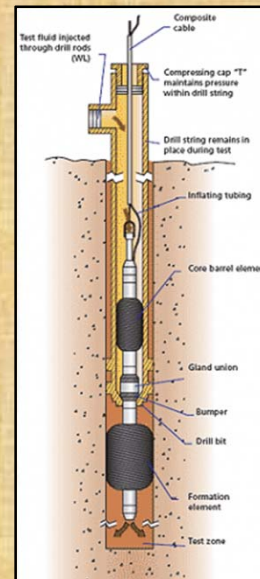
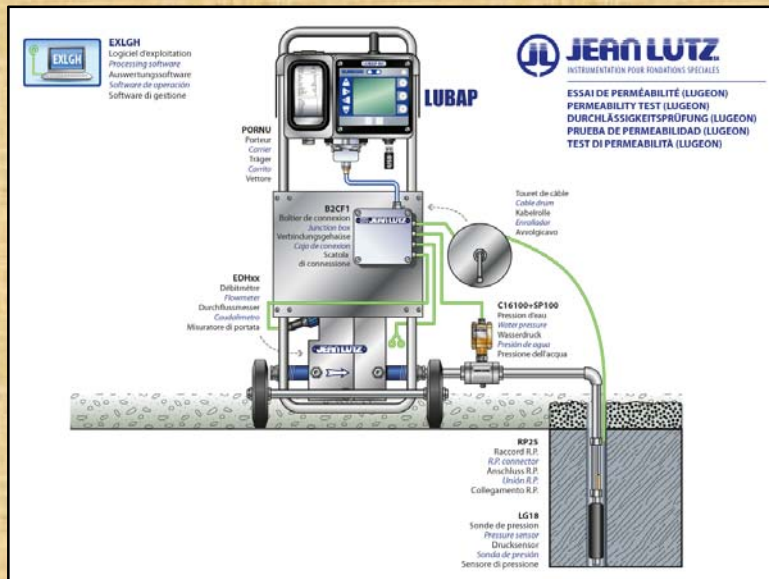


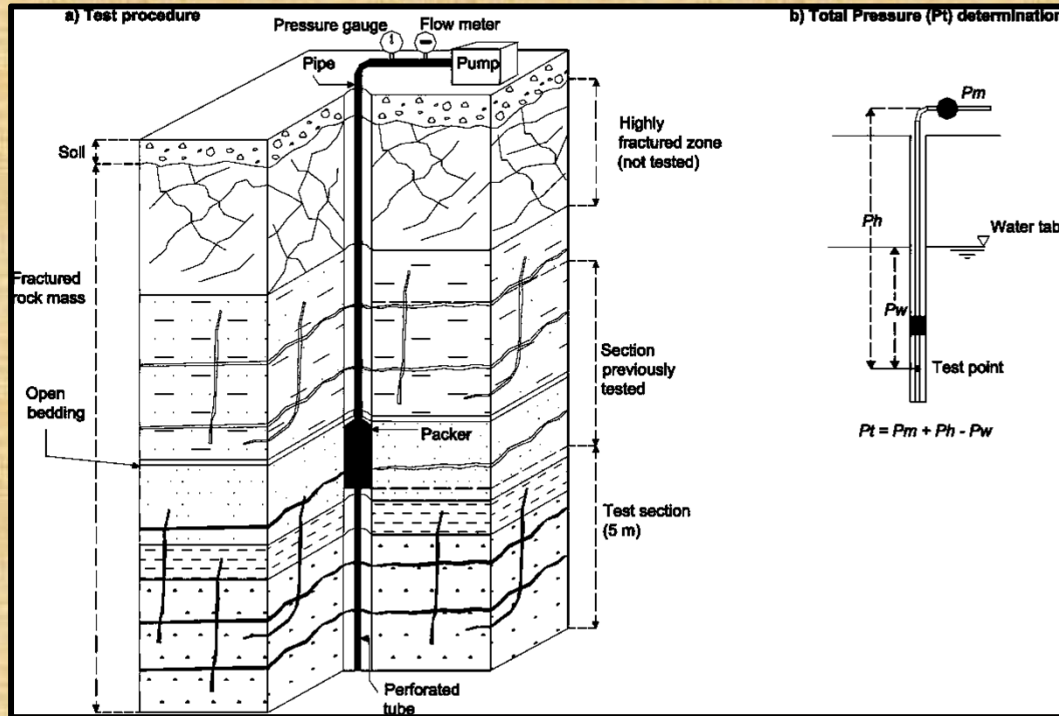
# BASINÇLI SU TESTİ LUGEON TESTİ PACKER TESTİ (BST)



## Basınçlı Su Testi

**Basınçlı Su Testi Nedir;** Kayaçların geçirimsizliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Sondajla açılan düşey, açılı yada yatay kuyularda pabuçlarla kapatılan bir bölgeye farklı basınçlarda su vererek kaybolan yada emilen suyun debisini belirlemek esasına dayanır. Yada farklı bir ifadeyle bir basınç altında kayacın emdiği suyun debisini ölçme ilkesine dayanır. İlk kez Maurice Lugeon tarafından yapıldığı için Lugeon testi olarak adlandırılır.

Lugeon birimi (LU); 10 kg/cm<sup>2</sup>'lik efektif basınç altında 1 dakikada 1 metre uzunluğundaki deney zonundan litre olarak kaçan suyun miktarıdır.



## Genel Değerlendirmeler;

- **Yer altında birimlerin geğirimsizliklerini belirlemek için bir çok deney geliştirilmiştir;** Su hareketini incelemek için yeraltında birçok deney geliştirilmiştir. Lugeon deneyi, Dupuit deneyi, Lefranc-Mandel deneyi, Matsuo deneyi, Nasberg-Terletska deneyi bunlardan birkaçıdır. Bunlardan en çok kullanılan, nitelik bildiren, uygulanışı basit olan Lugeon testi geniş bir uygulama alanına sahiptir.
- **Sadece kayaçların geçirimsizliklerinin belirlenmesi için yapılır;** Kayaçlarda geçirimsizlik zeminlerden farklılık gösterir. Kayaçlarda geçirimsizlik petrografik özelliklere, süreksizliklere ve morfolojik özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Söz konusu anizotropik koşullardan dolayı, kayaçlarda bir yönde çok fazla olan geçirimsizlik diğer yönde çok az olabilir. Bu nedenle zemin türlerinde laboratuvarında geçirimsizlik deneyi yapılırken kayaçların geçirimsizlik özelliği laboratuvardan elde edilemez. Deney zeminlerde uygulanmaz.
- **Baraj ve tünel uygulamalarında yaygın olarak yapılır;** Baraj ve tünellerde kaya birimlerinin geğirimsizliklerini belirlemek, enjeksiyona ihtiyaç duyulup duyulmadığını belirlemek için yapılır. Enjeksiyon işlemi bittikten sonra işlemin ne derece başarılı olup olmadığını tespit etmek için dünyada ve ülkemizde yaygın olarak yapılan bir deneydir.

■ **Deney farklı isimlerle anılır;** deneyi ilk bulan Maurice Lugeon'dan dolayı Lugeon testi olarak, kullanılan pabuç (Pecker)'lardan dolayı pecker testi olarak yada türkçeye uyarlanmış hali ile basınçlı su testi (BST) olarak anılır.

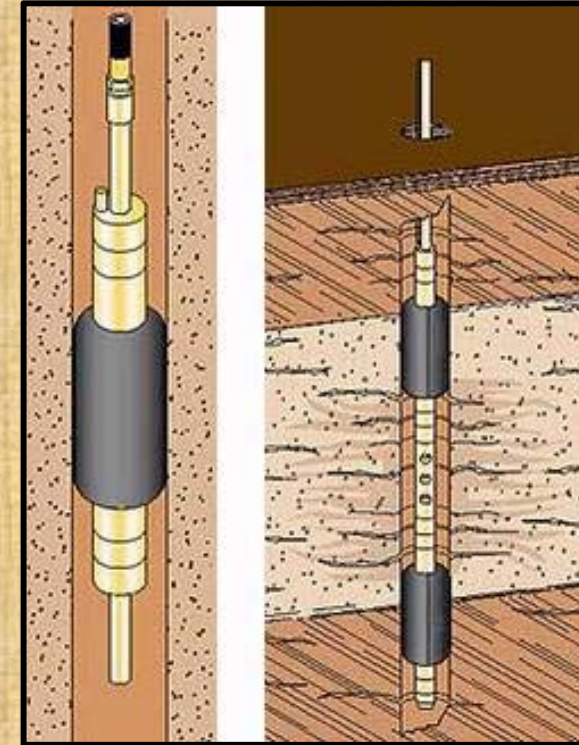
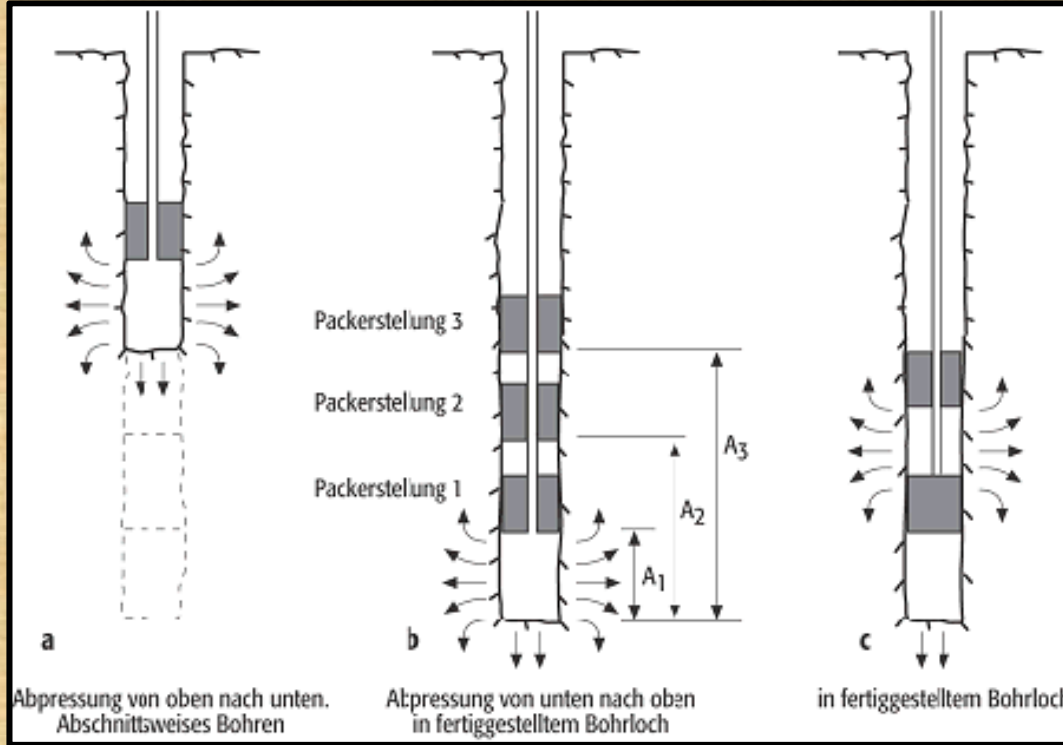
■ **Lugeon birimi (LU);** 10 kg/cm<sup>2</sup>'lik efektif basınç altında 1 dakikada 1 metre uzunluğundaki deney zonundan litre olarak kaçan suyun miktarıdır.

■ **Yeraltında yapılan su tecrübe deneyleri çeşitli sorunlar içerir;**

- Lastik tıkaç tipleri ve uzunlukları,
- Deney zonunun uzunluğu,
- Sondaj kuyu çapı,
- Deney süreleri,
- Deney basınçları,
- Akım ve basınç yöntemleri,
- Sonuçların hesaplanması gibi bir çok konuda henüz bir standartlaşmaya gidilmemiştir.

Dolayısıyla pratik gözlemler ve kurumsal bazı yaklaşımlar tek bir sondaj kuyusunda yapılan deney ile ancak sondaj kuyusunu çevreleyen kayacın çok sınırlı bir parçasının geçirgenliği belirlenir. Pratikte geçirimsizlik (permabilite) değerlerinin başarılı bir şekilde hesaplanabilmesi için farklı kuyularda çok sayıda deneyin yapılması gerekmektedir.

- **Deneyde birden fazla packer kullanılabilir;** yapılan çalışmanın amacına göre tekli ikili yada üçlü pacerer kullanılabilir, özellikle ara formasyonların geçirimliliğini belirlerken ikili packerler tercih edilir.



## Deneyde kullanılan ekipmanlar;

**1- Standart jeoteknik sondaj ekipmanları;** kuyu açmada kullanılan yeterli güce sahip jeoteknik amaçlı sondaj makinesi ve ekipmanları (matkap, tij, karotiyer, vs.,)



**2- Pacekerlar (Pabuçlar) ;** farklı uzunlukta ve özellikte olan pacekerlar



**3- Peceker şişirme aparatı; farklı türden gazları bulunduğu tüpler yada ülkemizde yaygın olarak kullanılan su basma ünitesi**



**4- Su sayacı ve manometre; kaya birimine kaçan suyun miktarını ölçmede kullanılan su sayaçları ve deneyin hangi basınçta yapıldığını gösteren manometre**





**EXLGH**  
Logiciel d'exploitation  
Processing software  
Auswertungssoftware  
Software de operación  
Software di gestione



**ESSAI DE PERMÉABILITÉ (LUGEON)**  
**PERMEABILITY TEST (LUGEON)**  
**DURCHLÄSSIGKEITSPRÜFUNG (LUGEON)**  
**PRUEBA DE PERMEABILIDAD (LUGEON)**  
**TEST DI PERMEABILITÀ (LUGEON)**

**LUBAP**

**PORNU**  
Porteur  
Carrier  
Träger  
Carrito  
Vettore



**EDHxx**  
Débitmètre  
Flowmeter  
Durchflussmesser  
Caudalimetro  
Misuratore di portata



Touret de câble  
Cable drum  
Kabelrolle  
Enrollador  
Avvolgicavo

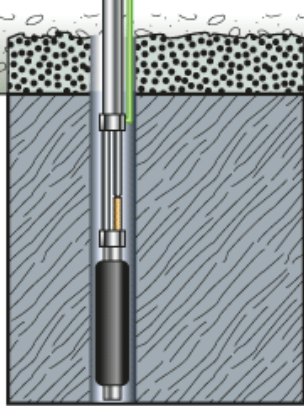


**C16100+SP100**  
Pression d'eau  
Water pressure  
Wasserdruck  
Presión de agua  
Pressione dell'acqua



**RP25**  
Raccord R.P.  
R.P. connector  
Anschluss R.P.  
Unión R.P.  
Collegamento R.P.

**LG18**  
Sonde de pression  
Pressure sensor  
Drucksensor  
Sonda de presión  
Sensore di pressione



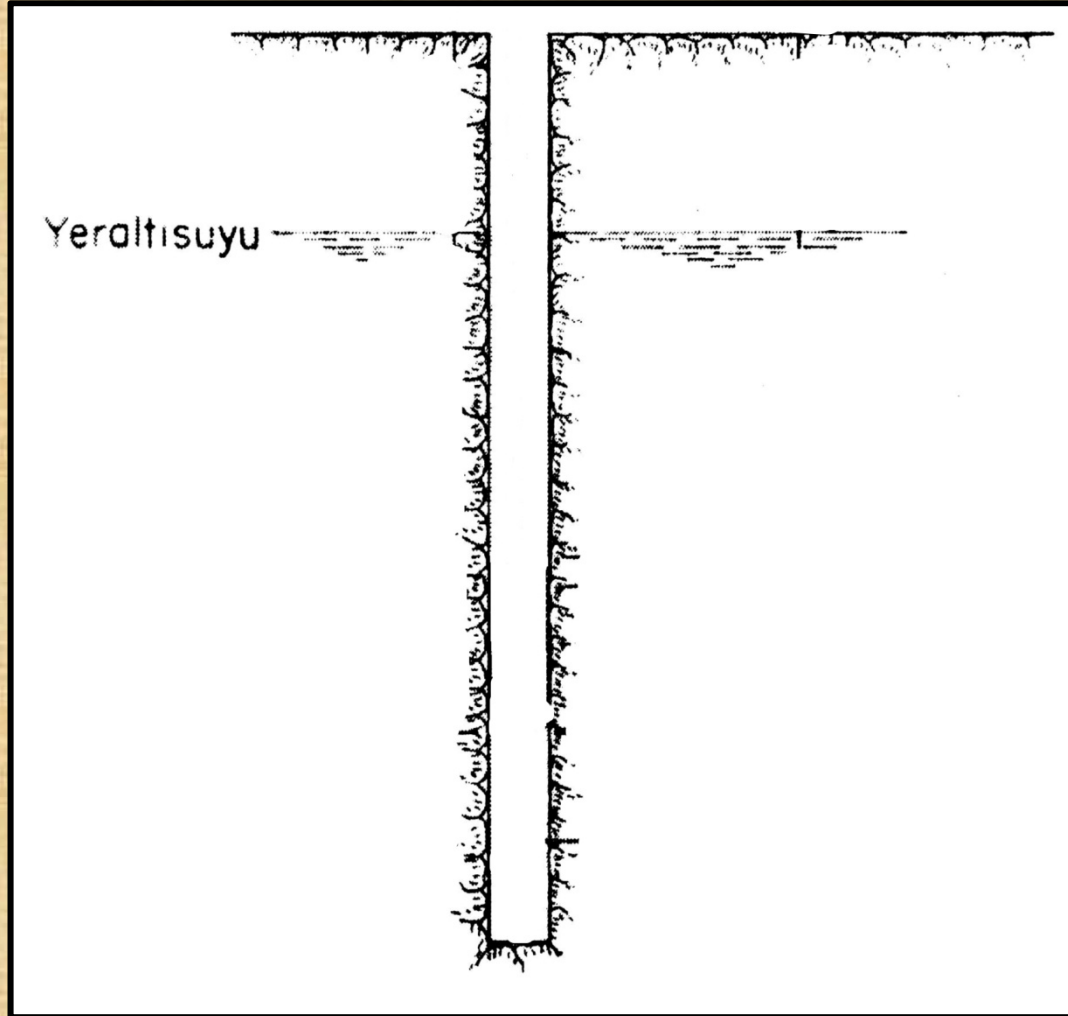
**Modern bir lugeon deney düzenegi**



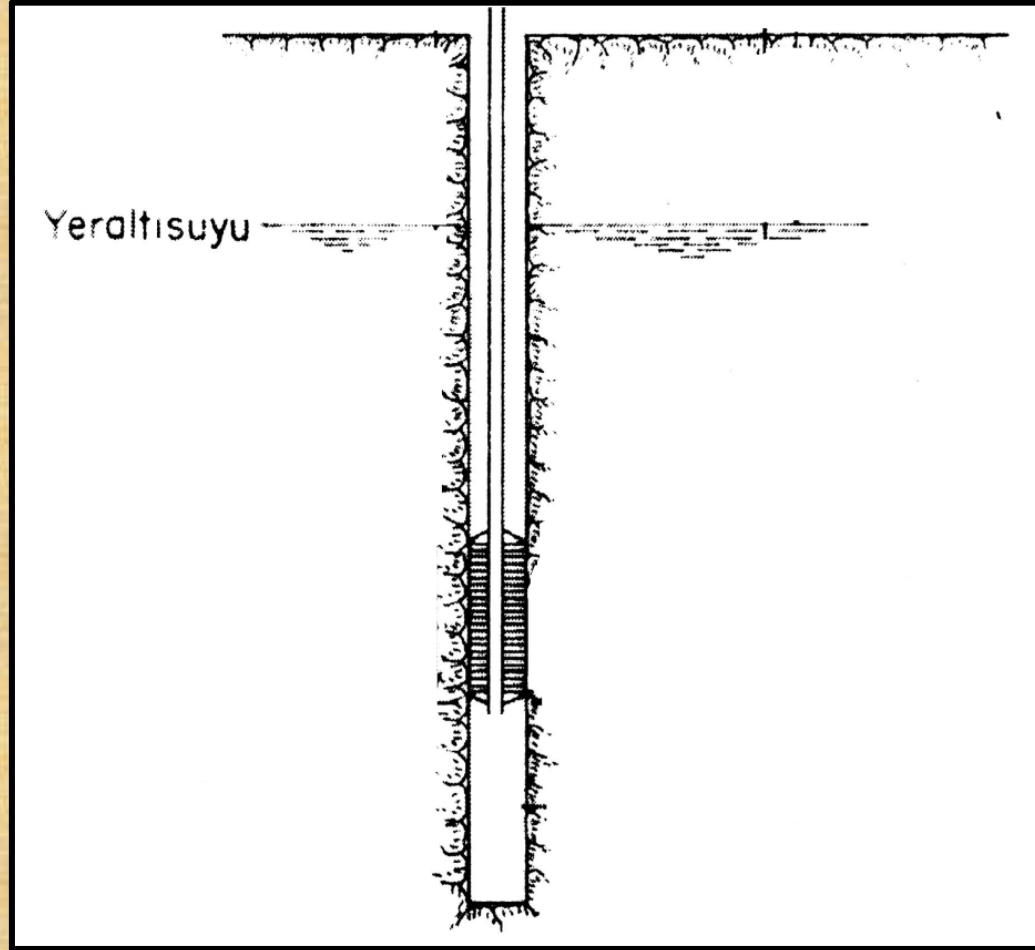
**Deneyin yapılışı;**

**Deneyin yer altı suyu altında yapıldığı durumlarda;**

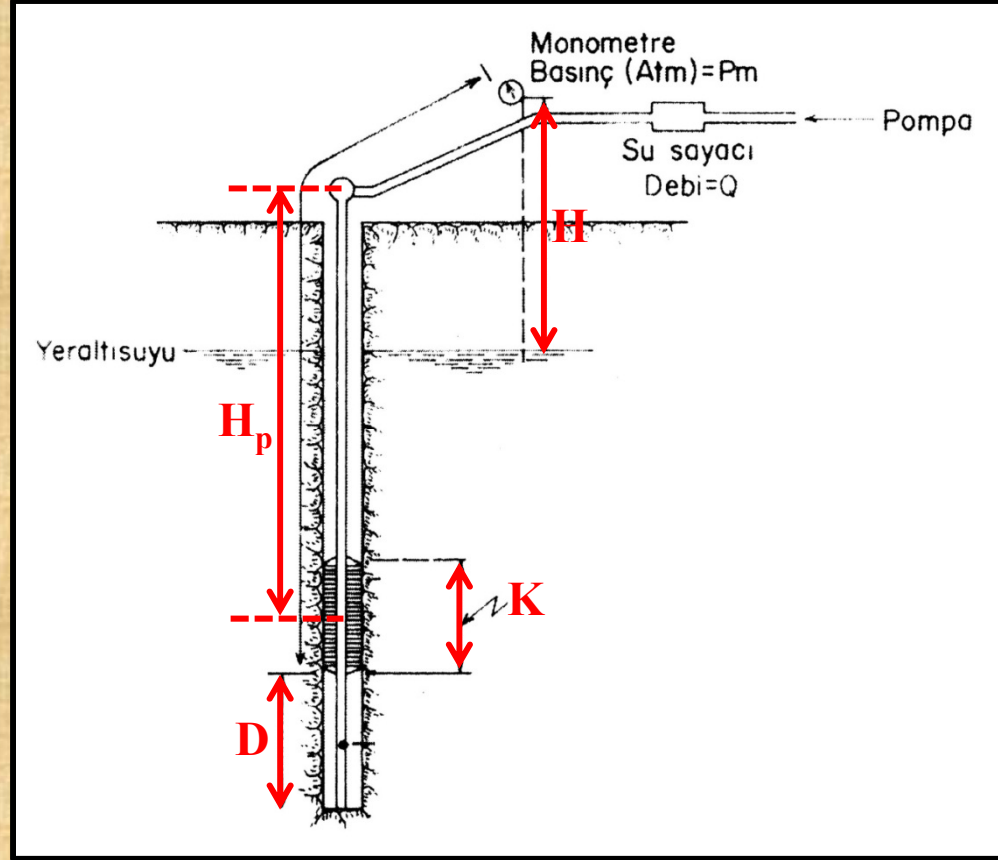
**1- Öncelikle belli standartlara bağlı kalınarak kayada bir kuyu kazılır, tercihen kuyu cidarının düzgün olması için karotlu sondaj yapılır.**



- 2-** Kazılan sondaj kuyusunda hangi derinlikte deney yapılacaksa o derinliğe tij ve packer indirilir, packerin içi su yada gazla doldurularak şişirilir. Packerların tam oturup oturmadığını kontrol etmek için takım yavaşça aşağı yukarı hareket ettirilir.



**3-** Hazır hale getirilen tije su sayacı ve manometre bağlantıları yapılır. Bağlantılardan su kaçağının olup olmadığı kontrol edilir. YAS derinliği, packer boyu, deney zonunun uzunluğu gibi değerler kaydedilir.



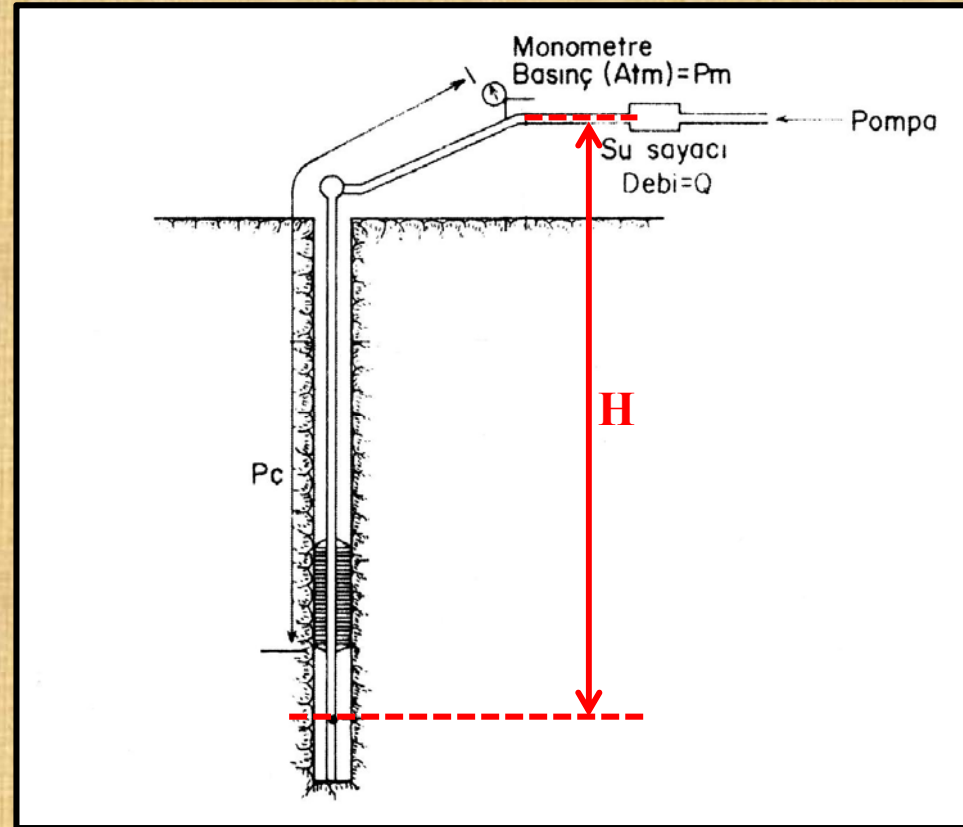
**H (m):** YAS ile manometre arasındaki mesafe

**K (m):** Deney lastiğinin uzunluğu

**D (m):** Deney zonunun uzunluğu

**H<sub>p</sub>(m):** Tije uzunluğu

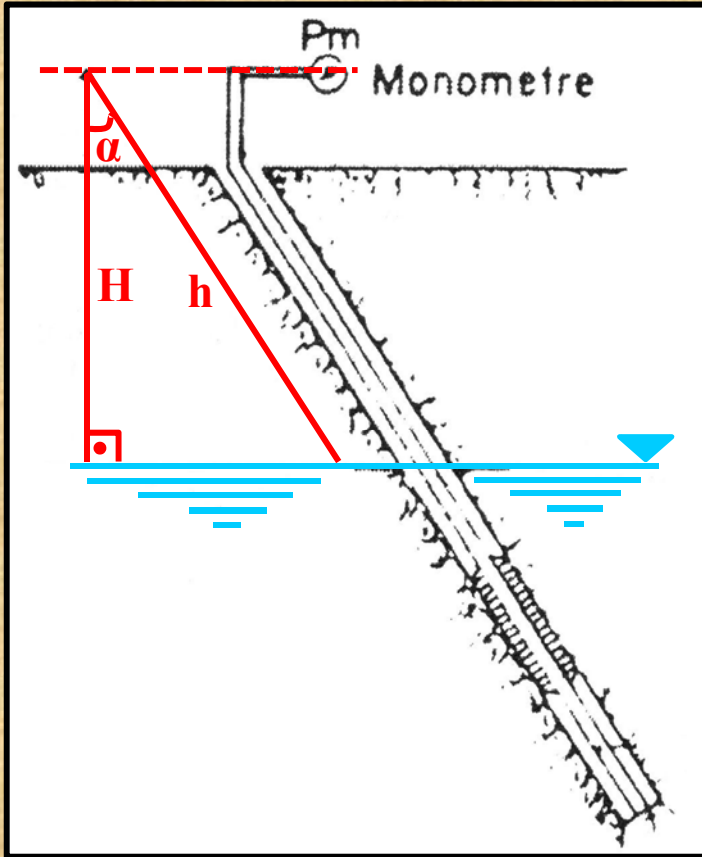
4- YAS olmaması durumunda manometre ile deney zonunun orta noktası arasındaki mesafe **H** kabul edilir.



**H (m):** Deney zonunun orta noktası ile manometre arasındaki mesafe

5- Kuyuların eğimli yada yatay olarak açılmaları durumlarına, yer altı suyunun bulunup bulunmaması durumlarına ve kuyunun nehir içinde açılıp açılmama durumlarına göre **H** aşağıdaki gibi hesaplanır.

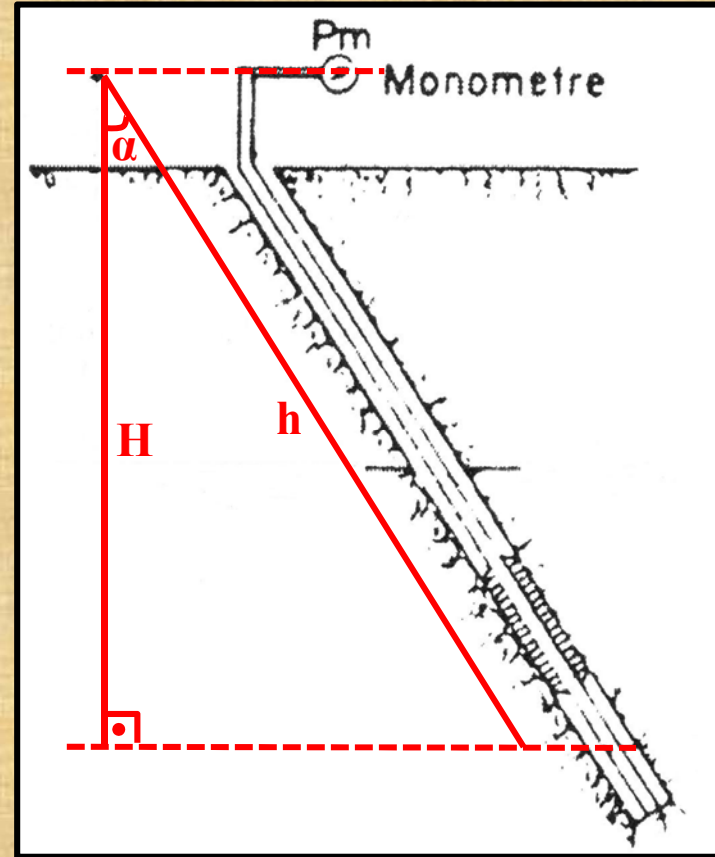
Eğimli Kuyu - YAS mevcut ise;



$$\text{Cos } \alpha = H/h$$

$$H = \text{Cos } \alpha \times h$$

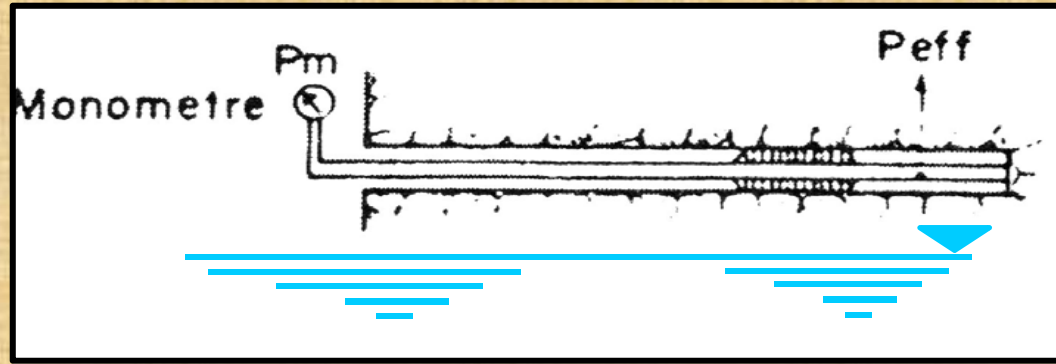
Eğimli Kuyu - YAS mevcut değil ise;



$$\text{Cos } \alpha = H/h$$

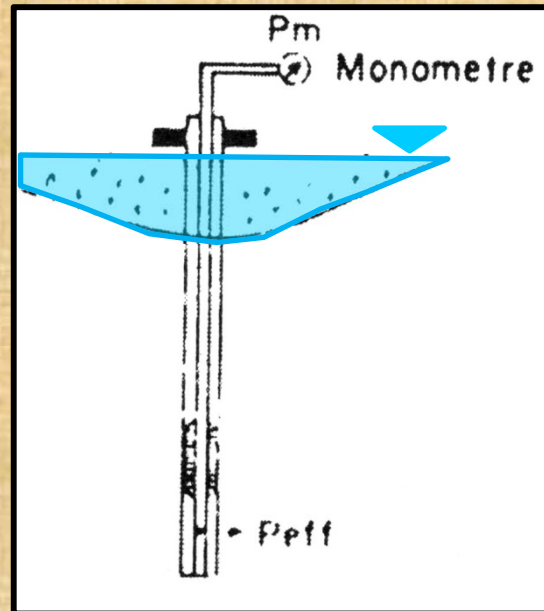
$$H = \text{Cos } \alpha \times h$$

## Yatay kuyu;



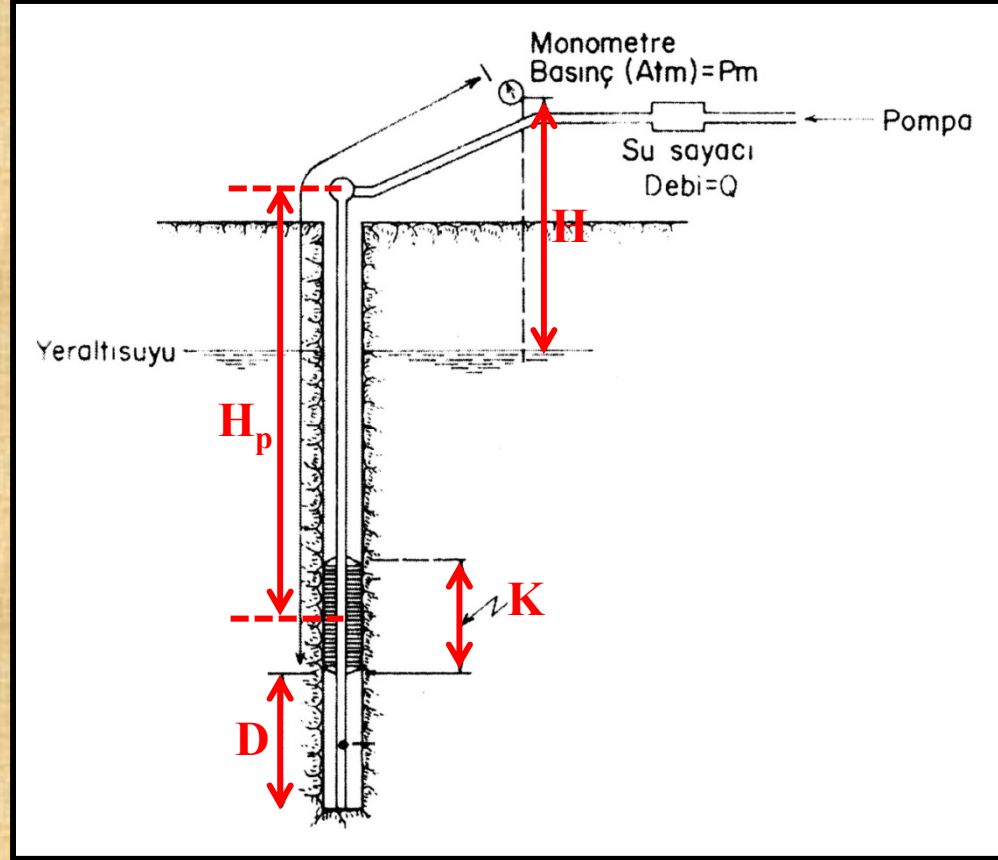
$$H = 0$$

## Nehir içi kuyu;



$$H = 0$$

6- Hesaplamaların daha anlaşılabilir olması için değerleri aşağıdaki şekilde verilen örnek bir uygulama üzerinde hesaplamaları yapılacaktır.



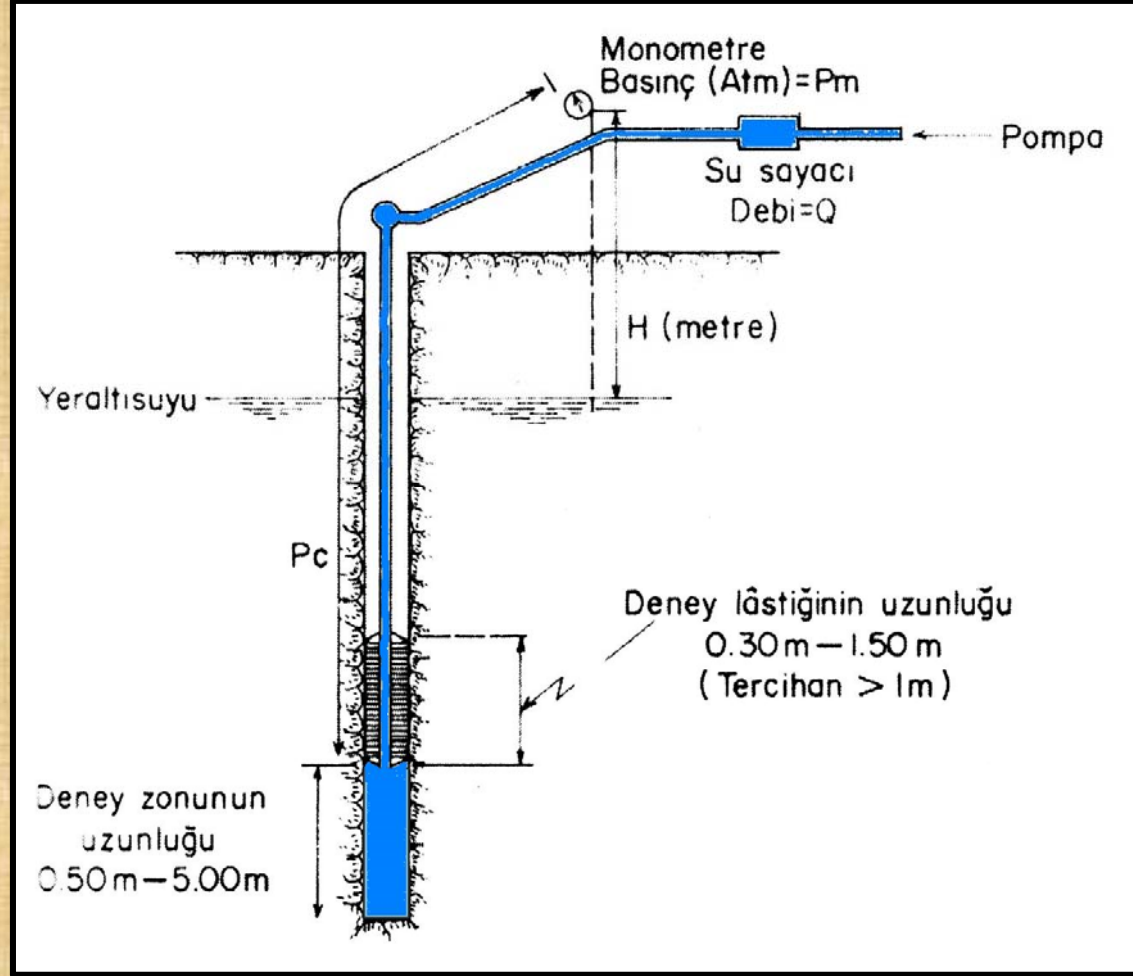
**$H$  (m):** YAS ile manometre arasındaki mesafe, **örneğin (38.50 m)**

**$K$  (m):** Deney lastiğinin uzunluğu, **örneğin (1 m)**

**$D$  (m):** Deney zonuun uzunluğu, **örneğin (5 m)**

**$H_p$ (m):** Tij uzunluğu, **örneğin (80 m)**

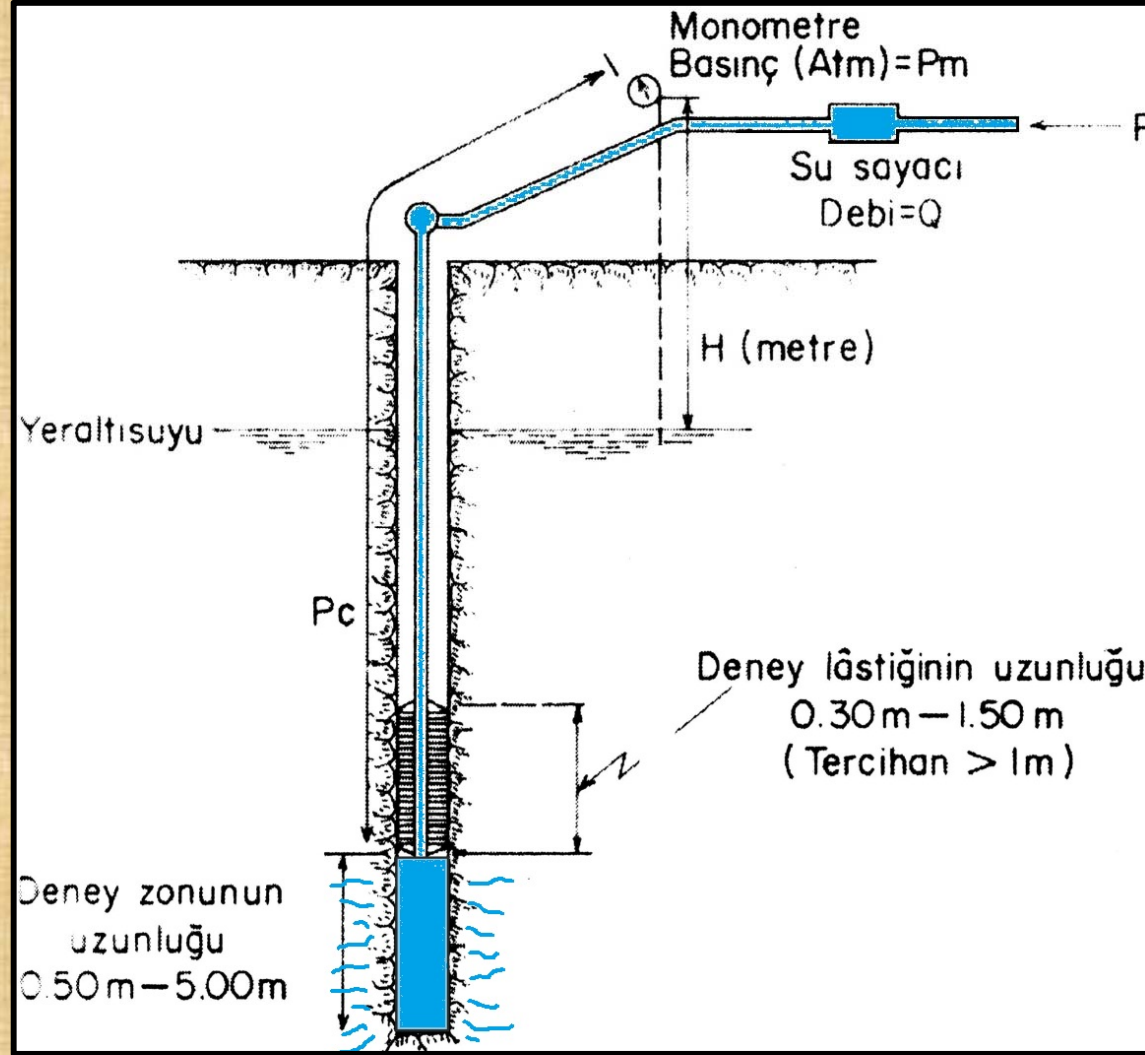
- 7- Düzenek hazır hale getirildikten sonra basınçsız su verilerek deney zonunun su ile doldurulması sağlanır, doldurma işlemi için kullanılan suyun miktarı ( $S_{ilk}$ ) su saatinden okunarak kaydedilir.



$S_{ilk}$  (lt): Serbest basınçta deneý yapılacak zona gönderilen suyun miktarı, örneđin 150 lt



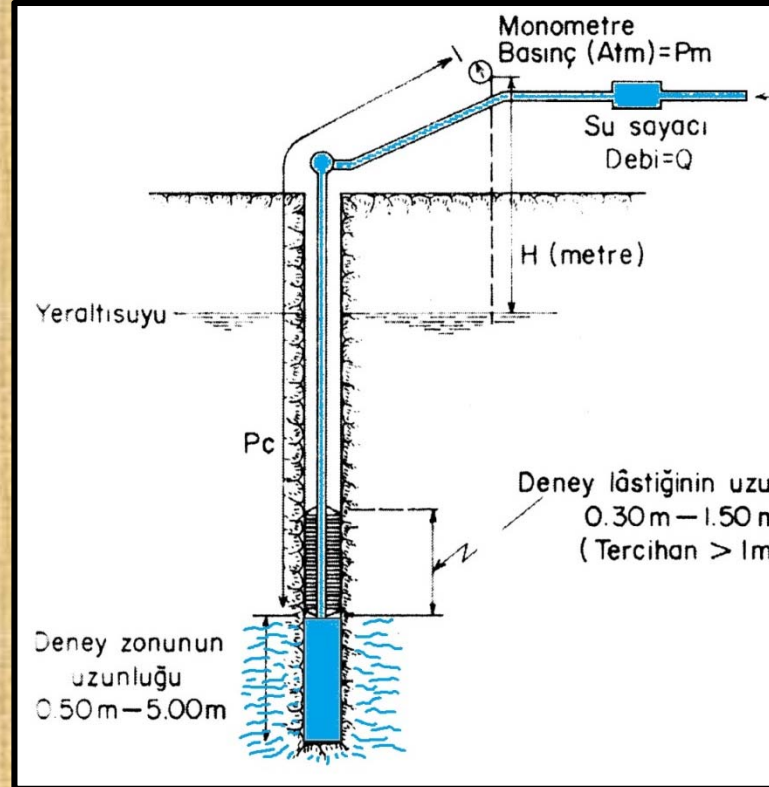
- 8- Deney düzeneğinde kaçak olup olmadığı tekrar kontrol edildikten sonra manometre basıncı  $2 \text{ kg/cm}^2$ 'lik basınca ayarlanır ve 10 dk süreyle bu basınçta deney zonuna su verilir.



9- Bu süre sonunda emilen suyun miktarı litre cinsinden su sayacından okunarak deney formuna kaydedilir.

Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. $S_2$ (lt)	Statik Yük $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Yük Kaybı $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70				

10- Bir sonraki adımda manometreden basınç artırımı yapılarak 4 kg/cm<sup>2</sup>'lik basınçta ve sırasıyla 6-8-10-8-6-4-2 (kg/cm<sup>2</sup>)'lik basınçlarda deney tekrarlanır ve emilen suyun miktarı forma kaydedilir.



Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. S (lt)	Statik Yük $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Yük Kaybı $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85 kg/cm <sup>2</sup>			
4	10	104				
6	10	119				
8	10	154				
10	10	193				
8	10	188				
6	10	126				
4	10	116				
2	10	78				

**11-** Daha sonra her kademe için efektif basınç ( $P_{eff}$ ); manometreden okunan basınca statik yükün eklenmesi ( $H/10$ ) ve yük kaybının ( $P_c$ ) çıkartılmasıyla bulunur.

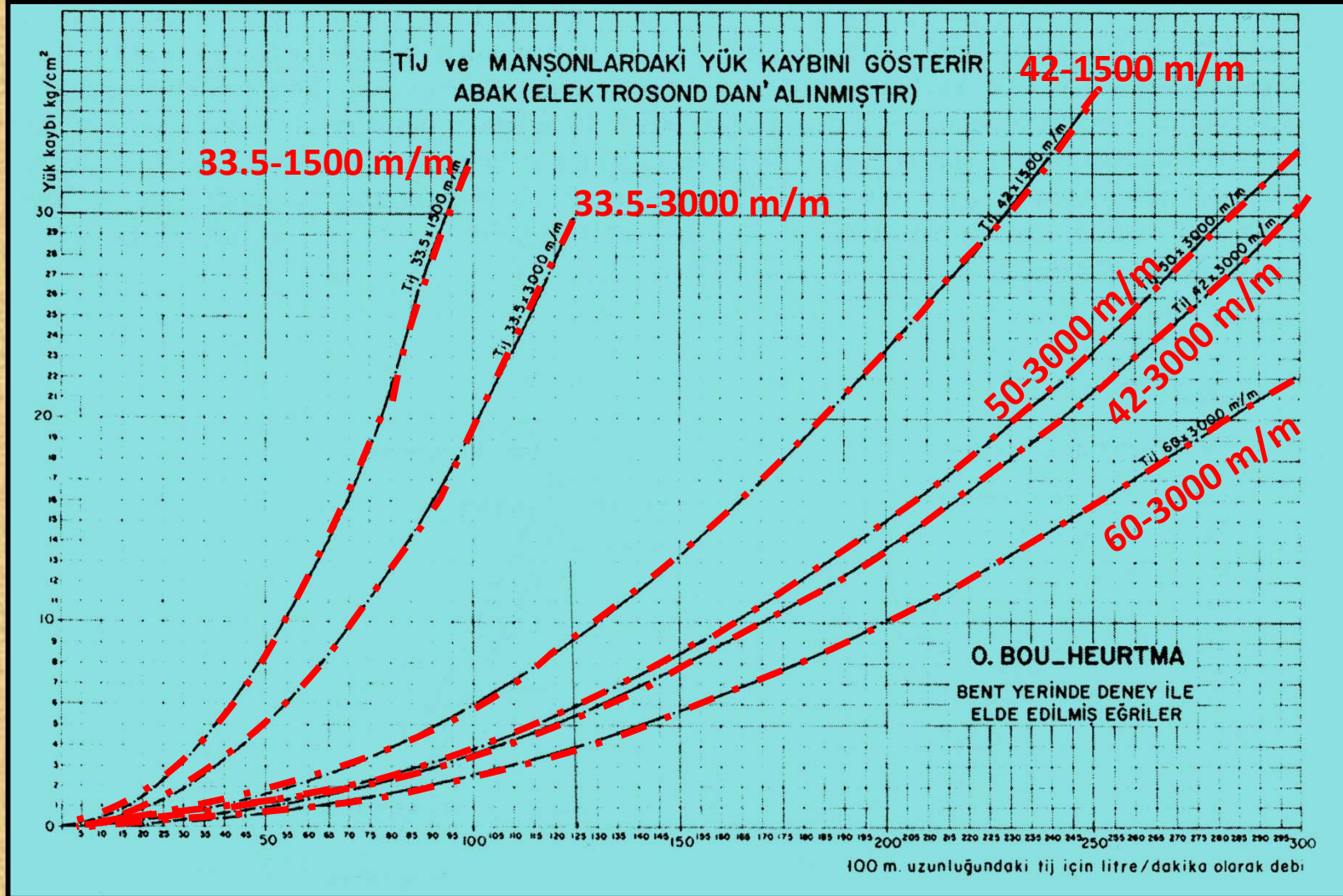
$$P_{eff} = P_m + P_s - P_c$$

$$P_s = H/10$$

**H (m):** YAS ile manometre arasındaki mesafe, **bu örnek için (38.5 m)**

$$P_s = 38.5/10, P_s = 3.85 \text{ kg/cm}^2$$

**12-** Bağlantı yerlerinde ve tijlerde meydana gelen yük kaybını ( $P_j$ ) bulmak için aşağıdaki abak kullanılır. Abak toplam 100 m uzunluğundaki tijler için hazırlanmıştır. Tij uzunluğu 100 m'den fazla yada kısa ise yük kaybı orantılı olarak hesaplanır.



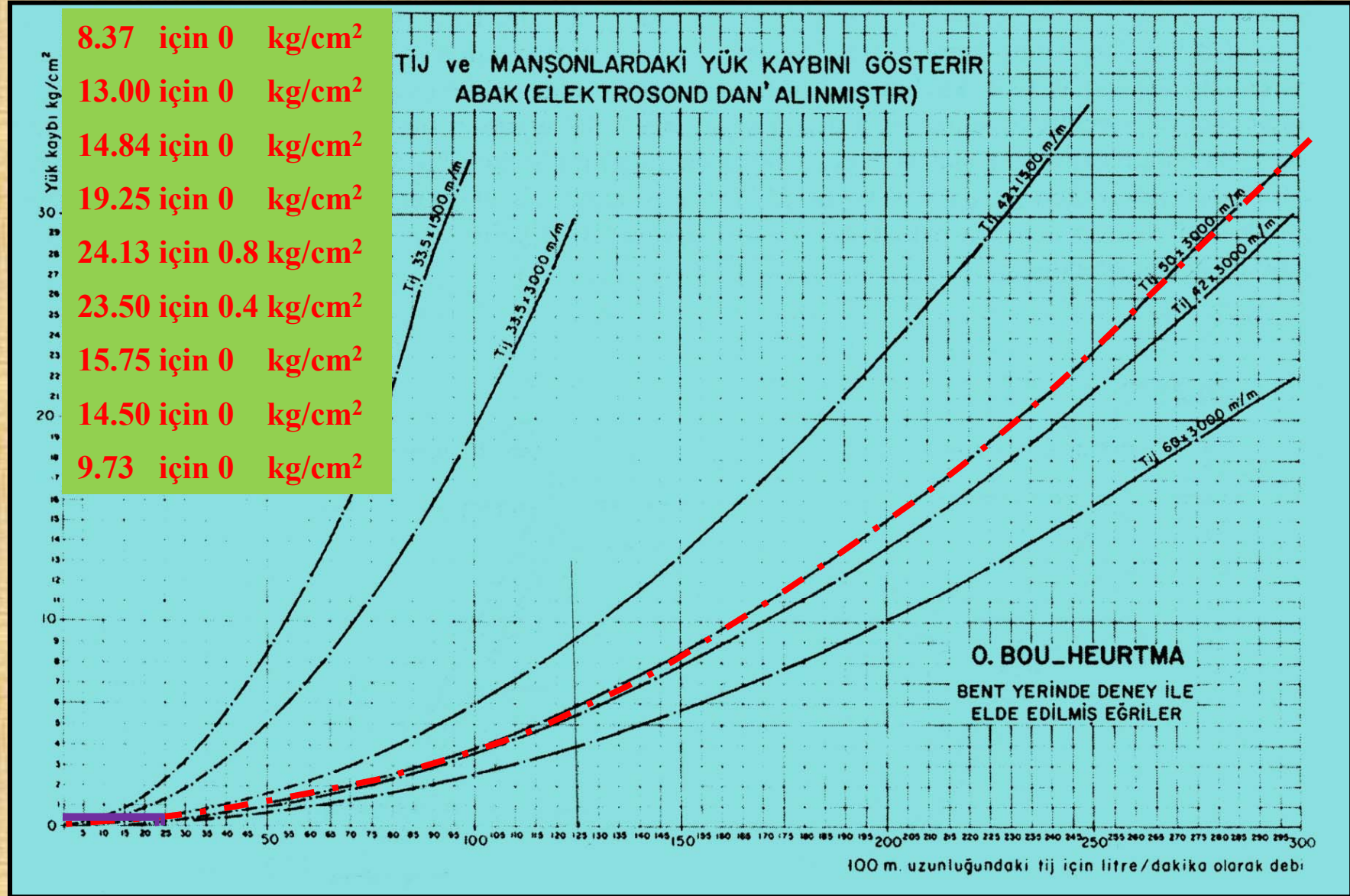
**13-** Bu örnekte kullanılan tij boyutları: (50 x 3000) boyutlarındadır. Deneyde kullanılan tij uzunluğumuz toplam 80 m'dir. Emilen su kayıpları 1 dakika için 100 m'ye göre ayarlanırsa

Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. S (lt)	Statik Yük $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modifiye Edilmiş Emilen Su Miktarı (lt)	Yük Kaybı $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85 kg/cm <sup>2</sup>	8.75	-		
4	10	104		13.00	-		
6	10	119		14.84	-		
8	10	154		19.25	-		
10	10	193		24.13			
8	10	188		23.50			
6	10	126		15.75	-		
4	10	116		14.50	-		
2	10	78		9.73	-		

2 kg/cm<sup>2</sup>'lik basınç için; 10 dakikada — 80 m uzun. tijde ~~70~~ litre su emilimi varsa  
1 dakikada — 100 m uzun. tijde x: 8.75 lt

**Modifiye edilmiş su kaçağı 20 lt'den az olan deneylerde yük kaybı ihmal edilir.**

**14- Modifiye edilmiş emilen su miktarı 20 lt'nin üzerinde olan kaçaklar için yük kaybı aşağıdaki abaktan hesaplanır. Bu deneyde kullanılan tij boyutları; 50 x 3000 mm, buna sırasıyla yük kayıplarını hesaplırsak**



**15-** Hesaplanan yük kayıpları tabloda yerine yazılır. Her kademe basınç için efektif basınç aşağıdaki formülden hesaplanırsa

$$P_{\text{eff}} = P_m + P_s - P_c$$

$$P_{\text{eff}} = 2 + 3.85 - 0 = 5.85 \text{ (2 atm basınç için)}$$

$$P_{\text{eff}} = 4 + 3.85 - 0 = 7.85 \text{ (4 atm basınç için)}$$

Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. S (lt)	Statik Yük $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modifiye Edilmiş Emilen Su Miktarı (lt)	Yük Kaybı $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{\text{eff}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85	8.75	0	5.85	
4	10	104		13.00	0	7.85	
6	10	119		14.84	0	9.85	
8	10	154		19.25	0	11.85	
10	10	193		24.13	0.8	13.05	
8	10	188		23.50	0.4	11.45	
6	10	126		15.75	0	9.85	
4	10	116		14.50	0	7.85	
2	10	78		9.73	0	5.85	

**16- Her kademe basınç için emilme katsayısı (Lu) aşağıdaki formülden hesaplanırsa;**

$$Lu = \frac{(\text{Emilen Su Miktarı,lt})}{(\text{Deney Süresi,dk}) \times (\text{Deney Zonunun Uzunluğu,m})} = \frac{S_2}{T \times D}, \frac{S_4}{T \times D} \dots$$

$$Lu = \frac{(70)}{(10) \times (5)} = \mathbf{1.40 \text{ litre / metre / dakika}}$$

Manometre Basıncı P <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. S (lt)	Statik Yük P <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Modifiye Edilmiş Emilen Su Miktarı (lt)	Yük Kaybı P <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç P <sub>eff</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85	8.75	0	5.85	1.40
4	10	104		13.00	0	7.85	2.08
6	10	119		14.84	0	9.85	2.38
8	10	154		19.25	0	11.85	3.08
10	10	193		24.13	0.8	13.05	3.86
8	10	188		23.50	0.4	11.45	3.76
6	10	126		15.75	0	9.85	2.52
4	10	116		14.50	0	7.85	2.32
2	10	78		9.73	0	5.85	1.56

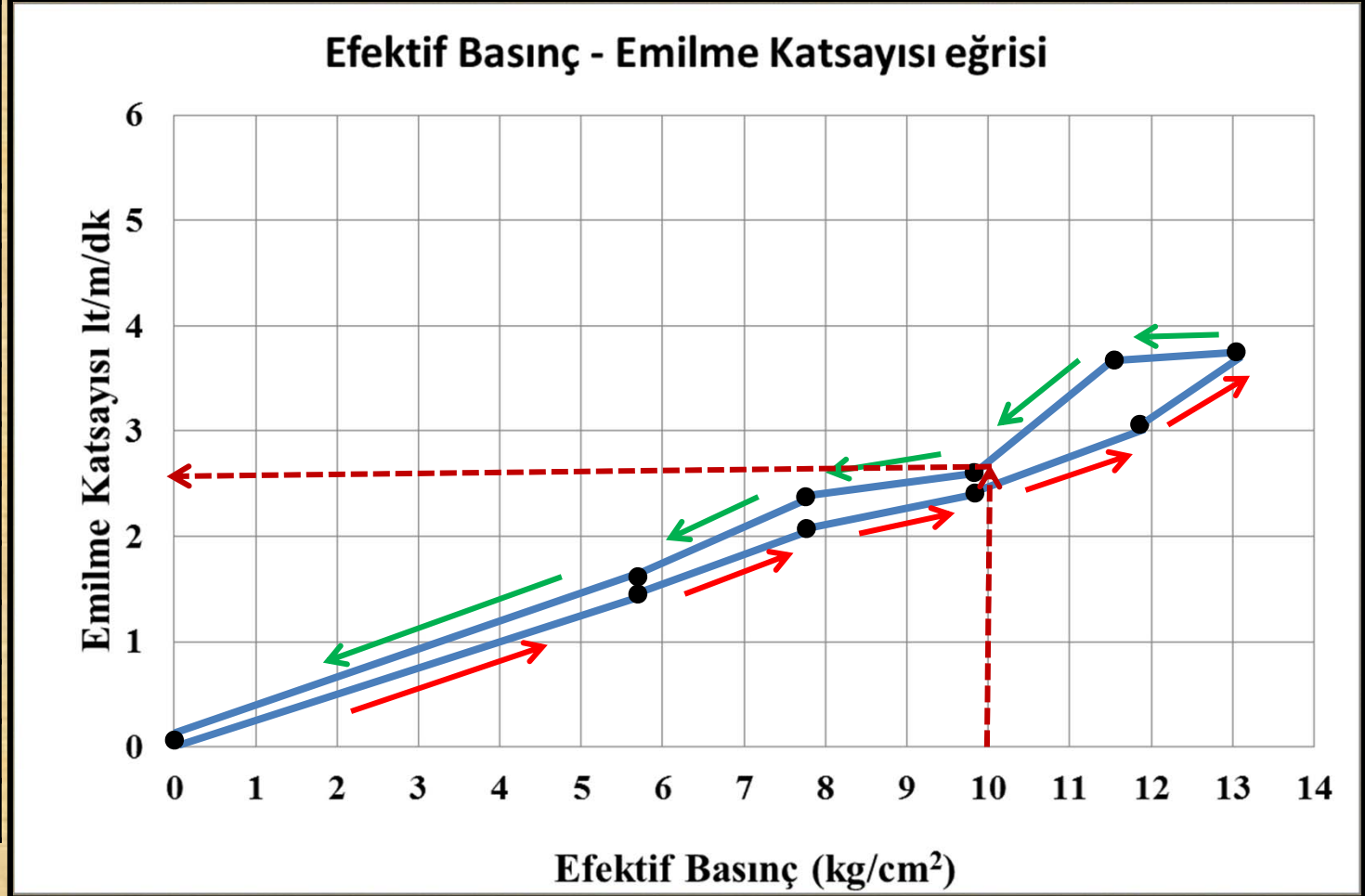


**17-** Emilme katsayısı ve efektif basınç arasında bir eğri çizilir, bu eğri üzerinde 10 atm basınca karşılık gelen emilme katsayısı Lugeon birimi olarak kayacın geçirimliliğini gösterir. 1 lugeon yaklaşık  $10^{-5}$  cm/sn geçirimlilik katsayısı (k) değerine karşı gelmektedir.

Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Mik. S (lt)	Statik Yük $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modifiye Edilmiş Emilen Su Miktarı (lt)	Yük Kaybı $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85	8.75	0	5.85	1.40
4	10	104		13.00	0	7.85	2.08
6	10	119		14.84	0	9.85	2.38
8	10	154		19.25	0	11.85	3.08
10	10	193		24.13	0.8	13.05	3.86
8	10	188		23.50	0.4	11.45	3.76
6	10	126		15.75	0	9.85	2.52
4	10	116		14.50	0	7.85	2.32
2	10	78		9.73	0	5.85	1.56

**18-** Emilme katsayısı ve efektif basınç arasında her bir ikili değer için eğri çizilir, bu eğri üzerinde 10 atm basınca karşılık gelen emilme katsayısı Lugeon birimi olarak kayacın geçirirmliliğini gösterir.

Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
0	0
5.85	1.40
7.85	2.08
9.85	2.38
11.85	3.08
13.05	3.86
11.45	3.76
9.85	2.52
7.85	2.32
5.85	1.56
0	0



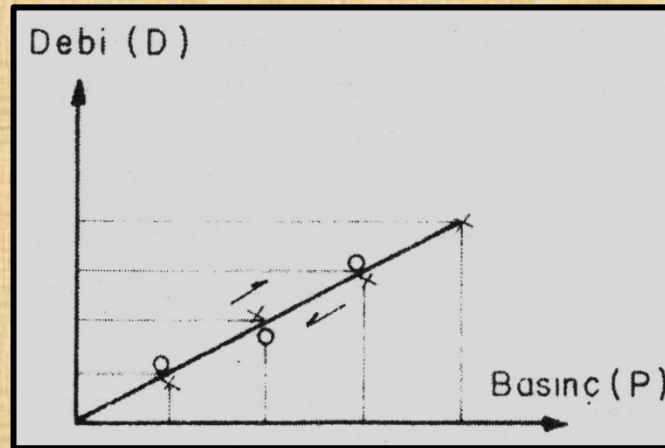
**Lugeon Değeri: 2.65 lt/m/dk**

**19-** Lugeon değerlerine göre kayaların geçirimsizlik özellikleri aşağıdaki tablodaki gibi sınıflandırılır.

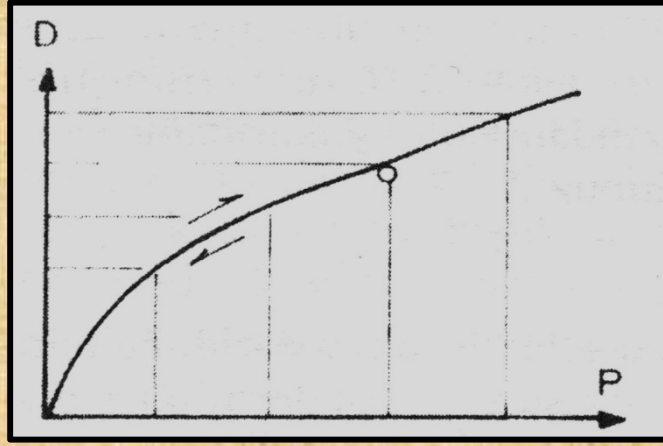
<b>Lugeon</b>	<b>Geçirimsizlik Özelliği</b>
< 1 Lugeon	Geçirimsiz
1 - 5 Lugeon	Az Geçirimli
5 - 25 Lugeon	Geçirimli
> 25 Lugeon	Çok Geçirimli

Buna göre örneğimizdeki deneyi yapılan kaya zonu 2.65 lt/m/dk'ile **Az Geçirimli** kaya sınıfındadır.

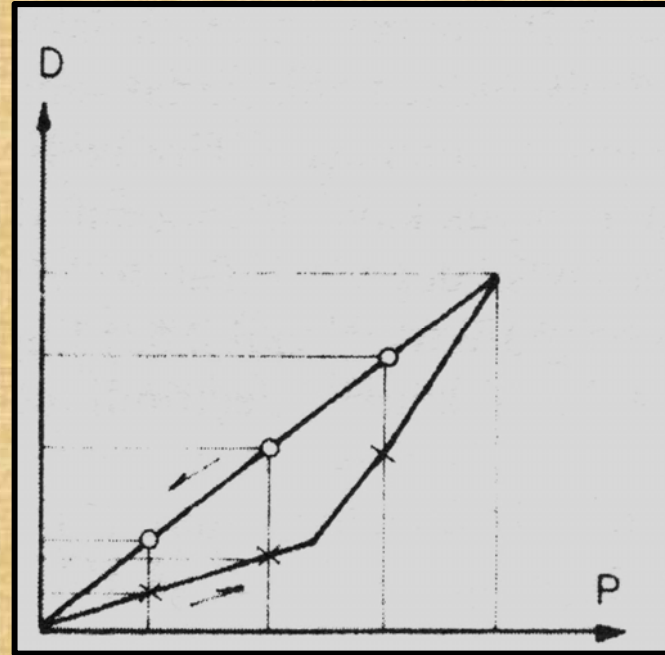
**20-** Kayalarda da zeminlerde olduğu gibi yeraltı suyu akımı laminar yada türbülanslı olarak gelişir. BST grafiğinden akım türünün ne olduğu tahmin edilebilmektedir. Aşağıdaki şekillerde tipik efektif basınç - emilme katsayısı eğrileri görülmektedir.



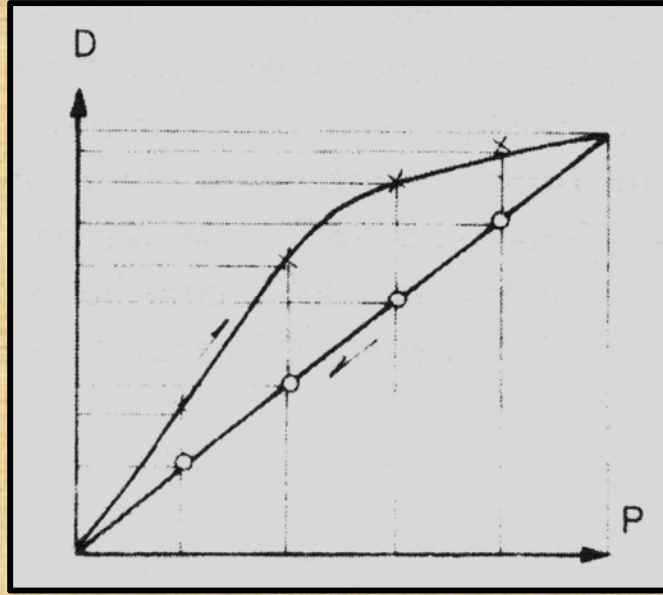
**Laminar akım, çatlaklarda tıkanma yada temizlenme yok**



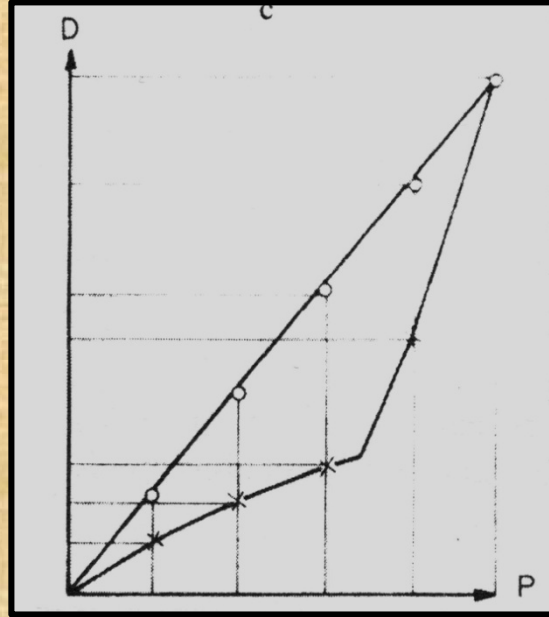
**Türbülanslı rejim, muhtemel büyük bir çatlağın varlığını göstermektedir.**



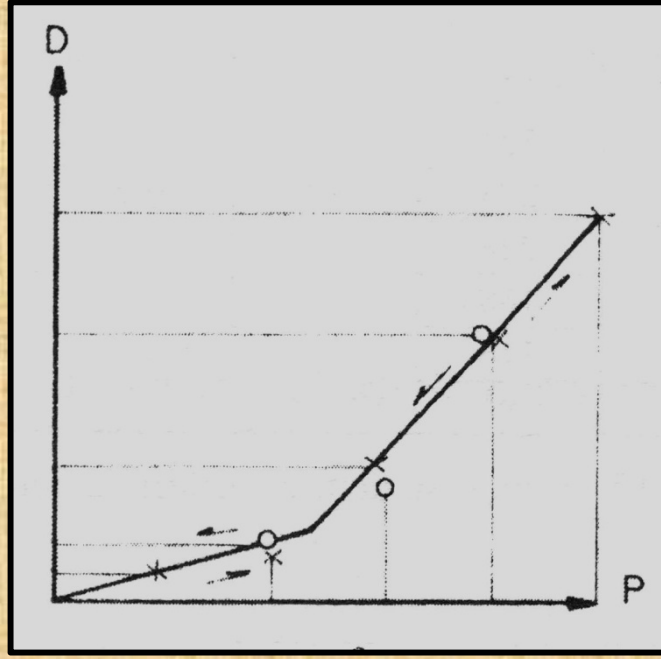
**Basıncı çatlaklardaki dolgu malzemesinin temizlenmesi yada deney lastiğinden kaçak**



**Kuvvetli basınçla çatlakların tıkanması – doldurulması (kaçak miktarında azalma olması)**



**Düşük basınçlı çatlakların tıkanması, yüksek basınçlı çatlakların temizlenmesi**



**Kayacın dönüşümlü tepkisi (çatlak yüksek basınç altında açılır basınç azaldığında kapanır)**

**Basıncılı su deneyi öncesi ve sonrası dikkat edilmesi gereken hususlar;**

- 1. Su sayaçları ve manometre sıkça kontrol edilmeli gerekli görüldükçe değiştirilmelidir.**
- 2. Tij manşonları ve yerüstü bağlantı ağızları sıkıca bağlanmalı, su kaçırmayı kontrol edilmelidir.**
- 3. Deney lastiğinin çatlayıp yırtılmamış olmasına ve lastik boyunun 0.5 m'den kısa olmamasına dikkat edilmelidir.**
- 4. Çektirme yöntemiyle çalışan deney takımlarında lastiği şişirmek için kullanılan krokinin sıkıştırma kolu uzunluğu deney lastiğinin boyunu geçmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.**

- 5. İlk kademede deney lastiği kuyu ağzından 2 m aşağıda tutularak başlanmalıdır. Yamaç molozu yada alüvyon gibi gevşek malzemelerden ana kayaya girildiğinde lastik gevşek malzeme ile ana kaya kontağının en az 2 m altında tutulmalıdır.**
- 6. Deney sırasında lastik kesinlikle muhafaza borusuna tutturulmamalıdır.**
- 7. Deney öncesinde karotlar incelenmeli, lastik tutturulacak yerin boşluklu, kırıklı, karot yüzdesi düşük kısma rastlaması durumunda yer değiştirilerek sağlam yerden tutturulmaya çalışılmalıdır.**
- 8. Lastikler iyice şişirilerek yerine oturtulmalı, kontrol amaçlı takım yavaşça aşağı yukarı hareket ettirilmelidir.**
- 9. Basınçlı su deneyi yapılacak zonda delme güçlüğünü yenmek amacıyla çimentolama yapılmamalı, bentonit çamuru kullanılmamalıdır.**
- 10. Deney başlamadan önce YAS ölçölüp kaydedilmelidir.**
- 11. Deney sırasında kullanılacak suyun temiz olmasına özen gösterilmeli, çamurlu ve bulanık sular depolarda dinlendirilerek ince taneleri dibe çökmesinden sonra kullanılmalıdır.**
- 12. Deneylerde yüksek kapasiteli pompalar kullanılmalı, düşük debili pompalar yüksek su kaçağı olan zonlarda yeterli olmayacağından kullanılmamalıdır.**

## SİMGELER

<b>H</b>	: YAS ile manometre arasındaki düşey mesafe, (m)
<b>K</b>	: Deney lastiğinin uzunluğu, (m)
<b>D</b>	: Deney zonunun uzunluğu, (m)
<b>H<sub>p</sub></b>	: Kullanılan toplam tij uzunluğu, (m)
<b>S<sub>ilk</sub></b>	: Serbest basınçta zona gönderilen suyun miktarı, (Lt)
<b>P<sub>m</sub></b>	: Manometre Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>T</b>	: Deney Süresi, (dk)
<b>S<sub>2, 3, 4, 5,...n</sub></b>	: Emilen Suyun Miktarı, (lt)
<b>P<sub>s</sub></b>	: Statik Yük, (kg/ cm <sup>2</sup> )
<b>P<sub>c</sub></b>	: Yük Kaybı (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>P<sub>eff</sub></b>	: Efektif Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>L<sub>u</sub></b>	: Emilme Katsayısı (1 / m/ dak)

## DENKLEMLER

1.  $P_{eff} = P_m + P_s - P_c$
2.  $P_s = H/10$
3.  $L_u = \frac{S}{T_{10} \times D}$



**İLGİNİZE TEŞEKKÜR EDERİM**

**Doç. Dr. Mustafa FENER**