

BITUMENEK VISZKOZITÁS—HŐFOK FÜGGVÉNYE*

Különböző iparágak a bitumeneket évszázadok óta igen széles területen alkalmazzák, közismert jótulajdonságai miatt. Tulajdonságainak megállapítására, minőségük értékelésére és lehetőleg egyértelmű meghatározására, a célnak megfelelően a gyakorlat különböző vizsgálati eljárásokat alakított ki. Ezen kísérleti vizsgálatoknál általában az egyes használati ágazatokra jellemző sajátos igénybevételeket és körülményeket vettek alapul. Az így végzett vizsgálatok eredményei bizonyos értékszámokhoz vezettek, melyek azután az idők folyamán a gyakorlatban is megrögződtek.

Ezek az értékszámok azonban általában nincsenek, vagy csak erősen közvetve vannak kapcsolatban a jelenségeket ténylegesen előidéző fizikai, illetve kémiai okokkal. Erősen függenek a mérés végrehajtásának módszereitől, a mérési módoktól, az alkalmazott berendezéstől, így tehát egyértelműen nem hasonlíthatók össze.

A konvencionális vizsgálatok csak bizonyos hőfokokon adnak tájékoztatást a bitumenek tulajdonságairól s az értékszámokban mutatkozó esetleges ellentmondások a kérdéses bitumen minőségének egyértelmű körülírását bizonytalanná teszik.

Mivel pedig a konvencionális vizsgálatokkal kapott értékszámoknak fizikai értelmük nincs, általában nem használhatók fel az anyag belső szerkezetére felállított általános elméletek kiterjedtebb alkalmazásához, illetve igazolásához.

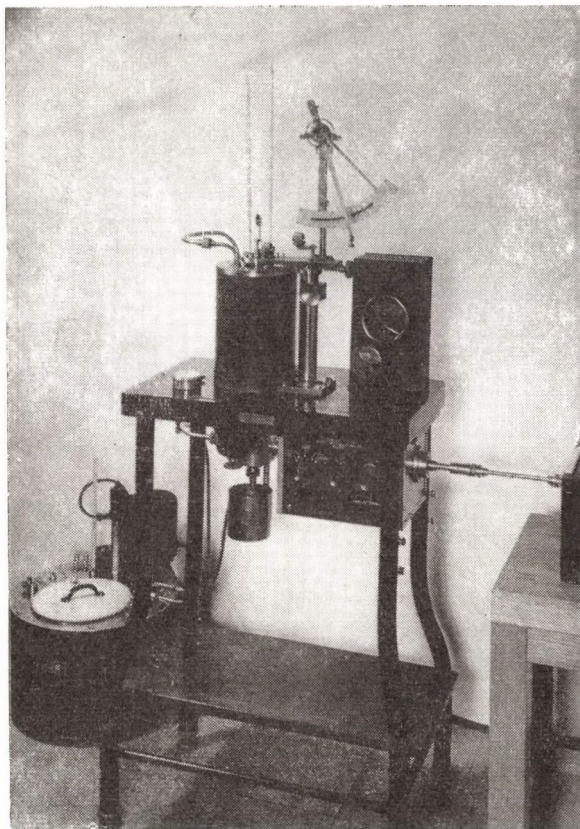
Ismeretes az a közvetlen kapcsolat, mely az anyag belső szerkezete, valamint fizikai, elsősorban mechanikai tulajdonságai között fennáll. Célszerűnek látszik, hogy a mechanikai igénybevételt utánzó vizsgálatokból kapott értékszámok helyett, olyan minőségi értékszámokat keressünk, melyek függetlenek az alkalmazott módszerektől, illetve mérőeszközöktől, így tehát összehasonlíthatók és belőlük az anyag fizikai állandói is meghatározhatók.

Éppen ezért feladatunkul tűztük ki, a nyírási feszültségeknek, a nyírási sebesség függvényében történő — az ún. folyásgörbéknek — meghatározását. Ezen összefüggés nyilvánvalóan közvetlen kapcsolatban van az anyag belső szerkezetével. Ebből az összefüggésből azután már megközelíthetően kiszámíthatók a mérőberendezésektől független fizikai állandók is, melyek lehetőséget

* Az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Út-, Vasútépítés- és Közlekedésügyi Tanszéke Közleménye. Tanszékvezető: Dr. Vásárhelyi Boldizsár. A tanulmány az 1957. évben készült.

adnak a bitumenek gyakorlati felhasználása szempontjából értékes tulajdonságainak egyértelmű összehasonlító jellemzésére.

Első ilyen irányú méréseinknél azonban megdöbbenve tapasztaltuk, hogy az ilyen nagy viszkozitású és igen rossz hővezetésű anyagoknál, az általában feltételezett és az irodalomból is ismertnél, mennyivel nagyobb — sőt döntő — fontosságú magának a mért anyag *mérésközbeni hőfokának* közvetlen ismerete.



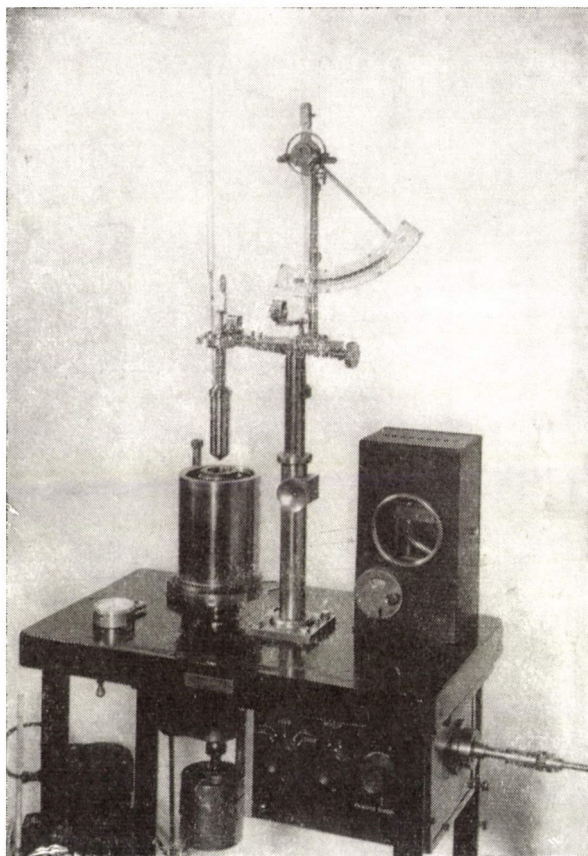
1. ábra

Azt tapasztaltuk, hogy a valódi folyásgörbék felvételénél nagymértékben zavar a hőfok befolyása, mely már aránylag kicsiny nyírósebességeknél is jelentősen torzítja az értékeket, ha erre kellő figyelmet nem fordítunk. További méréseinknél ezért különös gondot fordítottunk magának a *mérőtér, ill. az anyag hőfokának mérésközbeni közvetlen meghatározására*.

Ez a körülmény azonban nélkülözhetetlenné tette a bitumenek valódi viszkozitás — hőfok függvényének széles hőfokhatárközben való ismeretét. Az irodalomban azonban erről — különösen a bitumenekre vonatkozóan — igen kevés található. Munkánk első lépése ezért a bitumenekre jellemző viszkozitás — hőfok függvény keresése volt. Nagy segítségünkre volt ebben az irányban

Marschalkó Béla és Barna János 1957-ben megjelent [1] közleménye, mely éppen ezt a kérdést tárgyalja részletesen.

Ezirányú vizsgálatainknál tehát az általuk is követett módszert használtuk, vagyis igen széles hőfok határközben, többféle — különböző eredetű — bitumennél, számos hőfokon, közvetlen méréssel meghatároztuk azok viszkozitását és felvettük a viszkozitás—hőfok görbét.



2. ábra

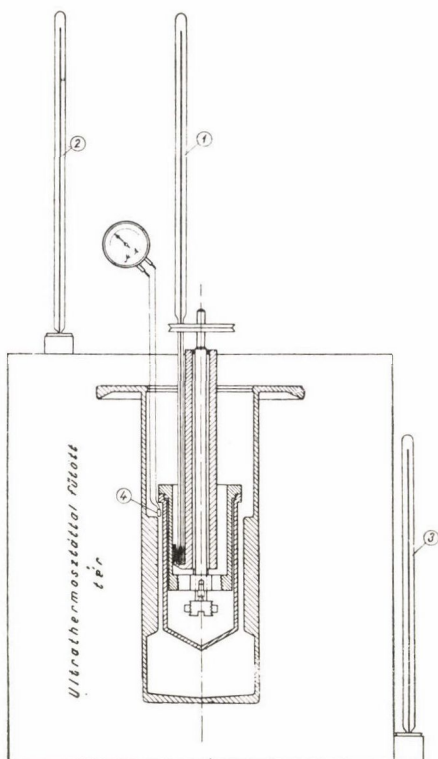
Ezután a bivatkozott tanulmányban közölt többféle összefüggés ismeretében megkíséreltük annak eldöntését, vajon ezek közül bitumenek esetében, melyek simulnak legjobban méréseink által kapott viszkozitás—hőfok görbéhez.

A vizsgálatunkhoz használt készülék

Méréseinkhez a rotációs viszkoziméter elvén működő készüléket találtuk legalkalmasabbnak, mert ennél az elrendezésnél véltük az anyagnak mérés-közbeni hőfok meghatározását, a legkönnyebben megoldhatónak.

Couettenek eredeti szerkezetét azonban nem használhattuk, mert a mérőhengernél alkalmazott felső és alsó zárófelület bitumen méréseknél nem használható. Teljesen zárt mérőhengerrel dolgozó viszkozimétert szintén nem használhattunk, mert a mérendő anyagot tartalmazó rés külső és belső felületének, sőt magának a résben levő anyagnak a hőfokát is mérni akartuk.

Vizsgálatainknál éppen ezért Marschalkó-féle rotációs viszkozimétert (1., 2. ábra) használtunk, amely strukturát mutató anyagok széles hőfok



3. ábra. Jelmagyarázat : 1. Mérőrés belső oldalán elhelyezett hőmérő, 2. Mérőrés külső oldalán elhelyezett, a beáramló fűtőfolyadék hőmérsékletét mérő hőmérő. 3. Mérőrés külső oldalán elhelyezett, a kiáramló fűtőfolyadék hőmérsékletét mérő hőmérő. 4. Mérőrés hőfokát mérő thermisztor

határokben való mérésére alkalmas és egyben lehetővé teszi a résben levő mérendő anyag hőfokának közvetlen mérését is. A készüléknek részletesebb ismertetésével itt nem foglalkozunk, azt Barna János [2] ily irányú közlésére való hivatkozással ismertnek tételezzük fel. A hivatkozott közlést itt csupán a készüléknek bitumen mérésekhez alkalmassá tett módosításának ismertetésével egészítjük ki, egyben megjegyezzük, hogy a fenék hatásnak a lehetőségig való kiküszöbölését itt is azzal a megoldással tettük lehetővé, mely megoldást a Magyar Tudományos Akadémia által rendezett műszerkiállításon mutatott be első ízben a konstruktőr 1952 november havában. Ennek a meg-

oldásnak első bemutatás óta hasonló elrendezéssel az utóbbi időben a külföldi irodalomban [3] is egyre gyakrabban találkozunk.

A résben elhelyezett mérendő bitumenréteg külső felülete hőfokának megállapítására, a vele közvetlenül érintkező forgóhenger hőfokának mérését minden kétséget kizáróan, az ultrathermosztátból érkező be- és elfolyó fűtő-folyadék hőfokának mérésével végeztük. A mérőhenger különleges szerkezete lehetővé tette, hogy megfelelő hőmérővel a résben levő anyag belső oldalához is hozzáférjünk és annak hőmérsékletét is megmérhessük. Így tehát az 1,5 mm-es szélességű réstávon két oldalról is megmérhettük a hőfokot, amelyik tény már magában is igen megnyugtató. A két hőfokból magának a mérendő bitumennek valódi hőfoka mérésközben is állandóan meghatározható volt, ami különösen azért is fontos, mert mérés közben a nyírási munka által termelt meleg — a bitumen rossz hővezetése miatt — részben hozzáadódik az anyag eredeti hőfokához és azt emelve (kellő körültekintés hiányában), jelentősen torzítja a kapott eredményeket. Méréseinkkel meghatározott és a bitumenek hővezetési állandójának figyelembevételével számított hőfok értékek noha elég jól egyeztek, ellenőrzés és teljes bizonyosság céljából megkíséreltük magának a mérendő folyadék mérésközbeni hőfokának közvetlen mérését is. Ez egyedül természetesen volt lehetséges. Méréseinknél a Posta Kísérleti Intézet egyik munkatársa Győry Tibor által szerkesztett és az Intézettől rendelkezésünkre bocsátott mérőberendezést használtuk, melyért ezúton is köszönetet mondunk.

Mérésünknel a viszkoziméter mérőrésebe 1,5 mm átmérőjű és 3 mm hosszú pálcika alakú thermisztort helyeztünk el, a 3. ábra szerinti elrendezésben. Tekintettel arra, hogy az érzékelést végző igen kis tömegnek hőkapacitása úgyszólván nincs, a thermisztor a résben uralkodó valódi hőmérsékletet késedelem nélkül azonnal és mérés közben is állandóan jelezte. A kapott eredmények előző méréseink és számításaink helyes voltát $\pm 0,1^\circ\text{C}$ kísérleti hibahatáron belül igazolták.

Viszkózitás—hőfok összefüggések vizsgálata

A viszkózitás — hőfok függvénynek minden kétséget kizáró helyes felvételének első feltétele, az összes zavaró mellékkörülmény kizárása. Mivel pedig a bitumenekről közismert, hogy bizonyos nyírási sebességeknél és megfelelő hőfokhatárközben szerkezeti viszkózitást mutatnak, elsősorban olyan bitumeneket kerestünk, melyeknél az általunk vizsgált hőfokközben struktúra minden kétségek kizáróan nem állapítható meg.

Ez a vártnál aránylag könnyebben sikerült, mert a rendelkezésünkre álló számos bitumen közül többet is sikerült találni, amelyeknél struktúra nem volt, vagyis a viszkózitási értékeknek a nyírási sebesség függvényében való változása legalább is méréseink határközében nem következett be. Meglepődve tapasztaltuk, hogy noha ezeknél a bitumeneknél reológiai tulajdonságokat már megállapítottak, ezeket a jelenségeket vagy egyáltalán nem, vagy csak sokkal kisebb hőfokoknál mutatják. Oka ennek — mint már előbb említettük —, hogy az anyag hőfokának mérésközbeni megváltozása sokszor reológiai jelenségek látszatát kelti, mely azonban nyomban eltűnik, ha a hőfokmérés hiányosságait kellőképpen kiküszöböljük. Ilyen módon megvizsgált és ellenőrzött bitumenek közül háromnak az I. táblázatban közöljük a konvencionális vizsgálatokkal kapott értékeit.

A minta száma	1	2	3
A bitumen eredete	Nagy lengyel	Nagy lengyel	Derna
Lágyuláspont (gyűrű-golyós) C°	53	93	45
Penetráció 25 C°-on	73	9	101
Duktilitás 25 C°-on, mm	>1000	33	807
Töréspont Fraas szerint C°	—16	+16	—21
Hamutartalom, %	0,95	0,07	10,97

Fenti bitumeneken — az irodalomban is szokatlan — igen széles hőfokhatárközben sikerült méréseinket elvégezni, anélkül, hogy azokon reológiai jelenségek mutatkoztak volna. Ennek ellenőrzéséül a méréseket minden esetben és minden mért hőfokon legalább három, de lehetőleg négy nagyságrendű nyírássebességű határközben vizsgáltuk. Fenti három anyagon végzett méréseinknél, minden sebességnél ugyanazokat a viszkozitási értékeket kaptuk, jelölül annak, hogy reológiai hatás legalábbis mérésünk határközében nem volt.

Méréseinket általában 130 C° hőfok határközben végeztük el. Ilyen széles hőfok határköz felvétele azért volt szükséges, mert a már hivatkozott dolgozatban, javasolt és közölt néhány összefüggés olyan pontosan követi a valódi (mért) értékeket, hogy különbség közöttük csak ilyen széles hőfok határközben mutatkozott oly mértékűnek, melyeknél a tapasztalt szórások, már nyilvánvalóan meghaladták az egyébként elkerülhetetlen mérési szórások nagyságrendjét.

Mérési eredményeink alapján a dolgozatban ismertetett viszkozitáshőfok összefüggések közül csak Marschalkó, Waterman [4], Vogel [5] és Lederer [6] egyenlete jöhetett szóba.

$$\text{Marschalkó: } \log \eta = C + BT + \frac{A}{T - T_{\infty}}$$

$$\text{Vogel: } \log \eta = \frac{T - T_1}{T - T_{\infty}} \log \eta_{\infty}$$

$$\text{Waterman: } \log \nu = \frac{A}{T^x} + B$$

$$\text{Lederer: } \log \eta = \frac{q_0}{RT} - 2,75 \log T + ET + C$$

Jelen tanulmányunkban az igen nagy viszkozitást mutató bitumeneknél vizsgáltuk meg ezen összefüggések alkalmazhatóságát. Mindezeknek tehát kiszámítottuk a már fentebb említett széles hőfok határközben mérési eredményeinkből azok állandóit s azokat a II. táblázatban közöljük.

Szerző		A bitumen jele		
		1	2	3
Marshalkó	A	888,167 395	1 681,287 5	1 213,595 6
	B	0,002 374 52	0,001 918 32	0,006 836 55
	C	—4,898 809	—6,869 248	—8,016 484
	T ∞	219,218 4	206,367 5	196,735 8
Vogel	T ₁	449,815 0	488,082 2	436,466
	T ∞	226,383 3	211,402 5	217,075 5
	log η_{∞}	—3,398 610	—5,526 863 2	—3,524 729
Waterman	A	2 439 940 000 000	18 934 500 000	443 215 000 000
	B	—1,097 459	—1,981 129	—1,322 144
	X	4,639 869	3,595 849	4,358 428
Lederer	q ₀	17 163,803 1	19 278,514 6	14 611,500 6
	R			
	E	0,088 500	0,081 880	0,073 876
	C	—70,276 693	—71,186 340	—58,306 103
Drucker—Guzmán	A	—	—	—13,350 928
	B	—	—	—5 706,183 478

Az egyes összefüggésekből nyert állandók segítségével azután kiszámítottuk az egyes viszkozitási értékeket és ezeket összehasonlítottuk a mért értékekkel. Ezt tüntettük fel a III., IV., V. táblázatban.

A táblázatokban csak a közölt négy összefüggés értékeit adjuk, mert ezek simulnak aránylag legjobban a mért értékekhez.

A többiekből számított értékek a bitumeneknél még hivatkozott tanulmányban kenőolajokra megállapított értékeknél is jóval nagyobb mértékben eltérnek s így azok vagy egyáltalán nem, vagy csak igen kicsiny hőfokhatárközben használhatók. Annak érzékelésére, hogy az eltérések milyen nagymértékűek lehetnek, egy esetben, az V. táblázatban közöljük a gyakorlatban ezidő szerint legelterjedtebb és az irodalomban is általánosan használt Drucker—

Guzmán összefüggése [7] szerint $\left(\log \eta = A + \frac{B}{T}\right)$ számított értékeket is.

Elsődleges fontosságú volt a legmegbízhatóbb viszkozitás — hőfok összefüggéseknek vizsgálata, különösen ilyen nagy hőfok érzékenyséű anyagoknál, mint a bitumenek, hogy azok folyásgörbéinek megszerkesztésénél a legmegbízhatóbb értékeket használhassuk fel. Az egyes viszkozitás — hőfok függvény elbírálásánál második fontos szempont, hogy ez minél egyszerűbb és lehetőleg olyan alakkal bírjon, hogy a folyásgörbe egyenletébe is könnyen behelyettesíthető legyen és a vele való további számolást lényegesen ne nehezítse meg. Ebből a szempontból Umstätter [8], sőt Waterman összefüggése sem jöhet szóba.

1. sz. bitumen viszkozitási értékei

III. táblázat

Sorszám	T	Mért érték η_m P	Marschalkó		Vogel		Waterman		Lederer		T
			szerint számított értékek								
			η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	
1.	295,6	25 177 008	26 985 000	+7,18	29 118 000	+15,65	20 325 786	—19,27	14 243 800	—43,43	295,6
2.	306,07	1 204 056,7	1 133 000	—5,91	1 134 100	—5,81	1 132 110	— 5,98	112 821	— 6,30	306,07
3.	306,18	1 100 396,9	1 100 396,9	0,00	1 100 396,9	0,00	11 000 396,9	0,00	1 100 396,9	0,00	306,18
4.	318,96	58 184,7	57 970	—0,37	56 365,0	—3,14	64 075,18	+10,12	75 444,2	+29,66	318,96
5.	336,50	3 051,66	2 973	—2,58	2 923,5	—4,20	3 176,03	+ 4,08	3 639,52	+19,26	336,50
6.	352,70	395,494	391,33	—1,06	391,26	—1,07	397,04	+ 0,39	394,243	— 0,32	352,70
7.	353,30	366,5953	366,5953	0,00	366,5953	0,00	371,50	+ 1,34	366,5953	0,00	353,30
8.	357,29	241,122	241,122	0,00	242,103	+0,41	241,122	0,00	229,807	— 4,69	357,29
9.	384,27	25,2011	24,8200	—1,52	25,2410	+0,16	23,7756	— 5,66	19,4662	—22,76	384,27
10.	385,24	23,2088	23,2088	0,00	23,6029	+1,70	22,255	— 4,11	18,1823	—21,66	385,24
11.	392,43	14,2965	14,4765	+1,26	14,7093	+2,89	13,897	— 2,79	11,4177	—20,14	392,43
12.	416,17	4,0678	3,9716	—2,37	3,9752	—2,26	3,9636	— 2,56	3,9216	— 3,59	416,17
13.	416,94	3,8303	3,8303	0,00	3,8303	0,00	3,8303	0,00	3,8303	0,00	416,94

2. sz. bitumen viszkozitási értékei

IV. táblázat

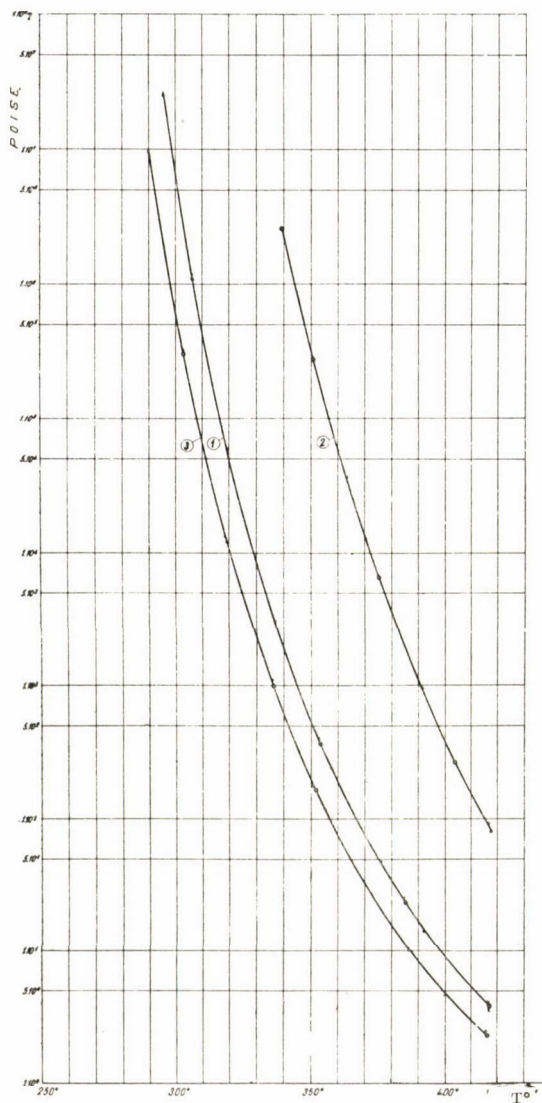
Sorszám	T	Mért érték η_m P	Marschalkó		Vogel		Waterman		Lederer		T
			szerint számított értékek								
			η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	η_{sz} P	különbség %	
1.	339,46	2 596 707	2 596 707	0,00	2 596 707	0,00	2 596 707	0,00	2 596 707	0,00	339,46
2.	350,81	277 688,0	277 688,0	0,00	276 710	—0,35	282 196,7	+1,62	292 540	+ 5,35	350,81
3.	363,31	36 812,97	34 710,0	—5,72	34 629	—5,93	35 034,4	—4,8	35 987	— 2,24	363,31
4.	370,18	12 750,5	12 750,5	0,00	12 706,90	—0,34	12 750,5	0,00	12 911,3	— 1,26	370,18
5.	375,10	6 525,022	6 525,022	0,00	6 525,022	0,00	6 516,82	—1,26	6 525,022	0,00	375,10
6.	391,49	949,465	920,00	—3,10	921,07	—2,99	913,668	—3,79	896,48	— 5,68	391,49
7.	403,69	266,480	266,480	0,00	266,48	0,00	266,480	0,00	266,48	0,00	403,69
8.	416,05	91,295	88,536	—3,02	88,16	—3,43	90,2184	—1,18	95,943	+ 5,09	416,05
9.	417,15	79,260	80,794	+2,06	80,4278	+1,47	78,0017	—1,59	88,4376	+11,58	417,15

3. sz. bitumen viszkozitási értékei

V. táblázat

Sorszám	T	Mért érték η_m P	Marschalkó		Vogel		Waterman		Lederer		Drucker—Guzmán		T
			szerint számított értékek										
			η_{sz} P	különb- ség %	η_{sz} P	különb- ség %	η_{sz} P	különb- ség %	η_{sz} P	különb- ség %	η_{sz} P	különb- ség %	
1.	289,90	9 692 347	9 814 000	+1,25	12 430 000	+28,24	7 975 450	-17,71	5 555 800	-42,68	2 149 580	-77,82	289,90
2.	302,68	343 1271	322 000	-6,16	322 846	-5,90	321 930	-6,18	320 000	-6,58	317 155	-7,57	302,68
3.	302,85	309 518,8	309 518,8	0,00	309 518,8	0,00	309 518,8	0,00	309 518,8	0,00	309 518,8	0,00	302,85
4.	318,54	13 173,0	13 327,0	+1,17	12 499,6	-5,11	13 879	+5,36	16 333	+23,99	36 528,0	+177,29	318,54
5.	319,04	12 124,65	12 229,0	+0,86	11 468,9	-5,41	12 753	+5,18	15 005,3	+23,76	34 241,4	+182,41	319,04
6.	335,30	1 091,224	1 081,6	-0,88	1 038,44	-4,84	1 110,9	+1,80	1 250,74	+14,62	4 647,45	+325,89	335,30
7.	335,92	998,6858	998,6858	0,00	959,97	-3,88	1 017,6	+1,89	1 149,0	+15,05	4 323,20	+332,89	335,92
8.	350,92	179,1066	179,3400	+0,13	179,058	-0,03	180,18	+0,60	180,734	+0,91	812,29	+353,52	350,92
9.	351,76	164,7391	164,7391	0,00	164,7391	0,00	165,39	+0,40	164,7391	+0,00	742,817	+350,90	351,76
10.	355,05	119,2800	119,2800	0,00	120,238	+0,80	119,28	0,00	115,831	-2,89	525,49	+340,55	355,05
11.	385,73	10,9835	11,0130	+0,27	11,4934	+4,64	10,879	-0,95	9,0814	-17,32	27,6871	+152,08	385,73
12.	386,66	10,0741	10,3950	+3,18	10,8468	+7,67	10,273	+1,97	8,5678	-14,95	25,5093	+153,22	386,66
13.	415,56	2,4346	2,3370	-4,01	2,3513	-3,42	2,3464	-3,62	2,2533	-7,24	2,4009	+1,38	415,56
14.	416,24	2,2801	2,2801	0,00	2,2801	0,00	2,2801	0,00	2,2801	0,00	2,2801	0,00	416,24

Marschalkó-féle összefüggés mindkét felvetett szempontnak megfelel, mert amellett, hogy a mérésekkel kapott értékekhez legjobban simul — még az extrapolálásnál is — a vele való további számítás is kedvezően végezhető el.



4. ábra

A Marschalkó-féle görbékét és a mért értékeket a 4. ábrán tüntettük fel. Meg kívánjuk jegyezni, hogy az összefüggés igen érzékeny, s ez is megkívánja, hogy a számítás alappontjaiul szolgáló viszkozitási értékek szélső pontossággal kerüljenek meghatározásra.

Jelen tanulmányunk célja volt, hogy eldöntsük, melyik viszkozitáshőfok összefüggés értékei simulnak legjobban a mért értékek alapján megállapított görbéhez. A legjobban simuló görbénél legnagyobb a valószínűsége annak, hogy állandói a legközelebb állnak a valódi fizikai állandókhoz s így azok belőlük előbb — utóbb levezethetők lesznek.

IRODALOM

- [1.] B. MARSCHALKÓ—J. BARNA : Acta Technica Hung XIX (1957) 85
- [2.] J. BARNA : Acta Technica Hung. VIII. (1954) 361.
- [3.] F. SCHULTZ—GRUNOV—H. WEYMANN : Kolloid-Zeitschrift 131. 2. (1953).
- [4.] H. I. WATERMAN : Erdöl und Kohle, 9. Jahrg. Nr. 3. 1956. S. 166—171.
- [5.] H. VOGEL : Phys. Ztschr. S. 645—646 (1921.) Ztschr. F. Ang. Chemie (1922).
- [6.] E. L. LEDERER : Kolloid-Beihefte. Bd. XXXIV. H. 5—9, S. 270—338 (1930).
- [7.] I. DE GUZMÁN : Ann. Soc. espan. Fisica Quim. 11. 353 (1913).
- [8.] UMSTÄTTER, H.: Strukturmechanik. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig, 1948. S. 83.