



LUND UNIVERSITY

Pressure Plate - för bestämning av kapillärl stighöjd, porstorlek och kornstorlek hos porösa material

Fagerlund, Göran

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Fagerlund, G. (2011). *Pressure Plate - för bestämning av kapillärl stighöjd, porstorlek och kornstorlek hos porösa material*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7204). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

**PRESSURE PLATE FÖR BESTÄMNING AV
KAPILLÄR STIGHÖJD, PORSTORLEK OCH
KORNSTORLEK HOS PORÖSA MATERIAL**

Pressure Plate for assessment of capillary rise, pore size
and grain size in porous materials

Göran Fagerlund

ISRN: LUTVDG/TVBM--11/7204--SE (1-8)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Avd Byggnadsmaterial
Box 118
www.byggnadsmaterial.lth.se
SE-221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427

Innehåll

Sammanfattning	1
1 Mätprincip	2
2 Kapillär stighöjd som funktion av ”genombrotstryck” eller hydraulisk radie	4
3 Kapillär stighöjd i enskornigt granulärt material	5
4 Kornstorlek ur ”genombrotstryck” eller kapillär stighöjd	6
5 Material med porer som har tvärsnitt som varierar längs längdaxeln	6
6 Porstorleksfördelning	7
Referenser	8

Sammanfattning

Med en s.k. Pressure Plate utrustning kan porstrukturen hos porösa material undersökas. För grovporösa material, t.ex. olika jordarter, kan även kapillära stighöjden -"sugförmågan"- och kornstorleken bestämmas på ett enkelt sätt. Metoden går ut på att man gradvis pressar ut vatten ur ett vattenmättat prov genom att utsätta detta för stegvis ökat tryck. Det finns ett enkelt samband -Laplace's lag- mellan det tryck som erfordras för att tömma en por och porradien.

I skriften ges en översiktlig beskrivning av mätmetoden och dess möjligheter.

1 Mätprincip

Ett vattenmättat prov placeras på den vattenmättade porösa plattan i pressure-plate-apparaten. Undersidan av provet står i kontakt med vatten under normalt atmosfärstryck. Översidan av provet (och sidorna om dessa inte är tätade, vilket de bör vara) utsätts för ett stegvis ökat yttre luftövertryck ΔP . Det medför att tryckskillnaden mellan undersida och översida är ΔP . Utrustningen visas schematiskt i Fig 1.

Vid ett visst ”genombrottsstryck” ΔP_o hos luften ovanför provet töms alla porer med radien r_o . Denna radie fås ur Laplace’s lag:

$$\Delta P_o = \frac{2 \cdot \sigma}{r_o} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

Där σ är ytspänningen luft-vatten (0.073 N/m vid +20C), och θ är vattenmeniskens randvinkel mot porväggen. För fullständigt hydrofila material är $\theta \approx 0$, dvs $\cos \theta \approx 1$.

Ekv (1) gäller för en por med cirkulärt tvärsnitt. För en por med generell tvärsnitt gäller:

$$\Delta P_o = \frac{\sigma}{r_h} \quad (2)$$

Där r_h är hydrauliska radien hos poren, dvs. porens tvärsnittsarea/våt perimeter (tvärsnittets omkrets, se Fig 4).

Olika porösa plattor används för olika material. Ju mera grovporöst materialet är desto grovporösare platta kan användas. Mätningen går snabbare ju mera grovporös platta man kan använda eftersom allt vatten från provet måste passera den porösa plattan. Metoden förutsätter dock att plattan alltid är så finporös att inte dess porer töms vid det högsta tryck som används vid försöket.

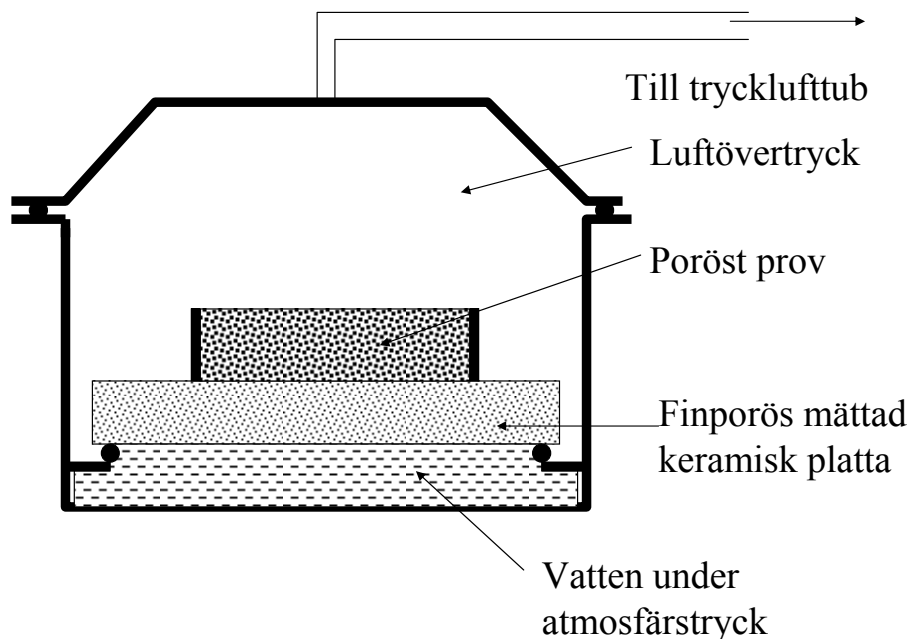


Fig 1: Pressure-plate apparat

I Fig 2 visas ett prov med tre olika porstorlekar placerat på den porösa plattan. Porerna antas ha konstant tvärsnitt längs sin längdaxel.

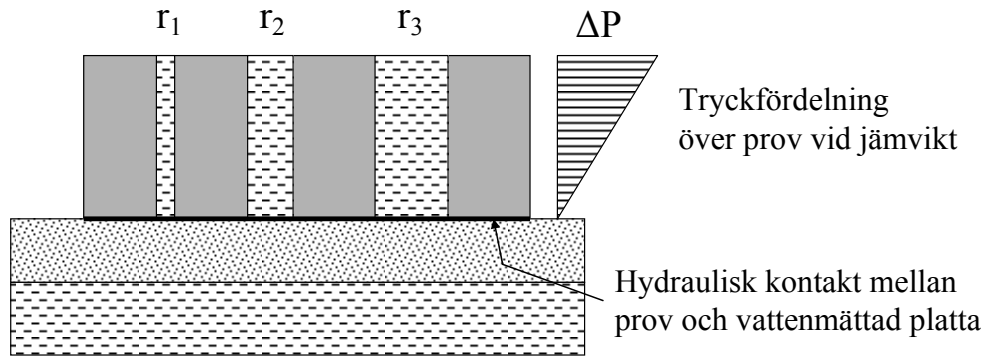


Fig 2: Vattenmättat poröst prov med tre olika porstorlekar.

Resultatet av en mätning åskådliggörs i Fig 3. Trycket ökas i steg. Efter varje steg avvaktas jämvikt. När trycket når värdet ΔP_0 börjar provet tömmas på vatten, dvs de grövsta genomgående porerna töms. Därefter töms successivt allt finare porer (Fig 3 vänster). Hos ett material med en enda porstorlek och där porerna har konstant tvärsnitt längs sin axel (Fig 4) töms allt vatten ut vid genombrotstrycket (Fig 3 höger).

Utpressad vattenmängd vid jämvikt mäts genom vägning av provet eller genom flödesmätning av utpressad vattenmängd.

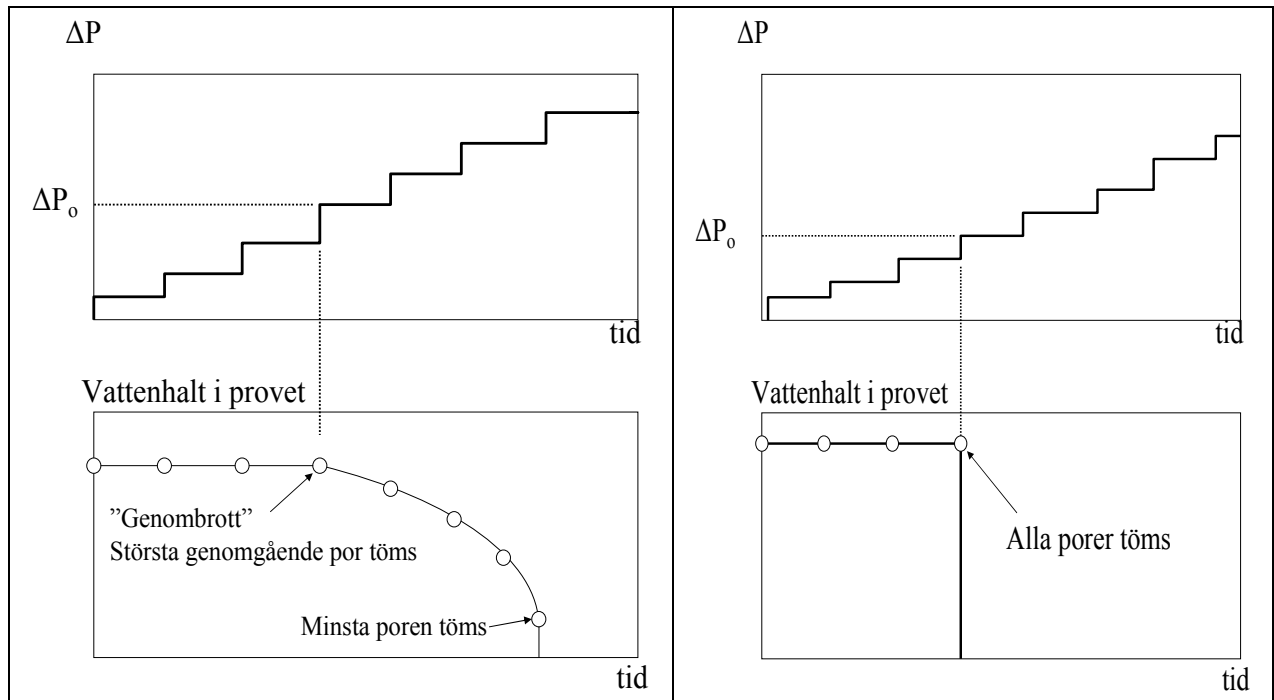


Fig 3: Resultat av en mätning. Vänstra bilden: Material med porer av olika storlek. Högra bilden: Material med en enda porstorlek.

2 Kapillär stighöjd som funktion av "genombrotstryck" eller hydraulisk radie

Den kapillära stighöjden i en por med godtyckligt men konstant tvärsnitt längs sin axel (se Fig 4) är:

$$h = \frac{\Delta P_o}{\gamma_w \cdot g} = \frac{\Delta P_o}{1000 \cdot 9.81} = 10^{-4} \cdot \Delta P_o \quad (3)$$

Där γ_w är vattnets densitet.

Dvs stighöjden i en por med konstant tvärsnitt kan beräknas ur "genombrotstrycket" för poren, ΔP_o .

Sambandet mellan hydraulisk radie för poren och stighöjd fås genom kombination av ekv (2) och (3):

$$h = 10^{-4} \cdot \frac{\sigma}{r_h} \quad (4)$$

För en por med cirkulärt tvärsnitt med radien r ($r_h=r/2$) gäller:

$$h = 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot \sigma}{r} \quad (4')$$

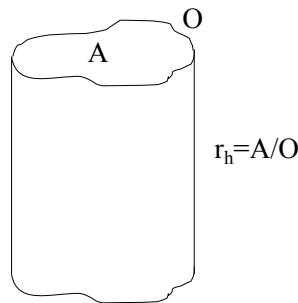
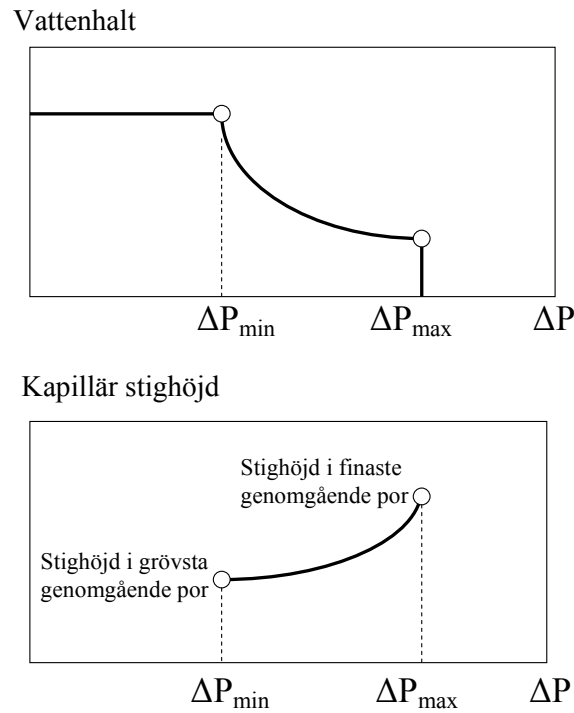


Fig 4: Por med konstant oregelbundet tvärsnitt längs sin axel

I ett verkligt material varierar storleken hos porerna. Stighöjden är därför olika i olika porer vilket illustreras av Fig 5.

Metoden att bestämma kapillär stighöjd på detta sätt är främst användbar för material som är grovporösa, företrädesvis olika jordarter. Storleksvariationen hos porerna är ofta liten hos sådana material, vilket gör att genombrotstrycket rätt väl återspeglar den kapillära stighöjden. Se avsnitt 3 nedan.

Ett maximalt tryck i apparaten är av storleksordningen 100 bar (10 MPa) vilket motsvarar porradien $1.5 \cdot 10^{-8}$ m; ekv (1). Detta motsvarar den kapillära stighöjden 1000 m.



Figur 5: Kapillär stighöjd i ett material med varierande porstorlek eller kornstorlek.

3 Kapillär stighöjd i enskornigt granulärt material

Antag ett material bestående av sfäriska korn med konstant diameter D , Fig 6.

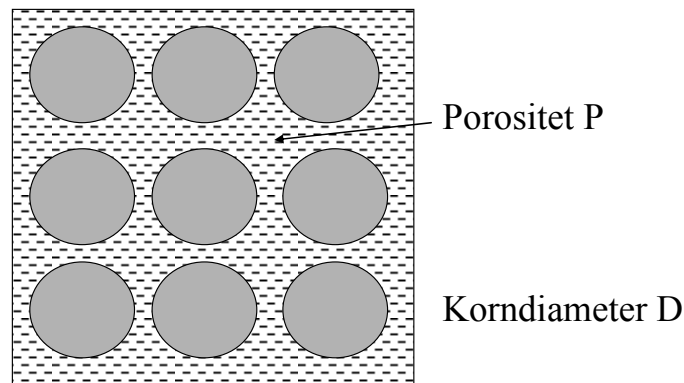


Fig 6: Partikelmassa bestående av sfäriska korn med konstant diameter

Hydrauliska radien för en enskornig partikelmassa är¹:

$$r_h = \frac{P}{1-P} \cdot \frac{D}{6} \quad (5)$$

Där P är porositeten (dvs $1-P$ =packningsgraden).

Enligt ekv (4) är den kapillära stighöjden:

¹ Fagerlund: Kapitel "Fukt och porer Del II. Kapillärfenomen". Ingår i Kompendium Byggnadsmaterial FK, Del 1. Avd byggnadsmaterial LTH 2002.

$$h = 10^{-4} \cdot \sigma \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{6}{D} \quad (6)$$

Ytspänningen vid +20°C är 0.073 N/m. Insättning av detta värde i Ekv (6) ger:

$$h = 4.4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{1}{D} \quad (6')$$

Den kapillära stighöjden kan också fås direkt ur ”genombrotstrycket”, se ekv (3).

4 Kornstorlek ur ”genombrotstryck” eller kapillär stighöjd

Ekv (6') ger:

$$D = 4.4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{1}{h} \quad (7)$$

Insättning av r_h enligt ekv (5) i ekv (2) ger:

$$\Delta P_0 = \sigma \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{6}{D} = 4.4 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{1}{D} \quad (8)$$

Kornstorleken blir:

$$D = 4.4 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{1-P}{P} \cdot \frac{1}{\Delta P_0} \quad (9)$$

Dvs det är direkt omvända förhållanden mellan kornstorlek och stighöjd, och mellan kornstorlek och ”genombrotstryck”.

Exempel

En bädd med packningsgrad 60 % (dvs $1-P=0.6$).

Uppmätt genombrotstryck $\Delta P_0=15\ 000$ Pa

$$\text{Ekv (2): } r_h = \frac{\sigma}{15000} = \frac{0.074}{15000} = 4.9 \cdot 10^{-6} \text{ meter (4.9 } \mu\text{m)}$$

$$\text{Ekv (3): } h = 10^{-4} \cdot 15000 = 1.5 \text{ meter}$$

$$\text{Ekv (9): } D = 4.4 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{0.6}{0.4} \cdot \frac{1}{15000} = 4.4 \cdot 10^{-5} \text{ meter (0.044 mm, motsvarande fin-mo)}$$

5 Material med porer som har tvärsnitt som varierar längs längdaxeln

En verklig por har ett tvärsnitt som varierar längs längdaxeln vilket åskådliggörs i vänstra delen av Fig 7.

Det gör att hela poren inte töms samtidigt utan gradvis. Processen åskådliggörs med den konformade poren i högra delen av Fig 7. Vid trycket $\Delta P_{o,H}$ som motsvarar radien $r_{h,H}$ börjar poren tömmas. Sedan måste trycket ökas gradvis för att poren skall fortsätta att tömmas. Den är helt tömd vid trycket $\Delta P_{o,o}$ som motsvarar radien $r_{h,o}$.

Om den konformade poren vänds åt andra hållet börjar den inte tömmas förrän trycket är $\Delta P_{o,o}$. Då töms hela poren spontant. Man får ett förlopp som i högra delen av Fig3.

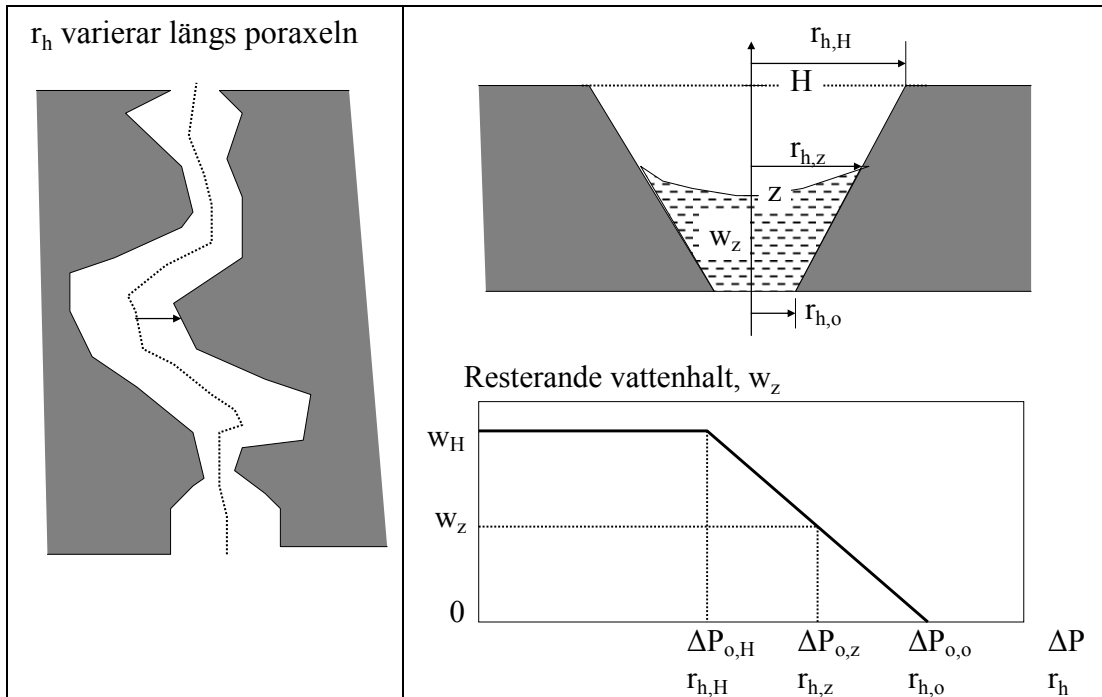
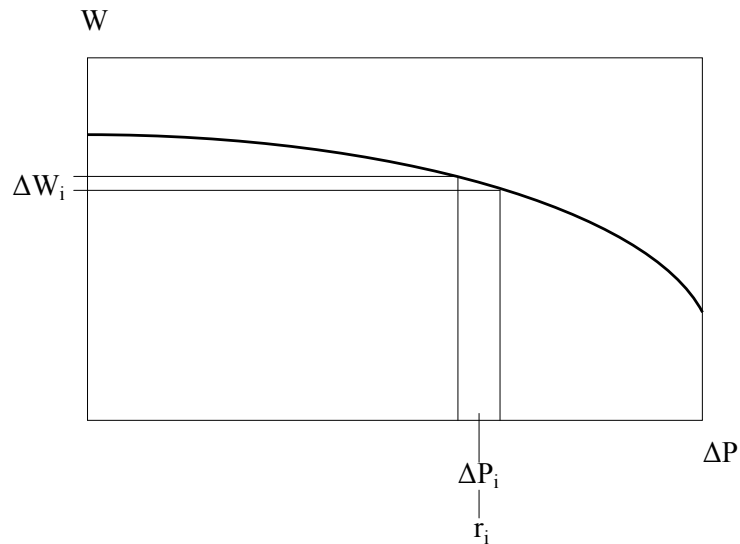


Fig 6: Utpressning av vatten ur en verklig por. Vänstra bilden: por med varierande tvärsnitt. Högra bilden: tömning av en konformad por.

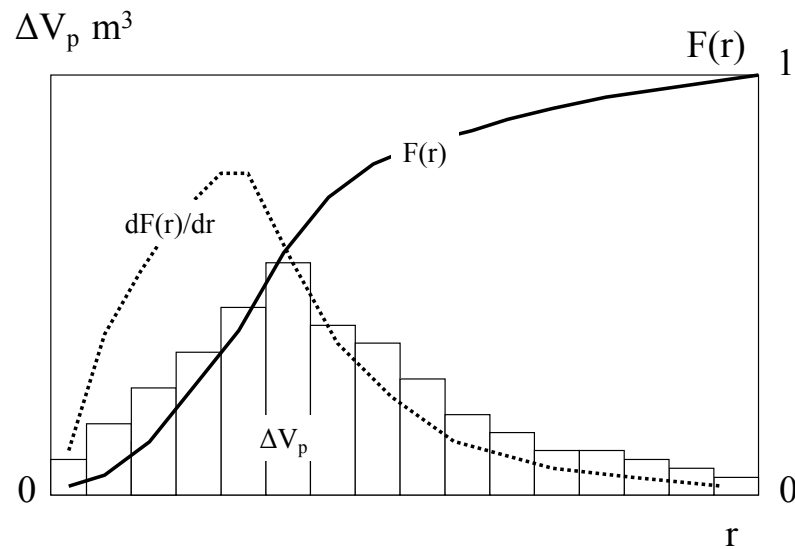
6 Porstorleksfördelning

Eftersom den finns ett samband mellan det övertryck vid vilket vatten lämnar en por och porens radie -ekv (1), ekv (2)- kan pressure-plate apparaten användas för bestämning av materialets porstorleksfördelning. Principen illustreras i Fig 7 som visar en vattenutpressningskurva.

Vid trycket ΔP_i motsvarande radien r_i pressas vattenmängden ΔW_i ut. Denna volym motsvarar volymen ΔP_i av porer som har medelradie r_i . Man får på detta sätt ett histogram över porstorleksfördelningen; Fig 8. Ur histogrammet kan porstorleksfördelningen $F(r)$ bestämmas genom summering av all porvolym understigande en viss radie och dividering med totala porvolymen. Frekvenskurvan för porstorlek $dF(r)/dr$ erhålls genom derivering av porstorleksfördelningen. Alla dessa sätt att uttrycka porfördelning visas i Fig 8.



Figur 7: Utvärdering av porvolym-porstorlek ur en mätning.



Figur 8: Porstorleksfördelning uttryckt på olika sätt.

Referenser

Croney, D., Coleman, J.D., Bridge, P.M.: The suction of moisture held in soil and other porous materials. Road Research Technical Paper, No 24. Her Majesty's Stationary Office, London 1952.

Penner, E.: Suction and its use as measure of moisture contents and potentials in porous solids. Humidity and Moisture, Vol 4, Reinhold Publication Corporation, New York, 1965.