

AZ INGÁS SKLEROMÉTERREL KAPCSOLATOS KÉRDÉSEK.*

Írta: *Balyi Károly.*

ÜBER DIE MIT DEM PENDELSKLEROMETER VERBUNDENEN FRAGEN.**

Von *K. Balyi.*

A kristálykeménység meghatározására szolgáló eszközök az újabb időben egy új eszközzel gazdagodtak: az ingás sklerométerrel. Az ingás sklerométer (a mérleg lengő részéhez hasonló eszköz) a vizsgálandó kristálylapra helyezett él vagy esües körül (függőleges síkban) esillapodó lengéseket végez; a esillapodásból kell következtetni a keménységre.

Az ingás sklerométert először *Herbert* (1) ajánlotta műszaki keménységvizsgálatra (1923). A 4 kg súlyú kengyelalakú ingatest a vizsgálandó lapra helyezett 1 mm átmérőjű acélgolyón leng; a lengésidőt vagy a kilengések nagyságát mérve, meghatározható vele a fém n. n. „idő” vagy „skála”-keménysége; ha ezek üvegre 100 és 97, akkor pl. ólomra 3 és 0.

Pár évvel később (1929) egy esüesra támaszkodó ingás sklerométert írt le *Kusnetzow* (2); a esües a vizsgálandó, vízszintes helyzetű lapra kerül, amelynek felülete az ingalengések által lassan elroncsolódik; mivel nagyon valószínű, hogy a lengések esillapodása annál lassúbb lesz, minél nagyobb a lap keménysége, azért ő azt javasolta, hogy az ingalengések esillapodását jellemző mennyiségek egyikét (esillapodási tényező, log. dekrementum, stb.) vagy egy meghatározott sorszámú kilengés számértékét lehetne a keménység mértékének választani. 1931-ben javított készülékén, mert a esüesot éllel (90 fokos lapszögű acélprizma élével) cserélte fel (3) s a lengő karra állítható súlyokat szerelt. Ugyanez évben *Rehbinder* (4) két esüesot alkalmazott egy helyett, amelyeket akár két különböző kristálydarabra is reá lehetett állítani. Ő a keménységet mint a lengési görbe: $A(t)$ (a jobboldali kilengéseket a folyó idő függvénye gyanánt tekintve) subtangensének értékét definiálta a $t = 0$ esetben. Az ő készülékét *Schubnikow* úgy módosította, hogy az ingára erősített lenese segítségével a lengéseket filmre lehetett lefényképezni (2). Ilyen fényképet látni idézett értekezésében a 2. ábrán.

1937. szeptemberében én is készítettem egy ingát (súlya 1195 gr, a kar hossza 60 cm, a mutató hossza 28 cm, a súlytartók hossza 15 cm), amely a felsoroltaktól abban tér el, hogy a 3 mm hosszú, 90 fokos prizmaél közepéből 1 mm ki van reszelve s így az

* Előadta a Magyarhoni Földtani Társulat 1937. dec. 1-i szakülésén.

** Vorgetragen in der Fachsitzung der Ung. Geol. Gesellschaft am 1. Dez. 1937.

inga két, egymással szilárdan összefüggő 1 mm-es élen leng; előnye ennek — szerintem — az, hogy 1. így könnyű biztosítani az inga függőleges síkban való lengését, 2. a kapott értékek már két benyomódásnak megfelelő középértékek lesznek. A prizma Phönix-Extra szerszámacélból, a mutató acélből, a többi rész sárgarézből készült. A skála (28 cm sugarú) íve 50—0—50 mm beosztású volt; a 0 beosztás a mutató függőleges állásának felelt meg; a mutató állását, fordulópontjait 10-szeres nagyítású lenesével olvastam le; az időt stopperórával mértem. A jobboldali első kilengés minden esetben 40 mm volt.

A vizsgálat menete nagyjából egyezett azzal, amelyet Kusnetzow leírt (3). Az éket a kezdő irányba állítva, az ingát lengésbe hoztam; feljegyeztem a jobboldali kilengéseket, továbbá a hozzájuk tartozó lengésidőket; mikor az inga megállt, a kristályt 30 fokkal elforgattam és újból lengésbe hoztam az ingát, s i. t. A 12 lengési sorozat befejezése után az ék benyomódásai a kristálylapon az 1. ábrán feltüntetett képet adták. A *steatiton* pl. a külső kör átmérője 10.4 mm, a belső 4.4 mm volt; a többin egy kissé más értékű.



Fig. 1. ábra.

Az ingás sklerométerrel végzett vizsgálataim célja annak megállapítása volt, hogy van-e az ingalengések esillapodását jellemző mennyiségek között olyan, amellyel a Mohs-féle keménység vagy az Anerbach-féle abszolút keménység egyes értékei kifejezhetők vagy helyettesíthetők. E dolgozatban esupán a *steatita*, a kő-sóra és a gipszre kapott eredményeimet ismertetem. Azonban a Mohs-féle keménységi sorozat többi tagjának a vizsgálata is már folyamatban van, s remélem, hogy azokról is rövidesen beszámolhatok.

A vizsgált kristályok keménysége

	Mohs-skála szerint	Anerbach szerint
steatit	1—1.5	5
gipsz	1.5—2	14 ⊥ a hasad. lapra.
kő-só	2—2.5	20 ⊥ a koekalapra

A *steatit* esiszolt darab volt; mivel orientálni nem sikerült, a kezdő irányt 1. hely jelzéssel láttam el. A kezdő irány minden

steatit-mérésbeu ugyanaz volt. Ugyanazon darab steatit 4 helyén (I.—IV.) összesen 42 lengési sorozatot mértem; az I.-n csak 6 irányban, a többin 12—12 irányban. Ha pl. a steatit III.-ra kapott 10, 15, 20. és 25. jobboldali kilengéseket irányuknak megfelelően egy

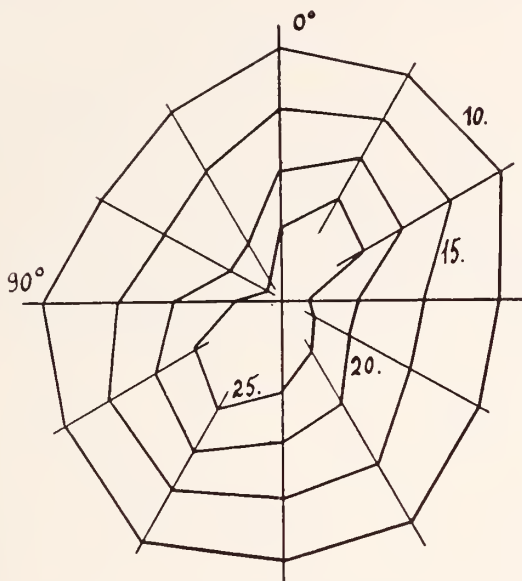


Fig. 2. ábra. Talk, steatit.

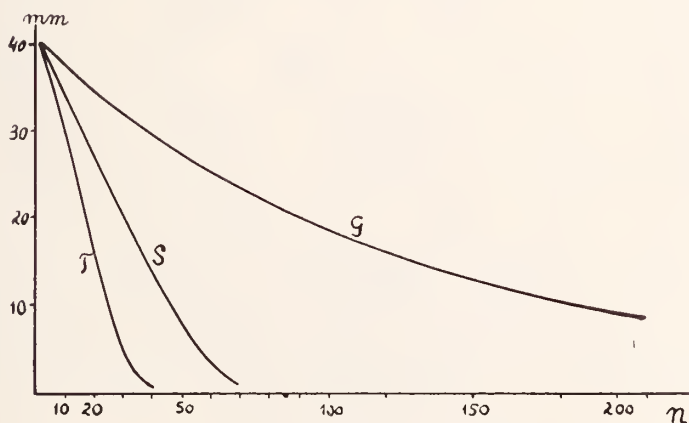


Fig. 3. ábra. T (Talk, steatit), S (Steinsalz, kősó), G (Gips, gipsz).

pontból kiindulva ábrázoljuk, a 2. ábrán feltüntetett rajzot kapjuk. A 3. ábra a steatit III. 1. helyére tünteti fel a jobboldali kilengéseket, mint a lengésszám függvényeit.

Gipszet kétfélet vizsgáltam. Az egyik (I.) a (010)-lappal párhuzamosan esiszolt darab volt, melyet töredezett élei miatt utólag kellett orientálni; ezen két lengési sorozatot mértem. A másik (II.) hasítvány volt (Gántról); ennek is a (010) lapján lengettem az ingát úgy, hogy a 0 foknak megfelelő irány párhuzamos volt a c-

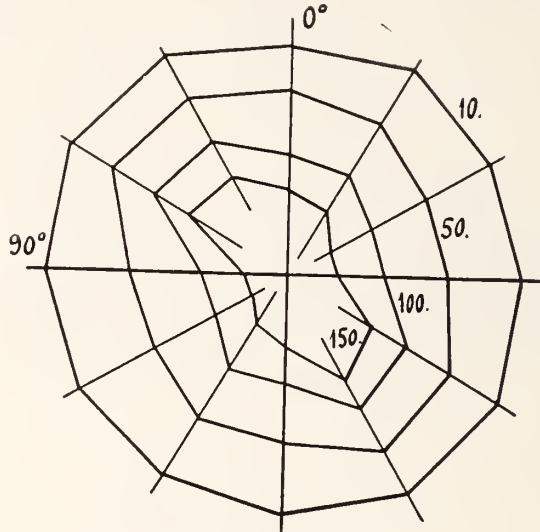


Fig. 4. ábra. Gips, gipsz.

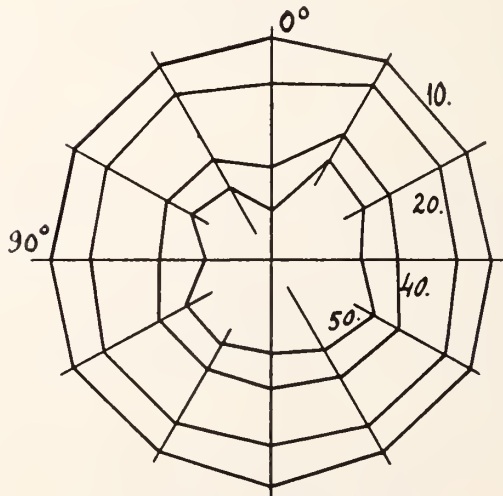


Fig. 5. ábra. Steinsalz, kősó.

tengely irányával. A 3. ábra az erre (II.) vonatkozó, 0 foknak megfelelő jobboldali kitéréseket mutatja, mint a lengésszám függvényeit, míg a 4. rajz ugyanezen lapra a 10., 50., 100. és 150. kilengéseket 30–30 fokonként. Meg kell említenem, hogy ezen a rajzon a 10. kilengésnek megfelelő kép jelentősen eltér a (3) alatti érteke-

zés 7. ábrájától; hogy az eltérésnek mi az oka, arra egyelőre nem kívánok felelni.

Kőso is kétféle szerepelt. Az egyik (I.) esiszolva volt a kockalappal párhuzamosan; a másik (II.) igen sima hasadási lap volt; a 0 foknak megfelelő irány mindkettőn párhuzamos volt a kocka-élel. A hasadási lap 0-irányára vonatkozó kitéréseket a 3. ábra mutatja; ugyanezre a lapra vonatkozó 10, 20, 40. és 50. kilengéseket ábrázolja 30 fokonként az 5. ábra.

Ha rátekintünk a 3. ábra három vonalára, melyek az inga jobboldali kilengéseinek a lengésszámtól való függését ábrázolják, láthatjuk, hogy valamilyen, a lengésszámmal csillapodó lengéssel van dolgunk. A csillapodó lengés az eméleti fizika szerint (5) könnyen leírható oly egyenlettel, amelyben a surlódási (vagy általában a lengéscsillapító) együttható (k), a lengő test tömege (m), a csillapodó lengés rezgésszáma (n) s az idő szerepelnek. Az egyenletből két egymásutáni kilengés (a kezdő jobboldali s a rákövetkező baloldali, stb.) hányadosa

$$\left(\frac{y_1}{y_2}\right) = \left(\frac{y_2}{y_3}\right) = \dots = e^{\frac{k \cdot T}{4 m}} ;$$

e hányados helyett annak logaritmusát

$$\log(y_1) - \log(y_2) = \log(y_2) - \log(y_3) = \dots = \frac{k \cdot T}{4 m}$$

szokás figyelembe venni, amit log. dekrementumnak neveznek. Ha a log. dekr. értékeit a jobboldali első és ötödik, ötödik és tizedik, stb. lengésekből számítottuk, a $\frac{k \cdot T}{4 m}$ értékei a következők lesznek:

	Steatit III. 1.	Gipsz II. 0-fok	Kőso II. 0-fok.
	0.01317	0.00252	0.00858
	0.02162	0.00259	0.01103
	0.02763	0.00319	0.01145
közép	0.02081	0.00276	0.01035

Ezekből kitűnik, hogy a fenti érték az n -nel nagyobbodik; mivel az m állandó, azért — ha T is állandó volna — a k -knak kell növekedniök; figyelembe véve azonban azt, hogy a tapasztalat szerint a T fogy az n -nel (mégpedig közel logaritmikusan), láthatjuk, hogy a k -értékek növekedése jóval gyorsabb. Ha mégis számítani akarunk ez alapon, pl. a keménységet a $k \cdot T : 4 m$ értékek középértékének fordítottjával jellemezzük, akkor ezeket kapjuk:

Steatit III. 1.	Gipsz II. 0-fok.	Kőso II. 0-fok.
48.05	559.42	96.61

Ezeket redukálva a Mohs-féle, ill. Auerbach-féle értékekre, a keménység értékei ezek lesznek:

Steatit 1—1.5; 5 Kőso 2—5; 10 Gipsz 7.5—11.2; 37.5.

Ha pedig az előbbi három érték logaritmusából indulunk ki, a keménység értékei ezek lesznek:

Steatit 1—1.5; 5 Kősó 1.2—1.8; 6 Gipsz 1.4—2.1; 7.

Mindkét eredmény eltér a két skála szerinti keménységértékektől!

Mivel a $k.T : 4m$ érték a lengésszámmal növekszik, arra lehetne gondolni, hogy megfelelőbb lenne kiindulni a középértékek helyett az első ilyen értékből. Ez alapon azt kapjuk, hogy

Steatit III. 1.	Kősó II. 0-fok.	Gipsz. II. 0-fok.
0.02533	0.02021	0.00503

értékekből a keménységre e számok adódnak:

Steatit 1—1.5; 5 Kősó 1.25—1.88; 6.25 Gipsz 5—7.6; 25,
amelyek szintén nem felelnek meg a két skála számadatainak. Még rosszabb az eredmény, ha a logaritmusok alapján számítunk.

Mivel a esillapodás alapján végzett számítások ily eltérő adatokhoz vezetnek, más úton kell próbálkoznunk. Talán ki lehetne indulni a jobboldali kilengések s a folyóidó, vagy a jobboldali kilengések s a lengésszám közötti összefüggésből s ezen az alapon következtetni a keménység értékére. Reh binder (4) volt az első, aki a kilengés és a lengésidő közötti összefüggésből igyekezett kiszámítani a keménységet. Szerinte a keménységet az $A(t)$ függvény subtangens — értékével lehet definiálni a $t = 0$ helyen. Mivel értekezésében a steatit és a kősó ily szempontból nem szerepel, esupán a gipsz (010) lapjára (|| az állal) vonatkozó adatot említhetjük; ez 285. Én hasonló számítással 270-et kaptam. Eljárásával szemben felhozott (2) kifogások mellett még a következőket sorozhatom: 1. az $A(t)$ függvény meghatározása csak bizonyos pontossággal történhetik; természetesen annál pontosabban, minél több összetartozó kilengés és időérték között keressük kapcsolatot, azaz minél magasabbfokú függvénye lesz az $A(t)$ a t -nek; 2. ennek következménye pedig az lesz, hogy a keménységet jellemző szám az $A(t)$ fokszámától fog függni; ha tehát a bizonytalanúságot el akarjuk kerülni, a keménységet jellemző szám mellett a meghatározására szolgáló függvény fokszámát is említeni kell, ami a dolgot csak bonyolultabbá teszi. Nálam az $A(t)$ másodfokú függvény volt.

A második módszert már többen alkalmazták. Természetesen — az előbbi két kifogásnak megfelelően — ez is különböző eredményeket szolgáltat, hiszen itt is szerepel a megközelítés. Kusnetzow (3) sok esetben megelégedett az

$$A = a \cdot e^{-h \cdot n - l \cdot n^3}$$

összefüggéssel, melyben a a kezdő kilengés, a h és l a kristályra jellemző állandók, n a lengések sorszáma és A az n -edik kilengésnek értéke. Több ily összefüggést említ Schunbrikow (2) is. Ezek mindegyikében az e -nek valamilyen hatványa szerepel; hogy milyen ennek a fokszáma, az attól függ, hogy hány helyen ad pon-

tos értéket. Pl. 3 helyen ($n := 1, 15, 40$) pontosan adja a kitérést a Kősó II. 0-fokra az

$$A = 40 \cdot e^{a-b \cdot n - c \cdot n^2}$$

összefüggés, ha benne $a = 0.0167426$, $b = 0.0164881$ és $c = 0.0002545$; az a , b és c értékek általában ugyanazon kristálylap különböző irányaira különbözők lesznek, ami világosan bizonyítja a keménység irányától való függését.

Az ily összefüggés mindenesetre módot nyújthat a keménység meghatározására; esupán az a kérdés, hogy ez összefüggéssel meghatározott mennyiségek közül melyiket akarjuk a keménység kifejezésére használni. Eljárhatunk a R e h b i n d e r-féle módszer szerint is; vagyis az $a(n)$ görbe subtangensének határértékét kereshetjük. Tájékoztató szempontjából néhány $a(n)$ függvényt meghatároztam; ezekből a subtangens értékei az n különböző értékeire a következők lesznek:

n	Steatit III. 1.	Kősó II. 0-fok.	Kősó II. 90-fok.
0	106.5	60.65	56.3
1	69.2	58.83	55.7
2	51.2	57.12	55.1
n	Kősó I. 0-fok.	Gipsz II. 0-fok.*	Gipsz II. 0-fok.
0	74.32	150.37	216
1	72.64	149.80	210.7
2	71.05	149.26	205.5

E számok azt mutatják, hogy az $a(n)$ subtangensének értéke attól függ, hogy 1. a függvényt n milyen értékeire határoztuk meg; 2. milyen a vizsgált lap, hasadási-e, vagy esiszolt felület; 3. melyik irányra számítottuk ki a függvényt és 4. a subtangens határértékét milyen n -helyen kerestük. A keménység ilyenféle meghatározása tehát nagyon tetszőleges! Az $n = 1$ -nek megfelelő értékekből a vizsgált kristályok keménységére ez értékek adódnának:

Steatit	Kősó I.	Kősó II. 0-fok,	90-fok	Gipsz II. 0-fok.
1—1.5	1.1—1.58	0.9—1.28	0.8—1.2	2.2—3.24
vagy				
5	5.25	4.25	4	10.8'

amelyek ismét nagy mértékben eltérnek a fent említett adatoktól.

Kísérletet tehetünk még a jobboldali kitérésök fogyásával is; lehetne pl. a keménység mértéke annak a lengésszámnak a sorszáma, amelyre a jobboldali kitérés a felére, vagy más hányadára esökken. Méréseim erre vonatkozólag azt adták, hogy a jobboldali kilengés 40 mm-ről 30 mm-re esökken a

*-gal jelzett az $n = 1, 50, 100$, a többi az $n = 1, 15, 40$ alapján szerkesztett függvényből van meghatározva.

Steatit II-nél (átlag 12 értékből) 8.1 lengésre,			
„	III-nál	„	9.2 „
„	IV-nél	„	8.6 „
Gipsz	I-nél	„	26 „
„	II-nél	„	39.6 „
Kősó	I-nél	„	17 „
„	II-nél	„	18 „

Ezek alapján a keménység

Steatit 1—1.5; 5 Kősó 2—3; 10—15 Gipsz 3.8—5.7; 19—28.5 lenne, ami szintén nem felel meg a szokásos értékeknek.

Ha pedig pl. az 5. jobboldali kilengés értékét tekintenők a keménység mértékének, akkor a Steatit 34.33 (36-os középérték), Kősó 37.2 (24-es középérték), Gipsz 38.4 (24-es középérték) mm kilengése alapján a keménység: Steatit 1—1.5; 5 Kősó 1.08—1.62; 5.4 Gipsz 1.11—1.66; 5.6 lenne, ami szintén nem egyezik az ismeretes adatokkal.

Érdekes eredményre vezet az ékbenyomódás szélességének megfigyelése. Ha a 90-fokos éket rátesszük a kristálylapra (lengés nélkül), a benyomódás szélessége átlagban ez lesz mm-ben:

Steatit	Kősó I.	Kősó II.	Gipsz I.	Gipsz II.
0.165	0.072	0.082	0.099	0.082,

míg a lengési sorozatok befejezése után:

0.242	0.148	0.132	0.176	0.154;
-------	-------	-------	-------	--------

ezekből a fordított értékek alapján a keménység ez volna:

lengés előtt	Steatit 1—1.5	Gipsz 1.83—2.75	Kősó 2.14—3.21
lengések után	1—1.5	1.44—2.16	1.72—2.58
a kettő középértéke:	1—1.5	1.63—2.4	1.93—2.89,

azaz az így kapott számok a steatit, gipsz, kősó sorozat Mohs-féle keménységi értékeit jól megközelítik; ugyanez nem mondható azonban az Auerbach-féle keménységről. Az előbbi egyezés oka az a közös folyamat lehet, amely nagyjából úgy a kareolásban, mint az ékbenyomódásban megtalálható: a részecskék szétválasztása egy egyenes mentén.

A fentebb tapasztalt eltérések oka pedig — nézetem szerint — a következő lehet. Az ék éle benyomódik a kristálylapba (a 90-fokos lapszög miatt kb. a benyomódási szélesség felével egyező mélységig), e kis mélyedés alján s oldalán a kristályfelület összetörött vagy legalább is összenyomott részecskéi foglalnak helyet (a kristály térfogata kb. $l \cdot d^2/4$ mm³ értékkel csökkent, ahol d a benyomódás szélessége, l pedig annak hossza); ha az ingát vízszintes egyensúlyi helyzetéből kimozdítjuk úgy, hogy a mutató 40 mm-es kitérést végezzen, az ék kb. 7.5 fokkal elfordul, közben a mélyedést szélesíti s a mélyedés szélén összenyomja az anyagot, egy részét össze is töri, e porból egy kevés a mélyedésbe juthat s ez a mennyiségétől s egyes fizikai tulajdonságaitól függő módon hozzájárulhat a lengések csillapításához. Természetesen a levegő közegellenállása is csillapít, de ez egyrészt csekély, másrészt közel állandó hatású; te-

hát figyelmen kívül hagyható. A szélesedés értékei: Steatit 0.077, Kősó II. 0.05, Gipsz II. 0.072; ezek alapján számított keménységek is csak alig felelnek meg a keménységi sorrendnek; értékeik ugyanis

Steatit 1—1.5, Gipsz II. 1.07—1.61, Kősó II. 1.54—2.31.

Összefoglalásképen mondhatjuk: a csillapodási görbe alapján meghatározott mennyiségekből ez a keménységi sorrend alakul ki: steatit, kősó, gipsz; vagyis ezen módszer szerint a gipsz keménysége határozottan nagyobb a kősóénál.

A keménységi sorozat többi tagjának a vizsgálata folyamatban van; azt hiszem, arról is rövidesen beszámolhatok.

Meg kell jegyezni, hogy szándékosan kerültem minden kristályalaktani és kristályfizikai szempontot, mert a vizsgálat tárgyát képező keménységi skálák sem vették azokat figyelembe. Azt is ki kell emelni, hogy az íngás sklerometer használhatóságáról esakis azok figyelembevételével lehet dönteni.

A kristályok és esiszolatok szíves átengedéséért hálás köszönetet mondok *Mauritz Béla* és *Vendl Aladár* egyetemi tanár uraknak.

* * *

Durch diesen Untersuchungen, welche ich mit dem Pendelsklerometer ausgeführt hatte, wollte ich festsetzen, ob es unter den mit gedämpfter Schwingung verknüpften Größen eine solche gibt, mit der die einzelnen Werte der Mohs'schen Härteskala zu ersetzen sind. Die folgenden Kristalle wurden geprüft: Talk, Steinsalz und Gips. An jedem Stücke wurden die Messungen in 12 Richtungen, welche voneinander um 30 Graden abwichen, ausgeführt. Die erste Richtung war parallel mit der C-Achse am Gips, und mit der Würfelkante am Steinsalz; diese Richtung war beliebig am Talk (es war ein unorientierbarer Stück). Die Härte wurde aus dem log. Dekrement, aus der Subtangente der Dämpfungskurve, aus der fünften Ablenkung, usw. berechnet. Es ergibt sich aus diesen Untersuchungen, dass mit dem Pendelsklerometer die folgende Reihenfolge der Härte festzustellen ist: Talk, Steinsalz, Gips. Aus den Werten der Eindringungsbreiten vor und nach dem Abklingen der Schwingungen ergeben sich aber die Härten näherungsweise nach der Mohs'schen Skala.

IRODALOM. — SCHRIFTTUM.

1. Handbuch der Exper.-Physik, V. 363—368.
2. Schubnikow: Selbstschreibendes Pendelsklerometer. Zs. f. Kristallogr. 87, 1934: 499—502.
3. Kusnetzow és Lawrentjewa: Über eine Schwingungsmethode zur Untersuchung der Kristallfestigkeit. Zschr. f. Kristallogr. 80, 1931: 54—62.
4. Rehlinger: Verminderung der Ritzhärte bei Adsorption grenzflächenaktiver Stoffe. Zschr. f. Physik, 72, 1931: 191—205.
5. Schaefer: Einf. in d. theor. Physik. Leipzig, 1914. I. p. 120, sqq.