

EGYSZERŰ NYIROGÉPEN VÉGREHAJTOTT FOLYÁS- ÉS KUSZÁS- VIZSGÁLATOK

Szabó Imre,

NME Földtan-Teleptani Tanszék, Miskolc

Az NDK-beli nagy szénkülfejtéseknél figyeltek fel arra a jelenségre, hogy a hagyományos méretezési eljárásokkal meghatározott, egyébként igen kicsi rézsűszögek $\beta \approx 15^\circ$ mellett is a hányók lassu mozgásban voltak. FISCHER megállapítása szerint [6 ; 7] a rézsű belsejében a szemcsék között többé-kevésbé erős relativ elmozdulás volt tapasztalható, amely határozott sebességgradiens fellépésében mutatkozott meg. Ez a megfigyelés nem új, a természetben nagyon gyakran találkozhatunk ilyen jelenséggel, pl. völgyoldalak lassu mozgása /kuszása/, de a legismertebb ilyen jelenség a gleccserek mozgása. Ezen utóbbi terület problémáival igen behatóan foglalkozott HAEFELI [8], s munkái alapvető ismeretanyagot jelentenek a folyási, kuszási jelenségek meghatározásánál. A folyási- és kuszási jelenségek felléptével a hagyományos talajmechanikai módszerek alkalmazhatósági határát elértük, s olyan új kutatási, vizsgálati módszerek szükségesek, amelyek a reológia törvényeire épülnek, és amelyek lehetővé teszik, hogy a feszültségviszonyokat, a folyási sebességeket, a várható geometriai viszonyokat a lassu mozgásban lévő anyagnál meghatározhassuk.

Vizsgálatainkhoz az NDK-ban kifejlesztett, az egyszerű nyírás elvén működő VSG-2 egyszerű nyírókészülék módosított változatát használtuk [17]. A módosítással az volt a cél, hogy a készülékkel modellezhetőek legyenek a természeti jelenségek. Az átalakítás két irányban történt:

- a./ a készülék alkalmas legyen többlépcsős, állandó nyírási sebesség melletti kísérletek végrehajtására, amelyekkel megközelíthetőek a természetben lejátszódó kuszási jelenségek igen kis sebesség értékei.

b./ a készülék alkalmas legyen többlépcsős, állandó feszültség-
változási sebesség mellett végzett kísérletek végrehajtására.

A fenti két módosítással, figyelembe véve, hogy a készülék felépítésénél fogva alkalmas állandó nyirófeszültséggel végzett kísérlet végrehajtására, a készülékkel a legfontosabb reológiai vizsgálatok elvégezhetőek:

- 1./ $[\dot{\sigma}]$ = konstans /arányos terhelési próba/
- 2./ $[\dot{\epsilon}]$ = konstans /arányos deformációs próba/
- 3./ $[\dot{\sigma}]$ = konstans /kuszási próba/
- 4./ $[\dot{\sigma}]$ = konstans /relaxációs próba/

/Az 1-4 próba értelmezését és végrehajtását 1. ASSZONYI-HUSZÁR-KAPOLYI [1]; ASSZONYI-KAPOLYI [3]; LANGER [12] munkáiban/

Mielőtt az elvégzett kísérletek kiértékelésére rátérnénk, érdemes átfogóan megnézni a nemzetközi irodalomban leírt folyási-kuszási jelenségek deformációs sebességviszonyait, hogy legalább nagyságrendileg helyes képet kapjunk. Az adatokat az 1. táblázat tartalmazza, melyet BILZ [4]; HAEFELI [8]; MESZCSAN [13] munkái nyomán állítottam össze.

1. táblázat. A deformációsebesség mérések összefoglalása

Megnevezés	Def. seb. [mm/perc]	Szerző	A mozgás
1. Morénatörmelék	0,049-0,104	BRETH /1967/	folyás
2. Harmadkori agyag	0,004	GOULD /1960/	lassu folyás
3. Kristálypala málladék	0,046	SAITO /1965/	folyás
4. Szikla málladék	max 0,029	MOOS/HAEFELI /1962/	folyás

	Megnevezés	Def. seb. [mm/perc]	Szerző	A mozgás jellege
5.	Morénatörmelék Peiden /Svájc/	0,00043	HAEFELI /1967/	kuszás
6.	Törmelékkup Chur-Arosa/Svájc/	0,000035	HAEFELI /1967/	kuszás
7.	60 m vastag alluvium Deoragesz /Örmény SzSzK/	0,000045	MESZCSAN	kuszás
8.	Hinterseiferner gleccser	0,0023-0,024	HESS /1924/	lassu folyás
9.	Krakorum gleccser	0,089	VISSER /1935/	folyás
10.	Aletsch gleccser	0,048-0,38	MOOS/HAEFELI /1962/	folyás
11.	Lochau külf. hányó	0,16	FISCHER /1967/	folyás
12.	Peres külf. külső hányó	0,002-0,01 0,01-0,1 1,0	BILZ /1973/	lassu folyás folyás átmenet a töréshez

Az átalakított nyirókészülékkel négy különböző nyirási sebesség mellett /1-7, 14. $\cdot 10^{-2}$ -5, $1 \cdot 10^{-3}$ -3, $64 \cdot 10^{-4}$ mm/perc/ végezhető kísérletek /10 mm mintamagasság mellett ez $1,66 \cdot 10^{-3} \pm 6,07^{-7}$ [S⁻¹] sebességgradiens értékek felel meg/, s összevetve az 1. táblázatban feltüntetett mérési eredményekkel, láthatjuk, hogy a fenti értékek nagyon jól megközelítik azokat, s a készülék tényleges alkalmas a kuszási, folyási jelenségek modellezésére.

Amennyiben a terhelésvitel-sebességét kívánjuk változtatni, úgy a készülékkel - az előzőhöz hasonló széleskörű irodalmi feldolgozás alapján - $0,0016 \pm 24,07$ kp/cm²/perc nyirófeszültségváltozási sebesség értékhatárok között dolgozhatunk, a fenti két szélső érték között tetszőlegesen beállítható $[\dot{\tau}]$ értékkel.

A következőkben nézzünk meg két kísérletet. Az anyag mádi bentonitos agyag volt mindkét esetben $W_L = 86,2 \%$; $I_p = 52,4 \%$.

Állandó deformációsebességgel végzett kísérletek

A kísérletek célja az volt, hogy megnézzük a deformációsebesség hatását a mért nyírószilárdság értékekre. Két különböző viztartalmu mintasorozaton végeztük a kísérleteket, a 2. ábrán látható sebességgradiens $/D/$ értékek mellett. A beépített minták állapot jellemzőit a 2. táblázat tünteti fel.

2. táblázat

Mádi bentonitos agyag beépítési állapot jellemzői

$$\left[\tau_n \right] = 1,9 \text{ kp/cm}^2$$

Soro- zat	V /mm/perc/	D /S ⁻¹ /	h /mm/	W /%/	$\left[\tau_n \right]$ /kp/dm ³ /	Jele
I.	1,0	$9,6 \cdot 10^{-4}$	17,78	29,2	1,974	BLM 2
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	15,24	29,6	2,126	BLM 1
	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	18,00	29,8	1,897	BLM 4
	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	16,90	29,5	1,886	BLM 3
II.	1,0	$1,02 \cdot 10^{-3}$	16,68	27,4	2,023	BLM 9
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	15,98	27,9	2,001	BLM 8
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	16,33	27,6	2,013	BLM 7
	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	12,55	27,3	2,015	BLM 6
	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	12,90	27,5	1,977	BLM 5

v: nyírási sebesség; D: sebességgradiens; h: mintamagasság; W: viztartalom; $\left[\tau_n \right]$: térfogatsúly.

A különböző sebességgradiensek mellett kapott nyirószilárdság értékek alapján meghatározható a folyásgörbe. /2. ábra/.

A folyásgörbe tulajdonképpen az u. n. maradó, vagy permanens deformáció $/D_p/$ és a t igénybevételi idő közötti függvénykapcsolatot ábrázoló görbe /1. ábra/, amely adott $[\tau]$ nyirófeszültség mellett a szóban forgó rendszerre az adott körülmények között jellemző menetű [14]. Különböző $[\tau]$ értékek mellett elvégezve a kísérletet kapjuk az u. n. folyási diagrammot. A folyások jellegét szokás tanulmányozni a nyirási sebesség és a nyirófeszültség közötti összefüggés megállapításával is, s ma már általánosan elfogadott ezen görbéket is folyásgörbéknek nevezni, s a 2. ábrán ezen utóbbi értelmezés alapján ábrázoltuk a mádi bentonitos agyag folyásgörbéjét.

A laza kőzetek folyási viszonyait az irodalomban nem egységesen itélik meg, előfordulnak adatok konstans viszkozitás melletti egyszerű Bingham-viszonyokról éppugy, mint általános Bingham rendszerekről /TAN-TJONG-KIE [18]; DMITRUK SUCHNICKA [5]; KRAUSE [10]/.

Számos anyagi rendszernél az tapasztalható, hogy a nyirófeszültség és a sebességgradiens között kapcsolat nem lineáris, OSTWALD nyomán az ilyen folyást mutató rendszert szerkezeti viszkozitású rendszernek nevezzük. Amennyiben a szerkezeti viszkozitás a plasztikus deformációval egyidejűleg jelentkezik, azt jelenti, hogy a szóban forgó rendszer a folyást megelőzően folyáshatárral rendelkezik. Az ilyen rendszereket szokás általános Bingham vagy pszeudoplasztikus rendszernek nevezni. E rendszerek reológiai egyenletei ma még zömmel csak empirikus uton állapíthatók meg, kísérletileg is igazolt elméleti összefüggések nem igen állnak rendelkezésre. /MÓZES-VÁMOS [14]/. Mivel az OSTWALD-görbe inflexiós pont alatti része gyakorlatilag parabolikus lefutású, ezért ezt a szakaszt bilogaritmikus rendszerben ábrázolva egyenest kapunk és ezért kedveltek a különböző hatványösszefüggések.

RAO, FARROW, LOWE és NEALE sík lapok közötti lamináris folyásra a

$$[\tau] = k D^n$$

összefüggést találták.

Figyelembe véve NADAI [16] és FISCHER [6] módosításait, az általános Bingham test viselkedését a következő egyenlet írja le:

$$\left[\tau = k \left(\frac{D - D_0}{D^*} \right)^n + \tau_0 \right]$$

ahol D_0 - a $\left[\tau_0 \right]$ gyakorlati folyáshatárhoz tartozó sebességgradiens

$$D^* = 1 \text{ S}^{-1} \text{ [NADAI]}$$

k - u. n. konzisztenciaállandó /Kp/cm²/.

Az általánosított BINGHAM-rendszer mechanikai modelljét a 3. ábrán láthatjuk, melyet a következő szimbólummal jelölhetünk:

$$B = /N/St . V/ - H$$

ahol: B: az általánosított Bingham rendszer szimbóluma

N: Newton elem szimbóluma

st. V: St. Venant szimbóluma

H: Hooke szimbóluma

Szabakkal kifejezve, az általánosított BINGHAM-rendszer a párhuzamosan kapcsolt Newton-St. Venant elemek sorbakapcsolása Hooke elemmel.

A $D_0 = 10^{-7} /S^{-1}/$ sebességgradienshez megbecsülve $\left[\tau_0 \right]$ értékét, az eltérések négyzetösszegének minimuma alapján a két különböző víztartalmu mádi agyagra a következő eredményt kapjuk:

I. típus:

$$\left[\tau \right] = 8,1587 C^{0,26799} + 1,560 /kp/cm^2/$$

$$\text{ill. } [\tau] = 8,00368 \cdot 10^6 D^{0,26799} + 1,53 \cdot 10^6 / \text{din/cm}^2 /$$

$$r = 0,959.$$

II. típus:

$$[\tau] = 13,4076 D^{0,2709} + 3,651 / \text{kp/cm}^2 /$$

$$\text{III. } [\tau] = 1,3153 \cdot 10^7 D^{0,2709} + 3,58 \cdot 10^6 / \text{din/cm}^2 /$$

$$r = 0,9056$$

ahol r : a korrelációs együttható.

A szerkezeti viszkozitást az

$$[\eta] = \frac{d[\tau]}{dD} \cdot nk \left(\frac{D - D_0}{D^*} \right)^{n-1}$$

összefüggésből nyerhetjük, s értékeit a sebességgradiens függvényében a 4. ábra tünteti fel.

A folyásgörbe meghatározása kuszásvizsgálatból

A kőzetek laboratóriumi nyomó-nyirókísérleteinél általában tapasztalható, hogy ha a terhelést egy $[\sigma_0]$ v. $[\tau_0]$ értéken rögzítjük, az alakvátlozások tovább folytatódnak. Ezt a jelenséget nevezzük kuszásnak, utóhatásnak [2].
/5. ábra/.

A kísérlethez szintén a mádi bentonitos agyagot használtuk $w = 29,8 \%$, $[\sigma_n] = 1,98 \text{ kp/dm}^3 / \text{ fel}$, a kuszásvizsgálatnál a nyirófeszültség értékeket lépcsőzetesen $0,3 \text{ kp/cm}^2$ értékkel/ pillanatszerűen változtattuk, a nyirási deformációkat $1/1000 \text{ mm}$ pontossággal mértük /6. ábra/.

A kuszágörbéből megszerkeszthető a folyásgörbe /7. ábra/. Mint arra MURAYAMA-SHIBITA [15] rámutatott, a folyásgörbe egy bizonyos $[\tau_f]$ u. n. felső folyáshatárnál kisebb igénybevételeknél lineáris lesz. Ez a felső folyáshatár egy rendkívül lényeges érték, s tkp. ha a csuszató feszültség ezt a küszöbértéket meghaladja kuszás, lassu alakváltozás indul meg amennyiben a konst. alakváltozási sebesség biztosított. A magyar irodalomban, mint fundamentális nyírószilárdság ismert /KÉZDI [9] /, nemzetközileg is számos megnevezése használatos /pl. tartós szilárdság FISCHER [7], strukturális szilárdság KWIATEK-GLINKO [11] /.

A lineáris szakaszon is meghatározhatjuk a viszkozitás értékét, /amely nyilvánvalóan függvénye lesz a normálterhelésnek, és az időintervallumnak is, amellyel a folyásgörbét meghatároztuk/ a következőképpen:

$$[\eta] = \frac{[\tau_f] - [\tau_a]}{D}$$

$$[\eta_1] = \frac{1,23 \cdot 9,8 \cdot 10^5 \text{ [din cm}^{-2}\text{]}}{4 \cdot 10^{-7} \text{ [S}^{-1}\text{]}} = \underline{\underline{3,0135 \cdot 10^{12} \text{ poise}}}$$

$$[\eta_2] = \frac{1,23 \cdot 9,8 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{6,027 \cdot 10^{12} \text{ poise}}}$$

A görbék adnak még egy alsó folyáshatár értéket is $[\tau_a]$, amely pontból mindegyik görbe tkp. kiindul, de ezen értékről egy mérés alapján messzemenő következtetéseket nem vonhatunk le.

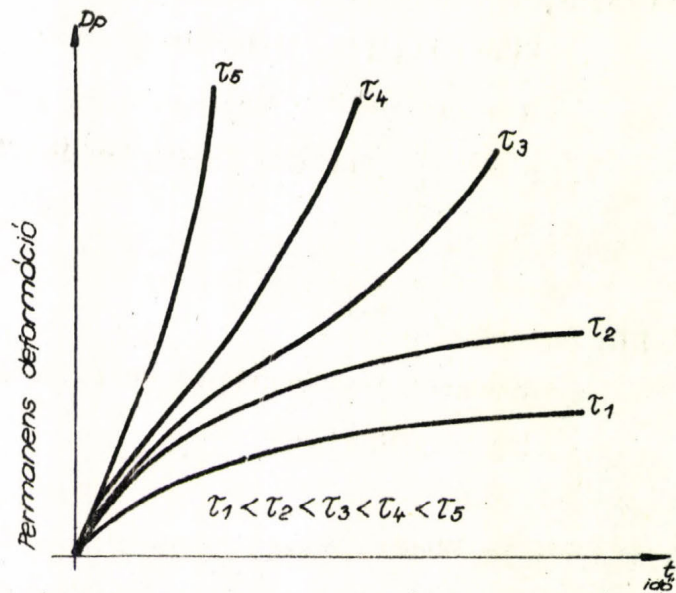
Amennyiben $[\tau > \tau_f]$ a fenti viszkozitásértékek csökkennek, s ugyanabba a tartományba jutunk, amelyet az előző pontban is tárgyaltunk. Természetesen egyetlen reológiai modellel is leírható a teljes tartomány, mint azt MURAYAMA-SHIBITA is tette.

IRODALOMJEGYZÉK

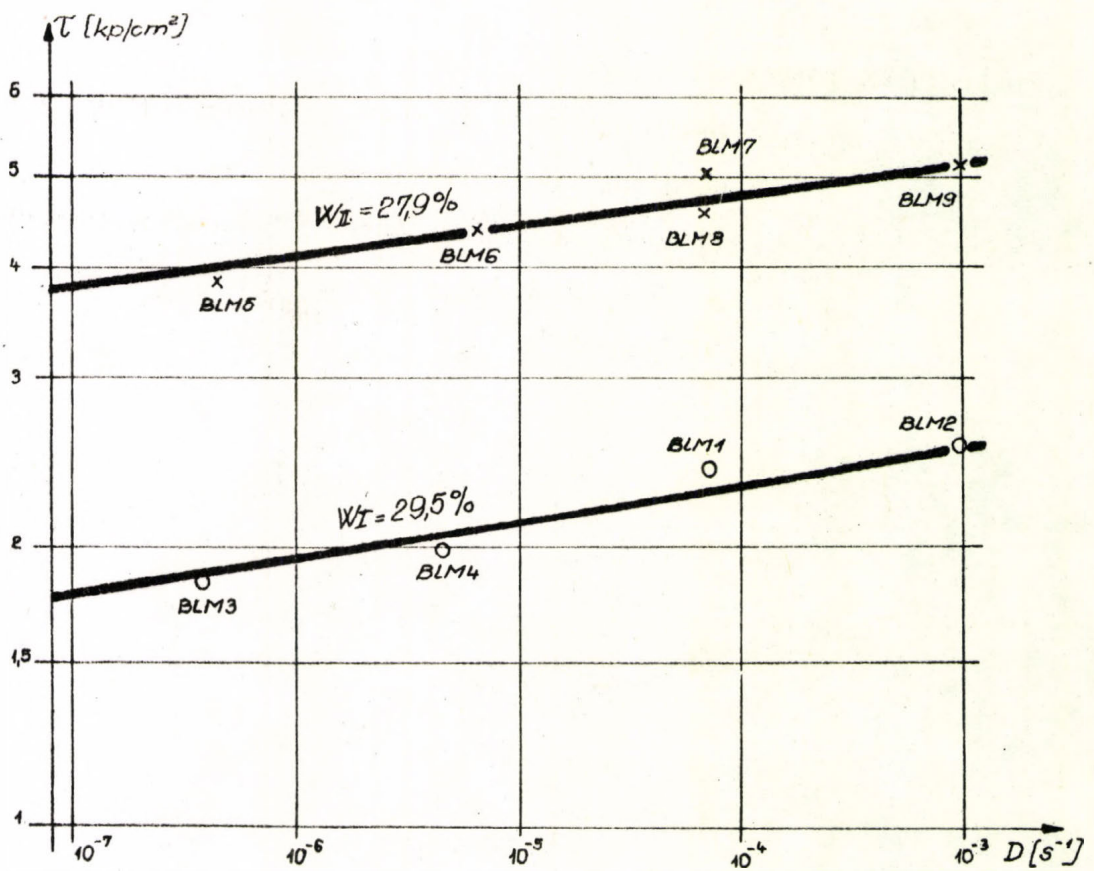
- [1] ASSZONYI, Cs. - HUSZÁR, I. - KAPOLYI L. /1971/:
Kőzetállandók laboratóriumi meghatározása kuszásvizsgálattal
Tatabányai Szénbányák Műszaki Közgazdasági Közleményei
1971. 4.sz. p. 177-183.
- [2] ASSZONYI Cs. - RICHTER R. /1975/:
Bevezetés a kőzetmechanika reológiai elméletébe. Nehézipari Minisztérium Továbbképző Központja, Budapest,
1974. p. 1-284.
- [3] ASSZONYI Cs. - KAPOLYI L. /1976/:
Kőzetek mechanikai jellemzőinek meghatározása
MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága Monográfiái
II. évf. 4. szám, 1976. p. 192.
- [4] BILZ, P. /1973/:
Langfristige Bewegungen in einem Böschungssystem aus geschütteten bindigen Mischböden infolge Grundwasseranstiegs
Neue Bergbautechnik 3. Jg. H. 3. März
- [5] DMITRUK, S. - SUCHNICKA, H. /1969/:
Koncepcja reologicznego modelu wytrzymałościowego gruntu, Archiwum Hydrotechniki 1969. T. XVI. No. 4,
p. 521-540.
- [6] FISCHER, P. /1970/:
Beitrag zur Anwendung rheologischer Untersuchungsmethoden in der Bodenmechanik Freiburger Forschungshefte A. 492.

- [7] FISCHER, P. /1970/:
Zur Anwendung rheologischer Untersuchungsmethoden in
der Bodenmechanik. Bergbautechnik. 20. Jg. H. 5. Mai.
- [8] HAEFELI, R. /1967/:
Kriechen und progressiver Bruch in Schnee, Boden, Fels
und Eis.
Schweizerische Bauzeitung 85. Jahrgang H. 1.
- [9] KÉZDI Á. /1969/:
Talajmechanika I-II.
Tankönyvkiadó, Budapest, p. 1014.
- [10] KRAUSE, I. /1966/:
Das rheologische Verhalten von Schluff Beim Kompressions-
versuch Mitt. aus dem Institut für Verkehrswasserbau
Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule
Aachen.
- [11] KWIATEK J. - GLINKO, H. /1965/:
O własnościach reologicznych gruntów.
K. D. 532. 136: 624. 131. 3. Katowice
- [12] LANGER, M. /1967/:
Rheologie der Gesteine Zeitschrift der Deutschen
Geologischen Gesellschaft Jahrg. 1967. B. 119. 313-425.
- [13] MESZCSAN, Sz. R. :
Polzucsészty glinyisztűh grntov Izv. A. N. Arm.
Sz. Sz. R. Jereván p. 318.
- [14] MOZES Gy. - VÁMOS E. /1968/:
Reológia és reometria Műszaki Könyvkiadó Budapest,
1968. p. 340.

- [15] MURAYAMA, S. - SHIBITA, T. /1964/:
Flow and stress relaxation of clays
Rheology and Soil Mechanics. Symposium Grenoble 1964.
p. 99-129. Springer Verlag Berlin /Heidelberg/ New
York 1966.
- [16] REINER, M. /1968/:
Rheologie in elementarer Darstellung. VEB. Fachbuchver-
lag Leipzig p. 360.
- [17] SZABÓ I. /1979/:
Lamináris alakváltozást megvalósító készülékek alkalma-
zása a talajmechanikai gyakorlatban, különös tekintettel
az egyszerű nyírásra. Doktori dissz. Kézirat.
- [18] TAN-TJONG-KIE /1964/:
Determination of the rheological parameters and the
hardening coefficients of clays
Rheology and Soil Mechanics, Symposium Grenoble 1964.
p. 256-272. Springer Verlag, Berlin /Heidelberg/ New
York 1966.

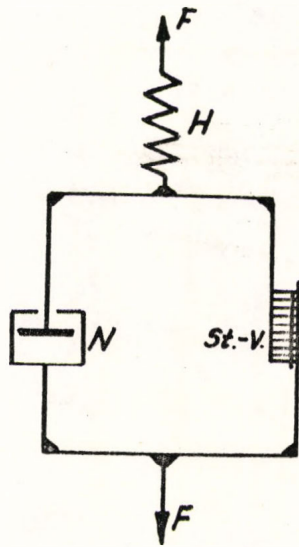


1. ábra. A permanens deformáció alakulása az idő függvényében különböző nyírófeszültség (τ) értékek mellett.

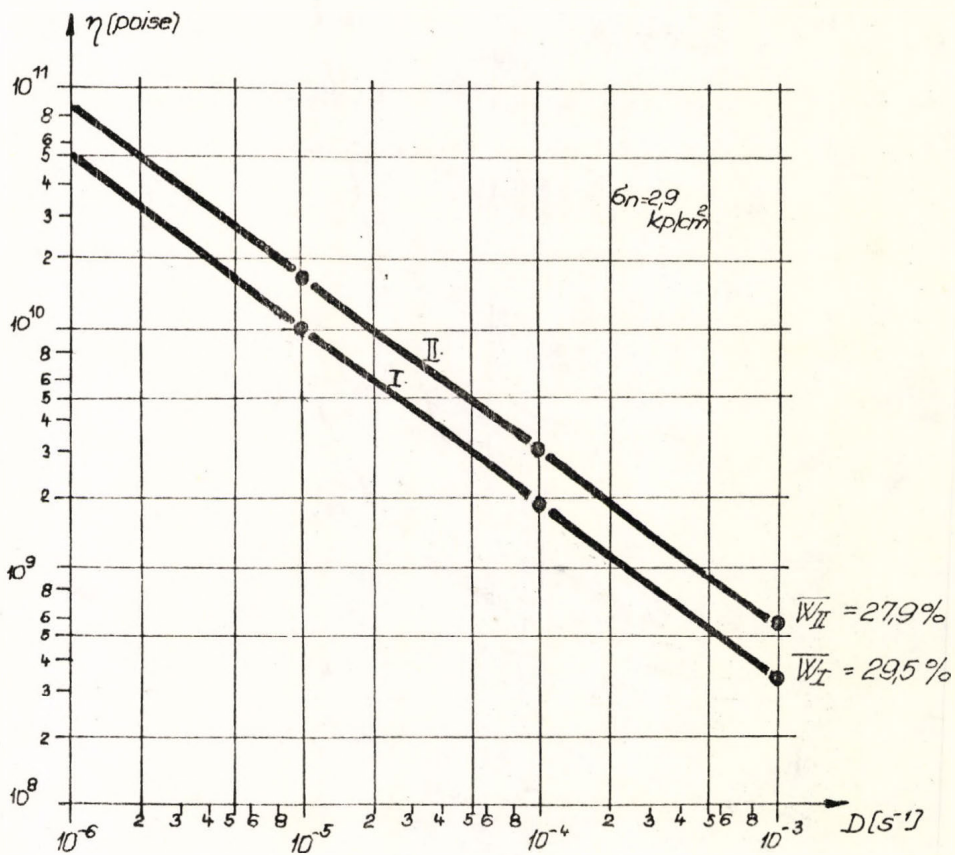


2286

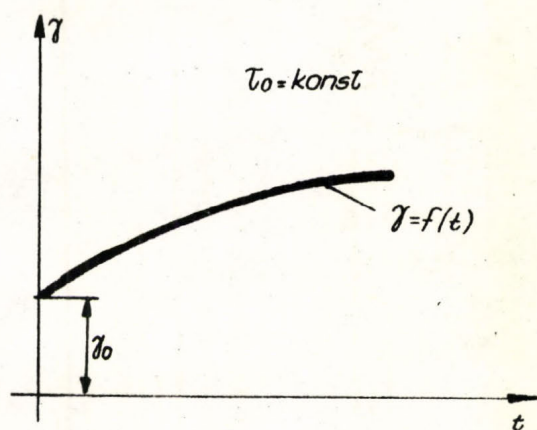
2. ábra. Mátyás agyag folyásgörbéje.



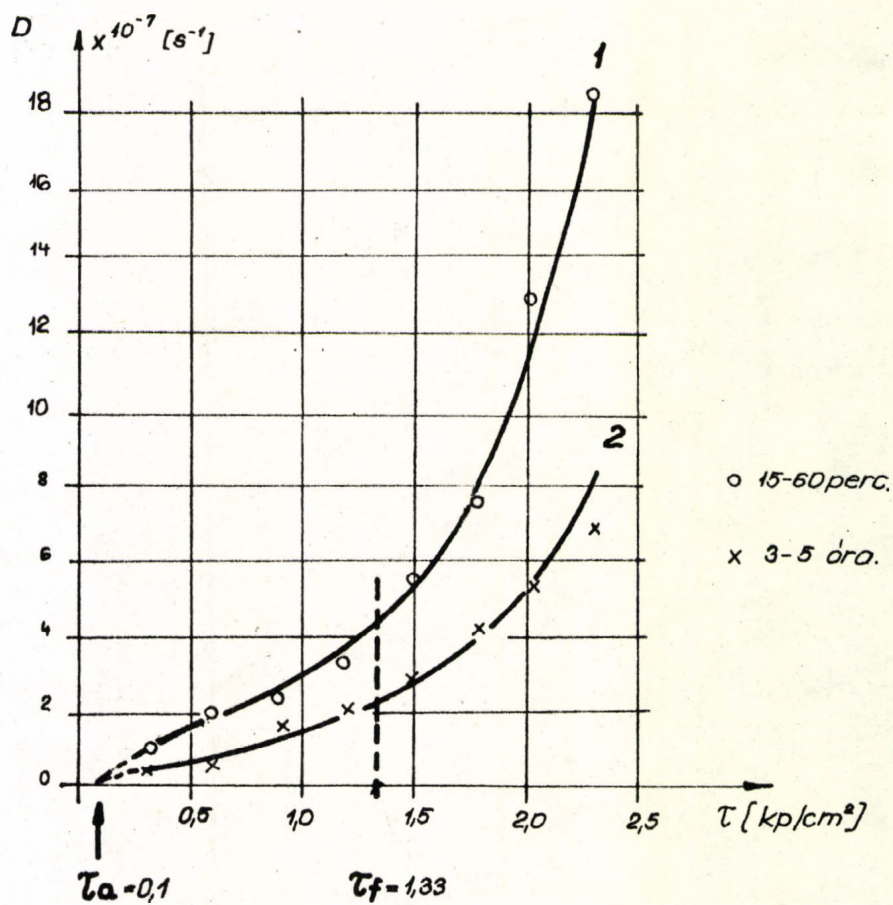
3. ábra. Az áttalánosított BINGHAM rendszer mechanikai modellje.



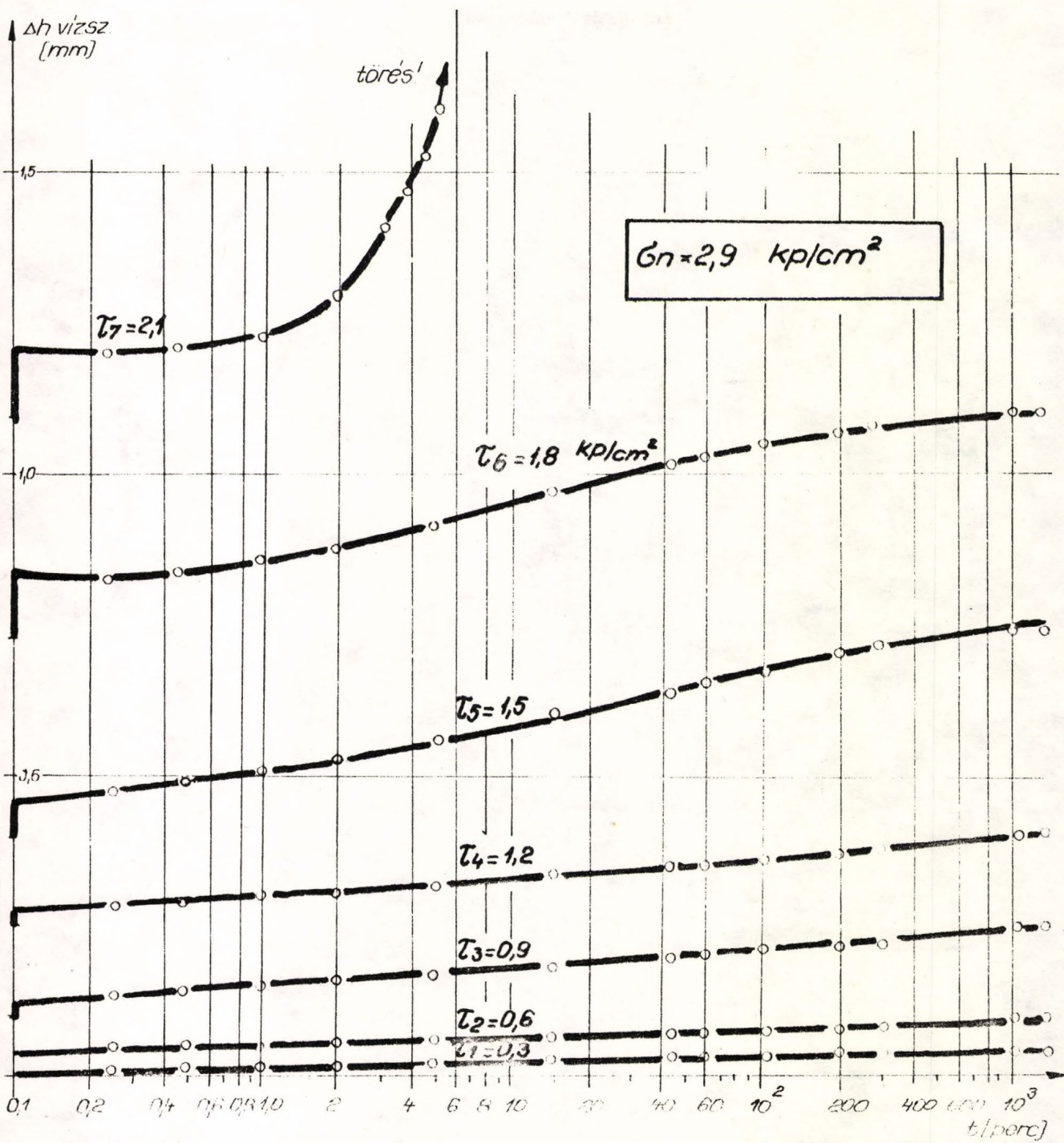
4. ábra. A szerkezeti viszkozitás és a sebesség-gradiens kapcsolata.



5. ábra. Állandó feszültség melletti kúszás.



7. ábra. Kúszásgörbék alapján meghatározott folyásgörbe.



Bábrú Mádi agyag kúszásgörbéi.

