



Polimerekkel módosított bitumenek reológiai összehasonlítása ismételt kúszás-relaxáció vizsgálattal

Bíró Szabolcs¹, Carl Thodesen², Perlaki Róbert³

¹ Bitumen Engineering

² OsloMet, Faculty of Technology, Art, and Design

³ Magyar Közút Nonprofit Zrt

E-mail: szabolcs.biro@bitumenengineering.com;

Carl.Christian.Thodesen@oslomet.no; perlaki.robert@kozut.hu

KIVONAT

Az utóbbi években asztirol-butadién-sztirol blokk kopolimerek (SBS) világgpiaci árának növekedése miatt szignifikánsan megnőtt az igény az alternatív megoldások kidolgozására, amivel az SBS részlegesen, vagy akár teljesen helyettesíthető lenne a módosított bitumen kompozitokból. Több lehetséges bitumen módosítószer/polimer szóba jött; úgy mint etilén terpolimer (Elvaloy), etilén-vinil-acetát (EVA), gumiőrlemény, hibrid kompozit (SBS és gumiőrlemény együttes alkalmazása), illetve polifoszforsav (PPA) és SBS.

A reológiai alapú ismételt kúszás-relaxáció vizsgálatot azért fejlesztették ki, illetve szabványosították (ASTM D7405), hogy a polimerekkel módosított bitumenek közötti különbségeket jobban ki lehessen mutatni, ezért a kísérletorozatban ezzel végeztük a különböző módosított bitumenek összehasonlítását. Megállapítottuk, hogy a használt gumiőrleményt nagy koncentrációban tartalmazó gumibitumen, illetve az SBS és gumiőrlemény módosítószereket tartalmazó hibrid minták mutattak leginkább hasonló műszaki teljesítményt az SBS-sel módosított bitumenekhez képest.

Jelen kutatásban a vizsgálati paraméterek kiválasztásánál nem a magyarországi viszonyokat vettük figyelembe. Az eredményeket a gumibitumenek legújabb (hivatalosan még nem publikált) ASTM, illetve teljesítmény fokozat alapú (Performance Grade – PG) szabványok kidolgozásánál is felhasználták.

Kulcsszavak: AR, bitumen, CRM, Elvaloy, EVA, gumibitumen, ismételt kúszás-relaxáció vizsgálat, módosított bitumen, MSCR, PMB, PPA, reológia, SBS

ABSTRACT

Due to increasing concerns regarding the availability of SBS polymer, a number of alternative options have been proposed to provide polymer modifiers for the asphalt binder industry. This paper focuses on the evaluation of six specific polymer modified binders: SBS modified binder (PMB), reacted ethylene terpolymer (Elvaloy), ethyl-vinyl-acetate (EVA), asphalt rubber (AR), hybrid binder (SBS and crumb rubber), and polyphosphoric acid (PPA) and SBS. The goal of this project was to evaluate the various modified binders with respect to binder properties as determined by the Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) rheological test. The MSCR test was developed as a method to determine the performance of polymer modified binders, as opposed to simply detecting the presence of a modifier. The results indicated that wet process style asphalt rubber and SBS tended to yield the best results; however, hybrid SBS-crumb rubber binder also exhibited good MSCR performance. The process parameters and material compositions in this research were not tailored to Hungarian conditions. The results were used for the latest ASTM and Performance graded (PG) asphalt rubber material standard developments.

Dr. Bíró Szabolcs

Okleveles vegyészmérnök, Ph.D., kutató-fejlesztő szakmérnök. Jelenleg a Bitumen Engineering, korábban a STRATCO, Inc. (USA) és az Asphalt Rubber Technology Service (USA) mérnöke volt. A Magyar Tudományos Akadémia Varga József díjasa. A MOL gumibitumen egyik feltalálója.

Carl Thodesen

Okleveles építőmérnök, PhD. Jelenleg a SINTEF (Norvégia) útügyi kutatócsoportjának menedzsere, korábban a STRATCO, Inc (USA) mérnöke volt.

Perlaki Róbert

Okleveles vegyészmérnök, útéptérsi szakmérnök. A Magyar Mérnöki Kamara tagja, jelenleg a Magyar Közút Nonprofit Zrt. Veszprémi Minőségvizsgáló Laboratóriumának vezetője. Feladata többek között a hazai bitumenek konvencionális reológiai jellemzőinek vizsgálata.

1. BEVEZETÉS

Az emberiség létszámának folyamatos növekedése maga után vonja a forgalmi terhelés növekedését is, amelynek következtében a különböző polimerekkel módosított bitumenek térnyerése szintén egyre növekvő. Ebben nem csak kiváló műszaki tulajdonságaik, hanem kedvező életciklus-költségeik is jelentős szerepet játszanak. A módosítószer alkalmazásával az útéptérsi bitumenek elasztikus (rugalmas) és/vagy plasztikus tulajdonságait változtatják meg, ezek szerint beszélhetünk elasztomer, plasztomer módosítószeréről, vagy adott esetben ezek kombinációjáról.

Világszerte a legelterjedtebben alkalmazott bitumen módosítószer az elasztomer sztírol-butadién-sztírol blokk kopolimer (SBS), amelynek műszaki és gazdasági előnyeiről jelentős számú szakirodalom áll rendelkezésre. Egyes becslések szerint az elasztomerek alkalmazási aránya 75%, míg a plasztomereké 15% körüli (ennek is jelentős részét a szigetelőlemez ipar használja), a maradék 10% egyéb módosítószer összeségét jelenti (pl. polifoszforsav, kéntartalmú adalékok stb).

2008 óta nehézségek tapasztalhatóak az SBS (lineáris, radiális és diblokk) beszerzésében, a felhasználók hirtelen árnövekedést tapasztaltak. Ennek oka, hogy a világ butadién ellátottsága csökkent, mivel a butadién az etilén pirolízissel történő gyártásának egyik másodlagos terméke és 2008-ban gazdasági okokból a pirolízis üzemek folyamatosan könnyebb szénhidrogén alapanyagokra tértek át. Ez kb. 25-30% butadién hozamcsökkenést eredményezett az előző évekhez képest. Ráadásul a világ butadién felhasználásának kb. 70%-át a gumibroncs ipar teszi ki. SBS polimer gyártásra a butadiénnek kb. 6%-át használják. Mindezek alapján nagy valószínűséggel a jövőben is magas SBS polimer árral kell számolni, ezért az amerikai módosított bitumeneket gyártók szervezetének (Association of Modified Asphalt Producers – AMAP) szakértői csoportja javaslatot tett olyan egyéb módosító szerekre, amelyek az SBS-t részben vagy teljesen kiválthatják a jövőben. Javaslatuk a következő volt:

- etilén terpolimer (Elvaloy),
- etilén-vinil-acetát (EVA),
- gumiőrlemény,
- hibrid kompozitok (SBS és gumiőrlemény együttes alkalmazása)
- polifoszforsav és SBS.

Felmerült ugyanakkor a kérdés, hogy milyen módszerekkel lenne érdemes megvizsgálni és összehasonlítani a különböző módosított bitumeneket: a klasszikus bitumen vizsgálati módszerek erre nem alkalmasak, a Strategic Highway Research Program (SHRP) kutatási program által is alkalmazott teljesítményelvű, reológiai módszerek viszont megfelelő háttérrel biztosítanak a vizsgálatokhoz. A reológiai alapú ismételt kúszás-relaxáció vizsgálatot azért fejlesztették ki, illetve szabványosították (ASTM D7405), hogy a polimerekkel módosított bitumenek közötti különbségeket jobban ki lehessen mutatni.

Az anyagtudományban a kúszás szilárd vagy félszilárd anyagok feszültség hatására kialakuló lassú, folyamatos deformációját jelenti. Ez a kialakuló deformáció az alkalmazott feszültség nagyságától, a külső körülményektől és az anyag reológiai tulajdonságaitól függően a terhelés megszüntetésekor

bizonyos mértékben vagy teljesen visszaalakul (relaxáció). A visszaalakulás mértéke (aránya) az adott körülmények mellett jellemző az anyag viselkedésére. A kúszás-relaxáció vizsgálat az egyik legelterjedtebben alkalmazott módszer a lineáris viszkoelasztikus anyagok viselkedésének tanulmányozásában.

Jelen kísérletsorozat célja az volt, hogy az AMAP által javasolt módosítószer alkalmazásával előállított bitumenes kötőanyagokat az ismételt kúszás-relaxáció vizsgálat alkalmazásával összehasonlítsuk. Tehát nem az volt a cél, hogy bebizonyítsuk az elasztomer módosítószer bitumenben kifejtett hatása rugalmasabb végterméket eredményez a plasztomerekhez képest.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ELŐÁLLÍTÁSI MÓDSZEREK

Nagy mennyiségben rendelkezésre álló, kereskedelmi forgalomban beszerezhető alapanyagokat használtunk a kísérletsorozatban.

2.1. BITUMEN

A bitumen hagyományos, 50/70-es penetráció fokozatú utépítési bitumen volt (1. Táblázat).

1. táblázat: Az alapbitumen tulajdonságai

Tulajdonságok	B50/70
Lágyuláspont, °C	48
Penetráció 25 °C-on, 0,1 mm	51
Rugalmas visszaalakulás 25 °C-on, %	10
Viszkozitás 135 °C-on, mPa.s	570
Viszkozitás 180 °C-on, mPa.s	90
Termikus stabilitás (RTFOT) – tömegváltozás, % – penetrációcsökkenés, %	+0,028 68
Nyomás alatti öregítés (PAV) utáni merevség, MPa	96
Nyomás alatti öregítés (PAV), m-érték	0,44
G*/sin d, kPa	0,45
Öregítés után (RTFOT), G*/sin d, kPa	0,78
Öregítés után (PAV), G*×sin d, kPa	1353

2.2. LINEÁRIS SZTIROL-BUTADIÉN-SZTIROL BLOKK KOPOLIMER (SBS)

A lineáris SBS a leggyakrabban alkalmazott polimer az utépítési bitumenek módosítószerrei közül. Megfelelő alapanyagok (polimer és bitumen kémia) és gyártástechnológia alkalmazásával, kiválasztásával, háromdimenziós polimer szerkezet hozható létre, amelyben a bitumen alkotja a diszpergált, a polimer a folytonos fázist. Ebben az esetben a módosított bitumen rugalmas tulajdonságai is jelentősen javulnak.

Jelen kísérletsorozatban Calprene 501C márkanevű, pellet kiszerezésű lineáris SBS-t alkalmaztunk, amely 31% sztirolt tartalmazott, és az olvadáspontja 118°C volt.

2.2.1. SBS-SEL MÓDOSÍTOTT BITUMEN ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

Az SBS-sel módosított bitumen előállítása során 8 m/m% polimer koncentrációjú elegyet állítottunk elő 180°C-on, 120 percen keresztül történő intenzív mechanikai nyírás alkalmazásával. Ezt követően az így előállt „mesterkeveréket” B50/70 alapbitumennel hígítottuk 3% végső SBS koncentrációra.

2.3. ELVALOY

A reaktív etilén terpolimer, Elvaloy márkanéven (pontosabban Elvaloy 4170 és Elvaloy AM) kerül forgalomba. A gyártó szerint kémiai kötéseket alakít ki a bitumenben lévő aszfalténekkal. Ennek következtében megfelelő csoport-összetételű bitumen alkalmazásával egyes szakirodalmi források kiemelkedően jó tárolási stabilitásról számoltak be. Jellemzően az Elvaloy-adalék javítja a melegoldali viselkedést, ám a hidegoldali viselkedésnél a vélemények megoszlanak. Bizonyos források az etilén lánc domináns hatását (plasztomer jelleg) adják meg ennek okaként.

2.3.1. ELVALOYJAL MÓDOSÍTOTT BITUMEN ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

Az etilén terpolimerrel módosított bitumen 1 m/m% Elvaloy 4170-et tartalmazott, és a kompozit előállítása 193°C-on történt, nagy nyírású keverőben, 150 percig tartó keveréssel.

2.4. ETILÉN-VINIL-ACETÁT (EVA)

Az EVA plasztomer jellegéből adódóan maradéktalanul nem helyettesítheti az SBS-t (rugalmas tulajdonságokban és hidegoldali viselkedésben), de versenyképes ára miatt érdemes feltérképezni az alkalmazási lehetőségeket. Az EVA további előnye, hogy viszonylag egyszerűen képez homogén elegyet a megfelelő csoport-összetételű bitumennel, és az így előállított kötőanyag sokáig tárolható.

2.4.1. EVA-VAL MÓDOSÍTOTT BITUMEN ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

Az EVATENE 3325 márkanévű EVA polimer 6 m/m%-ban került bekeverésre 180°C-on, nagy nyírású keverő alkalmazásával.

2.5. GUMIÖRLEMÉNY

A használt gumiabroncsokból származó örlemények bitumenekben, illetve aszfaltokban történő felhasználása kezdetben környezetvédelmi megfontolásból kezdődött, tényeresük mára azonban bizonyítottan kiváló műszaki tulajdonságaik miatt számottevő. A második legnagyobb mennyiségben alkalmazott bitumen módosítószerre nőtte ki magát világszerte.

A gumiörlemény alkalmazásával csökkenthető mind az alacsony, a közepes és az emelt hőmérsékletű meghibásodások valószínűsége. A megfelelő módon gyártott kötőanyaggal vastagabb borítottságot lehet elérni az ásványi vázon, és az épített aszfaltrétegek vastagsága kb. 50%-kal csökkenthető.

Jelen kísérletben a gumiörlemény meleg őrléssel előállított, kereskedelmi forgalomban kapható alapanyag volt, melynek szemcseméret-eloszlása megfelelt az Arizonai Útügyi Igazgatóság (Arizona Department of Transportation – ADOT) gumibitumenekre vonatkozó előírásainak (2. Táblázat).

2. táblázat: A gumiörlemény szemcseméret-eloszlása.

Szita névleges mérete	No. 10	No. 16	No. 30	No. 50	No. 200
Résméret, mm	2,000	1,190	0,600	0,300	0,075
Felső kritérium (% átesett)	100	100	100	45	5
Alsó kritérium (% átesett)	100	65	20	0	0

2.5.1. A GUMIBITUMEN ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

A gumibitument nedves eljárással, az ún. „Arizóna-módszer” alapján állítottuk elő. Ennek során a megfelelő szemcseméret-eloszlású gumiörlemény (2. táblázat) egy adagban a bitumenhez adagoltuk és 177°C-on, közepes intenzitással kevertük addig, amíg a viszkozításra vonatkozó kritériumok teljesültek.

2.5.2. HIBRID BITUMENEK ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

A hibrid rendszerek alkalmazása olyan esetben jellemző, amikor adott műszaki tulajdonságokat egy módosítószerrel nem, vagy kevésbé hatásosan lehet elérni. Az Egyesült Államokban például a gumiőrlemény-SBS (csökkentett koncentrációban) elegyek alkalmazása meglehetősen elterjedt.

A hibrid bitumen előállítása során 1 m/m% lineáris SBS-t (Calprene 501C) 180°C-on, 120 percen keresztül, intenzív mechanikai nyírással diszpergáltunk a bitumenben, majd 10 m/m% gumiőrleményt adagoltunk hozzá és a hőmérséklet változtatása nélkül, további 60 percen keresztül kevertük.

2.6. POLIFOSZFORSAV (PPA)

A polifoszforsav adagolása egyre elterjedtebb napjainkban, és főleg a meleg oldali viselkedést javítja. Alkalmazásával csökkenthető az adagolt polimerek koncentrációja is. Egyes kutatások szerint főleg a bitumen aszfaltén csoportjára fejt ki jelentősebb hatást, ami alapján a rugalmas tulajdonságok javulhatnak. Megjegyzendő, hogy más szakirodalmi források éppen a rugalmas tulajdonságok romlásáról tájékoztatnak.

A PPA adagolás hatására a következők történnek a bitumenben:

- aromások alkilezése,
- térhálósodás,
- ionizáció, és
- alkil aromások átalakulása ciklikus vegyületekké.

A PPA jellemzően alkalmazott koncentrációja 0,5-1,5 m/m%, és jó kompatibilitást mutat a bitumenmódosításhoz alkalmazott polimerekkel.

2.6.1. PPA-VAL ÉS SBS-SEL MÓDOSÍTOTT BITUMEN ELŐÁLLÍTÁSI ELJÁRÁSA

A polifoszforsavat 0,2 m/m%-ban adagoltuk a bitumenhez, 2 m/m% lineáris SBS-rel (Calprene 501C) együtt. Az elegyet nagy nyírású laborkeverővel 180°C-on, 180 percig homogenizáltuk.

2.7. MÓDOSÍTOTT BITUMENEK JELÖLÉSE

A különböző módosított bitumenek jelölését és a módosítószer alkalmazott koncentrációját szakirodalmi adatok és ipari tapasztalatok alapján választottuk ki (3. táblázat).

3. táblázat: Módosított bitumenek.

Módosított bitumen jele	Módosítószer	Koncentráció, m/m%
SBS	Calprene 501C	3
GB	Gumiőrlemény	20
SBS-CRM	Calprene 501C + gumiőrlemény	1+10
EVA	EVATENE 3325	6
Elvaloy	Elvaloy 4170	1
SBS-PPA	Calprene 501C + polifoszforsav	2 + 0,2

3. VIZSGÁLATI MÓDSZER

Az ismételt kúszás-relaxáció vizsgálat (angolul MultipleStressCreep-Recovery vagy MSCR) kidolgozását és későbbi szabványosítását az hívta életre, hogy szakemberek szerint a meglévő tesztek nem minden esetben mutatják szignifikánsan a különbséget, ha egy polimer töltőanyagként vagy aktív módosítószerként van jelen a módosított bitumenben, illetve a meglévő mérés technikákkal kevésbé lehet különbséget tenni a különböző módosítószerrel adalékolt bitumenek között.

Az MSCR vizsgálat, vagy kúszás-relaxációs vizsgálat lineáris viszkoelasztikus anyagok vizsgálatára alkalmas; a bitumenek, módosított bitumenek ilyenek, de a módszerrel az elasztikus-viszkózus

átmenetet lehet vizsgálni. A plasztikus rendszerek vizsgálatára a folyásgörbék alkalmasak. Ettől függetlenül abból a „plasztikus” jellegből adódóan, hogy a plasztikus anyagok a küszöbfeszültség felett általában viszkózusan viselkednek és adalékként a bitumen viszkoelasztikus jellegét csak megváltoztatják, a vizsgálat alkalmas a különbség kimutatására, de csak az elasztikus módosítók összehasonlítása lenne igazából célszerű. A plasztomerek valójában növelik a küszöbfeszültséget vagy folyáshatárt, ami a deformáció legelső szakaszában, a folyás vagy deformáció megindulásában okoz csak változást.

A méréseket az ASTM D7405 szabvány szerint végeztük, aminek célja a százalékos visszaalakulás (a rugalmas visszaalakulással analóg), illetve a visszamaradó kúszási hajlam (J_{nr}) meghatározása, ami az anyagban, az ismételt kúszás-relaxáció vizsgálat után maradt deformáció, és a terhelő feszültség hányadosa.

Egy mérési ciklus során a mintát 1 másodpercig 100 Pa terhelésnek tettük ki (kúszás), amit 9 másodpercig 0 Pa terhelés követett (relaxáció). 10 ismételt ciklust követően, ugyanazon a mintán, a terhelést 3200 Pa-ra növeltük, majd az egész mérést ugyancsak 10 ciklusig folytattuk.

3.1. SZÁZALÉKOS VISSZAALAKULÁS

A visszaalakulás százaléka jellemző a polimerekkel módosított bitumenek rugalmas tulajdonságaira, illetve feszültség függésére. A visszaalakulás százaléka tehát összefüggést jelent a kúszás során keletkező nyírási deformáció és a ciklus legvégén mérhető deformáció között (1. egyenlet).

$$\epsilon_r(\tau, N) = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_{10}) * 100}{\epsilon_1} \quad (1)$$

ahol,

ϵ_r - Százalékos visszaalakulás for $N=1$ to 10

τ - Kúszás során alkalmazott feszültség

ϵ_1 - Az egyes kúszási ciklusok során kialakult deformáció 1.0 s terhelés után

ϵ_{10} - Az egyes relaxációs ciklusok során visszaalakult deformáció 10.0 s-mal a terhelés megszüntetése után

3.2. VISSZAMARADÓ KÚSZÁSI HAJLAM

A visszamaradó kúszási hajlam jelzi az adott bitumenes kötőanyag feszültség függését (2. egyenlet).

$$J_{nr}(\tau, N) = \frac{\epsilon_{10}}{\tau} \quad (2)$$

ahol,

$J_{nr}(\tau, N)$ - a visszamaradó kúszási hajlam $N=1$ -től 10-ig

τ - Kúszás során alkalmazott nyírófeszültség

4. EREDMÉNYEK

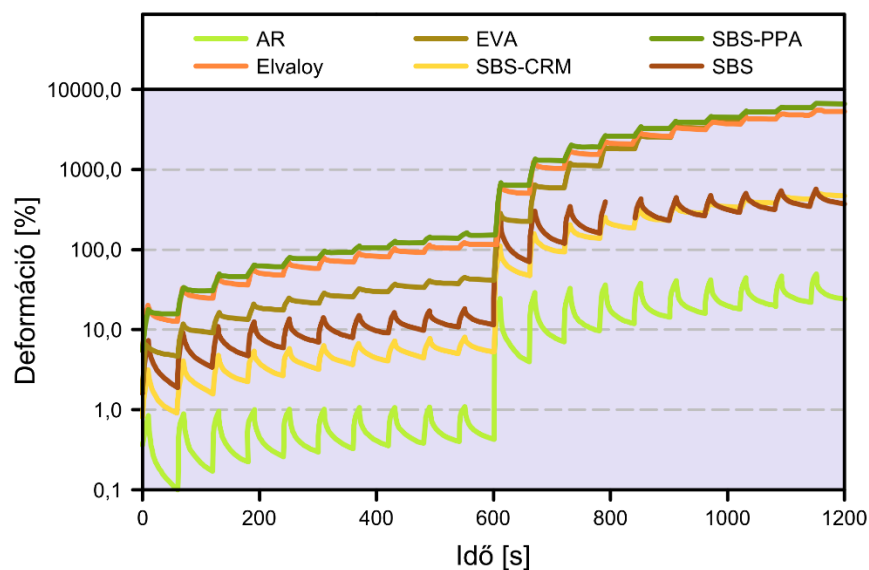
Az MSCR vizsgálati eredmények ismertetésével célunk a különböző módosított kötőanyagok közötti alapvető különbségek bemutatása.

4.1. MSCR EREDMÉNYEK

Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy a módosítók hatása jelentős a különböző kötőanyag típusok kúszási visszaalakulására. A kötőanyagok az ismételt terhelések hatására kialakuló deformációból való visszaalakulási képessége függ a használt módosítószertől. Látható, hogy a gumibitumen (AR) áll leginkább ellen a terhelés hatásainak; a 100 Pa-os terhelési ciklusoknál, a maximális deformáció kb. 1%. Ez nagyon különbözött az Elvaloy és az SBS-PPA-val módosított bitumenektől, ahol 100%-ot meghaladó deformációt figyeltünk meg a 100 Pa-os terhelés utolsó ciklusainál. Általánosságban úgy

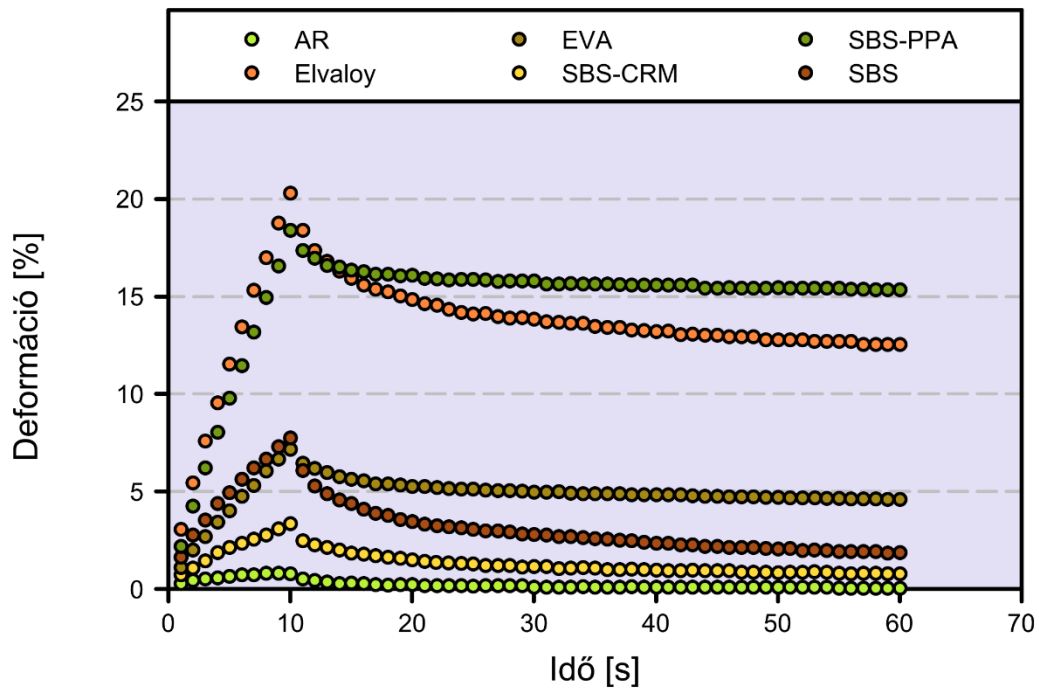
tűnik, hogy az SBS, a gumibitumen és az SBS-CRM hibrid kötőanyagok kevésbé voltak érzékenyek a 100 Pa-os ismételt terhelési ciklusokra, ez látható az első 10 ciklus deformációinak megfigyeléséből. Ezeknél a kötőanyagoknál az ismételt terhelés kisebb maradó deformációban nyilvánul meg, mint az Elvaloy, az EVA és az SBS-PPA kötőanyagoknál. Ez a jelenség megfigyelhető a 3200 Pa-os terhelési ciklusnál is, ahol az Elvaloy, az EVA és az SBS-PPA módosított kötőanyagok 10 000%-os deformációs szinteket érnek el. Az SBS, a gumibitumen és az SBS-CRM sokkal kevésbé érzékeny a magasabb feszültség szintekre és sokkal nagyobb ellenállást mutatott a nyírófeszültséggel szemben.

Jelen értékelés során a legjobb eredményt, a legkisebb deformációs szinteket a gumibitumen érte el. Ez a kötőanyagban lévő gumirészecskéknek köszönhető, amelyek a kötőanyag rugalmasabban viselkedését okozzák (nyíróerőkkel szemben). A jelenség másik oka valószínűleg az, hogy a gumibitumenben levő gumirészecskék abszorbeálják a bitumen könnyebb frakcióit, így a kötőanyagot sokkal ellenállóbbá teszik a deformációval szemben. Másik megfigyelés volt a szignifikáns hasonlóság a gumibitumen, az SBS és az SBS-CRM viselkedésében. Látható, hogy a kúszási terhelésre adott válasz ezeknél a kötőanyagoknál nagyon hasonló volt.



1. ábra: A teljes terhelési ciklus 70°C-on

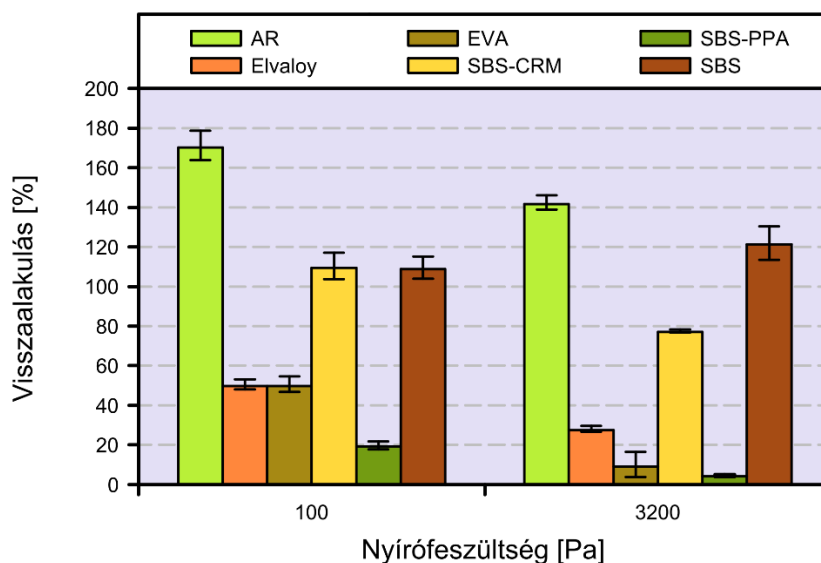
A különböző kötőanyag-tulajdonságok nyilvánvalóbbá válnak, ha közelebbi pillantást vetünk az MSCR terhelési eredményekre. A 2. ábrán az első terhelési ciklus látható 100 Pa-on. Megfigyelhető, hogy a terhelésre adott kötőanyagválasz nagyon függ a módosítószer típusától. Ilyen paraméter beállítások mellett az Elvaloy és az SBS-PPA keverék volt a legérzékenyebb a deformációra. A 2. ábrából látható, hogy míg a két említett polimer a terhelés hatására azonos mértékben deformálódik, jelentős a különbség a kúszási visszaalakulás mértékében.



2. ábra: Első terhelési ciklus 70°C-on és 100 Pa-on

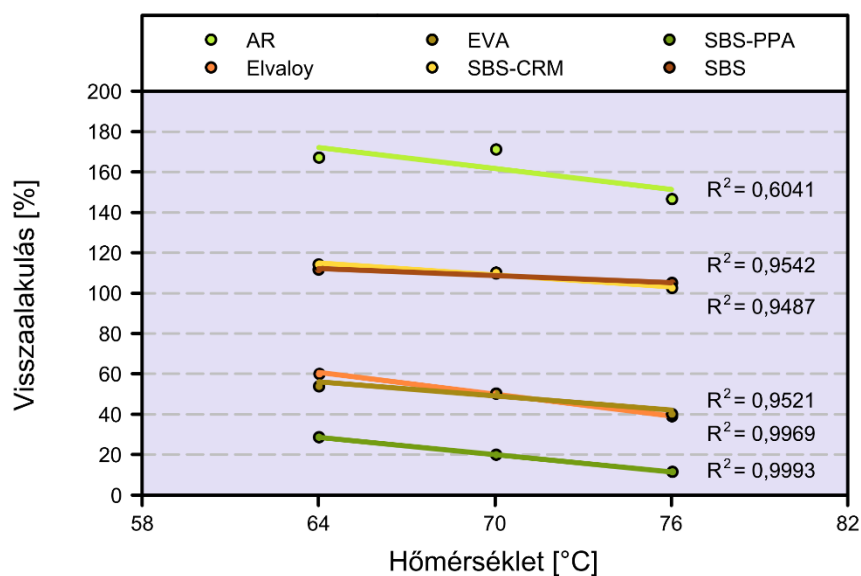
4.2. SZÁZALÉKOS VISSZAALAKULÁS

A 3. ábra mutatja a különböző módosítószerke határait a kötőanyagok visszaalakulásának mértékére. Ebből az ábrából nyilvánvalóan látszik, hogy a gumibitumen minták mutatták a legnagyobb százalékos visszaalakulást. Az SBS-sel módosított kötőanyag szintén nagyon jól teljesít 100%-ot meghaladó százalékos visszaalakulással mindkét feszültség szinten. Az SBS-CRM kötőanyag hasonlóan magas százalékos visszaalakulást mutatott, azonban látható, hogy nagyobb terhelésnél az SBS-CRM keverék nem alakul vissza annyira, mint az SBS és a gumibitumen. Az Elvaloy, az EVA és az SBS-PPA-val módosított bitumeneknél jelentősen kisebb százalékos visszaalakulást tapasztaltunk. A plasztomerek ilyen típusú viselkedése ismert, mindazonáltal az SBS-PPA kötőanyag viselkedése meglepő; úgy véljük, hogy a PPA reagált az SBS-sel, így az SBS veszíthetett rugalmas jellegéből.



3. ábra: Százalékos visszaalakulás 100 és 3200 Pa-on, 70°C-on

Ahogy az a 4. ábrán látható, a vizsgált hőmérséklet tartományban lineáris összefüggés van a százalékos visszaalakulás és a hőmérséklet között. Az SBS és az SBS-CRM keverék a legkevésbé érzékeny a hőmérséklet változására, mindazonáltal mindkettő következetesen alacsonyabb értéket mutatott a gumibitumennél (AR). A többi kötőanyag esetén jelentősen kisebb százalékos visszaalakulást mértünk; mindazonáltal ezeknek a bitumeneknek a hőmérséklet-érzékenysége nem különbözött jelentősen a többitől. Az elasztomeres kötőanyagok kitűnő tulajdonságokkal rendelkeztek a százalékos visszaalakulást tekintve, kivéve az SBS-PPA keveréket. Az SBS-PPA keverék következetesen a legkisebb visszaalakulást mutatja az összes vizsgált kötőanyag közül, függetlenül a vizsgálati hőmérséklettől. Ez az eredmény eltért a várttól, mivel az SBS hozzáadásával a PPA keveréknek nagyobb fokú rugalmas visszaalakulást kellett volna mutatnia; de ezek az eredmények azokat a szakirodalmi forrásokat erősítik, amelyek a PPA rugalmasságra kifejtett negatív hatásairól számolnak be (annak ellenére, hogy egyéb viselkedési jellemzőket javítanak). Ezek az eredmények megerősítik az MSCR vizsgálat érvényességét a módosított bitumenek kiértékelésében.



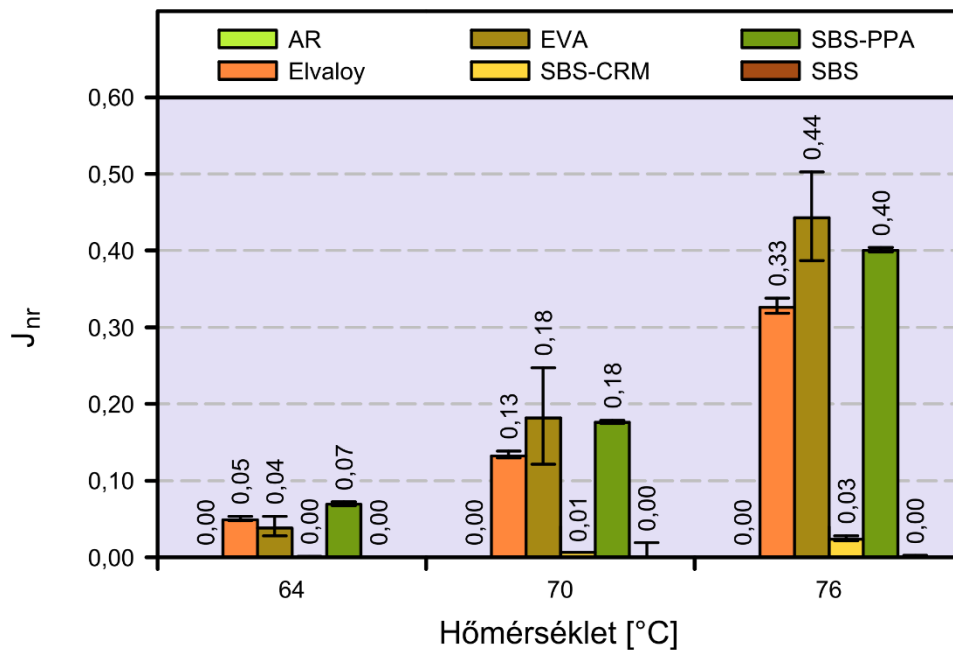
4. ábra: A visszaalakulás mértéke a hőmérséklet függvényében

4.3. VISSZAMARADÓ KÚSZÁSI HAJLAM (J_{NR})

A J_{nr} értékeit vizsgálva a különböző módosított bitumenek esetén szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a különböző módosítószerke hatásai között.

Az EVA, az SBS-PPA és az Elvaloy modifikált kötőanyagok esetén kaptuk a legnagyobb J_{nr} értékeket. Az SBS és a gumibitumen nullához közeli J_{nr} értékeket mértünk, illetve számítottuk, ami alapján azt a következtetést vontuk le, hogy az adott hőmérsékleteken, az alkalmazott különböző feszültség szinteknél ez a két kötőanyag típus képes a legnagyobb mértékű visszaalakulásra.

Ezek az eredmények (5. ábra) azt mutatják, hogy míg a gumibitumen és az SBS modifikált bitumen különböző alapanyagokból és módszerekkel állítható elő, a visszamaradó kúszási hajlamot tekintve nem tehető különbség a tulajdonságaikban. Az SBS-PPA kötőanyag SBS-t tartalmaz, ennek hasonlóan kellene viselkednie az előzőekben említett elasztomerrel módosított bitumenhez. Ez az eltérés annak a ténynek tulajdonítható, hogy az SBS-PPA-ban levő SBS koncentrációja kisebb, és/vagy a PPA reagál az SBS-sel, így csökkenti a rugalmas tulajdonságokat.



5. ábra: J_{nr} értékek 3200 Pa terhelés mellett

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a tanulmányban értékeltük a polimerrel történő módosítás bitumen viselkedésére gyakorolt hatásait. Régóta ismert, hogy a módosítószer típusa fontos szerepet játszik a modifikált bitumen viselkedési jellemzőinek meghatározásában. Ez a tanulmány az MSCR vizsgálati paramétereinek felhasználásával néhány részletre világít rá a módosított kötőanyagok viselkedését illetően.

- Egyértelmű különbségek láthatók a különböző típusú modifikált bitumenek kúszási visszaalakulási görbéjében. A vártan megfelelően az elasztomer modifikált kötőanyagok mint a gumibitumen (AR), az SBS, és az SBS-CRM jobb visszaalakulásokot mutatnak, mint a plasztomer modifikációk (Elvaloy, EVA). A PPA-val és SBS-sel modifiált bitumen nagyon hasonló viselkedést mutat a plasztomer kötőanyagokhoz. Összességében, a gumibitumen mutatta a legkisebb kúszást, mindemellett nagyon erős visszaalakulás arányt tapasztaltunk.
- A százalékos visszaalakulás számítások sokkal részletesebben írják le a különböző modifikálási eljárások hatásait. Az elasztomer kötőanyagok közül a gumibitumen adta a legnagyobb százalékos visszaalakulás értéket mindkét terhelési beállításnál; mindazonáltal az SBS modifikált kötőanyag volt legkevésbé érzékeny a terhelés változtatására. Az SBS modifikáció kevésbé érzékeny a hőmérséklet változására.
- A kutatásból származó visszamaradó kúszási hajlam értékek azt mutatják, hogy az SBS-PPA, az Elvaloy és az EVA modifikációk esetében ezek az értékek jelentősen növekednek a hőmérséklet emelkedésével. Emiatt a hőmérséklet emelkedésével ezek a kötőanyagok egyre inkább deformációra hajlamosak lesznek. Az SBS és gumibitumen minták nagyon alacsony J_{nr} értéket mutattak, vagyis várható módon a legkevésbé érzékenyek a deformáló feszültségre.
- Az MSCR eredmények azt mutatják, hogy a különböző adalékszerek használatával a módosított kötőanyag tulajdonságai javulnak, ezek közül a gumibitumen került a legközelebb ahhoz, hogy adott esetben túlmutasson az SBS-sel módosított kötőanyag tulajdonságain vagy helyettesítse az SBS-t.
- További kutatás szükséges ezen a területen, például az SBS-PPA elasztikus visszaalakulás hiányának megértésére.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

Airey, G. (2004). Styrene Butadiene Styrene Polymer Modification of Road Bitumens. *Journal of Material Science*, 951-959.

American Society for Testing and Materials. (2008). ASTM D 7405. Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Amirkhanian, S. N. (2003). Establishment of an Asphalt-Rubber Technology Service (ARTS). *Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference*, 2, pp. 577-588. Brasilia, Brazil.

Association of Modified Asphalt Producers. (2008). SBS Polymer Supply Outlook. St. Louis, MO: Association of Modified Asphalt Producers.

Baumgardner, G., Masson, J. F., Hardee, J. R., Menapace, A. M., & Williams, A. G. (2006). Polyphosphoric Acid Modified Asphalt: Proposed Mechanisms. *Peterson Asphalt Conference*. Laramie, WY: Western Research Institute.

D'Angelo, J. (2007). Effect of Polymer-Asphalt Binder Compatibility and Cross Link Density on Non-Recoverable Compliance in the Multi Stress Creep and Recovery Method. *Southeastern Asphalt Users and Producers Group*. San Antonio, TX: SAEUPG.

D'Angelo, J. (2008). Effect of SBS Dispersion and Other Additives in PMA Binders on MSCR Test Results. *45th Peterson Asphalt Research Conference*. Laramie, WY: Western Research Institute.

Dantas Neto, S. A., Farias, M. M., Pais, J. C., Pereira, A., & Picado Santos, L. (2003). Behavior of Asphalt-Rubber Hot Mixes Obtained with High Crumb Rubber Contents. *Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference*, 2, pp. 147-158. Brasilia, Brazil.

Diehl, C. F. (2000). Ethylene-styrene interpolymers for bitumen modification. *2nd Eurasphalt and Eurobitume* (pp. 93-102). Barcelona, Spain: Eurasphalt and Eurobitume.

Dupont. (2002). Dupont Elvaloy Reactive Terpolymer. Retrieved October 2008, from A Reactive Polymer: <http://www.dupont.com/asphalt/link2.html>

Environmental Protection Agency. (2008, September 24). Retrieved October 9, 2008, from Management of Scrap Tires: <http://www.epa.gov/garbage/tires/>

Huang, S. C., Pauli, A. T., Beemer, A. G., & Robertson, R. E. (2006a). Influence of Crumb Rubber on the Fatigue Performance of Asphalt Pavement. *10th International Conference on Asphalt Pavements*. Quebec City, Canada: International Society for Asphalt Pavements.

Huang, S. C., Pauli, A. T., Beemer, A., Miller, J., & Salmans, S. (2006b). Particle Size Effect of Crumb Rubber on the Long-Term Aging Characteristics of Asphalts. *43rd Annual Peterson Asphalt Research Conference*. Laramie, WY: Western Research Institute.

Isacsson, U., & Lu, X. (1999). Characterization of Bitumens Modified with SEBS, EVA and EBA Polymers. *Journal of Materials Science*, 3737 – 3745.

Khattak, M. J., Baladi, G. Y., & Drzal, L. T. (2007). Low Temperature Binder-Aggregate Adhesion and Mechanistic Characteristics of Polymer Modified Asphalt Mixtures. *ASCE: Journal of Materials in Civil Engineering*.

Martin, J. V. (2004). Asphalt Chemically Modified with Polyphosphoric Acid. *North East Asphalt User/Producer Group*. Portsmouth, NH: North East Asphalt User/Producer Group.

Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Lee, D. Y., & Kennedy, T. W. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture, Design, and Construction*. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation.

Valkering, C. P., & Vonk, W. (1990). Thermoplastic rubbers for the modification of bitumens: Improved elastic recovery for high deformation resistance of asphalt mixes. *15th Australian Road Research Board Conference* (pp. 1-19). Vermont South, Australia: Australian Road Research Board.

Witczak, M. W., Hafez, I., & Qi, X. (1995). Dupont Elvaloy Reactive Elastic Terpolymers. Retrieved October 2008, from Laboratory Characterization of Elavaloy® Modified Asphalt Mixtures: <http://www.dupont.com/asphalt/link5.html>

Xiao, F., Amirkhanian, S. N., & Juang, C. H. (2007). Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering* , 19 (6), 475-483.

Xiaohu, L., & Ulf, I. (2001). Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Testing* 20 , 77-86.

Yildirim, Y. (2005). Polymer modified asphalt binders. *Journal of Construction and Building Materials* , 66-72.