SZILIKÁTTUDOMÁNY

Aszfaltkeverékek reológiai tulajdonságainak vizsgálata

Gömze A. László – Kovács Ákos

Miskolci Egyetem, Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszék

Bevezetés

A bonyolult, nemlineáris, képlékeny-viszkoelasztikus szilikátipari nyersanyagok és félkész termékek reológiai tulajdonságainak vizsgálata, kutatása a Miskolci Egyetemen mintegy 20-25 évre nyúlik vissza; részben együttműködve az akkor méltán nemzetközi hírű Moszkvai Építőmérnöki Egyetem munkatársaival [1, 2, 3 és 4], részben saját adottságainkra és lehetőségeinkre támaszkodva [5, 6, 7 és 8]. A bonyolult képlékeny-viszkoelasztikus anyagok reológiai kutatásának újabb lendületet adott a Miskolci Egyetemen a Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszék jogelődjének, a Nemfémek Anyagok Technológiája Tanszéknek 1999. július 1-jén történt megalapítása az akkori Anyag- és Kohómérnöki Kar által. Ezt a megnövekedett kutatási aktivitást jól tükrözi nemcsak a számos hazai és nemzetközi publikáció [9, 10, 11, 12 és 13], de az 1. ábrán bemutatott, szabadalmi mintaoaltalommal védett, kombinált reotribométer [14] is. Az alábbi ábrán bemutatott készülék a Miskolci Egyetemen megteremtette a feltételeket nemcsak a kerámia- és szilikátipari

nyersanyagok, valamint az építőanyag-ipari alapanyagok és félkész termékek reológiai tulajdonságainak korszerű kutatásához; de alkalmas az olyan összetett és bonyolult anyagszerkezetek komplex reológiai és tribológiai vizsgálatára is, mint az aszfalt és az aszfaltbeton.

1. Előzmények

A korszerű útburkolatok egyik legelterjedtebb építőanyaga, az aszfalt olyan mesterséges anyag, amelyet bitumen, köliszt, homok és zúzalék sajátos módon készített keverékéből tömörítés útján állítanak elő. Skovrankó [15] szerint az aszfalt kötőanyag és szemcsés ásványi anyagok keveréke, mely jellege szerint lehet tömör zárt, tömör nyitott és utántömörödő.

Az aszfalt szerkezeti, morfológiai és mechanikai tulajdonságai mai értelemben is korszerű vizsgálati módszereinek kidolgozása, rendszerezése Gezencvej nevéhez fűződik. Ő játszott úttörő szerepet az aszfalt és

1. ábra. A kombinált reotribométer vázlata

1. mérőasztal; 2. csigahajtómű; 3. villamos motor; 4. kábeldob; 5. kötélpálya; 6. mérőkocsi (rajta a nyírólap);
7. induktív elmozdulásmérő; 8. erőmérő (spider); 9. fűthető mintatartó; 10. pneumatikus munkahenger;
11. mágnesszelep; 12. nyomásmérő óra; 13. kompresszor; 14. termosztát; 15. vezérlőegység;
16. mérésadatgyűjtő (Spider 8); 17. számítógép (adatgyűjtés és feldolgozás)

2. ábra. A Burgers-féle anyagok reológiai modellje

az aszfaltbetonok reológiai tulajdonságainak kutatásában, modellezésében is. Iskolát teremtő könyvében [16] bár az aszfaltot és az aszfaltbetont „rugalmas-viszkózus-képlékeny” anyagnak jellemezte, reológiai tulajdonságait ugyanakkor *Maxwell-féle* „rugalmas-viszkózus” testként modellezte. Gezencvej követői napjainkban az aszfaltok és aszfaltbetonok mechanikai tulajdonságaira a 2. ábrán bemutatott négyparaméteres *Burgers-féle* modellel próbálják megmagyarázni.

A Burgers-modellről könnyen belátható, hogy minden olyan esetben, amikor külső erő hatására az aszfaltban kialakuló mechanikai feszültség értéke

$$\sigma > 0, \quad (1)$$

akkor a rendszer teljes deformációjának válaszfüggvénye

$$\varepsilon_0(t) = \varepsilon_r(t) + \varepsilon_m(t) + \varepsilon_k(t); \quad (2)$$

ahol:

$\varepsilon_r(t) = \sigma/E_1$ - a Hooke-test deformációjának válaszfüggvénye,

$\varepsilon_m(t) = \sigma/\eta_1$ - a Newton-test deformációjának válaszfüggvénye

$\varepsilon_k(t) = \sigma/E_2(1 - \exp(-\eta_2 t/E_2))$ - a Voigt-Kelvin elem deformációjának válaszfüggvénye.

A fenti Burgers-féle modell szerint az aszfalt minden olyan esetben, amikor σ nem egyenlő 0, vissza nem fordítható

$$\varepsilon_m(t) = \sigma/\eta_1 \quad (3)$$

maradandó deformációt szenved; és ez a deformáció az idő múlásával folytonosan növekszik.

2. Aszfaltkeverékek nyíróvizsgálata

A különböző ásványianyag-összetételű és bitumentartalmú aszfaltkeverékek nyíróvizsgálatait az 1. ábrán bemutatott

3. ábra. A Marshall-mintákon mért tipikus nyírófeszültség-elmozdulás diagramok

készüléken végeztük; amelyen a fűthető mintatartóba (9) behelyezett szabványos *Marshall-minta* nyírásához szükséges mechanikai feszültség, mint a próbatestre ható nyomófeszültség (p), hőmérséklet (T), nyírási sebesség (v) és az aszfaltkeverék összetételének (Q) függvényében vizsgálható az alábbi függvénykapcsolat szerint:

$$\tau = f(p, Q, T, v); [\text{MPa}]. \quad (4)$$

A mért adatokat a kialakított mérőrendszer számítógépen rögzíti és tárolja. Ilyen tipikus mért nyírófeszültség-elmozdulás diagramokat mutat be a 3. ábra.

Az ábrán bemutatott diagramok jól szemléltetik az aszfaltkeverékek – aszfaltbetonok – reológiai tulajdonságainak bonyolultságát. Ugyanis a τ nyírófeszültség, valamint az 1. ábrán bemutatott készülék nyírólapja (6) és fűthető mintatartója (9) alsó pereme közötti H magasság és a v nyírósebesség ismeretében az aszfaltkeverék effektív viszkozitása az

$$\eta_e = \tau(H/v); [\text{MPas}] \quad (5)$$

összefüggés alapján határozható meg; melyet a rendszerhez csatlakoztatott számítógép (17) egy egyszerű program segítségével szintén elvégez helyettünk és tárol.

3. Aszfaltkeverékek reológiai vizsgálata

Az aszfaltkeverékek, aszfaltbetonok reológiai vizsgálataihoz a Gömze által az azbesztcement masszákra már korábban kidolgozott [8, 17, 18] módszert alkalmaztuk. Ehhez az 1. ábrán bemutatott kombinált reotribométert a kötődob (4) és a kötélpálya (5) közötti kapcsolat oldásával (4. ábra) alkalmassá tettük *kúszási (reológiai) vizsgálatok* elvégzésére.

A készüléket átalakítva a 4. ábrán bemutatott elvi vázlat szerint, lehetővé vált felvenni a különböző összetételű aszfaltkeverékek és aszfaltbetonok deformáció-idő görbéit (5. ábra) változó F_1 nyíróerők, F_2 nyomóerők és T termosztát hőmérsékletek mellett. Ilyen tipikus deformáció-idő görbét mutat be az ábra.

4. ábra. Az „átalakított” készüléken végzett kúszási (reológiai) vizsgálatok elvi vázlata

5. ábra. Aszfaltkeverék tipikus deformáció-idő függvénye

Az 5. ábrán bemutatott görbék segítségével meghatározhatóvá váltak a különböző ásványi, kémiai összetételű és szemcseszerkezetű aszfaltkeverékek és aszfaltbetonok reológiai paraméterei; így a pillanatnyi rugalmassági modulus (E_1), a késleltetett rugalmassági modulus (E_2), a „roncsolt” anyagszerkezet viszkozitása (η_1) és a „roncsolásmentes” anyagszerkezet viszkozitása (η_2), valamint statikus folyáshatára (τ) az alábbi tényezők függvényében:

$$E_1 = f(\tau, p, Q, T); [\text{MPa}] \quad (6)$$

$$E_2 = f(\tau, p, Q, T); [\text{MPa}] \quad (7)$$

$$\eta_1 = f(\tau, p, Q, T); [\text{MPa s}] \quad (8)$$

$$\eta_2 = f(\tau, p, Q, T); [\text{MPa s}] \quad (9)$$

$$\tau_0 = f(\tau, p, Q, T); [\text{MPa}] \quad (10)$$

6. ábra. Bitumen kötőanyaggal készített aszfaltkeverékek és aszfaltbetonok reológiai modellje

1. táblázat

Különböző aszfaltkeverékeken különböző terhelőerők mellett mért reológiai paraméterek számszerű értékei

	100 N	150 N	200 N	250 N	300 N	350 N	400 N
τ [MPa]	0,0122238	0,018357	0,024476	0,030595	0,036714	0,042833	0,048952
E_1 [MPa]	6,3636	3,818	3,182	4,545	4,773	5,568	5,415
E_2 [MPa]	4,2425	3,818	8,483	5,303	4,772	4,949	2,828
η_1 [MPa s]	6,874	28,128	48,3	81,91	139,58	114,676	210,54
$\dot{\gamma}_{pl}$ [1/s]·10 ⁻⁴	2,671	2,829	2,914	2,465	1,885	2,829	1,831
η_2 [MPa s]	0,572	2,4818	0,1186	12,6	5,473	6,745	11,6
$\dot{\gamma}_r$ [1/s]	0,0032051	0,0032051	0,0032051	0,0016025	0,0048077	0,0048077	0,0033218
t_r [s]	0,135	0,649	0,0139	2,376	1,146	1,362	4,101
t_k [s]	1,0802	7,367	15,17	18,022	29,24	20,595	38,88
η_c [MPa s]	0,031876	0,0201311	0,018608	0,043722	0,030067	0,0383164	0,076223

A vizsgálatok eredményeként az aszfaltkeverékekre különböző hőmérsékleteknél és terhelőerőknél sikerült meghatározni a fentebb részletezett legfontosabb reológiai paramétereket. Egy ilyen 100 °C-os aszfaltkeverék Marshall-mintán mért reológiai paraméterértékeket ismert az 1. táblázat változó mechanikai terhelőerők mellett.

A kombinált reotribométeren elvégzett vizsgálati eredmények felhasználásával sikerült előállítani az aszfaltbetonokra a 6. ábrán bemutatott reológiai modellt is.

Ennek a bonyolult – roncsolt és roncsolásmentes anyag-szerkezetet egyaránt tartalmazó szerkezeti anyagnak – a reológiai egyenlete az alábbiak szerint írható le:

$$\tau(t) = \tau_0 + \eta_1 \dot{\epsilon} + \eta_1 t_r \ddot{\epsilon} - \tau \left[t_{fr} - t_r \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right] - t_r t_{fr} \ddot{\epsilon}; \text{ [MPa]} \quad (11)$$

ahol:

$\dot{\epsilon}$ – az anyagrendszer fajlagos deformációjának idő szerinti első deriváltja;

$\ddot{\epsilon}$ – az anyagrendszer fajlagos deformációjának idő szerinti második deriváltja;

τ_0 – az anyagrendszer statikus folyáshatára; [MPa]

t_r – az anyagrendszer rugalmas deformációjának „késési” ideje; [s]

t_{fr} – az anyagrendszer feszültség-relaxációjának ideje; [s].

Az (5) kifejezésben megadott „effektív-viszkozitás” a (11) összefüggésből az alábbiak szerint határozható meg:

$$\eta_e = \frac{\tau_0 + \eta_1 \epsilon + \eta_1 t_r \dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon} + t_{fr} + t_r \ddot{\epsilon} + \dot{\epsilon} \left[t_{fr} - t_r \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right]}; \text{ [MPas]} \quad (12)$$

4. Eredmények összegzése

A Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszékén végzett kutatómunka eredményeként a 6. ábrán megadott új reológiai modellel a szerzőknek elsőként sikerült választ adniuk arra a kérdésre, hogy normál klimatikus viszonyok között miért csak relatíve nagy tengelynyomások mellett alakul ki a nyomvályú az aszfalt-, illetve aszfaltbeton burkolatú utakon.

A vizsgálatok eredményeként kapott (11) összefüggéssel elsőként sikerült olyan mechanikai anyagegyenletet felállítani, amely adekvát választ ad az aszfalt- és aszfaltbeton utak és útburkolatok mechanikai terhelés alatti viselkedésére.

Az aszfaltkeverékből és aszfaltbetonból készített utak és útburkolatok mechanikai, reológiai tulajdonságai,

valamint terhelhetősége az ásványi és kémiai összetétel mellett jelentős mértékben függ az igénybevétel jellegétől és a környezeti hőmérséklettől is.

Irodalom

- [1] Gömze A. L. – Turenko A. V. – Nazarov V.: A képlékeny agyag aprításának matematikai elemzése. Építőanyag, XXVI. évf. 9. szám (1974).
- [2] Gömze A. L. – Csirszkoj A. Sz. – Szilenok Sz. G. – Turenko A. V.: Agyakok reológiája és áramlási viszonyai sima hengerekkel végzett aprításkor. Építőanyag, XXXIII. évf. 12. szám (1981).
- [3] Gömze A. L. – Eller E. A.: Extrudálható azbesztcement masszák reológiai vizsgálata. Építőanyag, XXXV. évf. 1. szám (1983).
- [4] Gömze A. L. – Eller E. A.: Univerzális rotoviszkó szilikátipari anyagok reológiai vizsgálatához. SZILIKÁTECHNIKA (1983).
- [5] Gömze A. László: Az üveghengerlésnek néhány elméleti kérdése a feldolgozandó üvegolvadék fiziko-mechanikai tulajdonságainak figyelembevételével. Kézirat. Miskolc, NME (1980).
- [6] Gömze A. László: Az aprítandó agyagásványok fiziko-mechanikai tulajdonságai mint a simahengerművek dinamikus igénybevételét döntően befolyásoló tényezők. BME-kiadvány, Budapest (1980).
- [7] Gömze A. László: Agyagásványok aprítására használt sima hengerek méretezésének néhány specifikus problémája. Építőanyag, XXXII. évf. 11. szám (1980).
- [8] Gömze A. László: Csigasajtóval előállított azbesztcement termékek préselés utáni feszültségállapotának matematikai elemzése. Építőanyag, XXXV. évf. 5. szám (1983).
- [9] Nagy Anikó: Rheologisches Verhalten von Microsilica. Diplomaterv, tervezésvezető: Dr. Gömze A. László, Miskolc (2000).
- [10] I. Papp – A. L. Gömze – K. Olasz Kovács – A. Nagy: Änderung der Rheologischen Eigenschaften des Kaolins Al. Keramische Zeitschrift, v. 52. No. 9. (2000).
- [11] Kocserha István – Gömze A. László: Képlékeny finomkerámia-ipari masszák súrlódási vizsgálata. SZTE XX. Finomkerámiai Nap; kiadvány (2002).
- [12] Kocserha István: Téglagyagok összehasonlító vizsgálata – külső súrlódási tényező meghatározása. MicroCAD, 2003.
- [13] Gömze A. László: Az aprítási elmélet néhány aktuális kérdése – képlékeny viszkoelasztikus anyagok aprítása görgőjáraton. Építőanyag, LV. évf. 3. szám (2003).
- [14] Gömze A. L. – Kocserha I. – Cél Gy.: U0200079 számú mintaoltalmú találmány. Magyar Szabadalmi Hivatal, Budapest (2002).
- [15] Skovrankó Ernő: Aszfalttechnológiai alapismeretek. Kézirat. Bau-Teszt Kft., Miskolc (2002.11.11.)
- [16] Gezenvej L. B.: Aszfaltbeton útburkolatok. KPM-kiadvány, Budapest (1964).
- [17] Eller E. A. – Gömze A. László: Patent No. 1038879 CCCP, Ustrojstvo dlya otsenki formovocnih svojstv plastichnih materialov. Moscow (1983).
- [18] Gömze Antal László: Vibor osnovnih parametrov shnekovich pressov dlya formovaniya stroitel'nykh izdelij iz asbestocementnykh mass; Avtoreferat; Moscow; UDK 666961033022 (1985).

Key words: rheology, viscosity, asphalt mixtures

Asphalt mixtures are the onet of the most popular building materials in Hungary, because of the highway programme of the government. In spite of this large popularity, some of the mechanical properties of asphalts are not disclosed enough till today. Particularly there is no mechanical model usable to understand and explain the rheological behaviours of asphalt mixtures with different composition of bitumen and mineral raw materials. The present used in industry **rheological model of Burgers** is not reliable enough to understand mechanical properties of asphalt mixtures, because of the included **Maxwell element**. This means, under any kind of mechanical forces the asphalt surfaces of roads must be continuously deformed, is spite of these forces are as small as possible. The **rheological model of Burgers** suggests, the lifetime cycle of asphalt roads and highway must be very-very short, which is inconsistent with the real lifetime cycle of asphalt roads.

On the basis of **Rheo-tribometre** instrument developed and patented by Gömze A. L. and others, the authors have investigated and tested **standard Marshall specimens** of asphalt mixtures with different composition of bitumens and mineral raw materials. In their experiments the authors used different temperatures, loading pressures, shear ratios and deformation speeds. As a result of these laboratory tests the authors could find out a new rheological model and mathematical terms to describe the real rheological properties of asphalt mixtures.

The **new rheological model** developed by authors and its mathematical equation for asphalt mixtures are shown in the article below.

Rheological modell of the graded mix with bitumen and asphalt concrete

Finally the authors could give not only the rheo-mechanical model, but the mathematical equation of effective viscosity of so difficult material structures as asphalt mixtures and asphalt concretes as follow:

$$\eta_e = \frac{\tau_0 + \eta_1 \varepsilon + \eta_1 t_r \dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon} + t_{fr} + t_r \ddot{\varepsilon} + \dot{\varepsilon} \left[t_{fr} - t_r \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right]} ; [\text{MPas}]$$