

Hazai bitumenek melegviselkedésének teljesítményalapú osztályozása BTSV módszerrel

Rosta Szabolcs¹ – Dr. Gáspár László² – Káli Rebeka³

¹ doktorandusz, Széchenyi István Egyetem

² professzor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Magyar Közút Nonprofit Zrt.,

³ technológiai mérnök, Duna Technológia Kft.

e-mail: rosta.szabolcs@dunaaszfalt.hu, gaspar.laszlo@kozut.hu, kali.rebeka@dunaaszfalt.hu

Kézirat benyújtva: 2026.03.29.

Kézirat elfogadva: 2026.04.19.



© Rosta Sz., Gáspár L., Káli R.

Absztrakt

Az európai bitumenkategorizálás hagyományosan empirikus vizsgálatokon alapul, amelyek a modern, módosított kötőanyagok értékelésére korlátozottan alkalmasak. Kutatásunkban elsőként Magyarországon alkalmaztuk átfogóan a BTSV reológiai módszert öt bitumentípuson (B50/70, B70/100, GmB 45/80-55, PmB 25/55-65, PmB 45/80-65). Összesen 137 üzemi mintán határoztuk meg a T_{BTSV} és δ_{BTSV} értékeket, és összevetettük a gyűrűs-golyós lágyulásponttal. Az eredmények szerint a BTSV módszer megbízhatóbban jellemzi a módosított kötőanyagok teljesítményét, és egyértelműbb különbségeket mutat a vizsgált típusok között.

Kulcsszavak: BTSV- Bitumen Typisierung Schnell Verfahren, SBS modifikált bitumen, kémiailag stabilizált gumival modifikált bitumen, Soxhlet-extrakció

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.4.2>

1. BEVEZETÉS

A bitumenek, bitumenes kötőanyagok követelményeit elsősorban a különböző hőmérsékleti tartományokban megfigyelhető fizikai tulajdonságok alapján határozzák meg. Világszerte a legelterjedtebb bitumenosztályozási rendszerek úgynevezett empirikus vizsgálatokra épülnek, melyek olyan mérési módszerek, amelyek közvetlen tapasztalaton, megfigyelésen vagy kísérleteken alapulnak, mint például a tűpenetráció (MSZ EN 1426, 2016), amely a pályaszerkezet közepes hőmérsékleti tartományán elvégzett

vizsgálat és a gyűrűs-golyós lágyuláspont (MSZ EN 1427, 2016) mérés, amely a magas használati hőmérsékletet jellemzi.

Az európai uniós keretszabályozás az egyes bitumenkategóriákra nem ír elő konkrét tulajdonsági határértékeket. Ehelyett a tagállamok saját hatáskörükben határozhatják meg a bitumenosztályokhoz tartozó tulajdonsági követelményeket, figyelembe véve a helyi éghajlati és forgalmi viszonyokat (MSZ EN 12591, 2009), (MSZ EN 14023, 2010).

Az uniós tagállamok esetében, az útépitési bitumeneknél az egyes penetrációs osztályokhoz rendelt gyűrűs-golyós lágyuláspont értékek között általában nincs jelentős különbség. Ezzel szemben a modifikált bitumeneknél érdemes eltérések figyelhetők meg: például, az ugyanazon penetrációfokozatú, magyar (PmB 45/80-65) és német (PmB 45/80-50 A) PmB-típusoknál eltérő lágyuláspont-követelményeket írtak elő (e-UT 05.01.26, 2018), (TL Bitumen-StB 25, 2025).

Eredetileg ezeket az empirikus mérési módszereket egyszerű, módosítatlan bitumenek vizsgálatára fejlesztették ki. Az elmúlt időszakban végzett kutatások számos hiányosságra és pontatlan eredményre mutattak rá, különösen az anyagok növekvő komplexitása és módosítási technikái miatt. Ezek a vizsgálatípusok, többek között, sem a polimerrel módosított bitumenek, sem pedig a visszanyert aszfaltburkolatból származó, öregedett kötőanyagok jellemzésére nem bizonyulnak megfelelőnek (Guericke, 2010; Mattischek et al., 1996; Radenberg et al., 2014).

Az Egyesült Államokban az útépitési bitumenek minősítésében már nem alkalmazzák a hagyományos empirikus vizsgálatokat, mint például a penetráció vagy a gyűrűs-golyós lágyuláspont meghatározása. Ezeket a módszereket az 1987 és 1992 között megvalósított Stratégiai Autópálya-kutatási Program (Strategic High-way Research Program – SHRP) eredményeként bevezetett Superpave teljesítményosztályozási rendszer (PG) váltotta fel (Roberts et al., 1996), amely a kötőanyagok viselkedését reológiai paraméterek alapján értékeli (AASHTO M320, 2023).

A rendszerben a kötőanyag magas hőmérsékleti teljesítményének meghatározására dinamikus nyíróreométert (DSR) alkalmaznak (AASHTO T315, 2024). A magas hőmérsékleti PG-osztályt a komplex nyírási modulus (G^*) és a fázisszög (δ) kapcsolatából számított $G/\sin\delta^*$ paraméter segítségével határozzák meg. A kritikus hőmérsékletet a nem öregített kötőanyagon mért $G/\sin\delta \geq 1,00 \text{ kPa}^*$ (1,59 Hz/s frekvencián), valamint az öregített kötőanyagon mért $G/\sin\delta \geq 2,20 \text{ kPa}^*$ határértékek alapján állapítják meg, ahol az öregítést Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) eljárással végzik (AASHTO T 240, 2023). A δ a DSR-vizsgálat

során meghatározott fázisszöget jelöli. A meghatározott határértékek célja annak biztosítása, hogy a kiválasztott kötőanyag megfelelő ellenállást mutasson a magas hőmérsékleten fellépő, maradó deformációval szemben.

Számos kutatás azonban rámutatott arra, hogy a $G/\sin\delta^*$ barázdálódási paraméter nem minden esetben képes megfelelően előre jelezni a polimerrel módosított kötőanyagok teljesítményét, és gyakran gyenge korrelációt mutat az aszfaltkeverékek viselkedésével (Bahia et al., 2001; Biro et al., 2009; Shenoy, 2002). Ennek következtében az Egyesült Államokban 2015-ben a módosított kötőanyagok magas hőmérsékleti teljesítményének meghatározására a többszörös feszültségű kúszás- és helyreállási vizsgálatot (MSCR) is bevezették a szabványos vizsgálati eljárások közé (ASTM D7405-15, 2021).

Ugyanakkor az MSCR-vizsgálat alkalmazása során is jelentkezhetnek bizonyos korlátok. Egyes kutatók szerint a DSR-vizsgálat bizonyos esetekben nem képes teljesen késleltetésmentesen alkalmazni a blokkyszerű feszültségelet rövid kúszási periódusok esetén. Amennyiben a kúszási periódus elméleti vége és a feszültség tényleges nullára csökkenése között időbeli eltérés lép fel, a feszültség rövid ideig az elméleti kúszási perióduson túl is növekedhet. Ilyen esetben a helyreállási fázis végén mért alakváltozás nagyobb lehet, mint a kúszási szakasz végén rögzített érték, ami a helyreállási paraméter (R) negatív értékét eredményezheti (Paez-Dueñas et al., 2016; Soenen et al., 2013). Ezért olyan korszerűbb vizsgálati módszerek bevezetése válik szükségessé, amelyek a reológia tudományára épülnek, és a modern kötőanyagok viszkoelasztikus viselkedésének jobb megértését teszik lehetővé.

2. HÁTTÉR-ELŐZMÉNYEK

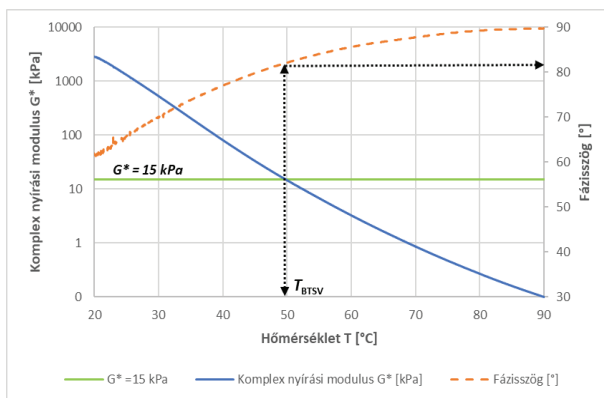
Különböző szerzők a módosítatlan kötőanyagok lágyulási pontját viszkozitás alapján, illetve oszcillációs mérésekkel, gyűrűs és golyós lágyuláspont hőmérsékletükön már korábban meghatározták (Radenberg et al., 2016; Radenberg et al., 2014). Mindazonáltal, a módosított kötőanyagok vizsgálatakor a reológiai paraméterek és az empirikus lágyulási pont között megbízható korreláció nem volt megfigyelhető. Alisov

(2017) kimutatta, hogy a lágyuláspont hőmérsékletén a polimerrel módosított kötőanyagok lényegesen alacsonyabb komplex nyírási modulusúak (akár $G^* = 2563$ Pa), míg a legmagasabb értéket 50/70 jelű normál kötőanyagnál mérték ($G^* = 15\,682$ Pa). Mintegy 13 kPa-os különbség hozzávetőleg 12,5 °C-nyi hőmérséklet-eltérésnek felel meg. Ez a tartomány a lágyuláspont hőmérsékletén fennálló anyagállapot közelítő reológiai egyenértékűségét szemlélteti. Ami pedig azt jelenti, hogy a lágyuláspont az egyenértékű reológiai anyagállapotot csak nagyon közelítően képes jellemezni.

A DSR berendezés és vizsgálati módszer a kötőanyag lágyulási állapotának meghatározására megbízható kísérleti alternatívát kínál. A modifikált kötőanyag mérési eredményei alapján, a lágyuláspont hőmérséklete olyan anyagállapotot képvisel, amelyet $G^* = 15$ kPa komplex nyírási modulus jellemez, amit Radenberg et al. (2016) feltáró vizsgálatai is megerősítettek. A modifikált kötőanyagok esetében azonban a lágyulási állapot meghatározása az empirikus lágyuláspont alapján nem elegendő (Alisov, 2017). Ehelyett a $G^* = 15$ kPa küszöbértéket a polimerrel modifikált bitumenekre is alkalmazzák annak érdekében, hogy a különböző kötőanyagokat egyenértékű reológiai tulajdonságok alapján lehessen jellemezni. A DSR alkalmazásának előnyei közé tartozik a reológiai adatok előállítása, a kis anyagszükséglet, valamint a vizsgálati eljárás egyszerűsége és gyorsasága. Ezért a 15 kPa-os nyírási modulushoz tartozó izomodulus-hőmérséklet meghatározásával, a kötőanyag magas hőmérsékleten mutatott anyagviselkedése jól jellemezhető.

A bitumenes kötőanyagok jellemzésére, a fenti következtetések alapján, a német Braunschweigi Egyetemen egy egyszerű módszert, a Bitumen Typisierung Schnell Verfahren (BTSV) (DIN 52050, 2018), másnéven a gyors bitumenkategorizáló eljárást dolgoztak ki. A BTSV módszer a lágyuláspont koncepcióját a dinamikai nyíró reométerre (DSR) helyezi át. A szokásos 25 mm-es átmérőjű, párhuzamos lemezes geometriájú kötőanyagmintára állandó oszcillációs nyírófeszültséget (500 Pa) és frekvenciát

(1,59 Hz/s) alkalmaznak, miközben a hőmérsékletet fokozatosan emelik (20 °C-tól 90 °C-ig, $\Delta T = 1,2$ °C/perc) mintegy 60 perces időtartamon keresztül. Az új német eljárással a lágyulási állapotot két fő paraméterrel jellemzik: a lágyulási hőmérséklettel (T_{BTSV}), és a fázisszöggel (δ_{BTSV}), amelyeket a komplex nyíró modulus ($G^* = 15,0$ kPa) értéknél vesznek fel (1. ábra).



1. ábra: A komplex nyírási modulus és a fázisszög tipikus görbéi, a vizsgálati hőmérséklet függvényében

(Forrás: saját szerkesztés)

2025. év elején Németországban hatályba lépett (TL Bitumen, 2025) a német útügyi szabályozási rendszer (FGSV) keretében kiadott nemzeti előírás, amely az útépitési bitumenek és a polimer-módosított bitumenek minőségi és vizsgálati követelményeit határozza meg. A dokumentum az (EN 12591, 2009) és (EN 14023, 2010) európai bitumenes keretszabványokra épül, azonban azokat kiegészítve részletesebb fizikai, reológiai és öregedési paramétereket határoz meg, különös tekintettel a hőmérséklet- és terhelésfüggő viselkedésre. A szabályozás a hagyományos konzisztencia-jellemzők (pl. penetráció, lágyuláspont) mellett tartalmazza a BTSV eljárással végzett paramétereket is: T_{BTSV} és δ_{BTSV} . Ezzel Németország az első európai ország, ahol a nemzeti követelményrendszerben már határértékekkel megjelentek ezen paraméterek.

Viszont a BTSV vizsgálati eljárás még nem került be az európai szabványosítási keretrendszerbe. A szabályozó testület a 2010-es évek óta foglalkozik a teljesítményalapú bitumenosztályozás meghatározásával. 2020-ban ez a testület még csak a modifikált bitumenekre képzelte el a teljesítményalapú osztályozást (prEN

14023, 2020), keretelőírásban még öregítés nélkül T_0 és δ_0 került be a viszkoelasztikus viselkedés magas hőmérsékletének meghatározására a két paraméter. A legutolsó munkapéldányban „Bitumens and bituminous binders – Complementary performance-related specification framework” (CEN/TC 336, 2025) T_1 és δ_1 paraméterként szerepel RTFOT – rövidtávú öregedés után mért értéként (EN 12607-1, 2025).

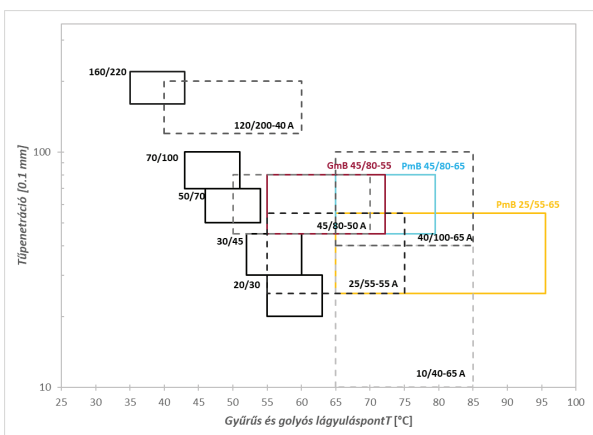
Az erre vonatkozó harmonizált szabályozás hiányában, a BTSV alkalmazása a magyar műszaki előírásokban vizsgálendő paraméterként sem jelent meg. Ennek következtében a Magyarországon alkalmazott bitumenek BTSV szerinti kategorizálását mindaddig nem végezték el; a jelen cikk ennek megfelelően az első olyan átfogó jellegű tanulmány, amely e kérdéskört rendszerezett módon tárgyalja.

3. MÓDSZERTAN

3. 1. Magyar és német modifikált bitumenek különbségei

A 2. ábrán látható, hogy az empirikus jellemzők tekintetében, a hazai (színes vonal) és a német polimerrel modifikált bitumenek (szürke szaggatott vonal) követelményrendszer között kimutatható eltérések tapasztalhatók. Például, a német PmB 25/55-55 típusnál a magyar előírás a gyűrűs-golyós lágyulásponthoz magasabb, mintegy 65 °C-os minimum követelményt rögzít, erre a német szabályozás 55 °C-os értéket ír elő. Ez a különbség abból adódik, hogy az európai keretszabvány (MSZ EN 14023, 2010) lehetőséget ad a tagállamok számára, hogy nemzeti előírásaikban a bitumenosztályokhoz tartozó tulajdonsági határértékeket – a helyi klimatikus adottságok, forgalmi terhelések és pályaszerkezeti gyakorlat figyelembevételével – megválasszák. A német PmB bitumenek lágyuláspont felső határértékét a ZTV Asphalt-StB 07/13 (2013) előírás által meghatározott, az aszfaltból visszanyert bitumen maximálisan megengedett értékei alapján határozták meg. Magyarországon nincs ilyen jellegű felső korlátozás az empirikus lágyuláspont tekintetében, ezért mi az összehasonlíthatóság végett az egyes bitumen típusok számtani átlagához hozzáadtunk

két szórás értéket ($\bar{X} + 2SD$) vettük alapul, normál eloszlást feltételezve ez az eredmények kb. 95%-át lefedi, a kiugró szélsőértékek nélkül. Ellenben a folytonos fekete vonallal lehatárolt, útépitési bitumenek (EN 12591 szerinti penetrációs osztályok) esetében, a hazai és a német előírások között nincs különbség, mivel ezeknél az osztályoknál a harmonizált európai szabványrendszer követelményei egységesen érvényesülnek, így a penetráció és a gyűrűs-golyós lágyuláspont határértékei egyformán alulról és fentről is korlátozottak.



2. ábra: Magyar és német bitumenek lágyuláspont és penetráció határértékei
(Forrás: saját szerkesztés)

3. 2. Alapanyagok bemutatása

A kutatás tárgya 5 különböző, a hazai aszfalt-útépitésben leggyakrabban használt bitumen típusok mintavételezése a Duna Csoport egyes aszfaltkeverő telephelyein, 2022 és 2023 között, kb. 100 tonna felhasznált bitumenen mennyiségként történt. Összesen 139 db bitumenminta állt rendelkezésünkre: két normál útépitési bitumennel - B50/70 és B70/100 -, valamint három modifikált bitumenes kötőanyaggal – 2 db SBS-modifikált (PmB 25/55-65, és PmB45/80-65) bitumen, és egy speciális, kémiaiilag stabilizált gumival modifikált GmB 45/80-55 bitumen – kategóriákkal foglalkoztunk. Meghatároztuk a konvencionális, empirikus tulajdonságok (tűpenetrációs, és gyűrűs-golyós lágyuláspont érték) mellett a BTSV eljárással mért, két paramétert, azaz a lágyulási hőmérsékletet (T_{BTSV}) és az ehhez tartozó fázisszöveget (δ_{BTSV}). Nem

részletezzük az összes minta eredményét, hanem az 1. táblázatban a vizsgált tulajdonságokat összesítettük, meghatároztuk az egyes paraméterek átlagát, maximum és minimum értékeit.

alakját, és adott terhelés hatására elfolyik. Az eddigi kutatások alapján, a nem módosított bitumeneknél az empirikus lágyuláspont hőmérséklete közelítőleg megegyezik azzal a hőmér-

Minta típusa	Darabszám	Vizsgált paraméter	Átlag	Max	Min
B 50/70	20	LP [°C]	50.77	53.40	49.00
		Penetráció [0,1 mm]	58.15	69.00	52.00
		T_{BTSV} [°C]	51.01	54.20	48.70
		Fázisszög, δ [°]	81.48	83.50	79.20
B70/100	20	LP [°C]	46.25	48.60	43.50
		Penetráció [0,1 mm]	84.00	93.00	73.00
		T_{BTSV} [°C]	46.57	49.40	44.50
		Fázisszög, δ [°]	82.95	84.10	78.80
GmB 45/80-55	29	LP [°C]	61.22	70.40	55.50
		Penetráció [0,1 mm]	45.13	49.20	39.10
		T_{BTSV} [°C]	59.64	68.40	54.80
		Fázisszög, δ [°]	57.03	66.20	40.30
PmB 25/55-65	38	LP [°C]	84.28	91.05	65.60
		Penetráció [0,1 mm]	42.21	52.00	29.50
		T_{BTSV} [°C]	56.57	64.40	51.90
		Fázisszög, δ [°]	59.46	64.40	55.05
PmB45/80-65	30	LP [°C]	70.75	78.90	63.35
		Penetráció [0,1 mm]	52.24	59.00	40.85
		T_{BTSV} [°C]	52.72	54.90	49.50
		Fázisszög, δ [°]	58.29	61.60	55.70

1. táblázat: Bitumentípusok vizsgálati darabszáma és paraméterértékeinek statisztikai jellemzői

(Forrás: saját szerkesztés)

4. EREDMÉNYEK

4. 1. A T_{BTSV} hőmérséklet és a gyűrűsgolyós lágyuláspont közötti kapcsolat vizsgálata

A bitumenes kötőanyagok magas használati hőmérséklete az aszfaltkeverékben való alkalmazási hőmérséklettartomány felső határa, amelynél a bitumen a jelentős alakváltozásnak, például a keréknyomvályú-képződésnek még ellenáll. Ez a jellemző különösen fontos nyáron, intenzív forgalmi terhelés esetében, mivel a bitumen konzisztenciája (állaga) egy adott hőmérséklet felett már nem képes megtartani az

séklettel, ahol a komplex nyírási modulus $G^* = 15 \text{ kPa}$ (T_{BTSV}). A modifikált bitumeneknél ez az összefüggés nem mindig áll fenn, mivel ezek az anyagok elasztikusabbak, azaz jobban visszanyerik alakjukat deformáció után. Ez az elasztikus viselkedés alacsonyabb fázisszöggel (δ_{BTSV}) jelenik meg – tehát a viselkedésük kevésbé viszkózus, inkább rugalmas. Emiatt a $G^* = 15 \text{ kPa}$ értéket nem azon a hőmérsékleten érik el, mint amit az empirikus gyűrűsgolyós lágyuláspont mutat (Alisov, et al., 2018).

A 3. ábrán a bitumenek lágyuláspontja (gyűrűsgolyós módszerrel mért érték, °C-ban) és a BTSV-módszerrel meghatározott jellemző

hőmérséklet (T_{BTSV} , °C) közötti összefüggés látható, a vizsgált modifikált és normál bitumenek esetében. Az útépitési bitumenek (B 50/70 és B 70/100) vizsgálata során a T_{BTSV} és az empirikus lágyuláspont között szignifikáns, közel lineáris kapcsolat figyelhető meg. A determinációs együttható, $R^2 = 0,81$, ami erős lineáris korrelációt jelez a két paraméter között. Ez arra enged következtetni, hogy az útépitési bitumenek esetében a magasabb lágyulásponttal rendelkező anyagok T_{BTSV} -értéke is arányosan növekszik. A jelenség hátterében az állhat, hogy e bitumenek reológiai viselkedését döntően az alapbitumen szerkezete és hőmérsékletfüggő, viszkoelasztikus tulajdonságai határozzák meg, így a hőérzékenységet jellemző paraméterek egymással összefüggő módon változnak.

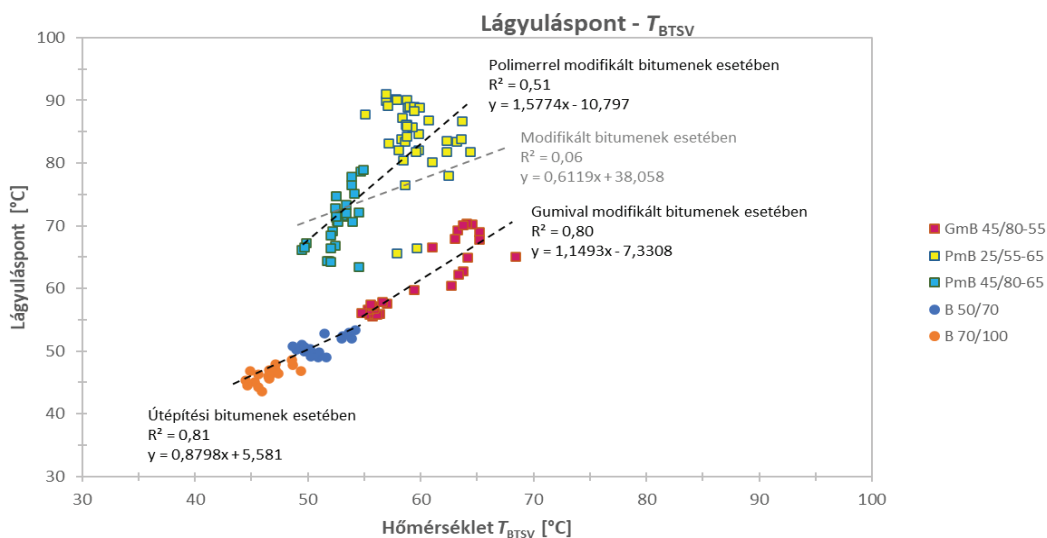
Ezzel szemben a modifikált bitumenek (PmB és GmB) esetében (3. ábra), a T_{BTSV} és a gyűrűs-golyós lágyuláspont között nem mutatható ki érdemi lineáris kapcsolat ($R^2 = 0,06$), ami statisztikailag nagyon gyenge, tulajdonképpen elhanyagolható korrelációt jelent. Ebben az esetben a lágyuláspont már nem kizárólag az alapbitumen tulajdonságait tükrözi, hanem azt a modifikálószerkek jelenléte is jelentős mértékben befolyásolja. A GmB 45/80-55 kategóriába tartozó minták eredményei a T_{BTSV} -lágyuláspont összefüggés vizsgálata során közel párhuzamosan, illetve gyakorlatilag a normál útépitési bitumenek regressziós egyenesét követve

helyezkedtek el. Ennek alapján, indokoltta vált a polimerrel modifikált bitumenek (PmB) és a gumibitumenek (GmB) statisztikai szétválasztása, mivel az együttes értékelés az egyes kötőanyagtípusok eltérő viselkedését elfedte.

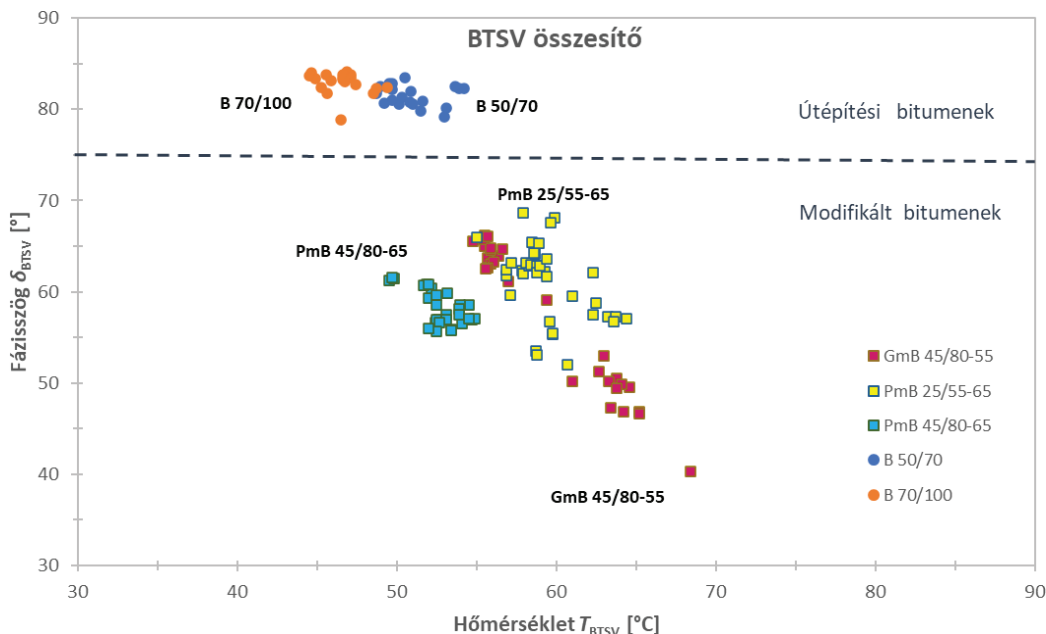
A GmB 45/80-55 kötőanyag esetében, a determinációs együttható, $R^2 = 0,80$ értékre adódott, ami a nem modifikált bitumeneknél tapasztalt értékkel gyakorlatilag megegyezik. Ebben az esetben a polimerrel modifikált bitumeneknél (PmB) ugyan növekedett a determinációs együttható értéke, azonban az R^2 mindössze 0,5 körüli értékre adódott. Ez közepes erősségű kapcsolatot jelez, amely már nem tekinthető megbízhatóan lineárisnak. Tehát itt is bizonyosodott, hogy PmB típusú kötőanyagoknál, a lágyuláspont hőmérséklete és a reológiai viselkedés ($G^* \approx 15$ kPa, δ) közti összefüggés nem lineáris és nem egyértelmű, mert a polimerrek elasztikus tulajdonságai a két mérés közti megfelelést „eltolhatják”. Így elmondható, hogy a klasszikus empirikus paraméterek önmagukban a viszkoelasztikus viselkedés pontos előrejelzésére nem elegendők.

4. 2. BTSV paraméterek bemutatása

Az összes minta BTSV méréseiből származó, $G^*=15$ kPa reológiai küszöbértékhez tartozó T_{BTSV} [°C] hőmérsékletét és δ_{BTSV} [°] fázisszögét



3. ábra: A gyűrűs golyós lágyuláspont és T_{BTSV} közötti összefüggés útépitési SBS modifikált és gumival modifikált bitumenek esetén (Forrás: saját szerkesztés)



4. ábra: A BTSV eredmények összesítő ábrája, a $G^*=15$ kPa értéknél mért δ_{BTSV} fázisszög és T_{BTSV} hőmérséklet függvényében (Forrás: saját szerkesztés)

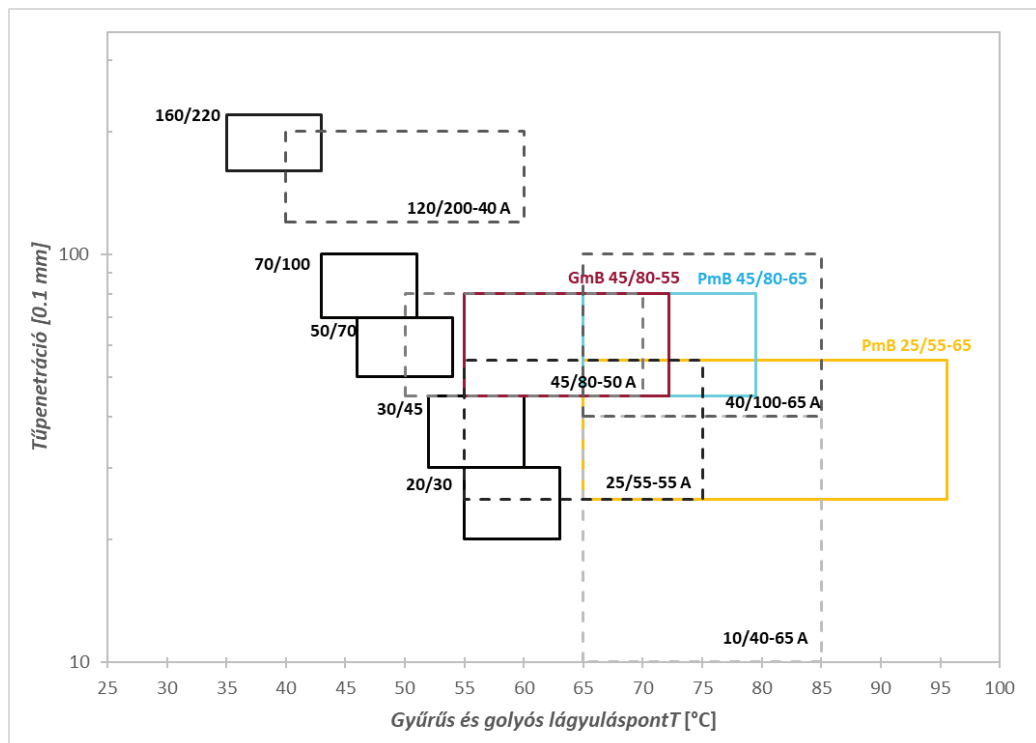
a 4. ábrán ábrázoltuk. A mérési eredmények grafikus ábrázolásából az útépítési bitumenek és a modifikált bitumenek két nagy csoportja világosan megkülönböztethető.

A módosítás elsősorban a bitumen viszkoelasztikus viselkedésének elasztikus komponensére van hatással. Az elasztikus rész mértékét a fázisszög fejezi ki. Minél nagyobb a modifikáció mértéke, annál alacsonyabb δ_{BTSV} érték várható (Alisov, 2017). Az eredmények alapján a hazai vizsgálati adatok esetében is jól meghatározható, a német szakirodalomban közölt eredményekkel összhangban álló határérték állapítható meg, amely a $\delta_{\text{BTSV}} = 75^\circ$ fázisszög értéknél definiálható. Ennek megfelelően azok a bitumenek, amelyek $\delta_{\text{BTSV}} > 75^\circ$ értékkel rendelkeznek, reológiai viselkedésük alapján túlnyomórészt viszkózus karakterűek, normál útépítési bitumeneknek tekinthetők. A $\delta_{\text{BTSV}} \leq 75^\circ$ értékű kötőanyagok viszont már jelentős elasztikus komponenssel bírnak, valamilyen modifikáció jelenlétére utalva.

A további elemzés során az egyes bitumentípusok jellemző tartományait is meghatároztuk, és az 5. ábrán téglalapokkal jelöltük a szélsőértékeket annak érdekében, hogy az egyes kategóriák vizuálisan is elkülöníthetők legyenek. A T_{BTSV} -hez

tartozó karakterisztikus értékek összehasonlítása rámutatott arra, hogy a szomszédos bitumentípusok között részleges átfedések figyelhetők meg. Ez az átfedés arra utalhat, hogy bizonyos hőmérsékleti és terhelési feltételek mellett, a különböző típusú kötőanyagok – különösen az átfedési zónákban – a magas használati hőmérséklet-tartományban hasonló, deformációs tulajdonságokat mutathatnak.

Az öt vizsgált bitumenkategória összehasonlító értékelése alapján megállapítható, hogy a két útépítési bitumen (B 50/70 és B 70/100), valamint a két polimerrel modifikált kötőanyag (PmB 25/55-65 és PmB 45/80-65) reológiai paramétereik alapján jól elkülönülő, statisztikailag is differenciálható csoportokat alkotnak. Ennek megfelelően e négy bitumentípus önálló, homogén csoportként kezelhető a magas hőmérsékleti teljesítmény szempontjából. A gumibitumen (GmB 45/80-55) azonban a vizsgált típusok között kivételt képez. Mind a fázisszög, mind pedig a lágyulási hőmérséklet tekintetében jelentős értékszórás figyelhető meg. A BTSV vizsgálatot itt is, a többihez hasonlóan, az előírásnak megfelelően végeztük el, tehát feltehetőleg nem a mérési körülmények okozhatták ezt a jelentős mértékű



5. ábra: A BTSV eredmények összesítő ábrája, $G^*=15$ kPa értéknél mért δ_{BTSV} fázisszög és T_{BTSV} hőmérséklet függvényében, a szélsőértékek lehatárolásával (Forrás: saját szerkesztés)

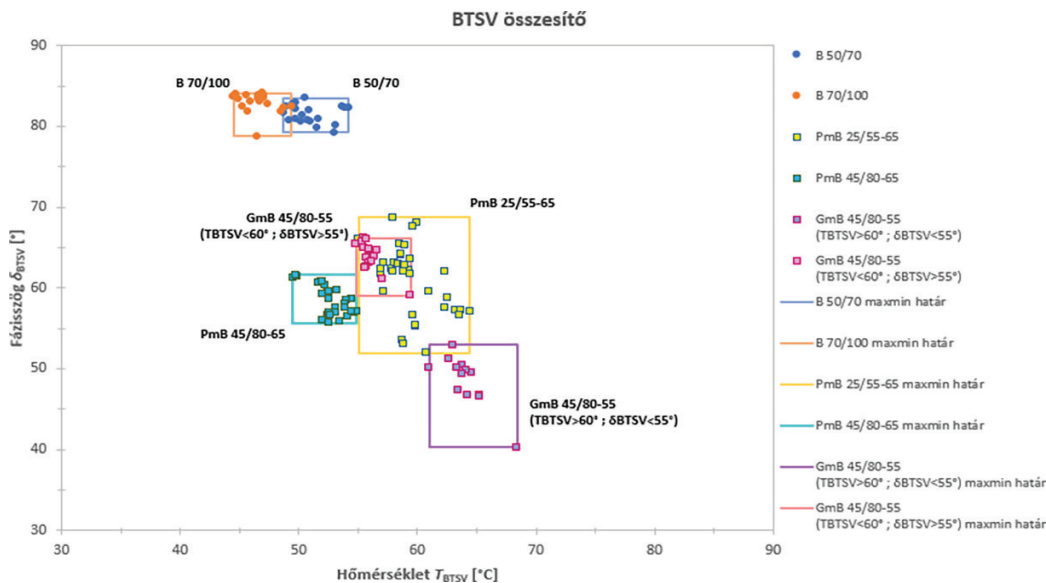
szóródást. A jelenség egyik lehetséges magyarázata a gumibitumen sajátos, többfázisú szerkezetében keresendő. Az aszfaltgyártás során végzett mintavételezéskor fennáll annak a lehetősége, hogy a levett kötőanyagminta nem volt teljes mértékben homogén. Ebből adódhattak a vizsgált minták heterogén reológiai tulajdonságai. Korábbi kutatások bizonyították már, hogy a modifikáló anyag típusa, valamint annak mennyisége a BTSV eredményre jelentős hatást gyakorol.

Tehát a modifikáció a T_{BTSV} értékének enyhe növekedését, valamint a δ_{BTSV} értékének csökkenését eredményezi. Nagyobb mértékű módosítás hatására, a fázisszög jóval alacsonyabb értéket vesz fel (Alisov, 2017).

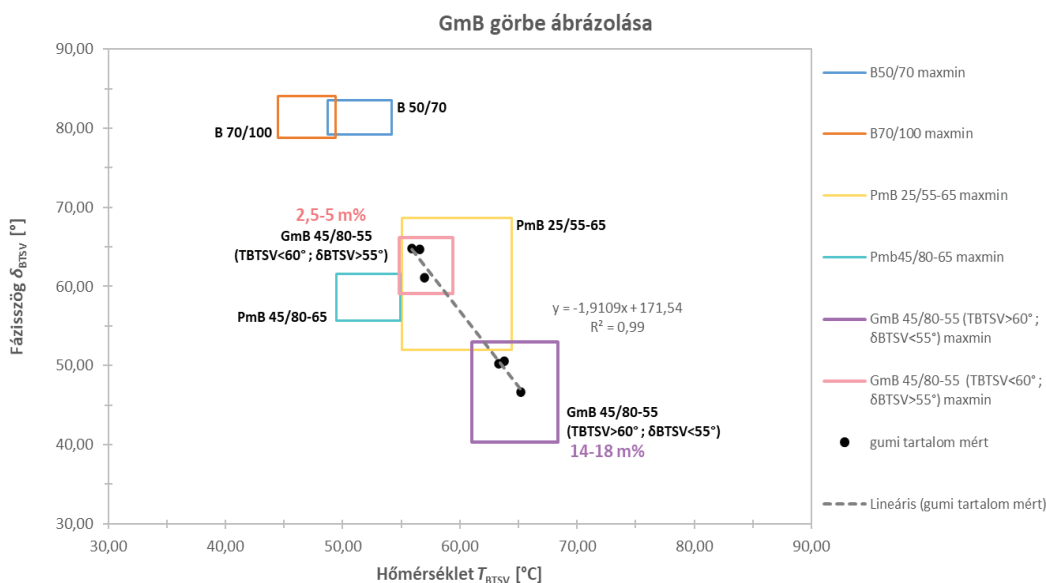
A vizsgált gumibitumen-minták eredményei alapján (6. ábra) a GmB 45/80-55 kategória két, egymástól jól elkülöníthető alcsoportba sorolható, amelyek eltérő karakterisztikával rendelkeznek. Az első alcsoport alacsonyabb lágyulási hőmérséklettel ($T_{BTSV} < 60$ °C) és ezzel

párhuzamosan magasabb fázisszöggel ($\delta_{BTSV} > 55^\circ$) jellemezhető. Ez a viselkedés nagyobb viszkozus komponensre utal, vagyis az anyag deformációval szembeni ellenállása, a vizsgált hőmérsékleti tartományban kisebb mértékben rugalmas jellegű. A második alcsoport ezzel szemben magasabb lágyulási hőmérsékletet mutat ($T_{BTSV} > 60$ °C), illetve alacsonyabb fázisszöggel rendelkezik ($\delta_{BTSV} < 55^\circ$). A kisebb δ_{BTSV} érték az elasztikus komponens erőteljesebb jelenlétét jelzi. E reológiai jellemzők alapján valószínűsíthető, hogy ebben a mintacsoportban a gumiőrlemény részaránya magasabb lehetett.

A fenti feltételezés igazolása érdekében, az AGTP 142-2020 ausztrál vizsgálati szabvány alapján, a vizsgált gumibitumen mindkét csoportjából kiválasztott mintáknál, Soxhlet-extrakciós eljárással a visszanyerhető, oldhatatlan gumitartalmat meghatároztuk. A vizsgálati eredmények alátámasztották feltételezésünket, miszerint a magasabb fázisszögű kategóriánál 2,5-5 tömeg%-nyi gumitartalom, míg az alacsonyabbnál 14-18 tömeg% körüli értékek adódtak (7. ábra).



6. ábra: A BTSV eredmények összesítő ábrája, a GmB 45/80-55 bitumennek $T_{BTSV} = 60^\circ\text{C}$ értéknél ketté osztott alcsoportjával (Forrás: saját szerkesztés)



7. ábra: A visszanyerhető gumiőrlemény-tartalom növekedésének hatása a T_{BTSV} (Forrás: saját szerkesztés)

Az eredmények egyértelműen igazolják, hogy a gumitartalom növekedése a reológiai viselkedés módosulásával szoros összefüggésben ($R^2 = 0,99$) áll: a nagyobb mennyiségű gumiőrlemény jelenléte fokozott elasztikus hozzájárulást eredményez, amely a fázisszög

csökkenésében és a magasabb T_{BTSV} -értékekben is megnyilvánul. Ez pedig megerősíti, hogy a gumibitumenek magas hőmérsékleti viskoelasztikus tulajdonságainak alakulásában a gumi-tartalom mennyisége meghatározó paraméter.

4. 3. A vizsgált bitumenek BTSV szerinti kategorizálása

A bitumenek tipizálásához ismételten a $T_{BTSV} - \delta_{BTSV}$ paraméterpár grafikus ábrázolását alkalmaztuk. A korábbiakhoz hasonlóan, a 8. ábrán az egyes bitumenkategóriák mérési eredményeinek szélsőértékeit feltüntettük fel, ugyanakkor az egyes típusokat egy-egy reprezentatív átlagponttal ($\bar{x}$) is jelöltük az ábrán. Az adatok pontosabb összehasonlíthatósága érdekében a kiugró szélsőértékeket statisztikai módszerrel szűrtük. A normáeloszlás (Gauss-eloszlás) feltételezésével, az „átlag ± 2 szórás ($\bar{x} \pm 2SD$)” intervallumot alkalmaztuk, az adatok megközelítőleg 95%-át lefedve. Ez a megközelítés lehetővé tette a kiugró szélsőséges értékek kizárását a kategorizálásból, miközben az adathalmaz reprezentatív része megmaradt.

A 8. ábrán feketével jelöltük a Németországban alkalmazott bitumenek BTSV-módszer szerinti kategorizálását, a $G^* = 15$ kPa érték-nél meghatározott lágyulási hőmérséklet (T_{BTSV}) és a hozzá tartozó fázisszög (δ_{BTSV}) függvényében. A körül határolt tartományok a német osztályozási gyakorlat szerinti bitumenes kötéanyag típusmezőket reprezentálják.

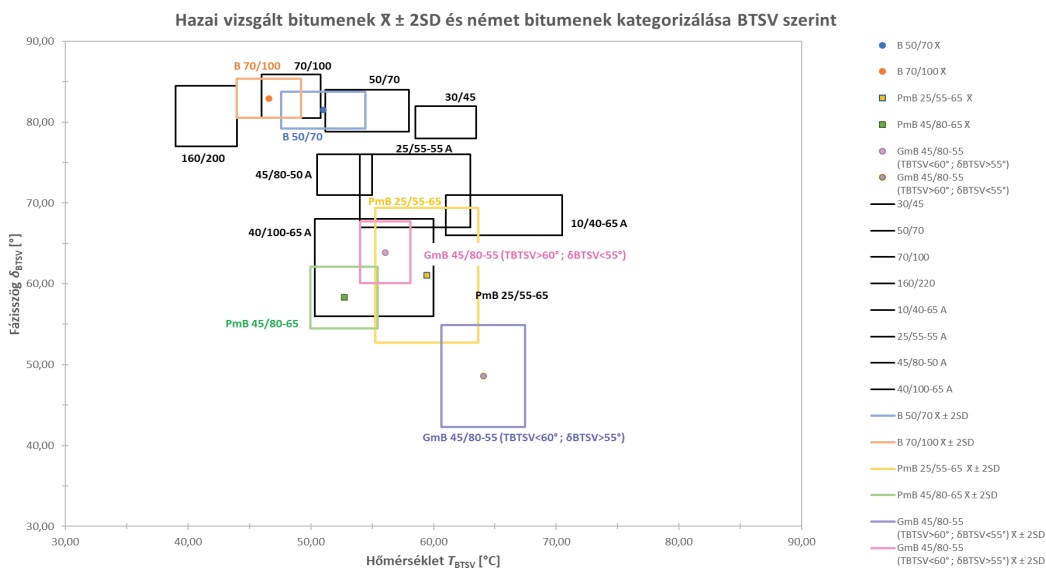
Az így meghatározott, $\bar{x} \pm 2SD$ határoló vonalakkal körülvett tartományok a magyarországi

mérések alapján definiált kategóriákat szemléltetik, amelyeket a német osztálymezőkkel együttesen ábrázoltunk, lehetővé téve a két rendszer közvetlen összevetését.

Megállapítható, hogy a vizsgált bitumentípusok mindkét ország esetében hasonló T_{BTSV} -tartományban helyezkednek el, ami arra utal, hogy a magas hőmérsékleti merevségi kritérium ($G^* = 15$ kPa) szerinti besorolás összhangot mutat.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A B 70/100 és a B 50/70 típusú hazai útépitési bitumenek átlagos $G^* = 15$ kPa értékhez tartozó hőmérséklete a hazai minták esetében alacsonyabb tartományban jelentkezik. Ennek következtében a magyar bitumenekhez tartozó kategóriahatárok a $T_{BTSV} - \delta_{BTSV}$ diagramon, a német bitumenek mezőjéhez képest balra tolódnak. Az útépitési bitumenek esetében, a fázisszög-tartományok az azonos penetrációs osztályba tartozó német bitumenekhez tartozó tartományokkal nagy mértékű átfedést mutatnak. Ez arra utal, hogy a δ_{BTSV} paraméter tekintetében, a hazai és a német útépitési bitumenek reológiai viselkedése hasonló jellegű, vagyis a viszkoelasztikus karakterben az azonos kategóriájú kötőanyagok között nem mutatkozik számottevő különbség.



8. ábra: Magyar bitumenek és német bitumenek BTSV szerinti kategorizálása

(Forrás: saját szerkesztés)

Ugyanakkor a polimerrel modifikált bitumenek (PmB) esetében, a fázisszög-értékekben markáns eltérés figyelhető meg. Az ugyanolyan penetrációs kategóriába tartozó német típusok (pl. 45/80-50 A és 25/55-55 A) jellemzően 65° feletti, inkább 70° körüli δ_{BTSV} -tartományban helyezkednek el, ezért ezeknél mérsékeltbb modifikáció feltételezhető. Ezzel szemben a vizsgált hazai típusok (PmB 25/55-65 és PmB 45/80-55) átlagosan 65° alatti fázisszöget mutatnak. Mivel az alacsonyabb δ_{BTSV} érték nagyobb rugalmas komponensre utal, valószínűsíthető, hogy a vizsgált magyar gyártású PmB kötőanyagok magasabb SBS-polimer tartalommal, illetve intenzívebb modifikációval készültek.

Érdemes külön megvizsgálni a GmB 45/80-55 gumibitumen viselkedését. A minták egyik alcsoportja ($T_{\text{BTSV}} < 60^\circ\text{C}$; $\delta_{\text{BTSV}} > 55^\circ$) reológiai paraméterei alapján, hasonló tulajdonságokat mutatott, mint a német 40/100-65 A típusú bitumen. Ezzel szemben a másik alcsoport ($T_{\text{BTSV}} > 60^\circ\text{C}$; $\delta_{\text{BTSV}} < 55^\circ$) teljes mértékben elkülönül a többi kötőanyagcsoporttól mind a hazai, mind pedig a német bitumenekhez viszonyítva. Ez az elkülönülés a magasabb T_{BTSV} hőmérséklettel és alacsonyabb fázisszöggel jellemezhető, ami a gumitartalomnak köszönhetően, jelentősebb elasztikus viselkedésre és intenzívebb modifikációs hatásra utal.

A BTSV módszernél bebizonyosodott, hogy egyetlen gyors mérési eljárással kiváltható a két hagyományos vizsgálat (tüpenetráció, gyűrűs és golyós lágyuláspont). A DSR készüléknek köszönhetően csökken a szükséges mérési minta mennyisége, sokkal pontosabb eredmények nyerhetők. Ezekon felül pedig sokkal részletesebb leírás kapható az egyes kötőanyagtípusok teljesítményéről.

A BTSV paraméterek közül a fázisszög bevezetése okozta a nagy áttörést a bitumenes kötőanyagok vizsgálatában, mivel ennek köszönhetően mérhető elemzés készíthető az ugyanolyan lágyulásponttal rendelkező bitumenek eltérő viselkedéséről. A δ_{BTSV} értéke hiánypótló kiegészítő információt nyújt az anyag rugalmas komponenséről, amit az empirikus vizsgálatok nem tudnak megmutatni. Segítségével számszerűen megállapítható, hogy a kötőanyag módosítása milyen mértékű, hogyan változtatja annak viszkoelasztikus tulajdonságait, és milyen mértékben lesz a hőmérséklet-változásra érzékeny.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- AASHTO M320-23-UL (2023) Standard method of test for performance graded asphalt binder. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO T 240-23-UL (2023) Standard method of test for effect of heat and air on a moving film of asphalt binder (Rolling Thin-Film Oven Test). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO T 315-12-UL (2024) Standard method of test for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer (DSR). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AGPT/T142 (2020) AUSTROADS TEST METHOD – Rubber Content of Crumb Rubber Modified Bitumen: Soxhlet Method
- AL BTSV (DSR) (2018) Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dyna-mischen Scherrheometer (DSR) – Durchführung des BTSV (Bitumen-Typisierung-Schnell-Verfahren). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
- Alisov, A. (2017) Typisierung von Bitumen mit tels instationärer Oszillations-rheometrie. Braunschweig: TU Braun-schweig (ISBS). 114 p.
- Alisov, A., Riccardi, C., Schrader, J., Falchetto, A. C. Wistuba, M. P. (2018) A novel method to characterise asphalt binder at high temperature. Road Materials and Pavement Design, 21(1), pp. 143-155. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1483258>
- ASTM D7405-21 (2021) Standard test method for multiple stress creep and recovery (MSCR) of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. West Conshohocken: ASTM International.
- Biro, S., Gandhi, T., Amirkhanian, S. (2009) Determination of zero shear viscosity of warm asphalt binders. Construction and Building Materials, 23, pp. 2080–2086. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.015>
- DIN 52050 (2018) Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – BTSV-Prüfung. Bitumen and bituminous binders – BTSV test. Berlin: German Standard.

- e-UT 05.01.26 (2018) Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához
- Guericke, R. (2010) 100 Jahre Erweichungspunkt Ring und Kugel – Was kommt danach? Straße und Autobahn, 61(7), pp. 481–491.
- Mattischek, H.-P., Sobczak, R., Bleier, J. (1996) Der Einsatz eines neuen Meßgerätes in der Bitumenprüfung – Korrelation der Nullviskosität mit dem Erweichungspunkt Ring und Kugel. Bitumen, 1996(1), pp. 8–12.
- MSZ EN 12591 (2009) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Az útépítési bitumenek minőségi követelményei.
- MSZ EN 12607-1 (2025) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Hő és levegő hatására bekövetkező keményedéssel szembeni ellenálló képesség meghatározása. 1. rész: RTFOT-módszer.
- MSZ EN 14023 (2010) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Polimerrel modifikált bitumenek minőségének keretelőírása.
- MSZ EN 1426 (2016) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A tüpenetráció meghatározása.
- MSZ EN 1427 (2016) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A Lágyuláspont meghatározása. Gyűrűs-golyós módszer.
- Paez-Dueñas, A., Cabanillas, P., Carrera, V., Cerny, R., De Visscher, J., Durand, G., Lancaster, I. (2016) European round robin tests for the Multiple Stress Creep Recovery Test and contribution to the development of the European standard test method. Proceedings of the 6th Euraspphalt & Eurobitume Congress. DOI: <https://doi.org/10.14311/EE.2016.059>
- prEN 14023 (2020) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Polimerrel modifikált bitumenek minőségének keretelőírása. CEN
- CEN/TC 336 (2025) Bitumens and bituminous binders – Complementary performance-related specification framework. prEN XXXXX:2025. Brussels: European Committee for Standardization.
- Radenberg, M., Gehrke, M. (2016) Assessing bitumen in the whole service-temperature-range with the dynamic shear rheometer. Prague, Czech Republic, E&E Congress, pp. 8-10. DOI: [dx.doi.org/10.14311/EE.2016.259](https://doi.org/10.14311/EE.2016.259)
- Radenberg, M., Nytus, N., Gehrke, M. (2014) Chemische und physikalische Eigenschaften der in Deutschland verwendeten Straßenbaubitumen. Straße und Autobahn, 65(11), pp. 851–860.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y., Kennedy, T. W. (1996) Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association Education Foundation.
- Soenen, H., Blomberg, T., Pellinen, T., Laukkanen, O. (2013) The multiple stress creep-recovery test: A detailed analysis of repeatability and reproducibility. Road Materials and Pavement Design, 14, pp. 2–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2013.774742>
- TL Bitumen-StB 25 (2025) Technische Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige. Polymermodifizierte Bitumen. FGSV-Verlag
- Wistuba, M. P., Alisov, A., Büchner, J. (2018) Das Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahren. Straße und Autobahn, 8, pp. 645–652.
- ZTV Asphalt-StB 07/13 (2013) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, FGSV-Verlag



Performance-based classification of hot behavior of domestic bitumens using the BTSV method

Keywords: BTSV- Bitumen Typisierungs Schnell Verfahren; SBS modified bitumen; chemically stabilized rubber modified bitumen; Soxhlet extraction

The European bitumen categorization is traditionally based on empirical tests, which are of limited suitability for the evaluation of modern, modified binders. In our research, we were the first to comprehensively apply the BTSV rheological method in Hungary on five bitumen types (B50/70, B70/100, GmB 45/80-55, PmB 25/55-65, PmB 45/80-65). We determined the T_{BTSV} and δ_{BTSV} values on a total of 137 industrial samples and compared them with the ring-ball softening point. According to the results, the BTSV method characterizes the performance of modified binders more reliably and shows clearer differences between the types tested.