°/20°

$\phi=30$  (düşme yorumu için gerek yok)

Tünelin genişliği: 10 m

## 2. adım: Rijit blok tabanının tünel plan görünümüne işlenmesi



A, B, C  $\rightarrow$  süreksizlik düzlemleri

ab, ac, bc  $\rightarrow$  süreksizlik kesişim hatları

a, b, c  $\rightarrow$  süreksizliklerin doğrultuları

(1) Tünel doğrultusuna dik olarak

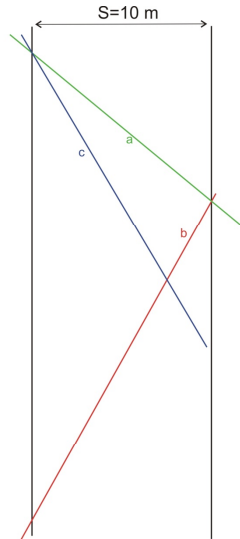
S=10 m için uygun bir ölçekte tüneli çiziniz

(2) Herhangi bir süreksizlikten başlayarak ve doğrultunu koruyarak üçgen şeklindeki kaya bloğunun taban alanını S genişliğindeki tünele tam yerleşecek şekilde çiziniz.

(3) ab, ac ve bc kesişim hatlarını çizerek merkez noktasını işaretleyiniz

$\alpha$ :  $I_{A,B}$  kesişim hattının dalımı (blok A ve B düzlemlerinin kesişimi boyunca kayma, koşulunda olduğu için)

$\beta$ :  $I_{A,B}$  dalım yönü boyunca C düzleminin görünür eğimi (XX' hattı C düzlemini kestiği için)

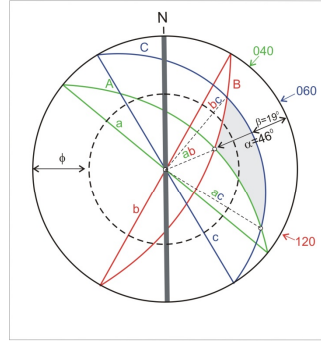




3. adım: blok yüzeylerinin (A, B ve C düzlemleri) kesişme hatlarının tünel plan görünümüne işlenmesi ve kaymanın beklendiği kesişme hattı boyunca tepe noktasından geçen XX' kesit düzleminin çizilmesi

$\alpha$ : kayma beklenen kesişme hattının yatayla yaptığı açı

$\beta$ : xx' hattı boyunca kestiği C düzlemindeki görünür eğim açısı

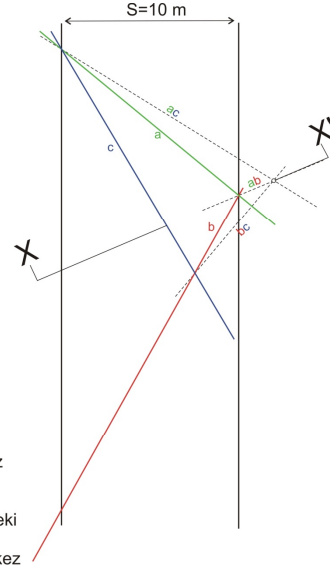


A, B, C --> süreksizlik düzlemleri  
ab, ac, bc --> süreksizlik kesişim hatları  
a, b, c --> süreksizliklerin doğrultuları

- (1) Tünel doğrultusuna dik olarak S=10 m için uygun bir ölçekte tüneli çiziniz
- (2) Herhangi bir süreksizlikten başlayarak ve doğrultunu koruyarak üçgen şeklindeki kaya bloğunun taban alanını S genişliğindeki tünele tam yerleşecek şekilde çiziniz.
- (3) ab, ac ve bc kesişim hatlarını çizerek merkez noktasını işaretleyiniz

$\alpha$ :  $I_{A,B}$  kesişim hattının dalımı (blok A ve B düzlemlerinin kesişimi boyunca kayama, koşulunda olduğu için)

$\beta$ :  $I_{A,B}$  dalım yönü boyunca C düzleminin görünür eğimi (XX' hattı C düzlemini kestiği için)

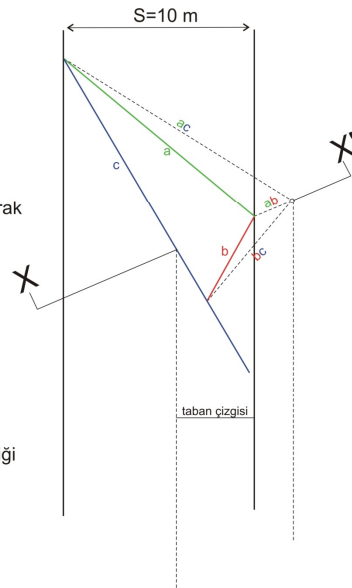


4. adım: tünel planında rijit bloğun tabanı boyunca başlangıç ve bitiş noktalarının (biri tünel duvarı) aşağı iz düşümlerinin ve rijit bloğun tepe noktasının iz düşümünün uzatılması. Bloğun tünel tavanındaki bloğun XX' kesit uzanımındaki taban çizgisinin çizilmesi

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek ve  $I_{A,B}$  ile paralel (aynı yönlü) olacak şekilde XX' kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu kesişim hattı da dahil her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) Bu iki iz düşüm arasında kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) Streonette açısal değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) kullanarak  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği (h)'dir.

$$V_{max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A --> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda A(abc)'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği

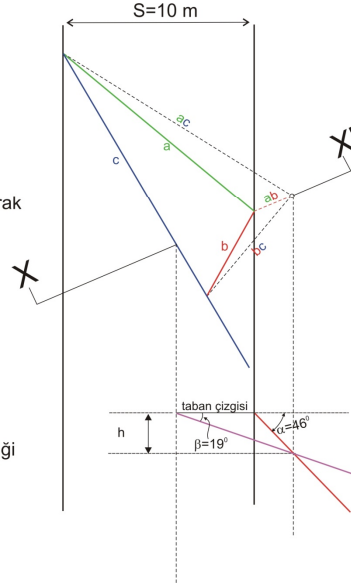


5. adım: taban çizgisinin iki yanında  $\beta$  ve  $\alpha$  açılarına (büyüklükleri için bkz. 2. adım) sahip bloğun  $XX'$  kesiti boyunca izlerinin uzatılarak bloğun yüksekliğinin bulunması

- (4) Bloğun tepe noktasından geçecek ve  $I_{a,b}$  ile paralel (aynı yönlü) olacak şekilde  $XX'$  kesit hattını işaretleyiniz.
- (5) Bu hattın bloğu kesişim hattı da dahil her iki taraftan kestiği noktadan iz düşüm çizgilerini (kesikli çizgi) uzatınız.
- (6) Bu iki iz düşüm arasına kesit düzlemindeki taban çizgisini çiziniz.
- (7) Streonette açısal değerleri ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) kullanarak  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleriyle taban çizgisinden yukarı çizgiler uzatınız. Bu iki çizginin kesişimi bloğun tepe noktası olup, tepe noktasının taban çizgisine olan mesafesi bloğun yüksekliği ( $h$ )'dir.

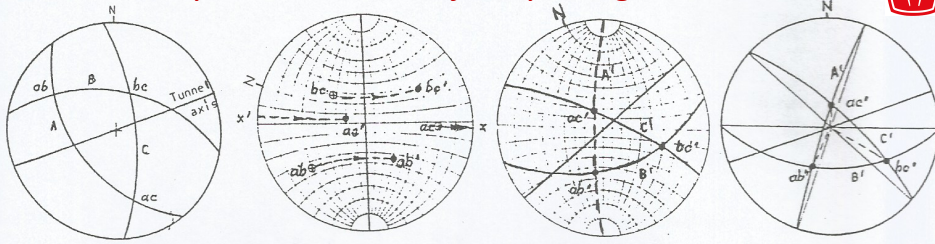
$$V_{\max} = (1/3) \cdot h \cdot A$$

A --> bloğun tünel tavanındaki mümkün en büyük alanı yandaki planda  $A(abc)$ 'dir.  
h --> bloğun tepe noktasından geçen yüksekliği



Dr. H. Sönmez-JEM720

## II. Tünel yanduvardındaki rijit kaya bloğunun analizi



Kama bloğunun şeklinin belirlenmesi için kama bloğunun şeklinin düşey düzlem üzerine projeksiyonu gereklidir.

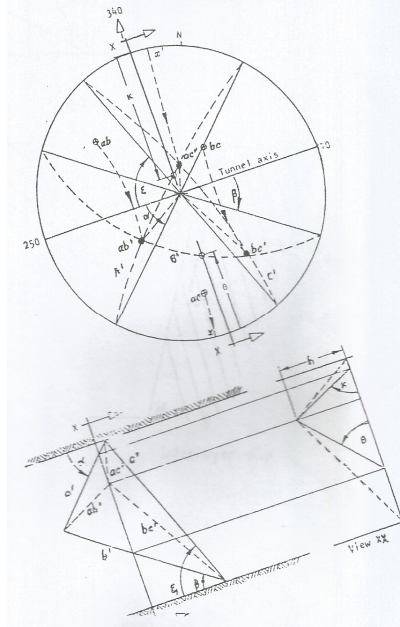
Bunun için:

- ✓ Tünel eksenini (bu örnekte 250-070) NS ile çakıştırılır.
- ✓ Kesişme noktaları (ab, ac ve bc) küçük daireler boyunca  $90^\circ$  döndürülür ( $ab'$ ,  $ac'$ ,  $bc'$ )
- ✓ Kesişme noktalarının oluşturduğu çiftlerden ( $bc'-ab'$ ,  $bc'-ac'$ ,  $ab'-ac'$ ) geçen büyük daireler düzlemlerin düşey düzlemde tünel duvarı üzerindeki konumları olup, bunların doğrultuları bu süreksizliklerin duvardaki izlerini temsil eder.
- ✓ Kama bloğunun  $XX'$  hattı boyunca gerçek görünümünün elde edilmesi önceki yöntemlerdeki gibi yapılır.

Örneğin Çözümü

(Prof. Dr R. Ulusay'ın JEO 620 ders notlarından)

Dr. H. Sönmez-JEM720



(Prof. Dr R. Ulusay'ın JEO 620 ders notlarından)